



# **UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**

**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS**

**CARRERA DE INGENIERÍA EN MANTENIMIENTO**

**AUTOMOTRIZ**

**TRABAJO DE GRADO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO  
DE INGENIERO EN MANTENIMIENTO AUTOMOTRIZ**

**TEMA:**

**PROCEDIMIENTO DE DIAGNÓSTICO DE MOTORES DE  
COMBUSTIÓN INTERNA DE ENCENDIDO POR COMPRESIÓN  
(MEC) MEDIANTE LAS EMISIONES DE GASES DE ESCAPE**

**AUTOR: RAMIRO RAFAEL ARANA ARIAS**

**DIRECTOR: ING. CARLOS NOLASCO MAFLA YÉPEZ, MSc.**

**IBARRA, DICIEMBRE 2019**

## CERTIFICADO

### ACEPTACIÓN DEL DIRECTOR

En mi calidad de director del plan de trabajo de grado, previo a la obtención del título de Ingeniería en Mantenimiento Automotriz, nombrado por el Honorable Consejo Directivo de la Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas.

### CERTIFICO:

Que una vez analizado el plan de grado cuyo título es **“Procedimiento de diagnóstico de motores de combustión interna de encendido por compresión (MEC) mediante las emisiones de gases de escape”** presentado por el señor: **Ramiro Rafael Arana Arias** con número de cédula **100305664-3**, doy fe que dicho trabajo reúne los requisitos y méritos suficientes para ser sometido a presentación pública y evaluación por parte de los señores integrantes del jurado examinador que se designe.

En la ciudad de Ibarra, a los 3 días del mes de diciembre del 2019.

Atentamente



Ing. Carlos Mafla MSc.

DIRECTOR DEL TRABAJO DE GRADO

## AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**  
**BIBLIOTECA UNIVERSITARIA**  
**AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN**  
**A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**

### 1. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

En cumplimiento del Art. 144 de la Ley de Educación Superior, hago la entrega del presente trabajo a la Universidad Técnica del Norte para que sea publicado en el Repositorio Digital Institucional, para lo cual pongo a disposición la siguiente información:

DATOS DEL CONTACTO			
<b>CÉDULA DE IDENTIDAD:</b>	100305664-3		
<b>APELLIDOS Y NOMBRES:</b>	ARANA ARIAS RAMIRO RAFAEL		
<b>DIRECCIÓN:</b>	Quiroga, Calle García Moreno Norte y Fidel Egas		
<b>EMAIL:</b>	rraranaa@utn.edu.ec vicramra84@gmail.com		
<b>TELÉFONO FIJO:</b>	062537110	<b>TELÉFONO MÓVIL:</b>	0989469446
DATOS DE LA OBRA			
<b>TÍTULO:</b>	"PROCEDIMIENTO DE DIAGNÓSTICO DE MOTORES DE COMBUSTIÓN INTERNA DE ENCENDIDO POR COMPRESIÓN (MEC) MEDIANTE LAS EMISIONES DE GASES DE ESCAPE"		
<b>AUTOR:</b>	ARANA ARIAS RAMIRO RAFAEL		
<b>FECHA:</b>	03/ 12/ 2019		
<b>PROGRAMA:</b>	<input checked="" type="checkbox"/> PREGRADO <input type="checkbox"/> POSGRADO		
<b>TÍTULO POR EL QUE OPTA:</b>	INGENIERÍA EN MANTENIMIENTO AUTOMOTRIZ		
<b>ASESOR / DIRECTOR:</b>	Ing. Carlos Nolasco Mafla Yépez. MSc		

## 2. CONSTANCIAS

El autor manifiesta que la obra objeto de la presente autorización es original y se la desarrollo, sin violar derechos de autor de terceros, por lo tanto, la obra es original y el autor es titular de los derechos patrimoniales, por lo que asume la responsabilidad sobre el contenido de la misma y saldrá en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, a los 3 días del mes de diciembre del 2019

**AUTOR**



---

Firma

**Nombre:** Ramiro Rafael Arana Arias

**C.C:** 100305664-3



v

**CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR**  
**TRABAJO DE GRADO A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD**  
**TÉCNICA DEL NORTE**

Yo, **Ramiro Rafael Arana Arias** con cédula de identidad Nro. **100305664-3**, manifiesto mi voluntad de ceder a la Universidad Técnica del Norte los derechos patrimoniales consagrados en la Ley de Propiedad Intelectual del Ecuador artículos 4, 5 y 6, en calidad de autor de la obra o trabajo de grado denominado "Procedimiento de diagnóstico de motores de combustión interna de encendido por compresión (MEC) mediante las emisiones de gases de escape". Que ha sido desarrollado para optar por el título de: **INGENIERO EN MANTENIMIENTO AUTOMOTRIZ** en la Universidad Técnica del Norte quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente. En mi Condición de autor me reservo los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia suscribo este documento en el momento que hago entrega del trabajo final en formato impreso y digital a la Biblioteca de la Universidad Técnica del Norte.

**AUTOR**

Firma

**Nombre: Ramiro Rafael Arana Arias**

**C.C: 100305664-3**

Ibarra, a los 3 días del mes de diciembre de 2019

## DEDICATORIA

A mi madre, por ser motivación, mi guía en todo el camino hacia esta formación profesional, por apoyarme en todos mis sueños y emprendimientos que me he propuesto.

A mi hermana, quien me ha acompañado y me ha brindado todo su apoyo permitiéndome alcanzar mis metas.

A mis segundos padres que fueron el pilar fundamental en mi vida, impulsándome siempre a seguir adelante y mostrarme que la familia es lo más importante que vamos a tener en toda nuestra existencia.

A mi tío Víctor por sus consejos, su apoyo incondicional, sin quien no habría sido esto posible.

**Ramiro Rafael Arana Arias**

## **AGRADECIMIENTO**

A Dios y a mi familia, que me acompañan y apoyan en mis sueños.

A mis amigos y demás familiares que, con sus mensajes, llamadas o palabras de aliento me motivaron e impulsaron durante esta parte de mi vida y a las personas especiales en mi vida que con su tiempo contribuyeron de una u otra forma en mi formación académica y profesional.

**Ramiro Rafael Arana Arias**

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

1.	REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.....	1
1.1	PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	1
1.2	OBJETIVOS .....	1
1.2.1	OBJETIVO GENERAL .....	1
1.2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	2
1.3	ALCANCE.....	2
1.4	JUSTIFICACIÓN .....	3
1.5	MOTOR DE ENCENDIDO POR COMPRESIÓN .....	4
1.5.1	SISTEMA DE INYECCIÓN DE COMBUSTIBLE .....	5
1.5.2	CICLO DIESEL .....	7
1.5.3	COMBUSTIÓN.....	9
1.5.4	COMBUSTIBLE.....	12
1.6	EMISIONES DE GASES DE ESCAPE.....	14
1.6.1	FACTOR DE EMISIÓN .....	15
1.6.2	EMISIONES NO CONTAMINANTES.....	16
1.6.3	EMISIONES CONTAMINANTES .....	16
1.6.4	ENSAYOS.....	20
1.6.5	EQUIPOS .....	22
1.7	NORMATIVA.....	22
1.7.1	NORMATIVA NACIONAL.....	23
1.7.2	NORMATIVA INTERNACIONAL .....	23
1.8	DIAGNÓSTICO .....	24
1.8.1	DIAGNÓSTICO DE FALLAS .....	24
1.8.2	OBD.....	25
1.8.3	EMISIONES DE GASES DE ESCAPE.....	25

1.8.4	AFECTACIONES DEL MOTOR.....	25
1.9	MANTENIMIENTO .....	31
1.9.1	MANTENIMIENTO PREVENTIVO .....	31
1.9.2	MANTENIMIENTO CORRECTIVO.....	31
1.9.3	PLAN DE MANTENIMIENTO .....	32
2.	MATERIALES Y MÉTODOS.....	33
2.1	MATERIALES .....	33
2.1.1	SELECCIÓN DE VEHÍCULOS .....	33
2.1.2	ANALIZADOR DE GASES KANE AUTOPLUS 5-2.....	38
2.2	MÉTODOS .....	42
2.2.1	METODOLOGÍA DE DIAGNÓSTICO DE VEHÍCULOS MEDIANTE EMISIONES DE GASES DE ESCAPE.....	42
2.2.2	MEDICIONES DE GASES DE ESCAPE EN ESTADO ESTÁTICO....	44
2.2.3	CÓMO UTILIZAR EL EQUIPO .....	48
2.2.4	PROCEDIMIENTO PARA LA MEDICIÓN DE GASES DE ESCAPE	50
2.2.5	MEDICIONES DE GASES DE ESCAPE .....	55
3.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	105
3.1	FUNDAMENTACIÓN TECNOLÓGICA .....	105
3.2	ANÁLISIS DE LOS DATOS OBTENIDOS EN VEHÍCULOS NUEVOS .	106
3.2.1	ANÁLISIS DE LOS DATOS OBTENIDOS AL VEHÍCULO LIVIANO (A).....	107
3.2.2	ANÁLISIS DE LOS DATOS OBTENIDOS AL VEHÍCULO LIVIANO (B).....	108
3.2.3	ANÁLISIS DE LOS DATOS OBTENIDOS AL VEHÍCULO PESADO (A).....	109
3.2.4	ANÁLISIS DE LOS DATOS OBTENIDOS AL VEHÍCULO PESADO (B).....	110
3.3	PLAN DE DIAGNÓSTICO .....	111

3.3.1	VEHÍCULOS CON CILINDRADA DE 1 500 A 1 600 CC.....	114
3.3.2	VEHÍCULOS CON CILINDRADA DE 1 601 A 3 000 CC.....	115
3.3.3	VEHÍCULOS CON CILINDRADA DE 3 001 A 8 000 CC.....	116
3.3.4	VEHÍCULOS CON CILINDRADA DE 8 001 A 13 000 CC.....	117
3.4	VALIDACIÓN DE LOS DATOS OBTENIDOS .....	118
3.4.1	ANÁLISIS DE LOS DATOS OBTENIDOS EN EL VEHÍCULO LIVIANO (USADO) .....	118
3.4.2	ANÁLISIS DE LOS DATOS OBTENIDOS EN EL VEHÍCULO LIVIANO (B USADO) .....	121
3.4.3	ANÁLISIS DE LOS DATOS OBTENIDOS EN EL VEHÍCULO PESADO (A USADO).....	125
3.4.4	ANÁLISIS DE LOS DATOS OBTENIDOS EN EL VEHÍCULO PESADO (B USADO).....	128
3.4.5	VALIDACIÓN DE LOS DATOS.....	131
3.4.5.1	Diagnóstico del vehículo marca Hyundai modelo Tucson 2.0 CRDi VGT Classic 4x2.....	131
3.4.5.2	Diagnóstico del vehículo marca Kia modelo Sportage lx 2.0l 4x2 DSL .....	1313
3.4.5.3	Diagnóstico vehículo marca Chevrolet, modelo D-MAX CRDi 3.0 CD .....	1315
4.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	138
4.1	CONCLUSIONES .....	138
4.2	RECOMENDACIONES.....	140
5	REFERENCIAS .....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>TABLA 1.1</b> REQUISITOS DIÉSEL PREMIUM NTE INEN 1489:2016 OCTAVA REVISIÓN .....	13
<b>TABLA 1.2</b> NORMATIVA MEXICANA (NOM-167-SEMARNAT-2017) .....	24
<b>TABLA 1.3</b> AFECTACIONES DEL MOTOR SEGÚN LOS GASES DE ESCAPE (CO, HC O NO <sub>x</sub> ).....	29
<b>TABLA 2.1</b> ESPECIFICACIONES TÉCNICAS C-ELYSÉE HDI 92 FEEL .....	34
<b>TABLA 2.2</b> ESPECIFICACIONES TÉCNICAS D-MAX CRDI 3.0 CD .....	35
<b>TABLA 2.3</b> ESPECIFICACIONES TÉCNICAS HINO GH8JF7D-XG3 .....	36
<b>TABLA 2.4</b> ESPECIFICACIONES TÉCNICAS HINO SS1EKSА-VAX.....	37
<b>TABLA 2.5</b> DATOS TÉCNICOS ANALIZADOR DE GASES AUTOPLUS 5-2.....	40
<b>TABLA 2.6</b> CARACTERÍSTICAS ANALIZADOR DE GASES AUTOPLUS 5-2....	42
<b>TABLA 2.7</b> CONDICIÓN ATMOSFÉRICA DE COTACACHI, QUIROGA.....	45
<b>TABLA 2.8</b> CONDICIÓN ATMOSFÉRICA DE SAN MIGUEL DE URCUQUÍ.....	45
<b>TABLA 2.9</b> CONDICIÓN ATMOSFÉRICA DE SAN MIGUEL DE IBARRA .....	46
<b>TABLA 2.10</b> HORARIO DEL VEHÍCULO LIVIANO (A).....	46
<b>TABLA 2.11</b> HORARIO DEL VEHÍCULO LIVIANO (B).....	47
<b>TABLA 2.12</b> HORARIO VEHÍCULO PESADO (A).....	47
<b>TABLA 2.13</b> HORARIO VEHÍCULO PESADO (B).....	48
<b>TABLA 2.14</b> CLASIFICACIÓN DE LOS VEHÍCULOS DE PRUEBA .....	56
<b>TABLA 2.15</b> VEHÍCULO LIVIANO (NUEVO) A RALENTÍ EN LA MAÑANA....	57
<b>TABLA 2.16</b> VEHÍCULO LIVIANO (NUEVO) A RALENTÍ MEDIO DÍA .....	58
<b>TABLA 2.17</b> VEHÍCULO LIVIANO (NUEVO) A RALENTÍ EN LA NOCHE .....	59
<b>TABLA 2.18</b> VEHÍCULO LIVIANO (NUEVO) A 2 500 RPM EN LA MAÑANA... 60	60
<b>TABLA 2.19</b> VEHÍCULO LIVIANO (NUEVO) A 2 500 RPM MEDIO DÍA .....	61
<b>TABLA 2.20</b> VEHÍCULO LIVIANO (NUEVO) A 2 500 RPM EN LA NOCHE.....	62
<b>TABLA 2.21</b> VEHÍCULO LIVIANO (B NUEVO) A RALENTÍ EN LA MAÑANA 63	63
<b>TABLA 2.22</b> VEHÍCULO LIVIANO (B NUEVO) A RALENTÍ MEDIO DÍA.....	64
<b>TABLA 2.23</b> VEHÍCULO LIVIANO (B NUEVO) A RALENTÍ EN LA NOCHE.....	65
<b>TABLA 2.24</b> VEHÍCULO LIVIANO (NUEVO) A 2 500 RPM EN LA MAÑANA... 66	66
<b>TABLA 2.25</b> VEHÍCULO LIVIANO (NUEVO) A 2 500 RPM MEDIO DÍA .....	67
<b>TABLA 2.26</b> VEHÍCULO LIVIANO (NUEVO) A 2 500 RPM EN LA NOCHE.....	68

<b>TABLA 2.27</b>	<b>VEHÍCULO PESADO (A NUEVO) RALENTÍ EN LA MAÑANA</b> .....	69
<b>TABLA 2.28</b>	<b>VEHÍCULO PESADO (A NUEVO) RALENTÍ MEDIO DÍA</b> .....	70
<b>TABLA 2.29</b>	<b>VEHÍCULO PESADO (A NUEVO) RALENTÍ EN LA NOCHE</b> .....	71
<b>TABLA 2.30</b>	<b>VEHÍCULO PESADO (A NUEVO) 2 000 RPM EN LA MAÑANA</b> ....	72
<b>TABLA 2.31</b>	<b>VEHÍCULO PESADO (A NUEVO) 2 000 RPM MEDIO DÍA</b> .....	73
<b>TABLA 2.32</b>	<b>VEHÍCULO PESADO (A NUEVO) 2 000 RPM EN LA NOCHE</b> .....	74
<b>TABLA 2.33</b>	<b>VEHÍCULO PESADO (B NUEVO) A RALENTÍ EN LA MAÑANA</b> .	75
<b>TABLA 2.34</b>	<b>VEHÍCULO PESADO (B NUEVO) A RALENTÍ MEDIO DÍA</b> .....	76
<b>TABLA 2.35</b>	<b>VEHÍCULO PESADO (B NUEVO) A RALENTÍ EN LA NOCHE</b> .....	77
<b>TABLA 2.36</b>	<b>VEHÍCULO PESADO (B NUEVO) A 1 500 RPM EN LA MAÑANA</b>	78
<b>TABLA 2.37</b>	<b>VEHÍCULO PESADO (B NUEVO) A 1 500 RPM MEDIO DÍA</b> .....	79
<b>TABLA 2.38</b>	<b>VEHÍCULO PESADO (B NUEVO) A 1 500 RPM EN LA NOCHE</b> ....	80
<b>TABLA 2.39</b>	<b>VEHÍCULO LIVIANO (USADO) A RALENTÍ EN LA MAÑANA</b> ....	81
<b>TABLA 2.40</b>	<b>VEHÍCULO LIVIANO (USADO) A RALENTÍ MEDIO DÍA</b> .....	82
<b>TABLA 2.41</b>	<b>VEHÍCULO LIVIANO (A USADO) A RALENTÍ EN LA NOCHE</b> ....	83
<b>TABLA 2.42</b>	<b>VEHÍCULO LIVIANO (A USADO) A 2 500 RPM EN LA MAÑANA</b>	84
<b>TABLA 2.43</b>	<b>VEHÍCULO LIVIANO (A USADO) A 2 500 RPM MEDIO DÍA</b> .....	85
<b>TABLA 2.44</b>	<b>VEHÍCULO LIVIANO (A USADO) A 2 500 RPM EN LA NOCHE</b> ...	86
<b>TABLA 2.45</b>	<b>VEHÍCULO LIVIANO (B USADO) A RALENTÍ EN LA MAÑANA</b> .	87
<b>TABLA 2.46</b>	<b>VEHÍCULO LIVIANO (B USADO) A RALENTÍ MEDIO DÍA</b> .....	88
<b>TABLA 2.47</b>	<b>VEHÍCULO LIVIANO (B USADO) A RALENTÍ EN LA NOCHE</b> .....	89
<b>TABLA 2.48</b>	<b>VEHÍCULO LIVIANO (B USADO) A 2 500 RPM EN LA MAÑANA</b>	90
<b>TABLA 2.49</b>	<b>VEHÍCULO LIVIANO (B USADO) A 2 500 RPM MEDIO DÍA</b> .....	91
<b>TABLA 2.50</b>	<b>VEHÍCULO LIVIANO (B USADO) A 2 500 RPM EN LA NOCHE</b> ...	92
<b>TABLA 2.51</b>	<b>VEHÍCULO PESADO (A USADO) EN RALENTÍ EN LA MAÑANA</b>	93
<b>TABLA 2.52</b>	<b>VEHÍCULO PESADO (A USADO) EN RALENTÍ MEDIO DÍA</b> .....	94
<b>TABLA 2.53</b>	<b>VEHÍCULO PESADO (A USADO) EN RALENTÍ EN LA NOCHE</b> ...	95
<b>TABLA 2.54</b>	<b>VEHÍCULO PESADO (A USADO) EN 2 000 RPM EN LA MAÑANA</b> .....	96
<b>TABLA 2.55</b>	<b>VEHÍCULO PESADO (A USADO) EN 2 000 RPM MEDIO DÍA</b> .....	97
<b>TABLA 2.56</b>	<b>VEHÍCULO PESADO (A USADO) EN 2 000 RPM EN LA NOCHE</b> ..	98
<b>TABLA 2.57</b>	<b>VEHÍCULO PESADO (B USADO) A RALENTÍ EN LA MAÑANA</b> ..	99
<b>TABLA 2.58</b>	<b>VEHÍCULO PESADO (B USADO) A RALENTÍ MEDIO DÍA</b> .....	100
<b>TABLA 2.59</b>	<b>VEHÍCULO PESADO (B USADO) A RALENTÍ EN LA NOCHE</b> ....	101

<b>TABLA 2.60</b> VEHÍCULO PESADO (B USADO) A 1 500 RPM EN LA MAÑANA .....	102
<b>TABLA 2.61</b> VEHÍCULO PESADO (B USADO) A 1 500 RPM MEDIO DÍA.....	103
<b>TABLA 2.62</b> VEHÍCULO PESADO (B USADO) A 1 500 RPM EN LA NOCHE...	104
<b>TABLA 3.1</b> COMPONENTES QUE INCIDEN EN LA FORMACIÓN DE GASES DE ESCAPE .....	114
<b>TABLA 3.2</b> PARÁMETROS DE REFERENCIA PARA VEHÍCULOS LIVIANOS	115
<b>TABLA 3.3</b> PARÁMETROS DE REFERENCIA PARA VEHÍCULOS LIVIANOS (CAMIONETAS) .....	116
<b>TABLA 3.4</b> PARÁMETROS DE REFERENCIA PARA VEHÍCULOS PESADOS (A) .....	117
<b>TABLA 3.5</b> PARÁMETROS DE REFERENCIA PARA VEHÍCULOS PESADOS (B) .....	118
<b>TABLA 3.6</b> ESTADO DEL VEHÍCULO LIVIANO (USADO) .....	120
<b>TABLA 3.7</b> ESTADO DEL VEHÍCULO LIVIANO (B USADO).....	124
<b>TABLA 3.8</b> ESTADO DEL VEHÍCULO PESADO (A USADO) .....	127
<b>TABLA 3.9</b> ESTADO DEL VEHÍCULO PESADO (B USADO).....	130
<b>TABLA 3.10</b> VALORES VEHÍCULO HYUNDAI TUCSON.....	132
<b>TABLA 3.11</b> VALORES VEHÍCULO KIA SPORTAGE.....	134
<b>TABLA 3.12</b> VALORES VEHÍCULO CHEVROLET D-MAX CRDI.....	136

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>FIGURA 1.1</b> MOTOR DE ENCENDIDO POR COMPRESIÓN.....	4
<b>FIGURA 1.2</b> SISTEMA DE INYECCIÓN COMMON RAIL.....	5
<b>FIGURA 1.3</b> INYECTOR COMMON RAIL BOSCH.....	6
<b>FIGURA 1.4</b> CICLO DIESEL IDEAL.....	7
<b>FIGURA 1.5</b> DEFINICIONES DE MASA QUEMADA DURANTE LA COMBUSTIÓN PREMEZCLADA.....	9
<b>FIGURA 1.6</b> DEFINICIÓN DE LAS FASES DE LA COMBUSTIÓN A PARTIR DE LA COMPARACIÓN ENTRE LAS TASAS DE INYECCIÓN DE COMBUSTIBLE (CURVA SUPERIOR) Y LA LIBERACIÓN DE CALOR (CURVA INFERIOR).....	10
<b>FIGURA 1.7</b> ESQUEMA DE LA ESTRUCTURA DE LA LLAMA DIESEL DURANTE LA FASE DE COMBUSTIÓN POR DIFUSIÓN.....	11
<b>FIGURA 1.8</b> FORMACIÓN DE CO EN FUNCIÓN DEL DOSADO RELATIVO... ..	17
<b>FIGURA 2.1</b> KILOMETRAJE DEL VEHÍCULO LIVIANO (NUEVO).....	34
<b>FIGURA 2.2</b> KILOMETRAJE DEL VEHÍCULO LIVIANO (USADO).....	34
<b>FIGURA 2.3</b> KILOMETRAJE DEL VEHÍCULO LIVIANO (B NUEVO).....	35
<b>FIGURA 2.4</b> KILOMETRAJE DEL VEHÍCULO LIVIANO (B USADO).....	36
<b>FIGURA 2.5</b> KILOMETRAJE DEL VEHÍCULO PESADO SERIE 500 (NUEVO) ..	36
<b>FIGURA 2.6</b> KILOMETRAJE DEL VEHÍCULO PESADO SERIE 500 (USADO)...	37
<b>FIGURA 2.7</b> KILOMETRAJE DEL VEHÍCULO PESADO SERIE 700 (NUEVO) ..	38
<b>FIGURA 2.8</b> KILOMETRAJE DEL VEHÍCULO PESADO SERIE 700 (USADO)...	38
<b>FIGURA 2.9</b> ANALIZADOR DE GASES KANE AUTOPLUS 5-2.....	39
<b>FIGURA 2.10</b> ESTRUCTURA DEL EQUIPO.....	41
<b>FIGURA 2.11</b> METODOLOGÍA.....	42
<b>FIGURA 2.12</b> METODOLOGÍA DE DIAGNÓSTICO POR EMISIONES DE GASES DE ESCAPE.....	43
<b>FIGURA 2.13</b> DISPOSITIVO ENVIANDO DATOS EN TIEMPO REAL.....	52
<b>FIGURA 2.14</b> COLOCACIÓN DE LA SONDA EN EL TUBO DE ESCAPE .....	53
<b>FIGURA 3.1</b> PROMEDIO DE GASES DE ESCAPE VEHÍCULO LIVIANO (A) NUEVO .....	107

<b>FIGURA 3.2</b> PROMEDIO DE GASES DE ESCAPE VEHÍCULO LIVIANO (B) NUEVO .....	108
<b>FIGURA 3.3</b> PROMEDIO DE GASES DE ESCAPE VEHÍCULO PESADO (A) NUEVO .....	109
<b>FIGURA 3.4</b> PROMEDIO DE GASES DE ESCAPE VEHÍCULO PESADO (B) NUEVO .....	110
<b>FIGURA 3.5</b> METODOLOGÍA APLICADA AL PLAN DE DIAGNÓSTICO .....	111
<b>FIGURA 3.6</b> PROMEDIO DE GASES DE ESCAPE VEHÍCULO LIVIANO (USADO) .....	119
<b>FIGURA 3.7</b> PARÁMETROS DE REFERENCIA VEHÍCULOS CON CILINDRAJE DE 1 500 A 1 600 CC.....	119
<b>FIGURA 3.8</b> COMPONENTES QUE INCIDEN EN LA FORMACIÓN DE CO, HC Y NO <sub>x</sub> .....	120
<b>FIGURA 3.9</b> PROMEDIO DE GASES DE ESCAPE VEHÍCULO LIVIANO (B USADO).....	122
<b>FIGURA 3.10</b> PARÁMETROS DE REFERENCIA VEHÍCULOS CON CILINDRAJE DE 1 601 A 3 000 CC.....	123
<b>FIGURA 3.11</b> COMPONENTES QUE INCIDEN EN LA FORMACIÓN DE CO, HC Y NO <sub>x</sub> .....	123
<b>FIGURA 3.12</b> PROMEDIO DE GASES DE ESCAPE VEHÍCULO PESADO (A USADO).....	125
<b>FIGURA 3.13</b> PARÁMETROS DE REFERENCIA VEHÍCULOS CON CILINDRAJE DE 3 000 A 8 000 CC.....	126
<b>FIGURA 3.14</b> COMPONENTES QUE INCIDEN EN LA FORMACIÓN DE CO, HC Y NO <sub>x</sub> .....	126
<b>FIGURA 3.15</b> PROMEDIO DE GASES DE ESCAPE VEHÍCULO PESADO (B USADO).....	128
<b>FIGURA 3.16</b> PARÁMETROS DE REFERENCIA VEHÍCULOS CON CILINDRAJE DE 8 001 A 13 000 CC.....	129
<b>FIGURA 3.17</b> COMPONENTES QUE INCIDEN EN LA FORMACIÓN DE CO, HC Y NO <sub>x</sub> .....	130
<b>FIGURA 3.18</b> PROMEDIO GASES DE ESCAPE VEHÍCULO HYUNDAI TUCSON .....	132
<b>FIGURA 3.19</b> REALIZADO MANTENIMIENTO AL VEHÍCULO LIVIANO .....	133

<b>FIGURA 3.20</b> PROMEDIO DE GASES DE ESCAPE VEHÍCULO KIA SPORTAGE .....	135
<b>FIGURA 3.21</b> PROMEDIO GASES DE ESCAPE VEHÍCULO CHEVROLET D-MAX CRDL.....	136

## ÍNDICE DE ANEXOS

<b>FIGURA A I 1</b> TOMA DE DATOS VEHÍCULO LIVIANO .....	148
<b>FIGURA A I 2</b> TOMA DE DATOS VEHÍCULO LIVIANO .....	148
<b>FIGURA A I 3</b> IMPRESIÓN DE DATOS OBTENIDOS .....	149

## RESUMEN

El presente trabajo investigativo tuvo la finalidad de realizar el diagnóstico de los motores de combustión interna de encendido por compresión (MEC), para ello se utilizó la prueba de análisis de gases de escape en estado estático, efectuadas a cuatro vehículos: un vehículo liviano (a), marca Citroën, modelo C-ELYSÉE HDi 92 FEEL; un vehículo liviano (b), marca Chevrolet, modelo D-MAX CRDi 3.0 CD; un vehículo pesado (a), marca HINO, modelo GH8JF7D-XG3; y un vehículo pesado (b), marca HINO, modelo SS1EKSA-VAX; se realizó la obtención de los datos de las pruebas en diferentes localidades de la provincia de Imbabura (Cotacachi, Urcuquí e Ibarra), con variaciones de altitud y según un horario establecido: primera prueba de 07h00 - 09h00 am, la segunda prueba de 12h00 – 13h00 pm, la tercera prueba de 17h00 – 18h00 pm. El diagnóstico basado en las emisiones de gases de escape es una prueba no invasiva, ya que no requiere el desmontaje de los componentes, únicamente se debe cumplir con el protocolo de medición y obtención de los datos a través del analizador de gases AUTOplus 5-2; las pruebas se realizaron en estado estático, con el motor del vehículo en ralentí y a plena carga; tanto en vehículos nuevos con un kilometraje inferior a 2 500 km y usados con un kilometraje superior a 100 000 kilómetros; estos últimos son del mismo tipo y modelo que el vehículo nuevo. Se logró determinar dentro de la tabla de parámetros de referencia el rango establecido para el vehículo liviano (a), en ralentí de: 0,01 a 0,12 % Vol (CO); 0 a 9,36 ppm (HC); 119 a 146,51 ppm (NO<sub>x</sub>) y a 2 500 rpm de: 0,01 a 0,15 % Vol (CO); 0 a 11,32 ppm de (HC); 63 a 116,56 ppm de (NO<sub>x</sub>). Para el vehículo liviano (b), en ralentí de: 0,00 a 0,06 % Vol de (CO); 1 a 12,28 ppm de (HC); 122 a 172,51 ppm de (NO<sub>x</sub>); y a 2 500 rpm de: 0,00 a 0,14 % Vol de (CO); 0 a 14,75 ppm de (HC); 77 a 90,74 ppm de (NO<sub>x</sub>). Para el vehículo pesado (a), en ralentí de: 0,00 a 0,06 % Vol de (CO); 1 a 4,11 ppm de (HC); 108 a 217,65 ppm de (NO<sub>x</sub>); y a 2 000 rpm de: 0,00 a 0,10 % Vol de (CO); 0 a 7,6 ppm de (HC); 103 a 132, 97 ppm de (NO<sub>x</sub>). Para el vehículo pesado (b), en ralentí de: 0,002 a 0,01 % Vol de (CO); 0 a 16,22 ppm de (HC); 90 a 219,06 ppm de (NO<sub>x</sub>); y a 1 500 rpm de: 0,00 a 0,03 % Vol de (CO); 1 a 20,38 ppm de (HC), y 189,33 a 274 ppm de (NO<sub>x</sub>).

### ABSTRACT

The purpose of this research work was to diagnose the internal combustion engines by compression ignition (MEC). For this purpose, the static gas analysis test was carried out on four vehicles: a light vehicle (a), Citroën brand, model C-ELYSEE HDi 92 FEEL; a light vehicle (b), Chevrolet brand, model D-MAX CRDi 3.0 CD; a heavy vehicle (a), HINO model GH8JF7D-XG3; and a heavy vehicle (b), HINO brand, model SS1EKSA-VAX; The test data was obtained in different locations in the province of Imbabura (Cotacachi, Urcuqui and Ibarra), with variations in altitude and according to a set schedule: first test from 07:00 - 09:00 am, the second test from 12:00 pm — 1:00 p.m., the third test from 5:00 p.m. — 6:00 p.m. The diagnosis based on the emissions of exhaust gases is a non-invasive test, since it does not require the disassembly of the components, only the measurement protocol and data collection must be complied through the AUTOplus 5-2 gas analyzer ; the tests were carried out in a static state, with the vehicle's engine idling and at full load; both in new vehicles with a mileage of less than 2 500 km and used with a mileage of more than 100 000 kilometers; The latter is the same type and model as the new vehicle. It was possible to determine within the reference parameter table the range established for the light vehicle (a), at idle of: 0.01 to 0.12% Vol (CO); 0 to 9.36 ppm (HC); 119 to 146.51 ppm (NOx) and at 2,500 rpm of: 0.01 to 0.15% Vol (CO); 0 to 11.32 ppm of (HC); 63 to 116.56 ppm of (NOx). For the light vehicle (b), at idle of: 0.00 to 0.06% Vol of (CO); 1 to 12.28 ppm of (HC); 122 to 172.51 ppm of (NOx); and at 2,500 rpm of: 0.00 to 0.14% Vol of (CO); 0 to 14.75 ppm of (HC); 77 to 90.74 ppm of (NOx). For the heavy vehicle (a), at idle of: 0.00 to 0.06% Vol of (CO); 1 to 4.11 ppm of (HC); 108 to 217.65 ppm of (NOx); and at 2,000 rpm of: 0.00 to 0.10% Vol of (CO); 0 to 7.6 ppm of (HC); 103 to 132, 97 ppm of (NOx). For the heavy vehicle (b), at idle of: 0.002 to 0.01% Vol of (CO); 0 to 16.22 ppm of (HC); 90 to 219.06 ppm of (NOx); and at 1,500 rpm of: 0.00 to 0.03% Vol of (CO); 1 to 20.38 ppm of (HC), and 189.33 to 274 ppm of (NOx).

Victor Jodryne  
R. O. U. C.



## INTRODUCCIÓN

En la presente investigación se realizó las mediciones de gases de escape en vehículos MEC, ya que por medio de los valores obtenidos se logró determinar la incidencia en la alteración de los valores de las emisiones de Monóxido de Carbono (CO), Hidrocarburos no combustionados (HC) y Óxidos de Nitrógeno (NO<sub>x</sub>), la forma en la cual estos valores afectan a los componentes del motor, la manera para detectar el problema y dar las posibles soluciones a los componentes desgastados. En cuatro vehículos que se seleccionaron debido a que son más utilizados en el contexto local.

Las emisiones de CO tienen un valor de equivalencia por medio de la relación de la mezcla de aire y combustible; ya que las emisiones de CO se producen debido a un suministro insuficiente de aire (Nabi, Zare, Hossain, Ristovski, & Brown, 2017). Las emisiones de HC están influenciadas por el sistema de combustible del motor, las condiciones ambientales, la carga del motor, y turboalimentación; los HC son producto de la combustión incompleta y forma restos no quemados del combustible (Tipanluisa, Remache, Ayabaca, & Reina, 2017). Los Óxidos de Nitrógeno (NO<sub>x</sub>), se forman a alta presión y temperatura dependiendo de las condiciones del motor. El átomo de Nitrógeno y Oxígeno reaccionan en la cámara de combustión formando varios Óxidos de Nitrógeno; también es un alto formador de la lluvia ácida, el NO<sub>x</sub> para transporte tiene un 40-70% de contribución en niveles de contaminación al mundo.

La presente investigación se enfocó en la implementación de un plan de diagnóstico basado en las emisiones de gases de escape (CO, HC y NO<sub>x</sub>), para reducir el tiempo en la realización del diagnóstico, gracias a una prueba no invasiva a través de un analizador de gases portátil AUTOplus 5-2 y comparar los resultados obtenidos con una tabla de parámetros de referencia y según el caso determinar los componentes del motor o sus sistemas auxiliares afectados.

# CAPÍTULO I

## 1. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

### 1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Un aspecto clave para el análisis, es la problemática que existe dentro de los motores de combustión interna diésel, el uso de diésel fósil de alguna manera acorta con su vida útil por la presencia de azufre, además existe mayor consumo de aceite de motor y por ende la producción excesiva de emisiones contaminantes al ambiente como las emisiones de Monóxido de carbono (CO), Hidrocarburos (HC) y Óxidos de Nitrógeno (NO<sub>x</sub>) lo que está provocando grandes concentraciones de hollín en los gases de escape, estos gases de escape producen afectaciones a los componentes del motor de combustión interna de encendido por compresión; debido al problema de componentes que alteran los ciclos teóricos de funcionamiento, además estos gases de escape producen un efecto nocivo en la salud de las personas que inhalan o están en contacto con estos gases, esto puede tener como consecuencia desde leves hasta graves enfermedades.

Además, se debe mencionar que un vehículo que está sometido a constantes horas de trabajo debe tener planificado y programado su mantenimiento, con ello se tendrá una imagen clara de las partes y elementos a reemplazar o verificar de acuerdo con el kilometraje que presente debido a que ciertos vehículos son de trabajo por lo que su tiempo de parada representa costos y el dueño pide que este tiempo sea el menor posible.

### 1.2 OBJETIVOS

#### 1.2.1 OBJETIVO GENERAL

- Diagnosticar motores de combustión interna de encendido por compresión (MEC) mediante las emisiones de gases de escape

### 1.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Estudiar bibliográficamente las afectaciones del motor según los gases de escape.
- Medir los gases de escape (CO, HC y NO<sub>x</sub>) en vehículos de combustión interna de encendido por compresión.
- Analizar los resultados obtenidos de las mediciones de CO, HC, NO<sub>x</sub> y determinar sus afectaciones en los vehículos estudiados.
- Implementar un plan de diagnóstico en motores diésel mediante los gases de escape.

### 1.3 ALCANCE

Con el desarrollo de la investigación se analizó las afecciones que sufren los elementos del motor en un vehículo MEC, mediante el análisis de gases de escape (CO, HC y NO<sub>x</sub>); en cuatro tipos de vehículos los cuales son los más utilizados en el sector automotriz del Ecuador, según datos obtenidos de la Agencia Nacional de Transito, dentro de estos encontramos: un vehículo liviano como un automóvil, un vehículo liviano como una camioneta, un vehículo pesado como un camión y un vehículo pesado como un tráiler.

Con la información recolectada se implementó un plan de diagnóstico el cual permite evaluar el funcionamiento correcto y determinar las variaciones de los valores de los gases de escape CO, HC y NO<sub>x</sub>; que serán comprobadas mediante comparaciones entre los datos obtenidos cuando un vehículo MEC no presente desgaste en su motor; es decir que su kilometraje sea menor a 10 000 kilómetros comparando el mismo tipo de vehículo MEC cuando este tenga un kilometraje superior a los 100 000 kilómetros.

Es importante programar los mantenimientos a los vehículos MEC, debido al tipo de trabajo al que están siendo sometidos y su funcionamiento continuo hace que las paradas no programadas se minimicen, con la realización de este proyecto se determinó los

elementos que están presentando desgastes por medio del análisis de los gases de escape CO, HC y NO<sub>x</sub>.

Los parámetros de medición deben ser analizados según normativas que regulen las emisiones de gases provenientes del escape de los vehículos automotores en circulación que usan diésel como combustible, en este trabajo de investigación se utilizaron normativas de pruebas estáticas basadas en normativas mexicanas como la Norma Oficial Mexicana NOM-167-SEMARNAT-2017 y la Norma Oficial Mexicana NOM-047-SEMARNAT-2014.

#### **1.4 JUSTIFICACIÓN**

Con el presente trabajo de investigación se pretende analizar a los vehículos con motor de combustión interna de encendido por compresión (MEC), debido a que en el país existe una gran flota vehicular la cual contamina el medio ambiente con los gases de escape que producen y cuando existen paradas no programadas para realizar mantenimientos correctivos se afecta de manera directa a la economía de los dueños de los vehículos.

La investigación contribuye directamente a los dueños de vehículos con motor a diésel, con un plan de diagnóstico basado en las emisiones de gases contaminantes, en especial las emisiones de CO, HC y NO<sub>x</sub>; porque son parámetros que muestran en la combustión la presencia de una mezcla rica o una mezcla pobre; es fundamental en la investigación tener en cuenta que los factores ambientales, la calidad del combustible y el tipo de vehículo afectarán a los resultados.

En el Plan Nacional de Desarrollo 2017-2021-toda una vida; este estudio se encuentra relacionado con el objetivo 3: “Garantizar los derechos de la naturaleza para las actuales y futuras generaciones”; con la política 3.4 “Promover buenas prácticas que aporten a la reducción de la contaminación, la conservación, la mitigación y la adaptación a los efectos del cambio climático, e impulsar las mismas en el ámbito global”.

## 1.5 MOTOR DE ENCENDIDO POR COMPRESIÓN

Rudolf Diésel patentó en 1892 un motor alternativo de encendido por compresión (MEC), la sustitución del combustible de polvo de carbón por productos derivados del petróleo líquido, junto con algunos cambios mecánicos en el diseño original, supuso la puesta a punto de un motor prototipo en el año 1895. Hoy en día tanto el motor como el tipo de combustible llevan su nombre.

Los motores diésel, al igual que los de explosión, son motores alternativos endotérmicos de combustión interna, es decir, transforman la energía en el interior del cilindro. Estos motores se caracterizan por su sistema de alimentación, por la forma de realizar la combustión y por su alto rendimiento, al conseguir trabajar a presiones muy elevadas (López, 2010).

De esta manera, se obtiene un mayor trabajo útil y un mejor aprovechamiento del combustible. Los motores diésel solamente comprimen aire, por lo que la relación de compresión puede ser mayor, siendo introducido el combustible a una presión muy elevada en el tiempo de trabajo, para producir la combustión. Son conocidos como motores de encendido por compresión (Escudero , González, & Juan , 2009).



**Figura 1.1** Motor de encendido por compresión.

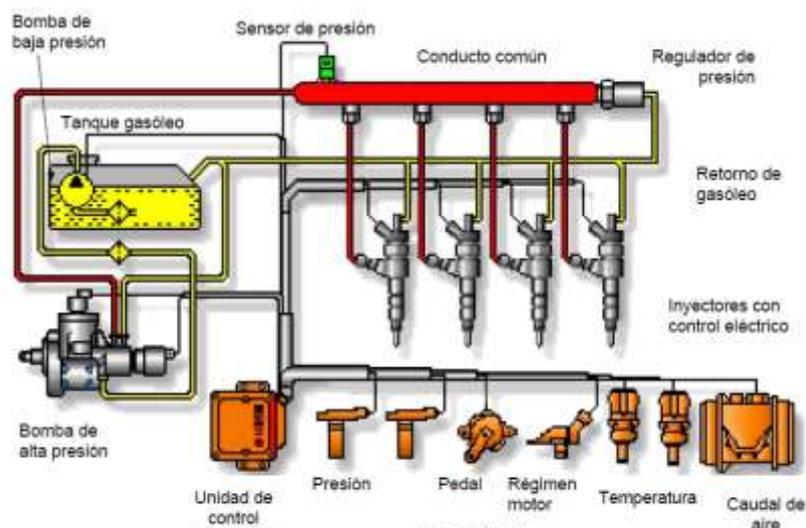
*(Luis Vélez de Guevara, 2017)*

### 1.5.1 SISTEMA DE INYECCIÓN DE COMBUSTIBLE

El sistema “Common Rail” usa una bomba de combustible de alta presión que alimenta a un tubo único (Common rail), que distribuye el combustible a presión hacia los inyectores (Aguirre Ayala & Ortiz Hernández, Elaboración de un módulo didáctico del sistema common rail del motor mazda BT 50 WL-C 2.5 CRDi diesel, 2014). En los motores de encendido por compresión actuales viene incorporado el sistema de inyección de combustible de riel común (Common Rail); el cual ha reemplazado a los mecanismos de inyección de combustible por medio de bombas lineales o rotativas.

El sistema de inyección de 'Common rail' permite el control individual del avance de la distribución y del flujo, permitiendo el control perfecto de la combustión cilindro por cilindro (Bustillos Chicaiza & Simbaña Quinsasamín, 9-feb-2018). Con la incorporación de este sistema se tiene mayor control de la cantidad de combustible que se va a inyectar en el momento adecuado, además de eso la dosificación de combustible será igualitaria a cada cilindro del motor.

Cuando se tiene este tipo de sistema de inyección incorporado se obtendrá una reducción del ruido de la combustión debido a que se puede tener múltiples inyecciones de combustible y a su vez se tendrá una mejor combustión lo que conlleva a reducir las emisiones de Hidrocarburos no combustionados en forma de hollín.



**Figura 1.2** Sistema de inyección Common Rail.

(CÓNDOR ROBALINO & ALLAICA TZETZA, 2014)

El sistema de riel común funciona en dos partes, una parte está conectada al sistema de baja presión de combustible, y la segunda será la que reciba toda la presión de la bomba de inyección la cual estará conectada hacia los inyectores y tendrá un regulador de presión que determinará la presión máxima con la que trabaja el sistema de inyección, además se tiene la ayuda para el control por medio de sensores que estarán conectados a una ECU y actuadores del sistema Common rail.

### 1.5.1.1 Inyectores

Se encargan de inyectar el combustible en la cámara de combustión de un motor Diesel, este es el que se abre a una determinada presión lo que provoca la pulverización del combustible y también debe tener una correcta estanqueidad con el objetivo de impedir la formación de gotas de combustible en la cámara de combustión.

El inyector utilizado en los sistemas Common Rail se activa de forma eléctrica a diferencia de los utilizados en sistemas que utilizan bomba rotativa que inyectan de forma mecánica. Con esto se consigue mayor precisión al momento de inyectar el combustible y se simplifica el sistema de inyección (Bustillos Chicaiza & Simbaña Quinsasamín, 9-feb-2018).



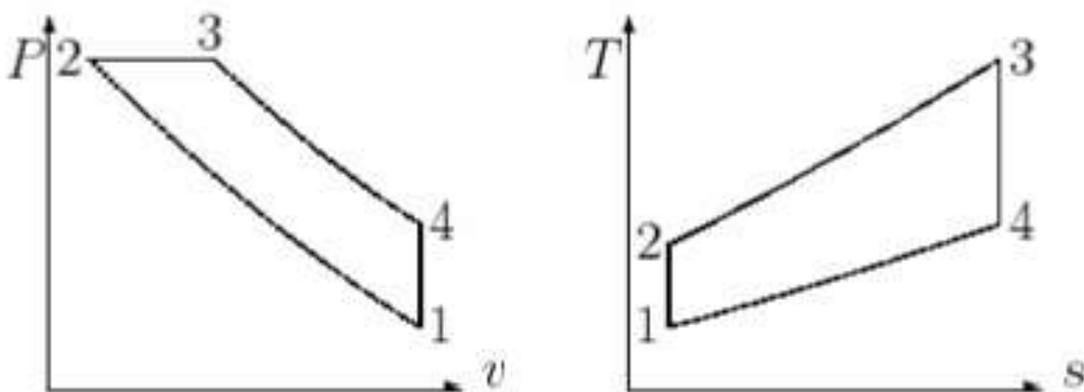
**Figura 1.3** Inyector Common Rail Bosch  
(Robert Bosch España, S.L.U., 2018)

Como se tiene inyectores activados electrónicamente permiten controlar la inyección del combustible con lo que se puede retrasar la inyección; pero si se retrasa demasiado se corre el riesgo de elevar la emisión de HC, por lo que se eleva el consumo de combustible, así como también la expulsión de hollín a carga elevada.

La presión de inyección alta y la geometría óptima de los orificios de inyección, conduce a una pulverización fina (Aguirre Ayala & Ortiz Hernández, Elaboración de un módulo didáctico del sistema common rail del motor mazda BT 50 WL-C 2.5 CRDi diesel, 2014). El combustible que se encuentra en la cámara de combustión finamente pulverizado permite obtener una mezcla homogénea entre el aire y el combustible, durante este proceso se da la preinyección con lo que se calienta la cámara de combustión, para que cuando se tenga la inyección principal se produzca el trabajo del motor y además se tenga una reducción de la emisión de HC y de Hollín.

### 1.5.2 CICLO DIESEL

Para analizar el funcionamiento del ciclo Diesel se debe enfocar al ciclo ideal en donde se tiene la representación del ciclo completo mediante los diagramas: Presión vs Volumen específico (P-V), y Temperatura vs Entropía (T-S) respectivamente expresados en la figura 1.4, estos diagramas muestran todo el ciclo desde el punto 1 hasta el punto 4 en que se termina el proceso y se repite el ciclo.



**Figura 1.4** Ciclo Diesel ideal

(Nieto Carlier, González Fernández, López Paniagua, Rodríguez Marín, & Jiménez Álvaro, 2014)

Compresión 1-2.- El proceso que se lleva a cabo entre los estados 1 y 2 es una compresión isentrópica, es decir, sin intercambio de calor con el exterior y representa la compresión de la masa de aire fresca que ingresa al cilindro del motor diésel con las válvulas de admisión y escape cerradas; el pistón en el PMI empieza su carrera de ascenso, comprimiendo el aire hasta llegar al PMS modificando sus propiedades termodinámicas, al elevar su presión, temperatura y disminuyendo el volumen específico, por efecto del principio adiabático (Cengel & Boles, 2015).

Combustión 2-3.- En esta fase del ciclo se efectúa la adición de calor " $Q_e$ " como un proceso isobárico (a presión constante); si bien es cierto el ciclo real de la combustión diésel es complejo, ya que poco antes de que el pistón alcance el PMS, con las válvulas de admisión y escape cerradas, el inyector pulveriza el combustible dentro de la cámara que al ponerse en contacto con el aire caliente comienza a evaporarse antes de que haya comenzado la inyección de todo el combustible en el interior del cilindro, un 20% de las gotas de combustible inyectado se auto inflaman y da comienzo a una primera combustión caracterizada por ser muy turbulenta e imperfecta por no tener el tiempo suficiente para homogeneizarse la mezcla de aire y combustible; como consecuencia de la combustión se eleva la temperatura del fluido activo, debido a la energía química liberada por el proceso de combustión y que el ciclo ideal se ha considerado como una adición de calor que el aire ha recibido de una fuente externa como un proceso isobárico reversible (Cengel & Boles, 2015).

Expansión 3-4.- Este proceso se efectúa entre los estados 3 y 4 y se lo ha idealizado como una expansión isentrópica del aire estándar, con las válvulas de admisión y escape cerradas, debido a la elevación de la temperatura de los gases como consecuencia del proceso de combustión que empujan el pistón desde el PMS hasta el PMI, produciendo un movimiento rotativo a través del cigüeñal y generando trabajo (Cengel & Boles, 2015).

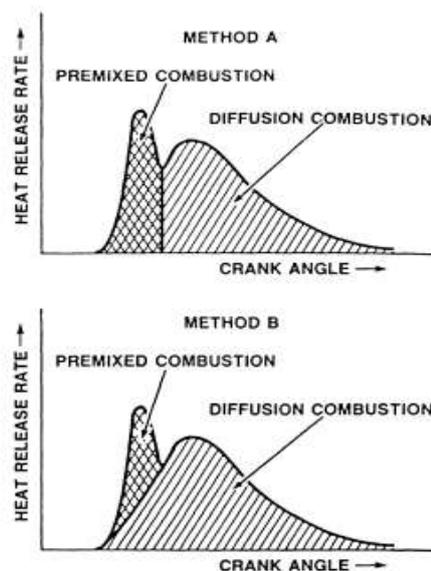
Escape 4-1.- En esta fase se idealiza como un proceso isocórico desde la presión final del proceso hasta la inicial del proceso de compresión (estados 1-2); permaneciendo las válvulas de admisión y escape cerradas, el pistón se encuentra en el PMI en el cual el aire cede calor hacia el exterior debido a la idealización antes planteada; el calor es cedido hasta retornar el aire hasta las condiciones termodinámicas iniciales, por lo que se cierra el ciclo de trabajo (Cengel & Boles, 2015).

En este tipo de motores, el fluido que se comprime es aire y el combustible se inyecta en el cámara una vez finalizado el proceso de compresión (Rovira de Antonio & Muñoz Domínguez , 2015). El frente de llama se genera por la autoinflamación de parte del combustible inyectado, mientras que la mezcla aire combustible se va a combustionar mediante una combustión por difusión que es simultánea a la propia inyección.

### 1.5.3 COMBUSTIÓN

El proceso de combustión que se realiza en los motores de combustión interna de encendido por compresión consta de tres etapas, en las cuales ocurren reacciones físicas y químicas, las mismas que a su vez dependerán de factores ambientales y de la calidad del combustible utilizado.

La primera fase es el retraso al autoencendido, en la cámara de combustión en donde hay combustible evaporado y se tiene la presencia de aire con el cual se van formando reacciones físicas y químicas que ayudarán al proceso de formación de la auto ignición de la mezcla aire combustible.

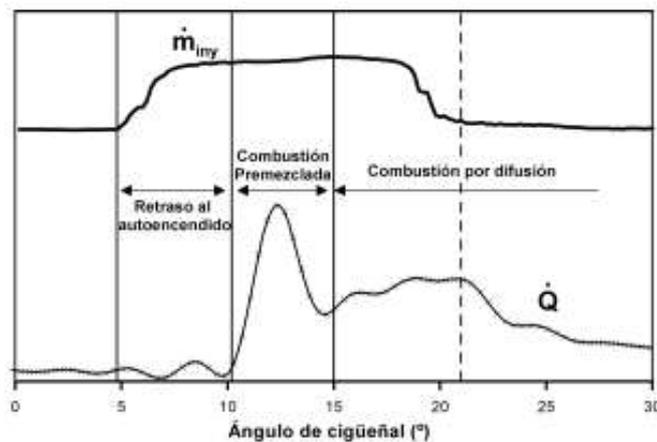


**Figura 1.5** Definiciones de masa quemada durante la combustión premezclada (Alkidas, 1987)

En la segunda fase la combustión de la premezcla trae consigo un aumento de temperatura y una liberación súbita de calor y que adicionalmente es la responsable de originar un gradiente de presión en el interior de la cámara de combustión.

Una vez producida la ignición, toda la masa acumulada hasta ese instante puede quemarse junto con la que se está preparando instantáneamente, originando el máximo característico de la tasa de liberación de calor durante esta fase, el final de la fase se alcanza cuando termina de quemarse toda esta masa premezclada (Oliver, 2004).

La última fase hace referencia a la fase de difusión de la combustión, es decir que la masa que se va a quemar en cada instante es la que ha llegado a alcanzar las condiciones de mezcla necesarias para lograr una combustión, lográndose a extender hasta que todo el combustible inyectado se haya consumido y mientras deja de pulverizar combustible en inyector.



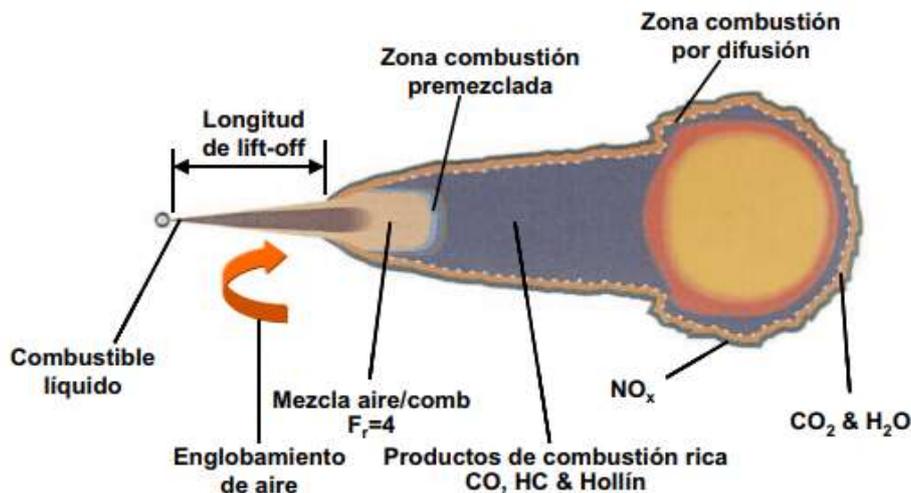
**Figura 1.6** Definición de las fases de la combustión a partir de la comparación entre las tasas de inyección de combustible (curva superior) y la liberación de calor (curva inferior). (Oliver, 2004).

La combustión por compresión de una mezcla pobre homogénea, o premezclada, ha surgido en los últimos años como una alternativa para la reducción simultánea de las emisiones de óxidos de nitrógeno ( $NO_x$ ) y partículas ( $PM$ ) en los motores de combustión interna (Martínez-Martínez, Montefort-Sánchez, Gallegos-Muñoz, & Riesco-Ávila, 2012). Este tipo de combustión es regulada por los componentes que integran un motor CRDI, incorporado en los vehículos actuales.

La Combustión es una reacción termoquímica muy rápida entre el oxígeno del aire y el combustible, para formar teóricamente  $\text{CO}_2$  y  $\text{H}_2\text{O}$ , más el consiguiente desprendimiento de calor. Para que se produzca la reacción de una manera efectiva el combustible debe pasar a estado gaseoso para mezclarse con el oxígeno.

El aire está compuesto básicamente por dos gases: Nitrógeno ( $\text{N}_2$ ) y Oxígeno ( $\text{O}_2$ ); en un volumen determinado de aire se encuentra una proporción de Nitrógeno ( $\text{N}_2$ ) del 79 % mientras que el contenido de Oxígeno es aproximadamente de un 21 %, el Nitrógeno durante la combustión, en principio, no se combina con nada y tal como entra en el cilindro es expulsado al exterior sin modificación alguna, excepto en pequeñas cantidades, para formar Óxidos de Nitrógeno ( $\text{NO}_x$ ).

El Oxígeno es el elemento indispensable para producir la combustión de la mezcla. De esta manera, la reacción se generará de una forma más eficaz. Debido a que el proceso no es 100% eficaz, parte de los reactivos no se transforman en  $\text{CO}_2$  y  $\text{H}_2\text{O}$ , sino que se formarán sustancias contaminantes que se emiten al exterior en forma de emisiones.



**Figura 1.7** Esquema de la estructura de la llama Diesel durante la fase de combustión por difusión.

(*Oliver, 2004*)

La zona azulada como se indica en la figura 1.7 corresponde a una zona de alta concentración de hidrocarburos sin quemar (HC), monóxido de carbono (CO) y hollín debido a que se tiene muy poco oxígeno, la zona naranja es donde se va a producir la

combustión y por lo tanto se generará únicamente los productos normales de una combustión ideal  $\text{CO}_2$  y  $\text{H}_2\text{O}$ ; la zona gris es la más peligrosa porque existe una gran cantidad de oxígeno y sobre todo una elevada temperatura que incentivará a la producción de óxidos de nitrógeno.

Las emisiones de partículas contaminantes dependen en gran medida de la forma de quemarse que tiene el combustible, fundamentalmente influyen en la formación de hidrocarburos no combustionados, monóxido de carbono y óxidos de nitrógeno, los HC y CO dan idea de la temperatura/presión que ha generado dentro de la cámara de combustión, cuanto menor temperatura y presión se haya obtenido en la cámara de combustión, mayor cantidad de estos contaminantes se generará porque no se queman totalmente, si la duración de la combustión ha sido grande la presencia de HC y CO será menor (Bao, Horibe, & Ishiyama, 2018).

#### **1.5.4 COMBUSTIBLE**

El diésel es un combustible derivado del petróleo utilizado en motores de combustión interna de encendido por compresión. El gasoil para ser utilizado en motores Diesel tiene que cumplir con una serie de propiedades con la finalidad de permitir un funcionamiento idóneo, reducir el desgaste de los elementos mecánicos. Así como también la disminución de la producción de gases de escape contaminantes.

##### **1.5.4.1 Combustible en el Ecuador**

En el Ecuador según la norma NTE 1489:2016 (octava revisión), se establecen tres tipos de diésel:

Diésel N°. 1. Combustible utilizado en equipos de combustión industrial o doméstico.

Diésel N°. 2. Combustible utilizado en el sector industrial.

Diésel premium. Combustible con bajo contenido de azufre, utilizado en el sector automotriz.

A continuación, en la tabla 1 se muestran los requisitos para el diésel comercializado en el Ecuador.

**Tabla 1.1** Requisitos diésel premium NTE INEN 1489:2016 octava revisión

Requisitos Diésel premium	Unidad	Mín.	Máx.
Punto de inflamación	°C	51	--
Contenido de agua y sedimento	%	--	0,05
Contenido de ceniza	%	--	0,01
Contenido de azufre	%	--	0,05
Contenido de residuo carbonoso sobre el 10% de residuo destilado	%	--	0,1
Viscosidad cinemática a 40 °C	mm <sup>2</sup> /s	2,0	5,0
Temperatura de destilación del 90%	°C	--	360
Corrosión a la lámina de cobre	--	--	1 <sup>a</sup>
Índice de cetano calculado	--	45	--
Contenido de biodiesel	%	5	10

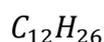
**Fuente:** (Normalización, Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 1489 Octava Revisión, 2016)

En las pruebas realizadas a los diferentes vehículos el diésel empleado contiene azufre en un promedio de 462 partes por millón (ppm) muy por debajo del tope máximo que establece la norma INEN de 500 ppm, el contenido de azufre en el combustible diésel debe ser el mínimo para que los sistemas del motor tengan la máxima eficiencia, se reduzca la cantidad de contaminante emitido y además no exista una reducción de la vida útil de los componentes del motor. Se debe emplear el mismo diésel para que los resultados obtenidos en las pruebas no varíen.

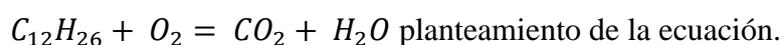
#### 1.5.4.2 Reacciones de combustión del diésel

La reacción de combustión se basa en la reacción química exotérmica de una sustancia o mezcla de sustancias llamada combustible con el oxígeno; es característica de esta reacción la formación de una llama, que es la masa gaseosa incandescente que emite luz y calor, que está en contacto con la sustancia combustible.

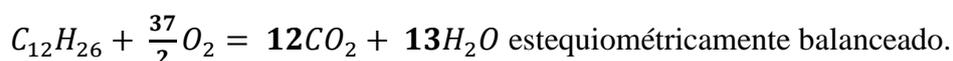
La fórmula química general del diésel común es:



Como resultado de una combustión estequiométrica se obtiene CO<sub>2</sub> y H<sub>2</sub>O; esto se demuestra a continuación con la reacción de combustión del diésel (dodecano).



$C_{12}H_{26} + O_2 = 12CO_2 + 13H_2O$  balancear estequiométricamente el carbono y el hidrógeno.



$2C_{12}H_{26} + 37O_2 = 24CO_2 + 26H_2O$  reacción de combustión completa.

## 1.6 EMISIONES DE GASES DE ESCAPE

Si la combustión de los motores fuese completa y estequiométrica del aire con combustibles compuestos exclusivamente de carbono e hidrógeno ( $C_a, H_b$ ), las emisiones resultantes serían únicamente: nitrógeno ( $N_2$ ), dióxido de carbono ( $CO_2$ ) y vapor de agua ( $H_2O$ ); evidentemente, esto no es así, la combustión siempre es incompleta y, dependiendo del tipo y condiciones de funcionamiento de cada motor, en las emisiones arrojadas a la atmósfera a través del tubo de escape se puede localizar una cantidad de componentes nocivos próxima al 1 % (González Calleja, 2015).

Entre las emisiones contaminantes arrojadas por los MCIAs destacan, por cantidad y toxicidad, el monóxido de carbono (CO) en los motores de encendido provocado (MEP) y las partículas sólidas en forma de cenizas y hollín en los motores de encendido por compresión (MEC), resultantes de mezclas excesivamente ricas (Riesco-Ávila, Gallegos-Muñoz, Montefort Sanchez, & Martínez Martínez, 2009). Otras emisiones contaminantes generadas en la combustión de los MCIAs son: los óxidos de nitrógeno ( $NO_x$ ), resultantes de las altas temperaturas de la combustión y los hidrocarburos no quemados (HC), resultantes de combustión incompleta. Aunque la emisión de  $CO_2$  es intrínseca al proceso de combustión y no está actualmente legislada como contaminante, también se considera como un compuesto agresivo para el medio ambiente, debido a su probada influencia sobre el fenómeno climático conocido como “efecto invernadero”.

Si bien la cantidad de emisiones nocivas arrojadas por un solo automóvil puede resultar insignificante, la concentración de los automóviles en las grandes urbes actuales implica un riesgo elevado de contaminación atmosférica para la humanidad y, a medio plazo, un deterioro irreversible del planeta; esto ha llevado a desarrollar una legislación cada vez más rigurosa sobre las emisiones de los motores que ha obligado a los investigadores y técnicos a esforzarse en la concepción de motores más limpios y menos ruidosos (CACOANGO VACACELA & GUAMÁN MOCHA, 2016).

### 1.6.1 FACTOR DE EMISIÓN

El cambio climático es causado por el aumento de las concentraciones de los gases de efecto invernadero (GEI), especialmente, por el CO<sub>2</sub>, estas concentraciones son provocadas por la proliferación del uso de combustibles fósiles, los sistemas forestales pueden absorber carbono en la biomasa y mitigar el problema del cambio climático (Andrade Castañeda, Arteaga Céspedes, & Segura Madrigal, 2017).

Factor de Emisión de CO<sub>2</sub>: es la masa estimada de toneladas de CO<sub>2</sub> emitidas a la atmósfera por cada unidad de energía eléctrica generada (MWh); la Matriz Energética Global aún presenta una alta dependencia de los combustibles fósiles, que representan el 81% de acuerdo con la Agencia Internacional de Energía (AIE) (IEA Statistics 2013, 2014).

Resulta preponderante la reducción del consumo de derivados de petróleo mediante un cambio en la Matriz Energética de cada país a través de las energías renovables, en especial de los países en vías de desarrollo, donde la diversificación de la Matriz Energética permitiría la reducción de emisiones de CO<sub>2</sub>, CO, HC, NO<sub>x</sub> (Haro & Oscullo, 2016).

La generación de energía mediante combustibles fósiles produce la emisión de contaminantes al aire y de gases de efecto invernadero, cuya magnitud depende de la matriz o mix de generación eléctrica, el porcentaje de las emisiones de CO<sub>2</sub> de todo el mundo que se atribuye a la electricidad y la generación de calor alcanza el 41 % (Granada & Cabrera, 2007).

Se estimaron los factores de emisión de CO<sub>2</sub> por unidad de electricidad disponible para consumo en el Ecuador para el periodo 2001 – 2011; los resultados varían entre 214.0 y 397.5 g CO<sub>2</sub>kWh<sup>-1</sup>; el mayor valor corresponde al 2010, año con la mayor participación de fuentes no renovables (52.2%); el menor valor corresponde al 2003, año con la menor participación de fuentes no renovables (34.5%). El valor más reciente, para el año 2011, es 313.3 g CO<sub>2</sub>kWh<sup>-1</sup> (Parra, 2015).

## **1.6.2 EMISIONES NO CONTAMINANTES**

Como resultado de la combustión se van a generar una serie de compuestos químicos que pueden ser orgánicos o inorgánicos; como productos no contaminantes producidos por una combustión limpia tenemos: agua ( $H_2O$ ),  $CO_2$  y oxígeno ( $O_2$ ), además del nitrógeno ( $N_2$ ) proveniente del aire, en una combustión incompleta, además, también aparece hidrógeno proveniente del combustible ( $H_2$ ).

Se denomina contaminante a toda aquella sustancia natural o artificial que introducida en concentración suficiente en el medio ambiente puede producir un efecto medible sobre los seres humanos, animales, vegetación o materiales de construcción; algunos contaminantes son primarios ( $CO$ ), ya que son emitidos por fuentes identificables, otros (como el ozono) son secundarios, ya que son formados a partir de reacciones químicas en la atmósfera, mientras que otros (como las partículas) son de origen mixto (Campos Navarro, 2016).

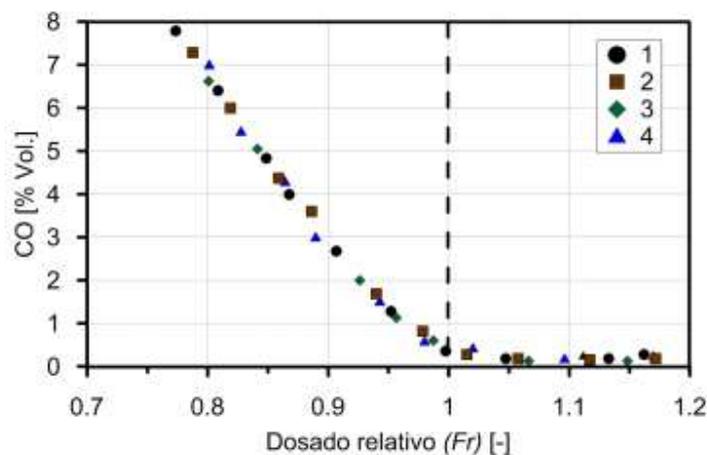
## **1.6.3 EMISIONES CONTAMINANTES**

En los motores Diésel, las emisiones de escape son las principales responsables del impacto medioambiental. Estos contaminantes son liberados a la atmósfera debido a que la combustión en los motores no se produce de forma completa y a la oxidación del nitrógeno del aire, con lo que además de los productos finales como  $H_2O$ ,  $CO_2$  y  $N_2$ , aparecen emisiones como  $NO_x$ , PM,  $CO$  y HC.

### **1.6.3.1 Monóxido de Carbono**

El  $CO$  es un producto de la combustión incompleta, formado en un paso intermedio de la oxidación de los hidrocarburos del combustible, su formación está controlada, principalmente, por el dosado de la mezcla, además de eso, la formación de  $CO$  ocurre en mezclas ricas, donde la cantidad de  $O_2$  disponible limita la oxidación de los HC, y también se produce en mezclas pobres y estequiométricas, cuando son heterogéneas (Campos Navarro, 2016). Este gas contaminante, aunque no se puede apreciar está

presente en mayores concentraciones en los motores de encendido provocado que en los motores MEC.



**Figura 1.8** Formación de CO en función del dosado relativo.  
(Bowman, 1975)

Para que en un motor MEC se forme el CO existen dos formas: la primera se da cuando en la cámara de combustión existen zonas de mezcla muy pobre, que no permiten mantener una combustión rápida, evitando la propagación de la llama y formando oxidaciones de los carbonos que están contenidos en la estructura molecular del combustible; la segunda manera de que se forme el CO es cuando existen zonas de mezcla muy rica, se producen debido a la falta de aire debido a que el combustible no completa las reacciones de oxidación necesarias.

El CO es un gas incoloro, insípido, inodoro, y no irritante; la importancia del CO sobre la salud humana es debida a que este puede ser absorbido en el torrente sanguíneo a través de las células pulmonares formando un producto derivado de la hemoglobina (Hb), conocido como carboxihemoglobina (COHb) (Luján , Bermúdez C., Guardiola , & Abbad , 2010), el CO en el cuerpo humano produce hipoxia lo que en medicina es un estado de deficiencia de oxígeno en la sangre y en todos los sistemas del organismo que conlleva a situaciones difíciles de funcionamiento.

### 1.6.3.2 Dióxido de Carbono

Actualmente el CO<sub>2</sub>, no se tiene en cuenta como emisión contaminante limitante a la hora de diseñar un MCIA (Campos Navarro, 2016), debido a esto los diseñadores e ingenieros

automotrices se están enfocando a la creación de nuevos combustibles como la elaboración de biodiesel con base en fuentes vegetales el cual se está mezclando con el combustible actual a fin de reducir la emisión de CO<sub>2</sub> al medio ambiente.

El CO<sub>2</sub> es un gas, componente natural de la atmósfera terrestre, se produce cuando la materia orgánica es quemada, desgastada por la intemperie o descompuesta biológicamente (SARÁUZ ÁLVAREZ, 2017); además, es un elemento necesario para la realización de las funciones vitales de las plantas; pero este gas tiene la desventaja que es el precursor del calentamiento global, la destrucción de la capa de ozono por el efecto invernadero que produce.

Debido a que es inodoro e incoloro, resulta imposible detectar las fugas por ello se necesita de sensores adecuados para medir la concentración en el aire tanto en lugares cerrados como en lugares abiertos, cuando se conoce la medida de la concentración de CO<sub>2</sub> en el ambiente que se puede expresar en ppm, brindando una noción más amplia de la contaminación que se tiene presente en el ambiente (MENESES BUITRÓN , 2015).

### **1.6.3.3 Hidrocarburos**

Los HC sin quemar emitidos por un motor son producto de una combustión incompleta, del mismo modo que el CO, consisten en combustible no quemado o quemado en forma parcial y son compuestos orgánicos que presentan hidrógeno y carbono en su composición química (ORTEGA GUERRÓN & PUEDMAG CHUQUÍN , 2015).

La emisión de estos hidrocarburos es debida a varias razones: misfiring, poolfires, insuficiente evaporación de combustible y dosados extremos; los cuales se dan entre el pistón y la pared del cilindro, sobre el anillo del pistón o por combustiones no homogéneas (CAÑIZARES CALDERÓN & CRUZ ARCOS, 2008).

El misfiring es un proceso de mucha relevancia a la hora de cuantificar las fuentes de emisión de HC. La mezcla de aire y combustibles próxima a superficies relativamente frías, como puede ser el pistón, la culata o las paredes del cilindro cede calor hacia estos

elementos, por lo que su nivel térmico es insuficiente para que la llama progrese, y termina extinguiéndose (Tariq Chaichan , Ibrahim Abass, & K Maroon, 2016).

Se llama poolfires a los procesos en que cierta cantidad de combustible no evaporado se deposita en espacios relativamente pequeños, como pueden ser el alojamiento de los segmentos de fuego, o el espacio existente entre el pistón y paredes del cilindro, produciendo una alta emisión de HC debido a que la cantidad de aire disponible en estos espacios es insuficiente, produciéndose la extinción de la llama (Montero Alpírez, y otros, 2015). Sin embargo, en modos de combustión con mezclas pobres, la emisión de HC es mínima debido a que el exceso de oxígeno permite la oxidación de éstos incluso en el colector y línea de escape, siempre y cuando la temperatura sea lo suficientemente elevada.

El aumento en la concentración de HC presentes en los gases de escape se producen debido al enriquecimiento de la mezcla de aire y combustible, es decir cuando se tiene un valor más alto que el estequiométrico, cuando los HC salen a la atmósfera y entran en contacto con la luz solar producen lo que se conoce como smog fotoquímico.

#### **1.6.3.4 Óxidos de Nitrógeno**

Los Óxidos de Nitrógeno ( $\text{NO}_x$ ), se forman a alta presión y temperatura dependiendo de las condiciones del motor. El átomo de Nitrógeno y Oxígeno reaccionan en la cámara de combustión formando varios Óxidos de Nitrógeno; también es un alto formador de la lluvia ácida, el  $\text{NO}_x$  para transporte tiene un 40-70% de contribución en niveles de contaminación al mundo.

Ahora, la combustión de diésel se considera como una de las principales contribuyentes a las emisiones de  $\text{NO}_x$  (Ali , Shoukat, & Adnan , 2016). Los componentes más comunes son los Óxidos nitrosos  $\text{NO}$  y Bióxido de Nitrógeno  $\text{NO}_2$ , siendo este el más común creado en el proceso de combustión y al salir por el tubo de escape de los automóviles y mezclarse con algún tipo de humedad del medio ambiente como: las lágrimas de nuestros ojos o los líquidos de los bronquios y pulmones hacen su paso a ácidos irritando las membranas mucosas del sistema respiratorio creando susceptibilidad a las infecciones

virulentas como la gripe, irritando los ojos, pulmones y abriendo una autopista hacia la bronquitis o la neumonía; agravando enfermedades crónicas como las del corazón, del asma y el enfisema (Salud, 2018).

La combustión por compresión de una mezcla pobre homogénea, o premezclada, ha surgido en los últimos años como una alternativa para la reducción simultánea de las emisiones de óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>) y partículas (PM) en los motores de combustión interna (Martínez-Martínez, Montefort-Sánchez, Gallegos-Muñoz, & Riesco-Ávila, 2012). Este tipo de combustión es regulada por los componentes que integran un motor CRDI, incorporado en los vehículos actuales.

#### **1.6.4 ENSAYOS**

Consiste en un método de medición de los gases (HC, CO, CO<sub>2</sub> y O<sub>2</sub>) en el escape de los vehículos automotores en circulación equipados con motores que usan gasolina, gas licuado de petróleo, gas natural, diésel u otros combustibles alternos estando el vehículo estacionado; consiste en tres etapas:

- Revisión visual de humo.
- Prueba de marcha crucero.
- Prueba de ralentí.

##### **1.6.4.1 Prueba de emisiones de gases estática**

Para poder realizar la toma de mediciones de gases de escape se debe seguir el siguiente procedimiento:

Preparar el vehículo en el lugar donde se realizará la prueba y realizar una revisión de seguridad; en el caso de tener una caja de cambios manual o automática, se debe comprobar que el vehículo se encuentre en neutro o aparcamiento respectivamente.

Se procederá a la revisión visual por parte del operador de la prueba con la finalidad de detectar la presencia de fugas de gases en el conducto del tubo de escape, además la presencia de cañerías en mal estado o que presenten fugas de gases de escape, empaques

de colectores desgastados; además, se deberá realizar el apagado del sistema de aire acondicionado en el caso de que el vehículo cuente con ello y se encuentre encendido.

El equipo con el que se realiza las mediciones debe estar correctamente calibrado, también la sonda debe estar en óptimas condiciones, antes de iniciar la medición comprobar la estanqueidad en el conducto de la sonda, esto se realiza cuando se calibra el analizador de gases; se recomienda tener la sonda lo más alejado del tubo de escape del vehículo como sea posible cuando se esté realizando la calibración del analizador de gases ya que el equipo procederá a medir los gases que están presentes en el lugar donde se va a realizar la medición, debido a esto se puede tener errores en la lectura.

Finalmente, con el analizador de gases encendido, se introduce la sonda en el tubo de escape del vehículo, con ello se procede a tomar mediciones con el vehículo en ralentí y cuando este ha llegado a plena carga; al terminar el proceso se tendrá los datos de los valores de CO, HC y NO<sub>x</sub> que está emitiendo el motor del vehículo.

#### **1.6.4.2 Prueba de emisiones de gases dinámica**

Son las mediciones de los gases (HC, CO, CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub> y NO<sub>x</sub>) en el escape de los vehículos en circulación equipados con motores que usen gasolina, gas licuado de petróleo, gas natural, diésel u otros combustibles alternos, bajo condiciones de aceleraciones simuladas mediante la aplicación de una carga externa controlada por el dinamómetro.

Se deberá utilizar para todos los vehículos, salvo a aquellos que han sido identificados por sus fabricantes como inoperables en el dinamómetro.

Consiste en tres etapas:

- Revisión visual de humo a 24 kilómetros por hora (km/h)
- Prueba a 24 km/h
- Prueba a 40 km/h

Todas las etapas anteriores, se realizan con el eje de tracción del vehículo en movimiento y aplicación externa de carga. Para alcanzar dichas velocidades se deberá acelerar en forma gradual en un intervalo de 10 segundos.

### **1.6.5 EQUIPOS**

Los analizadores de gases son instrumentos que se utilizan para la medición de los gases, por ejemplo en el escape de motores a combustión, chimeneas industriales, aire atmosférico, corrientes de gases en procesos, existen para aplicaciones en las que se requiere una protección contra un gas específico, inflamable o tóxico; pueden ser portátiles, para uso personal, montado en línea, con alarma sonora, lectura y almacenamiento de datos (QUIMBITA TAIPE, 2016).

Los detectores portátiles de gases son una de las mejores herramientas para evitar riesgos innecesarios al realizar trabajos con sustancias peligrosas, especialmente en las plantas que procesan combustibles, en el manejo de residuos, vertederos, plantas tratamiento de aguas residuales, sustancias peligrosas en el lugar de trabajo, transporte y almacenamiento de productos peligrosos y otros servicios. Estos equipos identifican, miden y controlan las concentraciones peligrosas de distintos gases.

Un correcto análisis de las proporciones de los gases puede dar lugar a diagnósticos muy importantes del funcionamiento del motor; el analizador de gases de escape determina la concentración de estos gases en el total de la mezcla gaseosa; todos estos productos se obtienen a partir del aire y del combustible que ingresa al motor, el aire tiene un 79 % de nitrógeno, un 21 % de oxígeno y pequeñas cantidades de otros gases (Netto, 2018).

### **1.7 NORMATIVA**

La utilización de automóviles hoy en día es cada vez mayor, lo que hace necesario regular las emisiones contaminantes de un modo sensato y consciente, estas regulaciones van evolucionando continuamente dando lugar a normativas cada vez más restrictivas; en particular, los motores Diesel, pese a presentar mayores eficiencias frente a sus competidores de gasolina el elevado grado de contaminantes que emiten contribuye a la implantación de normativas muy restrictivas (Sánchez Moreno, 2017).

Para realizar la evaluación de los gases de escape de cada vehículo, se tomó como referencia la: “Norma Oficial Mexicana NOM-167-SEMARNAT-2017”, la cual

establece los límites máximos de emisión permitidos a vehículos que utilicen diésel como combustible y se esté realizando una prueba estática.

### **1.7.1 NORMATIVA NACIONAL**

En la actualidad muchos países tienen establecidos sus propios métodos y procedimientos para realizar las pruebas en cuanto a emisiones de gases de escape se refieren, es por ello por lo que en el Ecuador la Normativa vigente que regula los límites máximos de emisiones de gases de escape a vehículos que utilizan combustible diésel establece un control solamente a la opacidad mediante una prueba estática.

Con respecto a normativas vigentes según: (NORMALIZACIÓN, 2002) se tiene la “Normativa Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2 207:2002”; dicha normativa establece los requisitos máximos de opacidad de humos para fuentes móviles de ciclo Diesel, determinados a través de un proceso de aceleración libre en forma estática, teniendo en cuenta el procedimiento establecido en la Normativa Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2 202.

### **1.7.2 NORMATIVA INTERNACIONAL**

La protección del medio ambiente y la conservación de la energía se ha convertido en el principal interés a nivel global, lo que ha llevado a mejores estándares de emisiones de gases de escape para los motores de los vehículos en muchos países y regiones. La gran parte de los países asiáticos y europeos se rigen a la normativa presentada por la Unión Europea de Naciones.

Los límites máximos permitidos de emisiones de gases contaminantes para el desarrollo de esta investigación mediante pruebas estáticas fueron tomados de la normativa mexicana (NOM-167-SEMARNAT-2017), dentro de la investigación se los tomó como valores referenciales ya que se utilizan para vehículos con motor de combustión interna de encendido provocado (MEP), valores que se ven reflejados en la tabla 1.2.

**Tabla 1.2** Normativa mexicana (NOM-167-SEMARNAT-2017)

Año modelo	Hidrocarburos (HC) (ppm)	Monóxido de Carbono (CO) (%)	Óxidos de Nitrógeno (NOx) (ppm)	Oxígeno (O <sub>2</sub> ) (%)	Dilución (CO+CO <sub>2</sub> ) (%)		Factor Lambda
1993 y anteriores	200	1	1000	2	7	14.3	1.05
1994 y posteriores	100	1	1000	2	7	14.3	1.05

*Fuente:* (Gobernacion S. d., 2019)

El factor Lambda es medido únicamente en MEP, ya que en los motores de ciclo Diesel al trabajar con exceso de aire se tiene únicamente mezclas pobres.

## 1.8 DIAGNÓSTICO

Según: (Fuentes Covarrubias & Fuentes Covarrubias, 2013) el diagnóstico de fallas automotrices permite obtener un esquema de reparación gracias a la ayuda de un programa de computación inteligente que usa el conocimiento y procedimientos de inferencia para resolver un problema; logrando así reducir los tiempos de detección y reparación de fallas de la mayoría de marcas y modelos de automóviles del mundo.

El diagnóstico automotriz es el procedimiento con el cual se realiza un análisis sobre el funcionamiento de los componentes o sistemas de un automotor, puede usarse muchos instrumentos al momento de realizar un diagnóstico, pero todo depende del componente o sistema que se desee analizar (Reyes Cualchi, DIAGNÓSTICO DE MOTORES DIÉSEL ELECTRÓNICOS; BASE DE PRESIONES EN EL RIEL COMÚN; CRDI, 2018).

### 1.8.1 DIAGNÓSTICO DE FALLAS

El diagnóstico de fallas es el proceso de rastrear una falla por medio de sus síntomas, aplicando el conocimiento y analizando los resultados de las pruebas (Galar, Kumar, Galar, & Kumar, 2017). Para la obtención de la información del vehículo, es necesario contar con la ayuda de equipos que permitan evaluar en tiempo real lo que está sucediendo

en el mismo, esto se lo puede realizar por medio de un escáner automotriz, analizadores de gases de escape, entre otros.

### **1.8.2 OBD**

La evaluación del vehículo automotor mediante el sistema de diagnóstico a bordo para el caso de los vehículos estudiados en esta investigación no se toma en cuenta; debido a que en la normativa mexicana NOM-167-SEMARNAT 2017, establece que los vehículos automotores año modelo 2006 y posteriores que cuenten con OBD-II o EOBD o similar a éstos, cuyo peso bruto vehicular sea mayor a 400 kilogramos y hasta 3857 kilogramos, y que utilicen de origen gas natural o gasolina como combustible, deberán someterse al método de prueba a través del Sistema de Diagnóstico a Bordo (SDB).

### **1.8.3 EMISIONES DE GASES DE ESCAPE**

Se utiliza un analizador de gases de escape (Kane AUTOplus 5-2), que permite medir cinco gases que son: el porcentaje de Monóxido de Carbono (CO), el porcentaje de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), el porcentaje de oxígeno (O<sub>2</sub>), las partículas por millón de Hidrocarburos (HC) y las partículas por millón de óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>); por medio de una sonda que se introduce en el tubo de escape del vehículo y se asegura con un mecanismo de fijación para evitar que la sonda sea expulsada al exterior.

### **1.8.4 AFECTACIONES DEL MOTOR**

Los motores Diesel son transformadores de energía ampliamente utilizados en ingeniería y las condiciones de funcionamiento están estrechamente relacionadas con el rendimiento de los aparatos (Yang, Ming, Zhang, & Zhu, 2017). Sin embargo, debido a la compleja estructura y al duro entorno de trabajo, los motores Diesel están inclinados a descomponerse con alta probabilidad y las tecnologías de diagnóstico de fallas correspondientes han atraído mucha atención en las últimas décadas.

Se han desarrollado muchos métodos para diagnosticar las condiciones de los motores Diesel en este caso durante el desarrollo de esta investigación se utilizó el análisis de gases de escape para efectuar el diagnóstico del estado del motor y los sistemas que intervienen en el proceso de combustión de los diferentes vehículos con motor CRDi.

#### **1.8.4.1 Sistemas de inyección de combustible**

Los sistemas de inyección de combustible tienen una influencia significativa en el proceso de combustión y, por lo tanto, un papel clave que desempeñar para mejorar el consumo de combustible del motor y reducir las emisiones nocivas de escape.

Para comprender completamente los complejos eventos hidráulicos durante el proceso de inyección de combustible, el especialista dice que es esencial apreciar la función de todos los elementos (bomba eléctrica, filtro de combustible, bomba de alta presión, tubería de presión, válvula de combustible y boquilla) que forman el sistema de inyección.

Los sistemas de combustible continuarán teniendo que ser flexibles, especialmente con respecto a múltiples capacidades de inyección a medida que se reducen las cantidades de inyección en las inyecciones más pequeñas, también precisión de la inyección, con respecto a la velocidad y la repetibilidad de la apertura de la aguja y el cierre aumentará para garantizar que inyección a inyección e inyector a inyector la variabilidad se minimice; es probable que esto requiera sistemas que controlen la inyección, y la aguja de boquilla más directamente que algunos sistemas pesados actualmente (Daum, Gill, & Theissl, 2012).

Las presiones de inyección durante todo el proceso deben estar por encima de 1000–1200 Bar para una buena formación de pulverización y una mezcla de aire y combustible; se observa una tendencia en la práctica a 1600–1800 Bar y superior.

La duración total de la inyección debe ser de 20 ° del ángulo del cigüeñal o menos para lograr un tiempo de combustión mínimo para explotar la combustión retardada para reducir las emisiones de NOx sin pérdida de eficiencia. Es deseable una alta relación de compresión.

#### **1.8.4.2 Averías en los inyectores**

Un componente esencial del sistema Common rail es la unidad funcional llamada inyector. Realiza las características de inyección hidráulica y es ensamblado con la boquilla de inyección que representa la interfaz con la cámara de combustión (Majer, Janetzky, & Döll, 2012). La boquilla de inyección ejerce una influencia crucial en la mezcla, formación y atomización del combustible diésel en la cámara de combustión e influye significativamente en la tasa de inyección.

Los depósitos internos del inyector diésel son un fenómeno relativamente nuevo (Bennett, 2012). Tradicionalmente, los depósitos externos del inyector diésel (depósitos de coque) eran la causa principal de los problemas de rendimiento del inyector diésel. Sin embargo, a partir de 2005, los fabricantes europeos de equipos originales (OEM) identificaron un bajo nivel de adherencia del inyector relacionado con los depósitos internos del inyector. Se estaban formando depósitos en los componentes internos del inyector diésel. Cuando hay depósitos en los componentes móviles internos, pueden inhibir el funcionamiento correcto del inyector. El volumen y el tiempo de inyección de combustible pueden verse afectados, lo que resulta en pérdida de potencia, problemas de arranque en frío, motores en mal estado, retraso de aceleración y sin condiciones de arranque.

#### **1.8.4.3 Control de emisiones NO<sub>x</sub>**

La reducción de las emisiones de NO<sub>x</sub> del tubo de escape siempre parece problemática pero el éxito radica en comprender las químicas del óxido de nitrógeno tanto en la formación de NO<sub>x</sub> en el cilindro como en la destrucción del NO<sub>x</sub> del tratamiento posterior (Twigg, 2013).

Los desafíos de NO<sub>x</sub> más recientes involucran motores diésel, tecnologías como EGR y la inyección avanzada de combustible de alta presión Common rail que han reducido

significativamente los niveles de  $\text{NO}_x$  del motor y se han combinado con desarrollos de postratamiento, especialmente con amoníaco.

Los catalizadores SCR operan sorprendentemente, con una baja temperatura necesaria para su uso en automóviles diésel, han permitido niveles muy bajos de  $\text{NO}_x$  en el tubo de escape; los catalizadores SCR pueden usar el amoníaco generado durante la regeneración de la trampa de  $\text{NO}_x$ , y se están incorporando a los filtros de partículas diésel como una contribución para reducir el mantenimiento y el costo de los componentes.

#### **1.8.4.4 Afectaciones al motor**

El sistema de inyección Common Rail, presente en los vehículos analizados ha permitido reducir las emisiones de HC y CO, ya que se controla la cantidad de aire que ingresa al cilindro del motor y los componentes del sistema de inyección de combustible; y por ende la combustión no es eficiente quedarán residuos de Hidrocarburos no combustionados elevando así, el valor de HC y la falta de oxígeno producirá mezclas ricas que conlleva a un aumento de Monóxido de carbono (Acevedo Perez, shkiliova, & Boada Carranza, 2005).

Para evaluar alteraciones en los valores de CO en un motor MEC, con sistema de inyección Common Rail se debe analizar los siguientes componentes: filtro de aire, filtro de combustible, bomba eléctrica, válvula dosificadora de combustible, bomba de alta presión, riel común, inyectores, EGR; se evaluará el estado de cada componente ya que de esto depende la incidencia en la formación de monóxido de carbono, el cual es producido por una mezcla rica en el interior del motor, además por la falta de oxígeno que no permite las reacciones de oxidación necesarias para formar dióxido de carbono (Rajesh, Sundaram, Sivaganesan, Nagarajan, & Harikishore, 2019).

Para evaluar las alteraciones en los valores de HC en un motor MEC, con sistema de inyección Common Rail se debe analizar los siguientes componentes: bomba de alta presión, filtro de aire, filtro de combustible, rines del pistón, válvula dosificadora de combustible, turbo, guías de válvulas desgastadas, inyectores; se evaluará el estado de cada componente ya que de esto depende la incidencia en la formación de Hidrocarburos

no combustionados, los que son producidos por varios motivos entre ellos: un proceso de combustión de la mezcla aire-combustible que no es eficiente, produciéndose el apagado del frente de llama, mezclas heterogéneas, depósitos de combustible en los rines o paredes del cilindro, insuficiente pulverización del combustible creando gotas de combustible muy grandes que no se pueden combustionar(Li et al., 2018).

En cuanto a las emisiones de óxidos de nitrógeno serán medidos con la normativa en estado estático, ya que para el desarrollo de esta investigación es necesario conocer este valor para determinar si existen fugas de presión a través de los componentes mecánicos del motor; esto mostrará los siguientes componentes que deberán ser analizados si los valores de  $\text{NO}_x$  presentan variaciones: turbo, rines desgastados, guías de válvulas desgastadas, asientos de válvulas, EGR; si el valor de  $\text{NO}_x$  disminuye o aumenta se tiene problemas en estos componentes y deben ser revisados(Xu-guang, Hai-lang, Tao, & Zhi-qiang, 2012).

Analizando los componentes que sufren desgastes y que provocan el aumento en los valores de gases contaminantes se ha logrado recopilar esta información en la tabla 1.3 en donde se expresan los gases de escape ( $\text{CO}$ ,  $\text{HC}$  y  $\text{NO}_x$ ) frente a los componentes que inciden en la formación de gases de escape.

**Tabla 1.3** Afectaciones del motor según los gases de escape ( $\text{CO}$ ,  $\text{HC}$  o  $\text{NO}_x$ )

<b>GASES DE ESCAPE COMPONENTES</b>	<b>BOMBA ELÉCTRICA</b>	<b>FILTRO DE COMBUSTIBLE</b>	<b>BOMBA DE ALTA PRESIÓN</b>	<b>VÁLVULA DOSIFICADORA DE COMBUSTIBLE</b>	<b>RIEL COMÚN</b>	<b>INYECTORES</b>	<b>FILTRO DE AIRE</b>	<b>TURBO</b>	<b>RINES DESGASTADOS</b>	<b>GUÍAS DE VÁLVULAS DESGASTADAS</b>	<b>ASIENTOS DE VÁLVULAS</b>	<b>EGR</b>
<b>CO</b>	X	X	X	X	X	X	X				X	X
<b>HC</b>		X	X	X		X	X	X	X	X		
<b>NO<sub>x</sub></b>								X	X	X	X	X

#### **1.8.4.5 Revisión técnica vehicular**

La Revisión Técnica de Vehículos (RTV) tiene por objeto primordial garantizar las condiciones mínimas de seguridad de los vehículos basadas en los criterios de diseño y fabricación de estos (Transito, 2018). Además, permite comprobar el cumplimiento de la normativa técnica y que mantengan un nivel de emisiones contaminantes que no superen los límites máximos establecidos en la normativa vigente: INEN 2202, INEN 2203, INEN 2204, INEN 2207.

Un certificado de Revisión Técnica Vehicular es un documento emitido por un Centro de Revisión y Control Vehicular debidamente autorizado, en el que se consignan los resultados de la Revisión Técnica Vehicular de un vehículo automotor en particular y la calificación de dicha evaluación (Normalización, Reglamento Técnico Ecuatoriano RTE INEN 017:2008 CONTROL DE EMISIONES CONTAMINANTES DE FUENTES MÓVILES TERRESTRES, 2009).

Para acceder a la realización de la prueba en un centro autorizado se debe acceder a la página web de la entidad y seleccionar un cupo para cumplir con el proceso de Revisión Técnica Vehicular; en donde un técnico calificado realiza un conjunto inspecciones al vehículo evaluado con el fin de:

- Reducir las fallas mecánicas.
- Mejorar la seguridad vial.
- Mejorar la capacidad de operación del vehículo.
- Reducir las emisiones contaminantes.
- Comprobar la idoneidad de uso.

Con la implementación de un Centro de Revisión y Control Vehicular se llegará a garantizar las condiciones mínimas de seguridad de un vehículo motorizado (Orellana Monar, 2017). Que el vehículo cumpla con la normativa vigente sobre los límites máximos permitidos para la emisión de gases de escape, pueda realizar el proceso de matriculación y al finalizar el vehículo automotor pueda circular dentro del territorio nacional.

## **1.9 MANTENIMIENTO**

Un correcto mantenimiento de un vehículo automotor que utiliza diésel como combustible, es necesario debido a que es una actividad que garantiza la disponibilidad, adecuado funcionamiento, eficiencia energética y contribuye a la reducción de elementos contaminantes a través de los gases de escape.

Para llevar un control del mantenimiento es importante elaborar la planeación, programación y ejecución de las actividades que deberán realizarse (Medrano Márquez, González Ajuech, & Díaz de León Santiago, 2017). Dentro de esto se tendrá al mantenimiento preventivo y correctivo.

Los costos del mantenimiento representan una parte importante del costo total de la producción. Por ello el departamento que esté encargado de dicha actividad debe contar con técnicos calificados, que realicen las actividades programadas o que sean necesarias para que se reduzcan los tiempos de parada de un vehículo.

### **1.9.1 MANTENIMIENTO PREVENTIVO**

El mantenimiento preventivo consiste en la realización de un proceso planificado, constante, regular y proyectado sobre las recomendaciones que un fabricante de vehículos otorga al cliente con el objetivo de alargar la vida útil de su vehículo, reducir los casos de emergencias, minimizar el tiempo de parada, optimizar los recursos disponibles y contribuir con la reducción de consumo de combustible y emisión de gases de escape.

### **1.9.2 MANTENIMIENTO CORRECTIVO**

Consiste en una serie de actividades que se realizan cuando un equipo, máquina, bien o vehículo deja de cumplir con el servicio para el cual fue diseñado, lo que origina la interrupción de un proceso por ello se deben corregir o reparar los daños a medida que estos se vayan produciendo, minimizando así los costos producidos por el percance, debido a que no ha sido planificado.

### **1.9.3 PLAN DE MANTENIMIENTO**

Un plan de mantenimiento engloba cada actividad que se realiza para lograr una óptima fiabilidad del equipo, cuenta con un cronograma en el que se enlista los trabajos a la espera de realizarse, para dar solución a las necesidades de cada uno de los vehículos y se lo realice distribuyendo los recursos humanos disponibles de manera adecuada; lo que garantiza la máxima utilización de la mano de obra.

La programación de los trabajos de mantenimiento incluida la coordinación asociada con el responsable del equipo es el proceso mediante el cual se asignan los recursos designados y los niveles de habilidad necesarios para completar trabajos específicos (Kister & Hawkins, 2007). En otras palabras, el propósito de la programación es asegurar que los recursos, el personal y los materiales están disponibles en un momento y lugar específicos cuando también esté disponible la unidad en la que se realizará el trabajo.

## CAPÍTULO II

### 2 MATERIALES Y MÉTODOS

La presente investigación se basó en el de análisis de gases de escape por medio de pruebas experimentales no invasivas realizadas a diferentes vehículos CRDi, que utilizan diésel como combustible; en donde se analizaron dos casos: a) vehículo nuevo; b) vehículo con un kilometraje superior a 100 000 km. Las mediciones realizadas con la ayuda de un analizador de gases (Kane AUTOplus 5-2) en los dos casos fueron a diferentes horas en la mañana, medio día y tarde; en diferentes lugares de la provincia de Imbabura; durante un tiempo de 120 segundos donde se obtuvo de cada una de las pruebas datos de gases de escape como CO, CO<sub>2</sub>, HC, NO<sub>x</sub> y O<sub>2</sub>; y posteriormente se trabajó solo con 3 de estos gases CO, HC y NO<sub>x</sub> para realizar el diagnóstico del vehículo y obtener los resultados.

#### 2.1 MATERIALES

##### 2.1.1 SELECCIÓN DE VEHÍCULOS

Para efectuar esta investigación se utilizó vehículos con motores de combustión interna de encendido por compresión de diferentes modelos; los cuales tienen en común el sistema de inyección de combustible, que en este caso todos tienen el sistema de inyección Common Rail Direct inyection CRDi, el tipo de combustible utilizado y un kilometraje menor a 2 500 km; A continuación, se detalla las especificaciones técnicas de los vehículos que se utilizaron:

###### 2.1.1.1 Especificaciones técnicas del vehículo liviano (a)

Para realizar las mediciones de gases de escape se utilizó un vehículo marca Citroën, modelo C-ELYSÉE HDi 92 FEEL, con las especificaciones técnicas mostradas en la tabla 2.1.

**Tabla 2.1** Especificaciones técnicas C-ELYSÉE HDi 92 FEEL

<b>Tipo de motor</b>	Diesel, 4 cilindros en línea, turboalimentado
<b>Cilindrada</b>	1 560 cm <sup>3</sup>
<b>Potencia</b>	92 CV @ 4 000 rpm
<b>Par máximo</b>	230 Nm @ 1 750 rpm
<b>Velocidad máxima</b>	180 km/h
<b>Consumo</b>	4,3 litros/100 km (mixto)
<b>Peso en vacío</b>	1 090 kg

Fuente: (Citroën Argentina, 2019)

El vehículo antes descrito se constituye un elemento fundamental en el desarrollo de esta investigación, ya que permitió establecer los parámetros de funcionamiento de un vehículo liviano, cuando un motor se encuentra en perfectas condiciones debido a que se encontró con un kilometraje de 9,1 kilómetros como se muestra en la figura 2.1.

**Figura 2.1** Kilometraje del vehículo liviano (nuevo)

De igual forma se procedió a la toma de mediciones de un vehículo con las mismas características expresadas en la tabla 2.1 pero con la diferencia de que éste, presentaba un kilometraje superior a los 100 000 kilómetros; el vehículo liviano que sirvió para el análisis de gases de escape presentó un kilometraje de 183 488 kilómetros como se muestra en la siguiente figura 2.2.

**Figura 2.2** Kilometraje del vehículo liviano (usado)

### 2.1.1.2 Especificaciones técnicas del vehículo liviano (b)

Para realizar las mediciones de gases de escape se utilizó una camioneta doble cabina marca Chevrolet, modelo D-MAX CRDi 3.0 CD, con las especificaciones técnicas mostradas en la tabla 2.2.

**Tabla 2.2** Especificaciones técnicas D-MAX CRDi 3.0 CD

<b>Motor</b>	3.0 L Diesel CRDI
<b>Motorización c.c.</b>	2 999
<b>Válvulas</b>	16
<b>Potencia neta</b>	134 HP @ 3 600 rpm
<b>Torque</b>	294 Nm @ 1 400 – 3 000 rpm
<b>Alimentación</b>	CRDI
<b>Peso bruto vehicular</b>	2 950 kg

**Fuente:** (Chevrolet Ecuador, 2018)

El vehículo antes descrito se constituye un elemento fundamental en el desarrollo de esta investigación, ya que permitió establecer los parámetros de funcionamiento de un estado intermedio entre un vehículo liviano y un vehículo pesado, cuando su motor se encuentra en perfectas condiciones debido a que se encontró con un kilometraje de 2 360 kilómetros como se muestra en la figura 2.3.



**Figura 2.3** Kilometraje del vehículo liviano (b nuevo)

De igual forma se procedió a la toma de mediciones de un vehículo con las mismas características expresadas en la tabla 2.2 pero con la diferencia de que éste, presentaba un kilometraje superior a los 100 000 kilómetros; la camioneta que sirvió para el análisis de

gases de escape presentaba un kilometraje de 224 123 kilómetros como se muestra en la siguiente figura 2.4.



**Figura 2.4** Kilometraje del vehículo liviano (b usado)

### 2.1.1.3 Especificaciones técnicas del vehículo pesado (a)

Para realizar las mediciones de gases de escape se utilizó un vehículo marca HINO, modelo GH8JF7D-XG3, con las especificaciones técnicas mostradas en la tabla 2.3.

**Tabla 2.3** Especificaciones técnicas Hino GH8JF7D-XG3

<b>Motor</b>	Hino JOBE-WG
<b>Cilindraje</b>	7 684 c.c.
<b>Potencia máxima</b>	276 HP @ 2 500 rpm
<b>Torque máximo</b>	90 Nm @ 1 500 rpm
<b>Tipo</b>	Diesel, Turbocargado e intercooler
<b>Sistema de inyección</b>	Electrónica Riel común
<b>Norma de emisiones</b>	Euro 3
<b>Peso vacío</b>	5 195 kg

Fuente: (Hino, 2019)

El vehículo antes descrito se constituye un elemento fundamental en el desarrollo de esta investigación, ya que permitió establecer los parámetros de funcionamiento de un vehículo pesado en este caso se trata de un Hino GH serie 500, el cual se encontró en perfectas condiciones debido a que se encontraba con un kilometraje de 169 kilómetros como se muestra en la figura 2.5.



**Figura 2.5** Kilometraje del vehículo pesado serie 500 (nuevo)

De igual forma se procedió a la toma de mediciones de un vehículo con las mismas características expresadas en la tabla 2.3 pero con la diferencia de que éste, presentaba un kilometraje superior a los 100 000 kilómetros; el vehículo pesado que sirvió para el análisis de gases de escape presentó un kilometraje de 160 973 kilómetros como se muestra en la siguiente figura 2.6.



**Figura 2.6** Kilometraje del vehículo pesado serie 500 (usado)

#### 2.1.1.4 Especificaciones técnicas del vehículo pesado (b)

Para realizar las mediciones de gases de escape se utilizó un vehículo marca HINO, modelo SS1EKSA-VAX, con las especificaciones técnicas mostradas en la tabla 2.4.

**Tabla 2.4** Especificaciones técnicas Hino SS1EKSA-VAX

<b>Modelo</b>	SS1EKSA- 2 848
<b>Tipo</b>	Diesel, Turbocargado e intercooler
<b>Sistema de inyección</b>	Tipo control electrónico Riel Común con compensador
<b>Norma de control de emisiones</b>	Euro 3
<b>Potencia máxima</b>	473 HP @ 1 600- 1 800 rpm
<b>Torque máximo</b>	220 kgf.m @ 1 000- 1 500 rpm
<b>Cilindraje</b>	12 913 c.c.
<b>Peso vacío</b>	9 770 kg

Fuente: (MAVESA, 2019)

El vehículo antes descrito se constituye un elemento fundamental en el desarrollo de esta investigación, ya que permitió establecer los parámetros de funcionamiento de un vehículo pesado en este caso se trata de un Hino SS serie 700, el cual se encontraba en perfectas condiciones debido a que se encontró con un kilometraje de 136 kilómetros como se muestra en la figura 2.7.



**Figura 2.7** kilometraje del vehículo pesado serie 700 (nuevo)

De igual forma se procedió a la toma de mediciones de un vehículo con las mismas características expresadas en la tabla 2.4 pero con la diferencia de que éste, presentaba un kilometraje superior a los 100 000 kilómetros; el vehículo pesado que sirvió para el análisis de gases de escape presentaba un kilometraje de 214 884 kilómetros como se muestra en la siguiente figura 2.8.



**Figura 2.8** kilometraje del vehículo pesado serie 700 (usado)

### **2.1.2 ANALIZADOR DE GASES KANE AUTOPLUS 5-2**

El analizador de gases de escape Kane AUTOplus 5-2 permite analizar y determinar los valores correspondientes a la cantidad de gases contaminantes emitidos por una fuente móvil como lo es un vehículo de combustión interna de encendido por compresión que utilice diésel como combustible.

Este equipo de medición funciona de manera portátil, gracias a la ayuda de una batería interna. Es por ello que facilita la obtención de los valores de gases contaminantes de los diferentes vehículos en los que se realizó las pruebas; este equipo además permite medir por medio de sensores infrarrojos ubicados en su estructura interna y por los cuales circulan los gases que son succionados por una bomba, haciendo que los gases de escape que son compuestos por dos o más átomos diferentes absorban la radiación infrarroja de una forma única y característica lo que muestra en su pantalla el valor de cada uno de los gases contaminantes.



**Figura 2.9** Analizador de gases Kane AUTOplus 5-2

La figura 2.9 muestra al analizador de gases AUTOplus 5-2 utilizado para la medición de gases de escape, este analizador de gases permite al usuario medir: CO, HC, CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub> y NO<sub>x</sub>.

Además de estas funciones permite la conectividad inalámbrica gracias a su dispositivo Bluetooth que se conecta con la ayuda de un software extra, se puede tener el control en un dispositivo portátil o en una computadora, facilitando al usuario el manejo de sus funciones y permitirle guardar los datos de gases de escape obtenidos del vehículo evaluado; además se imprime los reportes de cada uno de los vehículos con solo ubicar una impresora inalámbrica en la parte superior del analizador y pulsar la opción imprimir.

#### **2.1.2.1 Ficha técnica del analizador de gases AUTOplus 5-2**

El analizador de gases Kane AUTOplus 5-2 presenta una serie de características y especificaciones que abarcan datos técnicos de funcionamiento del equipo de medición como se muestran en la tabla 2.5.

**Tabla 2.5** Datos técnicos analizador de gases AUTOplus 5-2

<b>Tiempo de calentamiento</b>	Menos de 2 minutos
<b>Uso en vehículos</b>	Gasolina, GLP, GNC y Diesel
<b>Puerto de conexión PC</b>	A través del puerto RS 232
<b>Registro de datos</b>	500 pruebas
<b>Dimensiones</b>	220 mm × 55 mm × 120 mm
<b>Peso</b>	1 kg
<b>Profundidad de inserción de sonda</b>	350 mm
<b>Diámetro de sonda</b>	15 mm
<b>Longitud de sonda</b>	4 m
<b>Temperatura de funcionamiento</b>	+5°C a +45°C
<b>Temperatura de almacenamiento</b>	Mínima: 0°C Máxima: +50°C
<b>Cargador de la batería</b>	Entrada: 100- 240 V frecuencia:47- 63 Hz Salida: 12 V DC
<b>Duración de la batería</b>	4 horas a carga completa

Fuente: ([www.kane.co.uk](http://www.kane.co.uk), n.d.)

### 2.1.2.2 Descripción de la estructura del equipo

El analizador de gases Kane AUTOplus 5-2 es un dispositivo que facilita la manipulación por parte de usuario al estar cubierto con un estuche de goma, presenta mucha versatilidad al ser portátil solo requiere que su batería esté con carga y se lo puede movilizar al lugar donde se encuentra el vehículo, permitiendo medir los diferentes gases de escape que son el objeto de estudio.

Dentro de la estructura del equipo éste presenta un teclado el cual permite encender el analizador de gases, seleccionar el menú de opciones y configuraciones que están instaladas en el software del equipo. Se pueden realizar varios ajustes o configuraciones previas a la toma de mediciones, como lo es la selección del tipo de combustible que utiliza el vehículo, los datos del vehículo evaluándose, la frecuencia entre cada muestra, además de otras opciones que permiten mejorar la calidad de las mediciones. A continuación, en la figura 2.10 se muestra la ubicación de los diferentes componentes del analizador de gases.



**Figura 2.10** Estructura del equipo

Fuente:(Gas, 2013)

### 2.1.2.3 Características del analizador de gases

El analizador de gases Kane AUTOplus 5-2 es un equipo que debe ser calibrado a presión y temperatura estándar, dentro de un ambiente limpio; esto quiere decir que se lo puede hacer fuera del área de trabajo o en un lugar alejado de las emisiones contaminantes emanadas por el vehículo que está siendo sometido a la prueba de diagnóstico.

Este analizador de gases para medir la cantidad en porcentaje de volumen (%V) o en partículas por millón (ppm) de los gases contaminantes emitidos por el vehículo, utiliza un sistema basado en radiación infrarroja (IR), a continuación, en la tabla 2.6 se detalla la exactitud de medición del equipo.

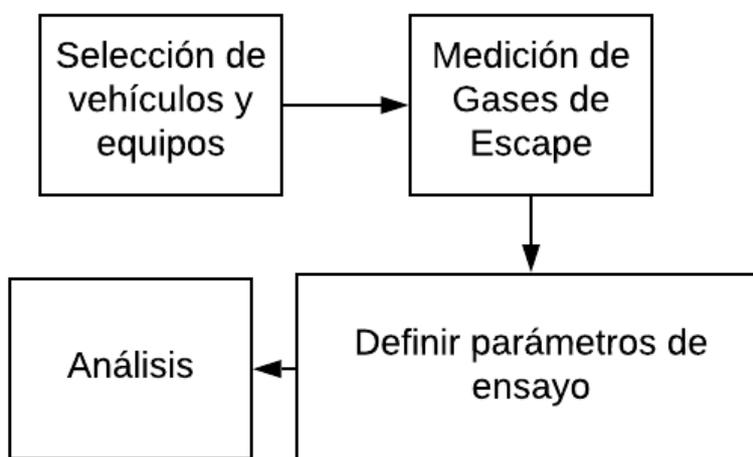
**Tabla 2.6** Características analizador de gases AUTOplus 5-2

Parámetro	Sensibilidad	Exactitud	Rango de medición
Monóxido de carbono	0,01 %	+/- 5% en lectura +/- 0,06 % en volumen	0- 10 %
Oxígeno	0,01 %	+/- 5 % en lectura +/- 0,1 % en volumen	0- 21%
Hidrocarburos	1 ppm	+/- 5 % en lectura +/- 12 ppm en volumen	0- 5 000 ppm
Dióxido de carbono	0,1 %	+/- 5 % en lectura +/- 0,5 % en volumen	0- 16 %
Óxidos de nitrógeno	1 ppm	0- 1 500 ppm +/- 5 % o 25 ppm	0- 1 500 ppm

Fuente:(Gas, 2013)

## 2.2 MÉTODOS

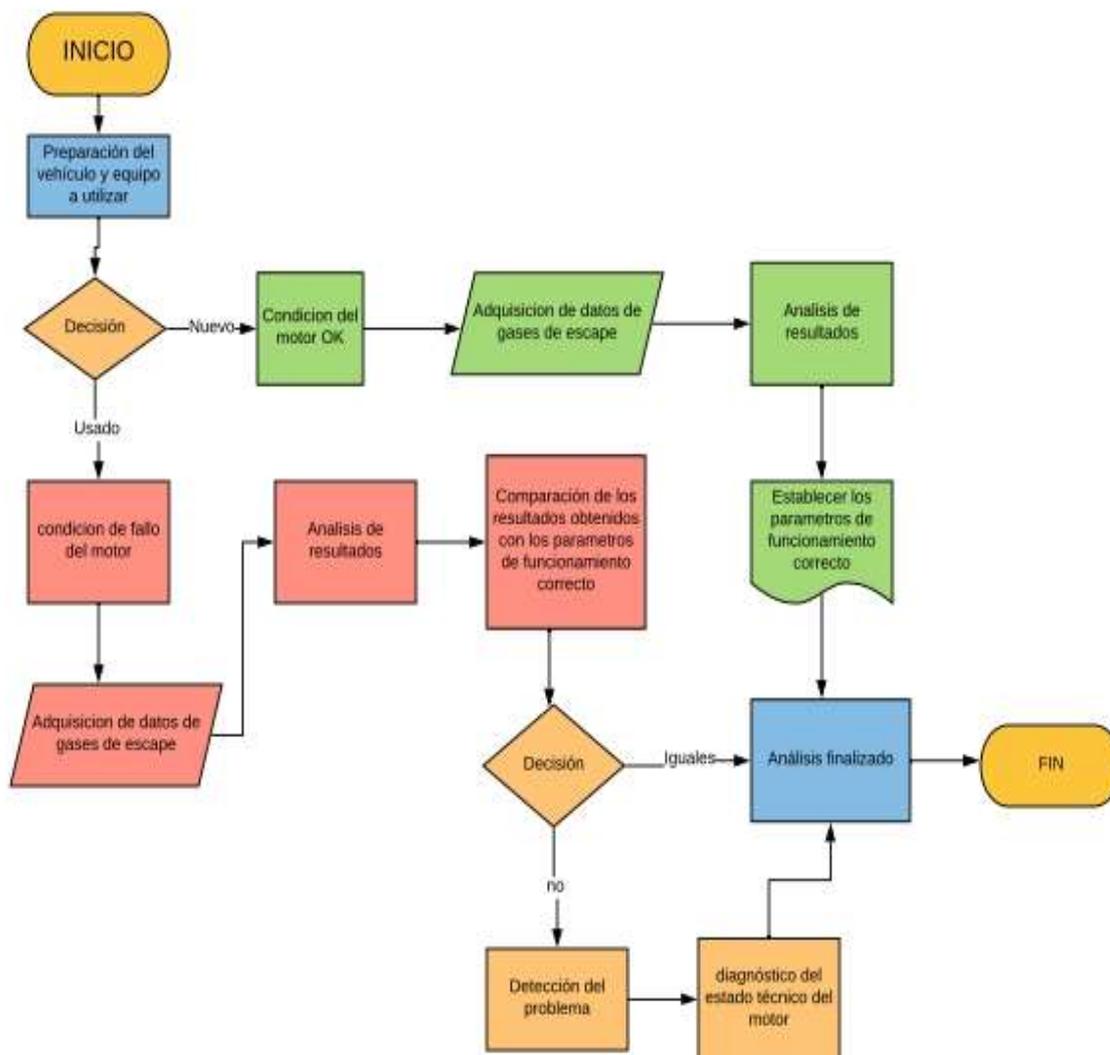
La presente investigación se basó en cuatro etapas que seleccionaron los vehículos y el equipo que se utilizó para la medición de gases de escape en estado estático; en diferentes lugares de la provincia de Imbabura en donde se contó con una variación de altitud y de temperatura según el sitio en el que se efectuó la toma de datos, para analizarlos y efectuar el plan de diagnóstico de motores Common Rail que utilizan diésel como combustible.

**Figura 2.11** Metodología

### 2.2.1 METODOLOGÍA DE DIAGNÓSTICO DE VEHÍCULOS MEDIANTE EMISIONES DE GASES DE ESCAPE

Con la ayuda del analizador de gases AUTOplus 5-2, se procedió a la adquisición de datos en los diferentes vehículos MEC, tomando en cuenta diferentes aspectos como son: la

temperatura de trabajo del vehículo que debe estar en el rango normal de funcionamiento 87 °C a 92°C aproximadamente; las condiciones climáticas y el régimen de trabajo del motor en la prueba de aceleración; cuando el vehículo se encuentre en estado estático.



**Figura 2.12** Metodología de diagnóstico por emisiones de gases de escape

Para realizar el diagnóstico del estado técnico del motor de un vehículo MEC- CRDi, a través del método de prueba en estado estático, utilizando la norma oficial mexicana NOM-047-SEMARNAT-2014, que establece las características del equipo y el procedimiento de medición para la verificación de los límites de emisión de contaminantes en estado estático, se empezó con la preparación del vehículo y también con el analizador de gases AUTOplus 5-2 en el lugar donde se realizó la adquisición de datos de gases de escape; el vehículo nuevo que presenta las características especificadas en su ficha técnica fue el primero en ser sometido a la prueba de análisis de gases donde

se obtuvieron los primeros valores los cuales son de alta confiabilidad, para utilizarlos como referencia de que los componentes del motor se encuentran en un excelente estado, finalizando así el análisis del vehículo (nuevo).

Se da inicio a la medición de gases de escape con el vehículo (usado) el cual presenta las mismas características mostradas en la ficha técnica del vehículo (nuevo), luego de que este haya sido preparado, es momento de adquirir los datos de gases de escape y proceder a comparar los datos obtenidos con los datos que fueron establecidos como parámetros de referencia cuando las condiciones del vehículo que está siendo evaluado se encontraban en perfecto estado; si este vehículo no presenta variación en los datos obtenidos finaliza el análisis; caso contrario, se procede a la detección del problema o problemas que estén presentes y alteren las condiciones de funcionamiento del motor para poder efectuar el diagnóstico del estado técnico del motor.

El equipo que ha sido utilizado para realizar las mediciones de la cantidad de contaminante emitido a la atmosfera ocasionados debido al funcionamiento de los motores de combustión interna de encendido por compresión; es el analizador de gases AUTOplus 5-2, que para determinar la cantidad exacta en porcentaje por volumen de un gas (% V) o en partes por millón (ppm), incorpora una sonda que es introducida en el tubo de escape del vehículo que se encuentra en estado de evaluación y diagnóstico.

## **2.2.2 MEDICIONES DE GASES DE ESCAPE EN ESTADO ESTÁTICO**

### **2.2.2.1 Especificación de los lugares para la toma de datos de emisiones**

La toma de datos de emisiones de gases de escape se desarrolló en diferentes lugares de la provincia de Imbabura, en donde se puede notar una leve variación en la altitud medida en m s n.m. y por ende la presión atmosférica reinante en la zona; a continuación, se especifican cada uno de los lugares donde se desarrolló la etapa de adquisición de datos provenientes de los gases emitidos por los vehículos en donde fueron desarrolladas las pruebas teniendo así, los siguientes cantones: Cotacachi, Urcuquí e Ibarra.

En el cantón de Santa Ana de Cotacachi, en la parroquia de Quiroga con sus coordenadas geográficas de una latitud Norte de  $0^{\circ} 16' 59.7''$ , una longitud al Oeste de  $78^{\circ} 17' 06.4''$ , teniendo una temperatura promedio de  $11^{\circ}\text{C}$  a  $22^{\circ}\text{C}$ , se encuentra a una altura de 2 462 m s n.m. y con una presión atmosférica de 101 280 Pascales; se desarrollaron las mediciones de gases de escape, este lugar cuenta con las siguientes condiciones climáticas especificadas a continuación en la tabla 2.7.

**Tabla 2.7** Condición atmosférica de Cotacachi, Quiroga

Ciudad	CONDICIÓN ATMOSFÉRICA			
	Presión atm.	Temperatura mínima	Temperatura máxima	Altura
Cotacachi, Quiroga	101,28 kPa	$11^{\circ}\text{C}$	$22^{\circ}\text{C}$	2 462 m s n.m.

**Fuente:** (Cedar Lake Ventures, 2019)

En el cantón de San Miguel de Urququí, en el GAD municipal de San Miguel de Urququí con sus coordenadas geográficas de una latitud Norte de  $0^{\circ} 25' 01.3''$ , una longitud al Oeste de  $78^{\circ} 11' 36.5''$ , teniendo una temperatura promedio de  $14^{\circ}\text{C}$  a  $19^{\circ}\text{C}$ , encontrándose a una altura de 2 307 m s n.m. y con una presión atmosférica de 101 090 Pascales; se desarrollaron las mediciones de gases de escape, este lugar cuenta con las siguientes condiciones climáticas especificadas a continuación en la tabla 2.8.

**Tabla 2.8** Condición atmosférica de San Miguel de Urququí

Ciudad	CONDICIÓN ATMOSFÉRICA			
	Presión atm.	Temperatura mínima	Temperatura máxima	Altura
Urququí	101,09 kPa	$14^{\circ}\text{C}$	$19^{\circ}\text{C}$	2 307 m s n.m.

**Fuente:** (Palacios Pazmiño, 2016)

En el cantón de San Miguel de Ibarra, en el sector de la Florida, con sus coordenadas geográficas de una latitud Norte de  $0^{\circ} 22' 22.9''$ , una longitud al Oeste de  $78^{\circ} 08' 51.4''$ , teniendo una temperatura promedio de  $13^{\circ}\text{C}$  a  $24^{\circ}\text{C}$ , encontrándose a una altura de 2 225 m s n.m. y con una presión atmosférica de 101 700 Pascales; se desarrollaron las mediciones de gases de escape, este lugar cuenta con las siguientes condiciones climáticas especificadas a continuación en la tabla 2.9.

**Tabla 2.9** Condición atmosférica de San Miguel de Ibarra

Ciudad	CONDICIÓN ATMOSFÉRICA			
	Presión atm.	Temperatura mínima	Temperatura máxima	Altura
Ibarra	101,7 kPa	13 °C	24 °C	2 225 m s n.m.

Fuente: (Lema Parra, 2019, pág. 60)

### 2.2.2.2 Horario establecido para la toma de datos de emisiones

Para los vehículos que fueron utilizados se estableció el mismo horario para la toma de datos de emisiones de gases de escape, en donde se ejecutaron tres pruebas diarias durante 2 días y se obtuvieron los datos tanto en ralentí como en la prueba a plena carga dependiendo del modelo y tipo de vehículo.

A continuación, en la tabla 2.10 se muestra el horario establecido para la toma de datos de emisiones de gases de escape, el número de datos obtenidos durante las pruebas de ralentí y de aceleración en estado estático, el régimen del motor al cual fue realizada la prueba de aceleración y el número de días que se realizaron las pruebas al vehículo liviano (a), marca Citroën, modelo C-ELYSEE HDi 92 FEEL.

**Tabla 2.10** Horario del vehículo liviano (a)

Horario	Día 1 vehículo nuevo/ usado	Día 2 vehículo nuevo/ usado	Temperatura promedio
07h00 - 09h00 am	24 datos de prueba a ralentí y 24 datos de prueba a 2 500 rpm	24 datos de prueba a ralentí y 24 datos de prueba a 2 500 rpm	7 °C
12h00 – 13h00 pm	24 datos de prueba a ralentí y 24 datos de prueba a 2 500 rpm	24 datos de prueba a ralentí y 24 datos de prueba a 2 500 rpm	21 °C
17h00 – 18h00 pm	24 datos de prueba a ralentí y 24 datos de prueba a 2 500 rpm	24 datos de prueba a ralentí y 24 datos de prueba a 2 500 rpm	8 °C

En la tabla 2.11 se muestra el horario establecido para la toma de datos de emisiones de gases de escape, el número de datos obtenidos durante las pruebas de ralentí y de aceleración en estado estático, el régimen del motor al cual fue realizada la prueba de aceleración y el número de días que se realizaron las pruebas al vehículo liviano (b), marca Chevrolet, modelo D-MAX CRDi 3.0 CD.

**Tabla 2.11** Horario del vehículo liviano (b)

<b>Horario</b>	<b>Día 1 vehículo nuevo/ usado</b>	<b>Día 2 vehículo nuevo/ usado</b>	<b>Temperatura promedio</b>
07h00 - 09h00 am	24 datos de prueba a ralentí y 24 datos de prueba a 2 500 rpm	24 datos de prueba a ralentí y 24 datos de prueba a 2 500 rpm	8 °C
12h00 – 13h00 pm	24 datos de prueba a ralentí y 24 datos de prueba a 2 500 rpm	24 datos de prueba a ralentí y 24 datos de prueba a 2 500 rpm	22 °C
17h00 – 18h00 pm	24 datos de prueba a ralentí y 24 datos de prueba a 2 500 rpm	24 datos de prueba a ralentí y 24 datos de prueba a 2 500 rpm	11 °C

En la siguiente tabla 2.12, se muestra el horario establecido para la toma de datos de emisiones de gases de escape, el número de datos obtenidos durante las pruebas de ralentí y de aceleración en estado estático, el régimen del motor al cual fue realizada la prueba de aceleración y el número de días que se realizaron las pruebas al vehículo pesado (a), marca HINO, modelo GH8JF7D-XG3.

**Tabla 2.12** Horario vehículo pesado (a)

<b>Horario</b>	<b>Día 1 vehículo nuevo/ usado</b>	<b>Día 2 vehículo nuevo/ usado</b>	<b>Temperatura promedio</b>
07h00 - 09h00 am	24 datos de prueba a ralentí y 24 datos de prueba a 2 000 rpm	24 datos de prueba a ralentí y 24 datos de prueba a 2 000 rpm	9 °C
12h00 – 13h00 pm	24 datos de prueba a ralentí y 24 datos de prueba a 2 000 rpm	24 datos de prueba a ralentí y 24 datos de prueba a 2 000 rpm	18 °C
17h00 – 18h00 pm	24 datos de prueba a ralentí y 24 datos de prueba a 2 000 rpm	24 datos de prueba a ralentí y 24 datos de prueba a 2 000 rpm	11 °C

La tabla 2.13 muestra el horario establecido para la toma de datos de emisiones de gases de escape, el número de datos obtenidos durante las pruebas de ralentí y de aceleración en estado estático, el régimen del motor al cual fue realizada la prueba de aceleración y el número de días que se realizaron las pruebas al vehículo pesado (b), marca HINO, modelo SS1EKSA-VAX

**Tabla 2.13** Horario vehículo pesado (b)

<b>Horario</b>	<b>Día 1 vehículo nuevo/ usado</b>	<b>Día 2 vehículo nuevo/ usado</b>	<b>Temperatura promedio</b>
07h00 - 09h00 am	24 datos de prueba a ralentí y 24 datos de prueba a 1 500 rpm	24 datos de prueba a ralentí y 24 datos de prueba a 1 500 rpm	7 °C
12h00 – 13h00 pm	24 datos de prueba a ralentí y 24 datos de prueba a 1 500 rpm	24 datos de prueba a ralentí y 24 datos de prueba a 1 500 rpm	24 °C
17h00 – 18h00 pm	24 datos de prueba a ralentí y 24 datos de prueba a 1 500 rpm	24 datos de prueba a ralentí y 24 datos de prueba a 1 500 rpm	12 °C

### **2.2.3 CÓMO UTILIZAR EL EQUIPO**

#### **2.2.3.1 Guía de inicio rápido del equipo**

El analizador de gases AUTOplus 5-2 es un equipo de fácil manejo, conexión e instalación previa a la obtención de datos; requiere que se conecte a una fuente de alimentación de 120 V para que su batería interna se proceda a cargar. La sonda que es utilizada es de fácil acople y desacople esto se lo realiza a través de una boquilla de conexión para la sonda de forma manual; dicha sonda debe estar libre de impurezas y obstáculos que impidan el ingreso de los gases de escape, se debe verificar que en la trampa de agua no exista presencia de agua o partículas de hollín.

#### **2.2.3.2 Encendido**

Después de verificar las condiciones iniciales del equipo se procede al encendido del analizador de gases a través del botón de encendido ubicado en el teclado del dispositivo, se presiona una vez y se espera que en 90 segundos se haya concluido con el proceso de calentamiento; durante ese tiempo el dispositivo debe tomar aire limpio del medio ambiente, por lo que se aconseja ubicarse lejos de la presencia de gases contaminantes emitidos por cualquier fuente productora de emisiones contaminantes.

### **2.2.3.3 Rutina para ajustar a cero el equipo**

Considerando la Norma Oficial Mexicana el ajuste a cero del equipo es un proceso automatizado de suministro al sistema de medición, de una mezcla de gas libre o con las siguientes cantidades mínimas conocidas establecidas de los componentes,  $O_2$  21.0 cmol/mol (%),  $CO \leq 0.06$  cmol/mol (%),  $CO_2 \leq 0.5$  cmol/mol (%),  $HC \leq 15$   $\mu$ mol/mol (ppm) y  $NO_x \leq 32$   $\mu$ mol/mol (ppm) con el objeto de restablecer la indicación del equipo de verificación al valor cero (condiciones iniciales o cero del equipo de medición).

El analizador de gases luego de estar operativo 15 minutos usándose continuamente, emitirá una señal auditiva para que se proceda a realizar el encerado del equipo, en este momento se procede a utilizar el botón de menú de opciones y ubicarse en manual Zero, realizar el encerado del equipo. En el momento que se está realizando esto, no se debe ubicar cerca del vehículo evaluado, ya que debe tomar aire fresco del ambiente para no alterar los valores de los sensores del analizador de gases. Si el dispositivo sigue encendido después de un tiempo de 30 minutos emitirá nuevamente una señal auditiva y se debe realizar el procedimiento antes descrito para el encerado del dispositivo.

### **2.2.3.4 Calibración de la frecuencia de muestreo**

Las mediciones de gases de escape se realizaron con una frecuencia de muestreo de 5 segundos entre cada valor que el analizador de gases AUTOplus 5-2 almacena en su memoria interna o en un documento de Microsoft Excel; para seleccionar el tiempo de la frecuencia de muestro se debe ubicar en el menú de opciones y desplazar hasta la opción de reportes en donde se configura el tiempo de auto guardado a 5 segundos.

### **2.2.3.5 Instrumentación Virtual**

Como material de apoyo se necesitó de un software adicional para poder emparejar al analizador de gases con la computadora personal, mediante una conexión inalámbrica vía bluetooth. El software es libre y su descarga se la realiza de la página oficial del proveedor del producto de manera ágil y rápida, está disponible únicamente para Windows; el

software configura automáticamente la pantalla según el producto Kane seleccionado, lo que permite al usuario ver las lecturas en tiempo real en su computadora personal; los datos en vivo se pueden guardar y almacenar en el PC como un archivo .CSV, que es el archivo estándar para importar y exportar datos.

#### **2.2.3.6 Mantenimiento del equipo**

Después de realizar la medición de gases de escape a un vehículo, se procedió a realizar una limpieza de la sonda, debido a que, en el interior de la manguera de la sonda se acumula diferentes contaminantes y sus productos, como es el caso de vapor de agua que se condensará y partículas de hollín, incluso en la línea de la trampa de agua se puede presentar vapor de agua condensado en forma de finas gotas de agua, por ello se debe retirar y vaciar la trampa de agua.

Como mantenimiento del equipo es recomendable realizar la eliminación de los datos almacenados en la memoria interna, ya que esta memoria permite almacenar 500 muestras y una vez ocupado todo el espacio empezará a salir una notificación en la pantalla del dispositivo.

### **2.2.4 PROCEDIMIENTO PARA LA MEDICIÓN DE GASES DE ESCAPE**

Una vez tomado en cuenta lo que dice la normativa mexicana sobre el procedimiento de medición a través de una prueba en estado estático; además se adapta a las necesidades de la investigación debido a que no existe una normativa nacional sobre el tema.

#### **2.2.4.1 Medidas de seguridad durante el uso**

El respirar emisiones de gases de escape de los vehículos durante un tiempo prolongado hace que el cuerpo humano se intoxique con emisiones contaminantes que pueden generar enfermedades a corto plazo o inclusive la muerte; esto hace que las medidas de seguridad estén siempre presentes, debido a esto el área de trabajo donde se realizan las diferentes

mediciones de gases de escape, debe presentar una área completamente ventilada y libre de espacios en donde se puedan almacenar los gases contaminantes.

Hay que tener en cuenta que el vehículo que está siendo analizado puede producir una lesión al operador al momento de realizar la prueba; por tal motivo antes de encender el vehículo debe estar seleccionado la marcha de neutro y accionado el freno de estacionamiento del mismo, con ello se impide su desplazamiento, cuando se esté trabajando con el vehículo.

Como medida de seguridad del analizador de gases tener siempre en cuenta de no exponerlo a temperaturas elevadas ya sea por estar mucho tiempo encendido o por ubicarlo en superficies calientes, la sonda que es introducida en el tubo de escape del vehículo debe ser retirada una vez que la prueba haya concluido, evitando que se pueda recalentar.

#### **2.2.4.2 Inicio de la prueba**

Para el desarrollo de la prueba de medición de gases de escape se requiere que el analizador de gases tenga batería suficiente para que no haya interrupciones al momento de realizar las pruebas, por ello se debe cargar el dispositivo con anticipación; presionar sobre el botón de encendido y esperar un tiempo de 90 segundos para que se muestre la pantalla principal, es importante realizar este procedimiento en un lugar donde el analizador de gases pueda tomar aire limpio del ambiente y que además en la parte posterior del mismo no exista obstáculos en la salida de aire de la bomba.

Cuando se realice la primera prueba con el analizador de gases AUTOplus 5-2 se debe proceder a la configuración del mismo, para esto utilizar el teclado y la información mostrada en la pantalla del equipo; configurar la fecha y hora, el lenguaje, que en este caso dentro de cuatro idiomas el de mayor afinidad es el inglés, seleccionar el tipo de combustible que utiliza el vehículo que está siendo analizado en este caso es diésel; configurar la pantalla del analizador con las características del vehículo analizado y la parte de los reportes en donde se requiere configurar el tiempo de guardado automático que se tendrá entre cada dato en una tabla de Excel.

Continuando con el siguiente paso, que consiste en establecer la conexión inalámbrica vía bluetooth entre el analizador de gases y la computadora personal con el programa KANE Live abierto, se procede a establecer la conexión entre el analizador de gases AUTOplus 5-2 y la computadora personal; esta conexión inalámbrica se la realiza por bluetooth.

Es posible que se deba emparejar el dispositivo usando la aplicación bluetooth en Windows y si se solicita un código de emparejamiento, se debe probar el código predeterminado: 1111. Después del emparejamiento en la aplicación, hacer clic sobre el botón connect y seleccionar el equipo AUTOplus 5-2 con esto finalizará la conexión del dispositivo.

Con el analizador de gases conectado con la computadora personal, comprobar si ha sido exitosa la conexión inalámbrica, para ello se debe ubicar sobre el botón Start y hacer clic sobre él, esto permite obtener datos reales de las mediciones del equipo en la pantalla del computador personal.

A continuación, en la figura 2.13 se observa la pantalla principal del software Kane Live una vez finalizado el proceso de emparejamiento, previo al inicio de la prueba de medición de gases de escape.



**Figura 2.13** Dispositivo enviando datos en tiempo real

Encender el vehículo y llevarlo a la temperatura normal de funcionamiento, comprendida entre 87 a 92 °C, dependiendo del modelo del vehículo el tiempo promedio que tarda en

estar en la temperatura óptima de funcionamiento oscilará entre los quince y veinte minutos luego de haber sido encendido, además como referencia se tomará en cuenta en el panel de instrumentos del vehículo que el medidor de temperatura se encuentre en la mitad donde indicará de forma visual una figura o una línea entre caliente y frío.

A partir de ese momento como se demuestra en la figura 2.14 se debe colocar la sonda dentro del tubo de escape del vehículo que está siendo diagnosticado. Después de colocar la sonda en el tubo de escape y que ésta quede bien asegurada por medio de un mecanismo de fijación de abrazadera, se puede dar inicio a la prueba.



**Figura 2.14** Colocación de la sonda en el tubo de escape

Proceder al encendido del analizador de gases AUTOplus 5-2, realizar el procedimiento antes descrito sobre el inicio de la prueba, tomar en cuenta las medidas de seguridad y realizar la toma de datos durante un tiempo de 120 segundos, cuando el vehículo se encuentre en ralentí.

Para realizar la prueba estática a un determinado régimen del motor establecido, de acuerdo con el tipo de vehículo que está siendo sometido a la prueba de análisis de gases y considerando que el vehículo se encuentra a plena carga; se determina que:

Para el vehículo liviano con el modelo C-ELYSEE HDi 92 FEEL, el número de revoluciones del motor se establecen en 2 500 rpm, ya que es un valor intermedio entre el par máximo y la potencia máxima; para el vehículo liviano (b) con el modelo D-MAX CRDi 3.0 CD el régimen del motor que se utilizó fue de 2 500 rpm; para el vehículo pesado (a); con el modelo GH8JF7D-XG3, HINO serie 500 el régimen del motor que se utilizó fue de 2 000 rpm debido a que este vehículo es de carga pesada y su torque y potencia máximos se alcanzan entre las 1 500 @ 2 000 rpm; finalmente, con el modelo

SS1EKSA-VAX se trabajó con un régimen del motor de 1 500 rpm, ya que en las especificaciones técnicas del vehículo dice que el torque y la potencia máxima se alcanza desde las 1 500 @ 1 800 rpm.

El tiempo de duración de la prueba es de 120 segundos tanto para la prueba a ralentí como para la prueba a un determinado número de revoluciones del motor, en este tiempo con la ayuda del analizador de gases AUTOplus 5-2 se obtuvieron los datos de cada uno de los gases medidos en cada uno de los vehículos.

### **2.2.4.3 Fin de la prueba**

En el transcurso de la prueba se necesitó la ayuda de un cronómetro con la finalidad de realizar la medición de los gases en un tiempo de 2 minutos, que se contó a partir del momento en que se presionó el botón de inicio en la pantalla principal del software Kane Live y se pulsó el botón stop cuando cumplió con el tiempo establecido.

Una vez que el tiempo de 120 segundos haya concluido, finaliza la prueba de medición y se procede al guardado de los datos obtenidos en ralentí. Se debió esperar un tiempo de 5 minutos en donde se realizará el ajuste a cero del equipo anteriormente ya descrito, la revisión visual de la sonda para comprobar que no exista presencia de partículas o vapor de agua condensado.

Después de esto se efectuó la prueba a diferentes revoluciones de cada uno de los vehículos, ya sea el vehículo (nuevo) o el vehículo (usado), para esta prueba el tiempo es de 120 segundos y las revoluciones deben permanecer estables durante toda la prueba. Se realizó el respectivo guardado de los datos obtenidos y se procedió a dejar el vehículo en ralentí con la finalidad de que se estabilice y elimine excesos de presión o temperatura, ya que ha estado sometido a plena carga durante el proceso de obtención de datos, una vez conseguido esto se procedió a apagar el vehículo.

## **2.2.5 MEDICIONES DE GASES DE ESCAPE**

Las pruebas de análisis de gases de escape se realizaron a vehículos nuevos; en las diferentes localidades ya expresadas con anterioridad en las tablas 2.7, 2.8, y 2.9, cumpliendo con el horario establecido para cada tipo de vehículo según las tablas 2.10, 2.11, 2.12 y 2.13; cumpliendo con la metodología utilizada durante la investigación basada en la norma oficial mexicana NOM-167-SEMARNAT-2017, la norma oficial mexicana NOM-047-SEMARNAT-2014 y las adaptaciones que se requirieron para el desarrollar la investigación.

### **2.2.5.1 Clasificación de los vehículos de prueba**

Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2656 establece la clasificación de los vehículos motorizados y no motorizados, identificados mediante características generales de diseño, uso y los clasifica de la siguiente manera.

Vehículos de categoría M1, se refiere a los vehículos automotores de cuatro ruedas o más diseñados y contruidos para el transporte de pasajeros, con capacidad no mayor a ocho plazas, sin contar el asiento del conductor (Servicio Ecuatoriano de Normalización, 2016). Dentro de esta categoría consta el vehículo liviano (a) marca Citroën modelo C-Elysée HDi 92 feel.

Vehículos de categoría N, se refiere a los vehículos motorizados de cuatro ruedas o más diseñados y contruidos para el transporte de mercancías.

Subcategoría N1, se tiene a los vehículos motorizados cuyo peso bruto vehicular no exceda de 3500 kg, se tiene al vehículo liviano (b) marca Chevrolet modelo D-MAX CRDI 3.0 doble cabina especialmente, diseñado para el transporte de carga y mercancías, con capacidad máxima de cinco plazas.

Subcategoría N2, se tiene a los vehículos cuyo peso bruto vehicular sea mayor de 3500 kg y no supere los 12 000 kg, diseñado para el transporte de carga y mercancías provisto de un chasis cabina, de dos ejes, al que se puede montar una estructura para transportar carga (furgón, plataforma, etc.) se tiene al vehículo pesado (a) dentro de esta subcategoría.

Subcategoría N3, se tiene a los vehículos cuyo peso bruto vehicular sea superior a los 12 000 kg, diseñado para apoyo y arrastre de unidades de carga, no autopropulsadas con dos, tres o cuatro ejes, el vehículo pesado (b) se encuentra en esta subcategoría

**Tabla 2.14** Clasificación de los vehículos de prueba

<b>Clasificación vehicular</b>	<b>Subcategoría</b>	<b>Tipo</b>	<b>Descripción</b>
Categoría M	M1	Sedan	Vehículo liviano (a) marca Citroën modelo C-Elysée HDi 92 Feel
Categoría N	N1	Camioneta doble cabina	Vehículo liviano (b) marca Chevrolet modelo D-MAX CRDI 3.0
	N2	Camión grande	Vehículo pesado (a) marca Hino modelo GH8JFD-XG3
	N3	Tracto camión	Vehículo pesado (b) marca Hino modelo SS1EKSA-VAX

### 2.2.5.2 Datos de pruebas vehículos (nuevos)

A continuación, en la siguiente tabla 2.15 se muestra los 24 datos obtenidos durante la prueba de medición de gases de escape, efectuada los días uno y dos al vehículo liviano (nuevo), marca Citroën modelo C-ELYSÉE HDi 92 FEEL, con la prueba realizada a ralentí en el horario de 07h00 - 09h00 am, en el cantón de San Miguel de Ibarra a 2 225 m s n.m.

**Tabla 2.15** Vehículo liviano (nuevo) a ralentí en la mañana

<b>Vehículo liviano modelo C-ELYSÉE HDi 92 (nuevo)</b>						
	GASES DE ESCAPE Día 1			GASES DE ESCAPE Día 2		
Dato N°	CO (%)	HC (ppm)	NOx (ppm)	CO (%)	HC (ppm)	NOx (ppm)
1	0,2	18	120	0,1	1	118
2	0,13	17	120	0,2	18	120
3	0,06	2	121	0,13	17	120
4	0,06	2	122	0,06	2	121
5	0,12	2	123	0,06	2	122
6	0,12	3	123	0,12	2	123
7	0,2	5	124	0,12	3	123
8	0,2	8	124	0,2	5	124
9	0,2	9	124	0,2	8	124
10	0,19	10	125	0,2	9	124
11	0,19	11	125	0,19	10	125
12	0,19	12	126	0,19	11	125
13	0,19	13	126	0,19	12	126
14	0,19	15	125	0,19	13	126
15	0,12	14	125	0,19	15	125
16	0,12	13	126	0,12	14	125
17	0,2	14	126	0,12	13	126
18	0,2	15	126	0,2	14	126
19	0,13	15	127	0,2	15	126
20	0,13	13	127	0,13	15	127
21	0,13	12	127	0,13	13	127
22	0,12	11	127	0,13	12	127
23	0,11	9	127	0,12	11	127
24	0,11	8	128	0,11	9	127
<b>Promedio</b>	<b>0,150</b>	<b>10,458</b>	<b>124,750</b>	<b>0,150</b>	<b>10,167</b>	<b>124,333</b>

La tabla 2.16 muestra los 24 datos obtenidos durante la prueba de medición de gases de escape, efectuada los días uno y dos al vehículo liviano (nuevo), marca Citroën modelo C-ELYSÉE HDi 92 FEEL, con la prueba realizada a ralentí en el horario de 12h00 – 13h00 pm, en el cantón de San Miguel de Ibarra a 2 225 m s n.m.

**Tabla 2.16** Vehículo liviano (nuevo) a ralentí medio día

<b>Vehículo liviano modelo C-ELYSÉE HDi 92 (nuevo)</b>						
	GASES DE ESCAPE Día 1			GASES DE ESCAPE Día 2		
Dato N°	CO (%)	HC (ppm)	NOx (ppm)	CO (%)	HC (ppm)	NOx (ppm)
1	0,1	2	166	0,09	2	189
2	0,1	3	174	0,08	1	190
3	0,09	2	179	0,08	1	189
4	0,02	2	183	0,07	1	189
5	0,01	1	184	0,06	1	189
6	0,01	0	184	0,05	1	189
7	0,1	2	186	0,04	2	189
8	0,1	3	187	0,04	1	188
9	0,09	2	188	0,03	1	189
10	0,02	2	188	0,04	1	188
11	0,01	1	188	0,04	1	188
12	0,01	1	188	0,11	1	188
13	0,01	1	187	0,01	2	188
14	0,01	1	188	0,01	1	188
15	0,01	0	188	0,01	1	188
16	0,01	0	188	0,01	1	188
17	0,1	1	188	0,09	1	188
18	0,17	2	188	0,17	1	188
19	0,17	3	188	0,1	1	188
20	0,1	3	188	0,11	2	188
21	0,09	2	189	0,11	3	188
22	0,09	2	189	0,03	3	188
23	0,08	1	190	0,03	2	189
24	0,08	1	189	0,02	2	189
<b>Promedio</b>	<b>0,065</b>	<b>1,583</b>	<b>185,625</b>	<b>0,059</b>	<b>1,417</b>	<b>188,458</b>

La tabla 2.17 muestra los 24 datos obtenidos durante la prueba de medición de gases de escape, efectuada los días uno y dos al vehículo liviano (nuevo), marca Citroën modelo C-ELYSÉE HDi 92 FEEL, con la prueba realizada a ralentí en el horario de 17h00 – 18h00 pm, en el cantón de San Miguel de Ibarra a 2 225 m s n.m.

**Tabla 2.17** Vehículo liviano (nuevo) a ralentí en la noche

<b>Vehículo liviano modelo C-ELYSÉE HDi 92 (nuevo)</b>						
	GASES DE ESCAPE Día 1			GASES DE ESCAPE Día 2		
Dato N°	CO (%)	HC (ppm)	NOx (ppm)	CO (%)	HC (ppm)	NOx (ppm)
1	0,13	12	127	0,19	12	126
2	0,12	11	127	0,19	13	126
3	0,11	9	127	0,19	15	125
4	0,11	8	128	0,12	14	125
5	0,11	8	128	0,12	13	126
6	0,19	10	128	0,2	14	126
7	0,19	13	128	0,2	15	126
8	0,19	14	128	0,13	15	127
9	0,18	15	128	0,13	13	127
10	0,18	15	128	0,13	12	127
11	0,17	14	129	0,12	11	127
12	0,16	14	129	0,11	9	127
13	0,16	29	129	0,11	8	128
14	0,16	29	129	0,11	8	128
15	0,17	29	129	0,19	10	128
16	0,18	28	129	0,19	13	128
17	0,18	26	129	0,19	14	128
18	0,17	24	129	0,18	15	128
19	0,17	22	129	0,18	15	128
20	0,17	22	129	0,17	14	129
21	0,16	21	130	0,16	14	129
22	0,15	19	130	0,16	29	129
23	0,15	18	129	0,16	29	129
24	0,15	17	130	0,17	29	129
<b>Promedio</b>	<b>0,158</b>	<b>17,792</b>	<b>128,58</b>	<b>0,158</b>	<b>14,75</b>	<b>127,333</b>

A continuación, en la siguiente tabla 2.18 se muestra los 24 datos obtenidos durante la prueba de medición de gases de escape, efectuada los días uno y dos al vehículo liviano (nuevo), marca Citroën modelo C-ELYSÉE HDi 92 FEEL, con la prueba realizada a un régimen del motor de 2 500 rpm, en el horario de 07h00 – 9h00 pm, en el cantón de San Miguel de Ibarra a 2 225 m s n.m.

**Tabla 2.18** Vehículo liviano (nuevo) a 2 500 rpm en la mañana

<b>Vehículo liviano modelo C-ELYSÉE HDi 92 (nuevo)</b>						
	GASES DE ESCAPE Día 1			GASES DE ESCAPE Día 2		
Dato N°	CO (%)	HC (ppm)	NOx (ppm)	CO (%)	HC (ppm)	NOx (ppm)
1	0,09	5	108	0,27	20	73
2	0,16	6	110	0,2	19	62
3	0,25	22	111	0,19	18	60
4	0,26	24	114	0,18	17	62
5	0,26	25	116	0,25	18	63
6	0,26	26	117	0,25	19	66
7	0,25	26	118	0,26	20	68
8	0,18	25	119	0,25	20	71
9	0,18	9	121	0,25	21	73
10	0,11	8	123	0,25	22	76
11	0,05	6	125	0,17	21	79
12	0,12	6	127	0,16	20	81
13	0,13	7	128	0,17	19	82
14	0,12	7	129	0,18	19	85
15	0,04	5	131	0,11	4	88
16	0,03	4	132	0,11	4	90
17	0,03	3	133	0,18	6	92
18	0,04	3	135	0,26	22	96
19	0,11	2	133	0,25	22	98
20	0,18	4	135	0,09	6	101
21	0,19	6	150	0,09	6	102
22	0,18	8	144	0,1	6	104
23	0,17	9	142	0,09	5	106
24	0,09	8	143	0,09	5	108
<b>promedio</b>	<b>0,145</b>	<b>10,583</b>	<b>126,833</b>	<b>0,183</b>	<b>14,958</b>	<b>82,750</b>

La siguiente tabla 2.19 muestra los 24 datos obtenidos durante la prueba de medición de gases de escape, efectuada los días uno y dos al vehículo liviano (nuevo), marca Citroën modelo C-ELYSÉE HDi 92 FEEL, con la prueba realizada a un régimen del motor de 2 500 rpm, en el horario de 12h00 – 13h00 pm, en el cantón de San Miguel de Ibarra a 2 225 m s n.m.

**Tabla 2.19** Vehículo liviano (nuevo) a 2 500 rpm medio día

<b>Vehículo liviano modelo C-ELYSÉE HDi 92 (nuevo)</b>						
	GASES DE ESCAPE Día 1			GASES DE ESCAPE Día 2		
Dato N°	CO (%)	HC (ppm)	NOx (ppm)	CO (%)	HC (ppm)	NOx (ppm)
1	0,02	3	143	0,1	1	127
2	0,01	4	144	0,11	2	126
3	0,01	0	146	0,1	2	124
4	0,01	1	147	0,09	1	126
5	0,01	3	148	0,02	1	130
6	0,14	5	149	0,18	1	133
7	0,15	19	150	0,19	15	132
8	0,21	19	151	0,2	16	130
9	0,14	18	151	0,2	15	131
10	0,13	5	152	0,19	15	132
11	0,05	4	153	0,12	14	133
12	0,04	3	154	0,14	5	149
13	0,03	2	155	0,15	19	150
14	0,02	2	157	0,21	19	151
15	0,02	1	158	0,14	18	151
16	0,01	1	158	0,13	5	152
17	0,01	1	159	0,05	4	153
18	0,08	1	160	0,16	16	161
19	0,09	1	161	0,16	15	162
20	0,16	16	161	0,11	0	126
21	0,16	15	162	0,11	0	135
22	0,08	0	162	0,11	2	133
23	0,08	0	163	0,17	9	142
24	0,14	1	165	0,09	8	143
<b>Promedio</b>	<b>0,075</b>	<b>5,208</b>	<b>154,542</b>	<b>0,135</b>	<b>8,458</b>	<b>138,833</b>

La siguiente tabla 2.20 muestra los 24 datos obtenidos durante la prueba de medición de gases de escape, efectuada los días uno y dos al vehículo liviano (nuevo), marca Citroën modelo C-ELYSÉE HDi 92 FEEL, con la prueba realizada a un régimen del motor de 2 500 rpm, en el horario de 17h00 – 18h00 pm, en el cantón de San Miguel de Ibarra a 2 225 m s n.m.

**Tabla 2.20** Vehículo liviano (nuevo) a 2 500 rpm en la noche

<b>Vehículo liviano modelo C-ELYSÉE HDi 92 (nuevo)</b>						
	GASES DE ESCAPE Día 1			GASES DE ESCAPE Día 2		
Dato N°	CO (%)	HC (ppm)	NOx (ppm)	CO (%)	HC (ppm)	NOx (ppm)
1	0,16	20	81	0,25	18	63
2	0,17	19	82	0,25	19	66
3	0,18	19	85	0,26	20	68
4	0,11	4	88	0,25	20	71
5	0,11	4	90	0,25	21	73
6	0,18	6	92	0,25	22	76
7	0,26	22	96	0,17	21	79
8	0,25	22	98	0,16	20	81
9	0,09	6	101	0,17	19	82
10	0,09	6	102	0,18	19	85
11	0,1	6	104	0,11	4	88
12	0,09	5	106	0,11	4	90
13	0,09	5	108	0,18	6	92
14	0,16	6	110	0,26	22	96
15	0,25	22	111	0,25	22	98
16	0,26	24	114	0,09	6	101
17	0,26	25	116	0,09	6	102
18	0,26	26	117	0,1	6	104
19	0,25	26	118	0,09	5	106
20	0,18	25	119	0,09	5	108
21	0,18	9	121	0,16	6	110
22	0,11	8	123	0,25	22	111
23	0,05	6	125	0,26	24	114
24	0,12	6	127	0,26	25	116
<b>Promedio</b>	<b>0,165</b>	<b>13,625</b>	<b>105,583</b>	<b>0,187</b>	<b>15,083</b>	<b>90,833</b>

A continuación, en la siguiente tabla 2.21 se muestra los 24 datos obtenidos durante la prueba de medición de gases de escape, efectuada los días uno y dos al vehículo liviano (b nuevo), marca Chevrolet, modelo D-MAX CRDi 3.0 CD, con la prueba realizada a ralentí en el horario de 07h00 - 09h00 am, en el cantón San Miguel de Urququí a 2 307 m s n.m.

**Tabla 2.21** Vehículo liviano (b nuevo) a ralentí en la mañana

<b>Vehículo liviano modelo D-MAX CRDi 3.0 CD (nuevo)</b>						
	GASES DE ESCAPE Día 1			GASES DE ESCAPE Día 2		
Dato N°	CO (%)	HC (ppm)	NOx (ppm)	CO (%)	HC (ppm)	NOx (ppm)
1	0,18	36	143	0	5	213
2	0,11	36	143	0	5	213
3	0,11	34	144	0,01	7	214
4	0,1	32	145	0,01	8	214
5	0,09	30	144	0,08	21	214
6	0,02	13	145	0,09	23	215
7	0,01	12	145	0,1	25	215
8	0,02	28	145	0,1	26	216
9	0,09	29	145	0,1	26	216
10	0,09	29	145	0,1	26	216
11	0,08	44	145	0,01	23	216
12	0,08	44	145	0,01	10	217
13	0,08	42	144	0,01	9	217
14	0,07	28	145	0	9	217
15	0,06	28	145	0,01	9	216
16	0,05	25	145	0,1	11	216
17	0,04	23	145	0,1	13	215
18	0,03	4	146	0,01	13	216
19	0,03	4	146	0,01	11	217
20	0,02	5	145	0,01	10	217
21	0,02	5	145	0,01	8	216
22	0,01	7	145	0	7	217
23	0,01	8	145	0	7	217
24	0,01	10	146	0	7	217
<b>Promedio</b>	<b>0,059</b>	<b>23,167</b>	<b>144,833</b>	<b>0,036</b>	<b>13,292</b>	<b>215,708</b>

La siguiente tabla 2.22 muestra los 24 datos obtenidos durante la prueba de medición de gases de escape, efectuada los días uno y dos al vehículo liviano (b nuevo), marca Chevrolet, modelo D-MAX CRDi 3.0 CD, con la prueba realizada a ralentí en el horario de 12h00 – 13h00 pm, en el cantón San Miguel de Urucú a 2 307 m s n.m.

**Tabla 2.22** Vehículo liviano (b nuevo) a ralenti medio día

<b>Vehículo liviano modelo D-MAX CRDi 3.0 CD (nuevo)</b>						
	GASES DE ESCAPE Día 1			GASES DE ESCAPE Día 2		
Dato N°	CO (%)	HC (ppm)	NOx (ppm)	CO (%)	HC (ppm)	NOx (ppm)
1	0,02	5	124	0,14	2	195
2	0,02	4	126	0,22	3	195
3	0,01	3	126	0,15	4	194
4	0,01	2	127	0,08	4	194
5	0,01	2	126	0,08	4	194
6	0,01	2	126	0,08	21	195
7	0,08	3	126	0,09	23	195
8	0,15	20	126	0	23	195
9	0,16	21	127	0	11	195
10	0,16	21	128	0	9	195
11	0,14	19	128	0	7	195
12	0,13	17	128	0	5	195
13	0,13	16	127	0	2	208
14	0,12	14	127	0,07	4	209
15	0,11	11	128	0,08	17	209
16	0,11	11	128	0,07	17	209
17	0,11	11	128	0	2	209
18	0,11	11	128	0	2	209
19	0,1	11	128	0,07	19	209
20	0,04	10	129	0,07	19	210
21	0,04	8	129	0,07	5	210
22	0,11	8	129	0,06	5	210
23	0,11	8	128	0,06	5	210
24	0,1	8	128	0,06	4	209
<b>Promedio</b>	<b>0,087</b>	<b>10,250</b>	<b>127,292</b>	<b>0,060</b>	<b>9,042</b>	<b>202,000</b>

La siguiente tabla 2.23 muestra los 24 datos obtenidos durante la prueba de medición de gases de escape, efectuada los días uno y dos al vehículo liviano (b nuevo), marca Chevrolet, modelo D-MAX CRDi 3.0 CD, con la prueba realizada a ralenti en el horario de 17h00 – 18h00 pm, en el cantón San Miguel de Urucuí a 2 307 m s n.m.

**Tabla 2.23** Vehículo liviano (b nuevo) a ralentí en la noche

<b>Vehículo liviano modelo D-MAX CRDi 3.0 CD (nuevo)</b>						
	GASES DE ESCAPE Día 1			GASES DE ESCAPE Día 2		
Dato N°	CO (%)	HC (ppm)	NOx (ppm)	CO (%)	HC (ppm)	NOx (ppm)
1	0,07	20	186	0,02	2	157
2	0,08	20	186	0,02	2	156
3	0,08	20	188	0,02	2	155
4	0,1	21	188	0,01	1	155
5	0,11	23	188	0,01	1	155
6	0,1	23	188	0,01	1	156
7	0,03	22	188	0,01	1	156
8	0,03	19	188	0,07	1	156
9	0,1	19	188	0,08	2	156
10	0,2	33	189	0,01	2	156
11	0,1	32	189	0,01	2	156
12	0,09	17	189	0,02	3	157
13	0,09	17	189	0,03	4	157
14	0,08	16	189	0,04	4	157
15	0	1	189	0,04	5	157
16	0	1	190	0,04	5	157
17	0,08	3	190	0,04	5	157
18	0,08	15	190	0,03	4	158
19	0,01	1	190	0,02	3	158
20	0,01	1	190	0,02	2	157
21	0,01	1	189	0,02	2	156
22	0,01	15	189	0,01	1	157
23	0,09	16	189	0,01	1	157
24	0,1	18	190	0,01	1	157
<b>Promedio</b>	<b>0,069</b>	<b>15,583</b>	<b>188,708</b>	<b>0,025</b>	<b>2,375</b>	<b>156,500</b>

A continuación, en la siguiente tabla 2.24 se muestra los 24 datos obtenidos durante la prueba de medición de gases de escape, efectuada los días uno y dos al vehículo liviano (b nuevo), marca Chevrolet, modelo D-MAX CRDi 3.0 CD, con la prueba realizada a un régimen del motor de 2 500 rpm, en el horario de 07h00 - 09h00 am, en el cantón San Miguel de Urququí a 2 307 m s n.m.

**Tabla 2.24** Vehículo liviano (nuevo) a 2 500 rpm en la mañana

<b>Vehículo liviano modelo D-MAX CRDi 3.0 CD (nuevo)</b>						
Dato N°	GASES DE ESCAPE Día 1			GASES DE ESCAPE Día 2		
	CO (%)	HC (ppm)	NOx (ppm)	CO (%)	HC (ppm)	NOx (ppm)
1	0,18	24	71	0,1	7	117
2	0,11	23	72	0,17	22	112
3	0,11	21	72	0,18	22	110
4	0,1	20	72	0,26	38	109
5	0,1	19	72	0,26	38	110
6	0,1	19	72	0,25	39	109
7	0,18	34	74	0,25	38	109
8	0,18	35	74	0,25	36	109
9	0,11	21	72	0,25	35	108
10	0,27	51	76	0,25	34	107
11	0,27	51	75	0,26	34	107
12	0,28	52	74	0,16	19	107
13	0,29	52	74	0,09	4	107
14	0,29	53	75	0,08	4	107
15	0,29	54	74	0,08	4	107
16	0,29	54	74	0,07	3	108
17	0,23	53	75	0	2	109
18	0,16	38	75	0,17	22	108
19	0,17	37	74	0,26	23	109
20	0,17	37	75	0,18	23	109
21	0,21	39	75	0,17	23	110
22	0,18	36	76	0,18	23	111
23	0,18	36	76	0,25	25	112
24	0,19	38	76	0,25	28	111
<b>Promedio</b>	<b>0,193</b>	<b>37,375</b>	<b>73,958</b>	<b>0,184</b>	<b>22,750</b>	<b>109,250</b>

La siguiente tabla 2.25 muestra los 24 datos obtenidos durante la prueba de medición de gases de escape, efectuada los días uno y dos al vehículo liviano (b nuevo), marca Chevrolet, modelo D-MAX CRDi 3.0 CD, con la prueba realizada a un régimen del motor de 2 500 rpm, en el horario de 12h00 – 13h00 pm, en el cantón San Miguel de Urucuí a 2 307 m s n.m.

**Tabla 2.25** Vehículo liviano (nuevo) a 2 500 rpm medio día

<b>Vehículo liviano modelo D-MAX CRDi 3.0 CD (nuevo)</b>						
Dato N°	GASES DE ESCAPE Día 1			GASES DE ESCAPE Día 2		
	CO (%)	HC (ppm)	NOx (ppm)	CO (%)	HC (ppm)	NOx (ppm)
1	0,01	0	89	0,08	16	109
2	0,01	0	85	0,08	15	109
3	0,08	0	80	0,06	12	109
4	0,1	0	74	0,06	12	109
5	0,11	2	75	0,05	11	109
6	0,12	4	76	0,05	13	109
7	0,12	5	77	0,04	15	110
8	0,12	5	76	0,05	16	110
9	0,12	5	76	0,12	17	109
10	0,13	6	75	0,12	15	109
11	0,13	6	76	0,11	12	109
12	0,14	6	76	0,18	11	110
13	0,13	6	75	0,19	11	110
14	0,13	6	75	0,07	11	110
15	0,14	8	76	0,15	9	113
16	0,14	8	76	0,14	7	113
17	0,14	8	76	0,14	8	114
18	0,06	6	76	0,01	5	110
19	0,06	5	77	0,17	5	109
20	0,06	4	76	0,17	18	109
21	0,06	4	76	0,18	19	109
22	0,06	3	77	0,11	18	109
23	0,13	4	77	0	2	110
24	0,19	18	77	0,07	2	111
<b>Promedio</b>	<b>0,104</b>	<b>4,958</b>	<b>77,042</b>	<b>0,100</b>	<b>11,667</b>	<b>109,917</b>

La siguiente tabla 2.26 muestra los 24 datos obtenidos durante la prueba de medición de gases de escape, efectuada los días uno y dos al vehículo liviano (b nuevo), marca Chevrolet, modelo D-MAX CRDi 3.0 CD, con la prueba realizada a un régimen del motor de 2 500 rpm, en el horario de 17h00 – 18h00 pm, en el cantón San Miguel de Urucuí a 2 307 m s n.m.

**Tabla 2.26** Vehículo liviano (nuevo) a 2 500 rpm en la noche

<b>Vehículo liviano modelo D-MAX CRDi 3.0 CD (nuevo)</b>						
	GASES DE ESCAPE Día 1			GASES DE ESCAPE Día 2		
Dato N°	CO (%)	HC (ppm)	NOx (ppm)	CO (%)	HC (ppm)	NOx (ppm)
1	0,17	6	89	0,21	4	84
2	0,17	7	89	0,13	4	84
3	0,09	6	89	0,12	3	85
4	0,09	5	89	0,12	3	86
5	0,09	4	89	0,19	5	86
6	0,08	3	89	0,19	7	87
7	0,01	3	88	0,12	7	87
8	0,02	2	88	0,12	7	87
9	0,1	3	89	0,19	8	86
10	0,11	4	89	0,19	9	87
11	0,11	5	89	0,19	9	87
12	0,1	4	88	0,12	7	87
13	0,1	3	88	0,11	6	86
14	0,02	2	87	0,1	5	86
15	0,02	2	87	0,1	4	86
16	0,01	2	88	0,12	5	85
17	0,01	1	88	0,12	5	85
18	0,08	1	88	0,2	18	85
19	0,08	1	88	0,28	19	85
20	0,09	1	88	0,27	20	85
21	0,1	3	88	0,19	20	85
22	0,11	5	89	0,18	18	86
23	0,1	5	89	0,09	4	87
24	0,09	4	89	0,08	3	87
<b>Promedio</b>	<b>0,081</b>	<b>3,417</b>	<b>88,417</b>	<b>0,155</b>	<b>8,333</b>	<b>85,875</b>

A continuación, en la siguiente tabla 2.27 se muestra los 24 datos obtenidos durante la prueba de medición de gases de escape, efectuada los días uno y dos al vehículo pesado (a nuevo), marca Hino, modelo GH8JF7D-XG3, con la prueba realizada a ralenti en el horario de 07h00 - 09h00 am, en el cantón de San Miguel de Ibarra a 2 225 m s n.m.

**Tabla 2.27** Vehículo pesado (a nuevo) ralenti en la mañana

<b>Vehículo pesado (a) modelo GH8JF7D-XG3 (nuevo)</b>						
	GASES DE ESCAPE Día 1			GASES DE ESCAPE Día 2		
Dato N°	CO (%)	HC (ppm)	NOx (ppm)	CO (%)	HC (ppm)	NOx (ppm)
1	0,08	3	216	0,04	3	215
2	0,07	3	217	0,04	4	217
3	0,07	2	218	0,04	3	216
4	0,07	2	217	0,03	3	217
5	0,07	2	217	0,04	4	217
6	0,06	1	218	0,11	17	217
7	0,07	1	216	0,1	16	217
8	0,07	1	215	0,04	14	217
9	0,07	1	215	0,04	14	217
10	0,07	2	216	0,05	14	217
11	0,08	3	218	0,12	14	216
12	0	3	218	0,12	15	216
13	0	3	218	0,13	16	216
14	0	2	217	0,13	17	216
15	0	2	216	0,12	17	217
16	0,01	1	214	0,04	2	215
17	0,01	1	215	0,04	2	215
18	0,02	1	215	0,03	2	216
19	0,02	1	216	0,02	2	217
20	0,03	2	217	0,03	8	219
21	0,03	3	217	0,03	7	219
22	0,03	2	217	0,11	8	219
23	0,02	2	218	0,12	10	219
24	0,03	2	216	0,12	13	218
<b>Promedio</b>	<b>0,041</b>	<b>1,917</b>	<b>216,542</b>	<b>0,070</b>	<b>9,375</b>	<b>216,875</b>

La siguiente tabla 2.28 muestra los 24 datos obtenidos durante la prueba de medición de gases de escape, efectuada los días uno y dos al vehículo pesado (a nuevo), marca Hino, modelo GH8JF7D-XG3, con la prueba realizada a ralenti en el horario de 12h00 – 13h00 pm, en el cantón de San Miguel de Ibarra a 2 225 m s n.m.

**Tabla 2.28** Vehículo pesado (a nuevo) ralenti medio día

<b>Vehículo pesado (a) modelo GH8JF7D-XG3 (nuevo)</b>						
	GASES DE ESCAPE Día 1			GASES DE ESCAPE Día 2		
Dato N°	CO (%)	HC (ppm)	NOx (ppm)	CO (%)	HC (ppm)	NOx (ppm)
1	0,1	2	219	0,02	1	221
2	0,11	4	219	0,01	1	220
3	0,04	5	218	0,01	1	219
4	0,03	4	219	0,01	2	220
5	0,02	3	219	0,02	2	220
6	0,02	2	220	0,11	1	221
7	0,01	2	220	0,12	4	222
8	0,01	1	220	0,06	4	221
9	0,09	2	220	0,05	4	221
10	0,1	3	220	0,04	3	219
11	0,11	5	221	0,03	2	219
12	0,11	7	220	0,03	2	220
13	0,11	7	219	0,02	1	221
14	0,11	8	219	0,08	1	219
15	0,04	7	219	0,08	1	220
16	0,04	6	219	0,07	1	221
17	0,03	4	219	0,08	2	220
18	0,02	3	220	0,08	2	219
19	0,02	3	220	0	2	219
20	0,01	2	220	0	1	220
21	0,02	2	220	0,07	1	220
22	0,11	1	221	0,08	1	220
23	0,12	4	222	0,08	1	220
24	0,06	4	221	0,07	1	219
<b>Promedio</b>	<b>0,060</b>	<b>3,792</b>	<b>219,750</b>	<b>0,051</b>	<b>1,750</b>	<b>220,042</b>

La siguiente tabla 2.29 muestra los 24 datos obtenidos durante la prueba de medición de gases de escape, efectuada los días uno y dos al vehículo pesado (a nuevo), marca Hino, modelo GH8JF7D-XG3, con la prueba realizada a ralenti en el horario de 17h00 – 18h00 pm, en el cantón de San Miguel de Ibarra a 2 225 m s n.m.

**Tabla 2.29** Vehículo pesado (a nuevo) ralentí en la noche

<b>Vehículo pesado (a) modelo GH8JF7D-XG3 (nuevo)</b>						
Dato N°	GASES DE ESCAPE Día 1			GASES DE ESCAPE Día 2		
	CO (%)	HC (ppm)	NOx (ppm)	CO (%)	HC (ppm)	NOx (ppm)
1	0,07	2	217	0	2	214
2	0,06	2	218	0,08	1	213
3	0,06	3	218	0,08	1	213
4	0,06	4	218	0,02	1	214
5	0,05	5	219	0,02	1	214
6	0,04	5	219	0,01	1	213
7	0,04	5	218	0,02	1	213
8	0,03	4	218	0,08	1	212
9	0,02	3	218	0,17	2	211
10	0,02	3	220	0,17	14	211
11	0,01	2	220	0,17	13	212
12	0,01	2	220	0,16	11	213
13	0,01	2	220	0,09	8	213
14	0,01	3	220	0,08	7	214
15	0,01	3	220	0,08	6	214
16	0,01	2	221	0,07	5	214
17	0,01	2	222	0,08	5	215
18	0,01	1	222	0,09	6	214
19	0,01	1	221	0,1	7	215
20	0,01	2	221	0,1	7	214
21	0,01	1	218	0,1	6	214
22	0,01	1	218	0,1	6	214
23	0,01	1	218	0,11	7	214
24	0,01	1	218	0,12	9	214
<b>Promedio</b>	<b>0,025</b>	<b>2,500</b>	<b>219,250</b>	<b>0,088</b>	<b>5,333</b>	<b>213,417</b>

A continuación, en la siguiente tabla 2.30 se muestra los 24 datos obtenidos durante la prueba de medición de gases de escape, efectuada los días uno y dos al vehículo pesado (a nuevo), marca Hino, modelo GH8JF7D-XG3, con la prueba realizada a un régimen del motor de 2 000 rpm, en el horario de 07h00 - 09h00 am, en el cantón de San Miguel de Ibarra a 2 225 m s n.m.

**Tabla 2.30** Vehículo pesado (a nuevo) 2 000 rpm en la mañana

<b>Vehículo pesado (a) modelo GH8JF7D-XG3 (nuevo)</b>						
	GASES DE ESCAPE Día 1			GASES DE ESCAPE Día 2		
Dato N°	CO (%)	HC (ppm)	NOx (ppm)	CO (%)	HC (ppm)	NOx (ppm)
1	0,16	18	136	0,08	5	123
2	0,17	18	131	0,07	4	124
3	0,18	20	125	0,07	3	123
4	0,26	22	125	0,07	2	122
5	0,26	25	127	0,06	2	123
6	0,26	26	126	0,06	1	123
7	0,25	26	126	0,06	1	124
8	0,16	25	125	0,06	1	125
9	0,15	9	125	0,07	1	125
10	0,09	8	124	0,07	1	124
11	0,09	8	124	0,16	2	124
12	0,09	8	124	0,22	17	124
13	0,09	7	124	0,14	4	124
14	0,09	6	125	0,13	4	125
15	0,08	6	125	0,14	4	125
16	0,09	6	125	0,21	6	125
17	0,18	8	126	0,21	7	125
18	0,18	21	126	0,2	8	125
19	0,18	21	127	0,13	9	124
20	0,05	3	127	0,13	9	125
21	0,04	2	128	0,13	8	124
22	0,11	3	129	0,12	7	124
23	0,11	4	128	0,12	7	124
24	0,04	3	129	0,2	8	124
<b>Promedio</b>	<b>0,140</b>	<b>12,625</b>	<b>126,542</b>	<b>0,121</b>	<b>5,042</b>	<b>124,083</b>

La siguiente tabla 2.31 muestra los 24 datos obtenidos durante la prueba de medición de gases de escape, efectuada los días uno y dos al vehículo pesado (a nuevo), marca Hino, modelo GH8JF7D-XG3, con la prueba realizada a un régimen del motor de 2 000 rpm, en el horario de 12h00 – 13h00 pm, en el cantón de San Miguel de Ibarra a 2 225 m s n.m.

**Tabla 2.31** Vehículo pesado (a nuevo) 2 000 rpm medio día

<b>Vehículo pesado (a) modelo GH8JF7D-XG3 (nuevo)</b>						
	GASES DE ESCAPE Día 1			GASES DE ESCAPE Día 2		
Dato N°	CO (%)	HC (ppm)	NOx (ppm)	CO (%)	HC (ppm)	NOx (ppm)
1	0,1	4	129	0,04	2	240
2	0,1	7	128	0,04	2	246
3	0,18	21	129	0,05	3	196
4	0,18	20	129	0,06	4	176
5	0,1	5	129	0,06	5	159
6	0,17	18	129	0,15	6	153
7	0,09	17	130	0,15	8	151
8	0,09	2	130	0,14	7	150
9	0,08	2	129	0,13	7	150
10	0,08	2	130	0,05	6	148
11	0,09	3	130	0,12	5	143
12	0,16	17	131	0,12	6	139
13	0,24	31	131	0,04	6	135
14	0,23	30	131	0,04	5	131
15	0,15	16	131	0,04	4	129
16	0,08	14	131	0,03	3	129
17	0,09	13	132	0,03	2	129
18	0,18	13	133	0,03	2	129
19	0,18	14	133	0,03	1	129
20	0,18	14	133	0,03	1	130
21	0,19	28	133	0,02	1	130
22	0,2	29	133	0,09	1	130
23	0,2	28	133	0,09	2	131
24	0,12	16	133	0,1	3	130
<b>Promedio</b>	<b>0,144</b>	<b>15,167</b>	<b>130,833</b>	<b>0,070</b>	<b>3,833</b>	<b>150,542</b>

La siguiente tabla 2.32 muestra los 24 datos obtenidos durante la prueba de medición de gases de escape, efectuada los días uno y dos al vehículo pesado (a nuevo), marca Hino, modelo GH8JF7D-XG3, con la prueba realizada a un régimen del motor de 2 000 rpm, en el horario de 17h00 – 18h00 pm, en el cantón de San Miguel de Ibarra a 2 225 m s n.m.

**Tabla 2.32** Vehículo pesado (a nuevo) 2 000 rpm en la noche

<b>Vehículo pesado (a) modelo GH8JF7D-XG3 (nuevo)</b>						
	GASES DE ESCAPE Día 1			GASES DE ESCAPE Día 2		
Dato N°	CO (%)	HC (ppm)	NOx (ppm)	CO (%)	HC (ppm)	NOx (ppm)
1	0,09	3	218	0,1	7	125
2	0,08	5	177	0,16	8	125
3	0,01	5	163	0,16	9	126
4	0,01	3	152	0,15	8	127
5	0,01	3	145	0,14	8	127
6	0,02	2	138	0,14	10	128
7	0,03	2	133	0,14	11	129
8	0,03	1	129	0,14	11	129
9	0,02	1	127	0,13	11	129
10	0,02	1	126	0,06	10	130
11	0,02	1	125	0	3	130
12	0,01	1	125	0,01	2	131
13	0,08	0	125	0,01	2	131
14	0,08	2	124	0,02	2	131
15	0,09	4	124	0,1	3	131
16	0,09	4	125	0,04	3	132
17	0,09	4	125	0,03	2	132
18	0,09	4	126	0,03	2	132
19	0,09	5	126	0,02	1	132
20	0,1	7	125	0,02	1	133
21	0,16	8	125	0,01	1	133
22	0,16	9	126	0,09	1	132
23	0,15	8	127	0,09	3	131
24	0,14	8	127	0,1	5	130
<b>Promedio</b>	<b>0,070</b>	<b>3,792</b>	<b>135,958</b>	<b>0,079</b>	<b>5,167</b>	<b>129,833</b>

A continuación, en la siguiente tabla 2.33 se muestra los 24 datos obtenidos durante la prueba de medición de gases de escape, efectuada los días uno y dos al vehículo (pesado b nuevo), marca Hino, modelo SS1EKSA-VAX, con la prueba realizada a ralenti en el horario de 07h00 - 09h00 am, en el cantón de San Miguel de Ibarra a 2 225 m s n.m.

**Tabla 2.33** Vehículo pesado (b nuevo) a ralentí en la mañana

<b>Vehículo pesado (b) modelo SS1EKSA-VAX (nuevo)</b>						
	GASES DE ESCAPE Día 1			GASES DE ESCAPE Día 2		
Dato N°	CO (%)	HC (ppm)	NOx (ppm)	CO (%)	HC (ppm)	NOx (ppm)
1	0,01	1	212	0,01	2	210
2	0,01	1	212	0,01	2	212
3	0,01	1	213	0,01	2	213
4	0,02	1	212	0,01	2	213
5	0,02	1	211	0	2	213
6	0,02	1	211	0	2	204
7	0,02	1	211	0	3	193
8	0,01	0	211	0,01	5	184
9	0,01	0	211	0,01	6	195
10	0,01	1	201	0,01	5	207
11	0	2	190	0,01	4	210
12	0	4	182	0,01	3	212
13	0	4	194	0,01	3	212
14	0	4	205	0,01	4	212
15	0	4	208	0,01	5	212
16	0	5	211	0,02	8	203
17	0	6	211	0,02	10	189
18	0,01	20	211	0,02	12	186
19	0,02	20	210	0,02	12	201
20	0,02	18	209	0,01	12	207
21	0,02	17	194	0,01	11	211
22	0,02	16	184	0,01	8	212
23	0,02	3	194	0,01	7	213
24	0,02	3	203	0	6	213
<b>Promedio</b>	<b>0,011</b>	<b>5,583</b>	<b>204,625</b>	<b>0,010</b>	<b>5,667</b>	<b>205,708</b>

La siguiente tabla 2.34 muestra los 24 datos obtenidos durante la prueba de medición de gases de escape, efectuada los días uno y dos al vehículo pesado (b nuevo), marca Hino, modelo SS1EKSA-VAX, con la prueba realizada a ralentí en el horario de 12h00 – 13h00 pm, en el cantón de San Miguel de Ibarra a 2 225 m s n.m.

**Tabla 2.34** Vehículo pesado (b nuevo) a ralentí medio día

<b>Vehículo pesado (b) modelo SS1EKSA-VAX (nuevo)</b>						
	GASES DE ESCAPE Día 1			GASES DE ESCAPE Día 2		
Dato N°	CO (%)	HC (ppm)	NOx (ppm)	CO (%)	HC (ppm)	NOx (ppm)
1	0	2	258	0,01	18	215
2	0	1	265	0,01	17	219
3	0	1	256	0,01	4	233
4	0	1	249	0,01	3	239
5	0	1	248	0	3	240
6	0	1	248	0,01	5	241
7	0	1	248	0,01	7	241
8	0	1	247	0,01	7	242
9	0	1	247	0	8	243
10	0	15	256	0	8	239
11	0,01	16	245	0	9	233
12	0,02	17	223	0	9	226
13	0,01	16	221	0	11	223
14	0,01	2	235	0	13	221
15	0,01	1	250	0	12	218
16	0,01	1	252	0	11	208
17	0	1	247	0	9	193
18	0	1	245	0	8	196
19	0	1	245	0	9	210
20	0	1	245	0	25	214
21	0	1	245	0,08	25	217
22	0	1	244	0,01	25	218
23	0	1	244	0,01	23	218
24	0	3	244	0,01	22	218
<b>Promedio</b>	<b>0,003</b>	<b>3,667</b>	<b>246,125</b>	<b>0,008</b>	<b>12,125</b>	<b>223,542</b>

La siguiente tabla 2.35 muestra los 24 datos obtenidos durante la prueba de medición de gases de escape, efectuada los días uno y dos al vehículo pesado (b nuevo), marca Hino, modelo SS1EKSA-VAX, con la prueba realizada a ralentí en el horario de 17h00 – 18h00 pm, en el cantón de San Miguel de Ibarra a 2 225 m s n.m.

**Tabla 2.35** Vehículo pesado (b nuevo) a ralentí en la noche

<b>Vehículo pesado (b) modelo SS1EKSA-VAX (nuevo)</b>						
	GASES DE ESCAPE Día 1			GASES DE ESCAPE Día 2		
Dato N°	CO (%)	HC (ppm)	NOx (ppm)	CO (%)	HC (ppm)	NOx (ppm)
1	0	22	225	0,02	28	220
2	0	24	224	0,01	27	221
3	0	25	224	0,01	26	221
4	0	25	225	0,01	27	222
5	0	25	224	0,01	29	222
6	0	39	223	0,01	45	222
7	0,07	40	223	0,02	46	221
8	0,07	42	223	0,02	46	221
9	0,07	44	223	0,03	47	221
10	0	43	222	0,03	47	220
11	0	30	222	0,02	47	205
12	0	14	222	0,02	45	190
13	0	12	221	0,01	44	193
14	0	13	221	0,01	29	204
15	0	29	221	0,01	27	214
16	0	29	222	0,01	26	218
17	0	29	221	0,03	47	220
18	0	28	217	0,01	28	219
19	0	28	199	0,01	43	218
20	0	41	190	0,01	44	219
21	0	42	196	0,01	45	220
22	0,02	44	210	0,01	45	220
23	0,02	45	217	0,01	44	220
24	0,02	44	219	0,03	47	220
<b>Promedio</b>	<b>0,011</b>	<b>31,542</b>	<b>218,083</b>	<b>0,015</b>	<b>38,708</b>	<b>216,292</b>

A continuación, en la siguiente tabla 2.36 se muestra los 24 datos obtenidos durante la prueba de medición de gases de escape, efectuada los días uno y dos al vehículo pesado (b nuevo), marca Hino, modelo SS1EKSA-VAX, con la prueba realizada a un régimen del motor de 1 500 rpm, en el horario de 07h00 - 09h00 am, en el cantón de San Miguel de Ibarra a 2 225 m s n.m.

**Tabla 2.36** Vehículo pesado (b nuevo) a 1 500 rpm en la mañana

<b>Vehículo pesado (b) modelo SS1EKSA-VAX (nuevo)</b>						
	GASES DE ESCAPE Día 1			GASES DE ESCAPE Día 2		
Dato N°	CO (%)	HC (ppm)	NOx (ppm)	CO (%)	HC (ppm)	NOx (ppm)
1	0,01	4	274	0,01	4	191
2	0	4	249	0,01	5	196
3	0,01	6	225	0,07	21	204
4	0,02	7	211	0,08	22	208
5	0,02	8	204	0,08	21	214
6	0,02	7	209	0,01	7	221
7	0,01	7	218	0,01	6	215
8	0,01	5	219	0,01	5	200
9	0,01	4	218	0	5	194
10	0,01	4	210	0,01	6	197
11	0,01	3	199	0,01	6	204
12	0,01	4	195	0,01	6	208
13	0,03	6	204	0,01	5	214
14	0,03	7	227	0,07	16	217
15	0,02	6	227	0,07	15	217
16	0,02	5	220	0,06	14	217
17	0,01	4	215	0,06	13	217
18	0,01	3	198	0,05	12	212
19	0,01	4	191	0,05	12	200
20	0,01	5	196	0,04	12	195
21	0,07	21	204	0,03	33	193
22	0,08	22	208	0,03	31	197
23	0,08	21	214	0,02	11	208
24	0,01	7	221	0,02	9	213
<b>Promedio</b>	<b>0,022</b>	<b>7,250</b>	<b>214,833</b>	<b>0,034</b>	<b>12,375</b>	<b>206,333</b>

La siguiente tabla 2.37 muestra los 24 datos obtenidos durante la prueba de medición de gases de escape, efectuada los días uno y dos al vehículo pesado (b nuevo), marca Hino, modelo SS1EKSA-VAX, con la prueba realizada a un régimen del motor de 1 500 rpm, en el horario de 12h00 – 13h00 pm, en el cantón de San Miguel de Ibarra a 2 225 m s n.m.

**Tabla 2.37** Vehículo pesado (b nuevo) a 1 500 rpm medio día

<b>Vehículo pesado (b) modelo SS1EKSA-VAX (nuevo)</b>						
	GASES DE ESCAPE Día 1			GASES DE ESCAPE Día 2		
Dato N°	CO (%)	HC (ppm)	NOx (ppm)	CO (%)	HC (ppm)	NOx (ppm)
1	0,07	25	261	0,02	19	196
2	0,07	27	247	0,01	19	192
3	0,07	28	226	0,02	21	196
4	0,06	27	213	0,02	23	211
5	0,05	25	197	0,02	21	226
6	0,04	23	197	0,02	20	223
7	0,03	21	209	0,01	18	217
8	0,02	19	213	0,01	17	216
9	0,02	18	214	0,01	16	214
10	0,02	16	214	0,01	17	213
11	0,01	15	213	0,02	31	207
12	0,01	15	220	0,03	32	198
13	0,02	33	219	0,03	33	193
14	0,09	33	212	0,03	31	197
15	0,02	32	199	0,02	11	208
16	0,01	19	193	0,02	9	213
17	0,01	19	197	0,01	7	213
18	0,02	20	206	0,01	22	214
19	0,01	20	212	0,01	23	215
20	0,02	21	214	0,01	24	215
21	0,09	37	214	0,01	24	214
22	0,09	37	214	0,01	24	206
23	0,03	37	213	0,01	22	199
24	0,02	21	211	0,01	20	193
<b>Promedio</b>	<b>0,038</b>	<b>24,500</b>	<b>213,667</b>	<b>0,016</b>	<b>21,000</b>	<b>207,875</b>

La siguiente tabla 2.38 muestra los 24 datos obtenidos durante la prueba de medición de gases de escape, efectuada los días uno y dos al vehículo pesado (b nuevo), marca Hino, modelo SS1EKSA-VAX, con la prueba realizada a un régimen del motor de 1 500 rpm, en el horario de 17h00 – 18h00 pm, en el cantón de San Miguel de Ibarra a 2 225 m s n.m.

**Tabla 2.38** Vehículo pesado (b nuevo) a 1 500 rpm en la noche

<b>Vehículo pesado (b) modelo SS1EKSA-VAX (nuevo)</b>						
	GASES DE ESCAPE Día 1			GASES DE ESCAPE Día 2		
Dato N°	CO (%)	HC (ppm)	NOx (ppm)	CO (%)	HC (ppm)	NOx (ppm)
1	0,07	24	270	0,06	51	195
2	0,07	26	237	0,02	51	203
3	0,06	28	222	0,01	50	206
4	0,05	30	203	0,01	36	214
5	0,04	32	190	0,01	35	210
6	0,03	33	187	0,01	35	211
7	0,07	4	221	0,06	35	210
8	0,07	3	217	0,06	52	205
9	0,06	2	212	0,01	52	194
10	0,05	2	202	0,01	51	188
11	0,04	1	197	0,01	37	184
12	0,03	1	203	0,04	36	190
13	0,02	1	212	0,03	35	201
14	0,02	1	214	0,02	36	203
15	0,07	15	217	0,07	53	205
16	0,06	14	217	0,07	53	207
17	0,01	19	200	0,06	53	209
18	0,01	18	210	0,05	52	206
19	0,02	17	212	0,04	50	201
20	0,09	16	213	0,03	37	190
21	0,02	16	213	0,02	36	182
22	0,01	18	215	0,02	35	191
23	0,01	18	215	0,01	34	199
24	0,02	4	209	0,01	33	200
<b>Promedio</b>	<b>0,042</b>	<b>14,292</b>	<b>212,833</b>	<b>0,031</b>	<b>42,833</b>	<b>200,167</b>

### 2.2.5.3 Datos de pruebas vehículos (usados)

Las pruebas de análisis de gases de escape se realizaron a vehículos con kilometrajes superiores a 100 000 km; en las diferentes localidades ya expresadas con anterioridad en las tablas 2.7, 2.8, y 2.9, cumpliendo con el horario establecido para cada tipo de vehículo según las tablas 2.10, 2.11, 2.12 y 2.13; cumpliendo con la metodología utilizada durante la investigación basada en la norma oficial mexicana NOM-167-SEMARNAT-2017, la norma oficial mexicana NOM-047-SEMARNAT-2014 y las adaptaciones que se requirieron para el desarrollar la investigación.

A continuación, en la siguiente tabla 2.39 se muestra los 24 datos obtenidos durante la prueba de medición de gases de escape, efectuada los días uno y dos al vehículo liviano (usado), marca Citroën modelo C-ELYSÉE HDi 92 FEEL, con la prueba realizada a ralentí en el horario de 07h00 - 09h00 am, en el cantón de San Miguel de Ibarra a 2 225 m s n.m.

**Tabla 2.39** Vehículo liviano (usado) a ralentí en la mañana

<b>Vehículo liviano modelo C-ELYSÉE HDi 92 (usado)</b>						
	GASES DE ESCAPE Día 1			GASES DE ESCAPE Día 2		
Dato N°	CO (%)	HC (ppm)	NOx (ppm)	CO (%)	HC (ppm)	NOx (ppm)
1	0,16	9	121	0,09	6	119
2	0,16	10	122	0,09	6	120
3	0,07	9	122	0,08	4	120
4	0,08	8	122	0,08	4	121
5	0,15	10	122	0,09	5	120
6	0,15	11	122	0,09	5	120
7	0,15	13	123	0,09	6	121
8	0,16	15	123	0,09	7	121
9	0,09	14	124	0,16	9	121
10	0,01	12	124	0,16	10	122
11	0,02	10	124	0,07	9	122
12	0,01	8	124	0,08	8	122
13	0,02	6	123	0,15	10	122
14	0,09	7	123	0,15	11	122
15	0,15	21	123	0,15	13	123
16	0,16	23	124	0,16	15	123
17	0,15	23	124	0,09	14	124
18	0,15	23	125	0,01	12	124
19	0,07	22	125	0,02	10	124
20	0,06	8	125	0,01	8	124
21	0,13	9	125	0,02	6	123
22	0,14	24	125	0,09	7	123
23	0,14	23	124	0,15	21	123
24	0,07	21	124	0,16	23	124
<b>promedio</b>	<b>0,106</b>	<b>14,125</b>	<b>123,458</b>	<b>0,097</b>	<b>9,542</b>	<b>122,000</b>

La tabla 2.40 muestra los 24 datos obtenidos durante la prueba de medición de gases de escape, efectuada los días uno y dos al vehículo liviano (usado), marca Citroën modelo C-ELYSÉE HDi 92 FEEL, con la prueba realizada a ralentí en el horario de 12h00 – 13h00 pm, en el cantón de San Miguel de Ibarra a 2 225 m s n.m.

**Tabla 2.40** Vehículo liviano (usado) a ralentí medio día

<b>Vehículo liviano modelo C-ELYSÉE HDi 92 (usado)</b>						
	GASES DE ESCAPE Día 1			GASES DE ESCAPE Día 2		
Dato N°	CO (%)	HC (ppm)	NOx (ppm)	CO (%)	HC (ppm)	NOx (ppm)
1	0,07	11	189	0,07	11	189
2	0,08	13	189	0,08	13	189
3	0,09	14	188	0,09	14	188
4	0,1	16	187	0,1	16	187
5	0,1	17	186	0,1	17	186
6	0,1	18	185	0,1	18	185
7	0,18	32	184	0,18	32	184
8	0,18	32	184	0,18	32	184
9	0,16	30	184	0,16	30	184
10	0,1	28	184	0,1	28	184
11	0,02	11	183	0,02	11	183
12	0,02	9	182	0,02	9	182
13	0,01	7	181	0,01	7	181
14	0,01	6	180	0,01	6	180
15	0,1	24	180	0,1	24	180
16	0,19	25	180	0,19	25	180
17	0,2	27	179	0,2	27	179
18	0,19	27	178	0,19	27	178
19	0,19	28	178	0,19	28	178
20	0,18	29	178	0,18	29	178
21	0,18	28	177	0,18	28	177
22	0,17	27	177	0,17	27	177
23	0,17	27	176	0,17	27	176
24	0,16	26	176	0,16	26	176
<b>promedio</b>	<b>0,123</b>	<b>21,333</b>	<b>181,875</b>	<b>0,123</b>	<b>21,333</b>	<b>181,875</b>

La tabla 2.41 muestra los 24 datos obtenidos durante la prueba de medición de gases de escape, efectuada los días uno y dos al vehículo liviano (a usado), marca Citroën modelo C-ELYSÉE HDi 92 FEEL, con la prueba realizada a ralentí en el horario de 17h00 – 18h00 pm, en el cantón de San Miguel de Ibarra a 2 225 m s n.m.

**Tabla 2.41** Vehículo liviano (a usado) a ralentí en la noche

<b>Vehículo liviano (a) modelo C-ELYSÉE HDi 92 (usado)</b>						
	GASES DE ESCAPE Día 1			GASES DE ESCAPE Día 2		
Dato N°	CO (%)	HC (ppm)	NOx (ppm)	CO (%)	HC (ppm)	NOx (ppm)
1	0,14	23	124	0,14	23	124
2	0,07	21	124	0,07	21	124
3	0,07	18	123	0,07	18	123
4	0,08	17	123	0,08	17	123
5	0,09	17	123	0,09	17	123
6	0,09	16	123	0,09	16	123
7	0,08	14	123	0,08	14	123
8	0,08	13	123	0,08	13	123
9	0,08	13	123	0,08	13	123
10	0,1	14	123	0,1	14	123
11	0,1	13	124	0,1	13	124
12	0,09	13	124	0,09	13	124
13	0,08	12	124	0,08	12	124
14	0,08	12	124	0,08	12	124
15	0,17	13	125	0,17	13	125
16	0,24	28	125	0,24	28	125
17	0,17	27	125	0,17	27	125
18	0,1	12	125	0,1	12	125
19	0,09	11	126	0,09	11	126
20	0,09	11	126	0,09	11	126
21	0,1	12	126	0,1	12	126
22	0,03	11	126	0,03	11	126
23	0,03	9	126	0,03	9	126
24	0,02	8	126	0,02	8	126
<b>promedio</b>	<b>0,095</b>	<b>14,917</b>	<b>124,333</b>	<b>0,095</b>	<b>14,917</b>	<b>124,333</b>

A continuación, en la siguiente tabla 2.42 se muestra los 24 datos obtenidos durante la prueba de medición de gases de escape, efectuada los días uno y dos al vehículo liviano (a usado), marca Citroën modelo C-ELYSÉE HDi 92 FEEL, con la prueba realizada a un régimen del motor de 2 500 rpm, en el horario de 07h00 – 9h00 pm, en el cantón de San Miguel de Ibarra a 2 225 m s n.m.

**Tabla 2.42** Vehículo liviano (a usado) a 2 500 rpm en la mañana

<b>Vehículo liviano (a) modelo C-ELYSÉE HDi 92 (usado)</b>						
	GASES DE ESCAPE Día 1			GASES DE ESCAPE Día 2		
Dato N°	CO (%)	HC (ppm)	NOx (ppm)	CO (%)	HC (ppm)	NOx (ppm)
1	0,04	10	139	0,03	10	141
2	0,03	18	148	0,03	11	141
3	0,02	4	122	0,04	12	142
4	0,1	18	111	0,11	26	144
5	0,11	19	108	0,11	26	144
6	0,19	32	108	0,1	25	145
7	0,25	33	110	0,1	25	146
8	0,19	34	110	0,17	27	148
9	0,18	20	113	0,17	40	149
10	0,08	19	115	0,26	54	150
11	0,07	17	116	0,26	54	152
12	0,07	17	118	0,2	37	153
13	0,08	18	120	0,12	36	154
14	0,08	19	123	0,12	34	155
15	0,09	21	124	0,18	34	155
16	0,09	21	125	0,19	36	156
17	0,08	19	127	0,19	37	159
18	0,07	18	129	0,1	36	160
19	0,14	18	131	0,1	35	159
20	0,15	20	133	0,11	35	159
21	0,15	23	135	0,11	35	159
22	0,15	24	136	0,14	25	135
23	0,14	25	135	0,05	10	137
24	0,05	10	137	0,04	10	139
<b>promedio</b>	<b>0,108</b>	<b>19,875</b>	<b>123,875</b>	<b>0,126</b>	<b>29,583</b>	<b>149,250</b>

La siguiente tabla 2.43 muestra los 24 datos obtenidos durante la prueba de medición de gases de escape, efectuada los días uno y dos al vehículo liviano (a usado), marca Citroën modelo C-ELYSÉE HDi 92 FEEL, con la prueba realizada a un régimen del motor de 2 500 rpm, en el horario de 12h00 – 13h00 pm, en el cantón de San Miguel de Ibarra a 2 225 m s n.m.

**Tabla 2.43** Vehículo liviano (a usado) a 2 500 rpm medio día

<b>Vehículo liviano (a) modelo C-ELYSÉE HDi 92 (usado)</b>						
	GASES DE ESCAPE Día 1			GASES DE ESCAPE Día 2		
Dato N°	CO (%)	HC (ppm)	NOx (ppm)	CO (%)	HC (ppm)	NOx (ppm)
1	0,09	11	129	0,13	12	101
2	0,17	11	130	0,2	26	104
3	0,18	11	131	0,2	27	105
4	0,28	27	132	0,21	28	107
5	0,16	16	133	0,21	28	107
6	0,16	30	111	0,21	28	108
7	0,1	18	111	0,13	26	109
8	0,11	19	108	0,14	25	110
9	0,19	32	108	0,15	24	111
10	0,25	33	110	0,23	25	113
11	0,19	34	110	0,23	26	115
12	0,18	20	113	0,16	25	117
13	0,08	19	115	0,1	10	119
14	0,07	17	116	0,1	10	120
15	0,07	17	118	0,18	12	122
16	0,08	18	120	0,18	12	122
17	0,08	19	123	0,18	13	121
18	0,09	21	124	0,19	16	122
19	0,09	21	125	0,19	17	124
20	0,08	19	127	0,18	16	126
21	0,07	18	129	0,17	15	127
22	0,14	18	131	0,16	14	128
23	0,15	20	133	0,09	12	128
24	0,15	23	135	0,09	11	129
<b>promedio</b>	<b>0,134</b>	<b>20,500</b>	<b>121,750</b>	<b>0,167</b>	<b>19,083</b>	<b>116,458</b>

La siguiente tabla 2.44 muestra los 24 datos obtenidos durante la prueba de medición de gases de escape, efectuada los días uno y dos al vehículo liviano (a usado), marca Citroën modelo C-ELYSÉE HDi 92 FEEL, con la prueba realizada a un régimen del motor de 2 500 rpm, en el horario de 17h00 – 18h00 pm, en el cantón de San Miguel de Ibarra a 2 225 m s n.m.

**Tabla 2.44** Vehículo liviano (a usado) a 2 500 rpm en la noche

<b>Vehículo liviano (a) modelo C-ELYSÉE HDi 92 (usado)</b>						
	GASES DE ESCAPE Día 1			GASES DE ESCAPE Día 2		
Dato N°	CO (%)	HC (ppm)	NOx (ppm)	CO (%)	HC (ppm)	NOx (ppm)
1	0,16	16	133	0,13	11	99
2	0,16	30	111	0,13	12	101
3	0,17	31	79	0,2	26	104
4	0,18	32	67	0,2	27	105
5	0,25	33	63	0,21	28	107
6	0,24	33	63	0,21	28	107
7	0,17	31	64	0,21	28	108
8	0,1	29	65	0,13	26	109
9	0,1	16	67	0,14	25	110
10	0,19	32	68	0,15	24	111
11	0,26	47	70	0,23	25	113
12	0,34	48	71	0,23	26	115
13	0,34	50	73	0,16	25	117
14	0,34	51	76	0,1	10	119
15	0,33	51	78	0,1	10	120
16	0,32	50	80	0,18	12	122
17	0,32	49	82	0,18	12	122
18	0,32	50	85	0,18	13	121
19	0,33	52	87	0,19	16	122
20	0,33	52	89	0,19	17	124
21	0,33	52	91	0,18	16	126
22	0,33	53	92	0,17	15	127
23	0,23	40	96	0,16	14	128
24	0,14	24	98	0,09	12	128
<b>promedio</b>	<b>0,249</b>	<b>39,667</b>	<b>81,167</b>	<b>0,169</b>	<b>19,083</b>	<b>115,208</b>

A continuación, en la siguiente tabla 2.45 se muestra los 24 datos obtenidos durante la prueba de medición de gases de escape, efectuada los días uno y dos al vehículo liviano (b usado), marca Chevrolet, modelo D-MAX CRDi 3.0 CD, con la prueba realizada a ralentí en el horario de 07h00 - 09h00 am, en el cantón Santa Ana de Cotacachi en la parroquia de Quiroga a 2 462 m s n.m.

**Tabla 2.45** Vehículo liviano (b usado) a ralentí en la mañana

<b>Vehículo liviano (b) modelo D-MAX CRDi 3.0 CD (usado)</b>						
	GASES DE ESCAPE Día 1			GASES DE ESCAPE Día 2		
Dato N°	CO (%)	HC (ppm)	NOx (ppm)	CO (%)	HC (ppm)	NOx (ppm)
1	0,02	23	122	0,01	25	144
2	0,02	24	128	0,01	25	144
3	0,09	38	132	0,02	25	144
4	0,01	36	135	0,02	25	144
5	0,02	36	137	0,1	27	145
6	0,03	36	138	0,1	40	145
7	0,03	20	139	0	23	145
8	0,03	20	139	0	21	145
9	0,1	22	139	0	19	145
10	0,09	23	140	0	18	146
11	0,01	22	140	0	17	145
12	0,01	20	140	0,01	19	145
13	0,01	19	141	0,02	21	145
14	0	18	141	0,01	20	145
15	0	18	142	0,01	18	145
16	0	18	142	0,01	16	145
17	0	19	143	0,01	17	145
18	0,07	21	143	0,01	18	146
19	0,08	23	144	0,01	19	146
20	0,08	25	144	0,01	20	146
21	0,01	25	144	0,01	21	147
22	0,01	25	144	0,02	22	147
23	0,01	25	144	0,02	22	147
24	0,02	25	144	0,02	20	147
<b>Promedio</b>	<b>0,031</b>	<b>24,208</b>	<b>139,375</b>	<b>0,018</b>	<b>21,583</b>	<b>145,333</b>

La siguiente tabla 2.46 muestra los 24 datos obtenidos durante la prueba de medición de gases de escape, efectuada los días uno y dos al vehículo liviano (b usado), marca Chevrolet, modelo D-MAX CRDi 3.0 CD, con la prueba realizada a ralentí en el horario de 12h00 – 13h00 pm, en el cantón Santa Ana de Cotacachi en la parroquia de Quiroga a 2 462 m s n.m.

**Tabla 2.46** Vehículo liviano (b usado) a ralenti medio día

<b>Vehículo liviano (b) modelo D-MAX CRDi 3.0 CD (usado)</b>						
	GASES DE ESCAPE Día 1			GASES DE ESCAPE Día 2		
Dato N°	CO (%)	HC (ppm)	NOx (ppm)	CO (%)	HC (ppm)	NOx (ppm)
1	0,07	1	142	0,03	23	154
2	0,14	16	145	0,02	6	154
3	0,13	17	146	0,02	4	155
4	0,06	16	148	0,01	4	155
5	0,05	1	149	0,01	3	155
6	0,04	1	149	0,01	3	156
7	0,03	1	151	0,01	3	156
8	0,03	1	151	0,01	2	157
9	0,02	1	151	0,01	2	156
10	0,16	22	152	0,01	2	156
11	0,17	24	153	0	1	156
12	0,1	25	153	0	1	157
13	0,03	23	154	0	1	157
14	0,02	6	154	0	1	157
15	0,02	4	155	0,01	1	158
16	0,01	4	155	0,08	4	158
17	0,01	3	155	0,08	6	158
18	0,01	3	156	0,08	17	159
19	0,01	3	156	0	16	159
20	0,01	2	157	0	15	159
21	0,01	2	156	0,07	15	158
22	0,01	2	156	0,08	16	158
23	0	1	156	0,08	16	159
24	0	1	157	0	3	159
<b>Promedio</b>	<b>0,048</b>	<b>7,500</b>	<b>152,375</b>	<b>0,026</b>	<b>6,875</b>	<b>156,917</b>

La siguiente tabla 2.47 muestra los 24 datos obtenidos durante la prueba de medición de gases de escape, efectuada los días uno y dos al vehículo liviano (b usado), marca Chevrolet, modelo D-MAX CRDi 3.0 CD, con la prueba realizada a ralenti en el horario de 17h00 – 18h00 pm, en el cantón Santa Ana de Cotacachi en la parroquia de Quiroga a 2 462 m s n.m.

**Tabla 2.47** Vehículo liviano (b usado) a ralentí en la noche

<b>Vehículo liviano (b) modelo D-MAX CRDi 3.0 CD (usado)</b>						
	GASES DE ESCAPE Día 1			GASES DE ESCAPE Día 2		
Dato N°	CO (%)	HC (ppm)	NOx (ppm)	CO (%)	HC (ppm)	NOx (ppm)
1	0	1	133	0,04	4	143
2	0	2	137	0,03	3	143
3	0	2	141	0,03	3	143
4	0	2	143	0,02	2	143
5	0	1	144	0,02	2	142
6	0	1	144	0,01	1	142
7	0	1	145	0,01	1	142
8	0,01	3	145	0,01	2	142
9	0,01	4	145	0,02	3	142
10	0,01	3	145	0,01	2	142
11	0	3	145	0,01	2	142
12	0	2	145	0,01	1	142
13	0	2	145	0,01	1	142
14	0	1	145	0,11	19	141
15	0,07	3	145	0,11	19	142
16	0	3	145	0,04	3	142
17	0	3	144	0,03	3	142
18	0	2	144	0,02	2	142
19	0	2	144	0,15	21	142
20	0	2	144	0,15	22	142
21	0,07	3	144	0,06	20	142
22	0,07	4	143	0,04	4	141
23	0,07	6	143	0,03	3	142
24	0,06	6	143	0,03	3	142
<b>Promedio</b>	<b>0,015</b>	<b>2,583</b>	<b>143,375</b>	<b>0,042</b>	<b>6,083</b>	<b>142,083</b>

A continuación, en la siguiente tabla 2.48 se muestra los 24 datos obtenidos durante la prueba de medición de gases de escape, efectuada los días uno y dos al vehículo liviano (b usado), marca Chevrolet, modelo D-MAX CRDi 3.0 CD, con la prueba realizada a un régimen del motor de 2 500 rpm, en el horario de 07h00 - 09h00 am, en el cantón Santa Ana de Cotacachi en la parroquia de Quiroga a 2 462 m s n.m.

**Tabla 2.48** Vehículo liviano (b usado) a 2 500 rpm en la mañana

<b>Vehículo liviano (b) modelo D-MAX CRDi 3.0 CD (usado)</b>						
	GASES DE ESCAPE Día 1			GASES DE ESCAPE Día 2		
Dato N°	CO (%)	HC (ppm)	NOx (ppm)	CO (%)	HC (ppm)	NOx (ppm)
1	0,09	9	105	0,24	16	107
2	0,1	9	105	0,24	31	107
3	0,19	14	104	0,26	32	107
4	0,18	13	104	0,25	31	107
5	0,03	0	104	0,17	18	107
6	0,03	0	104	0,1	1	106
7	0,12	1	104	0,09	1	107
8	0,13	3	104	0,17	15	107
9	0,13	6	104	0,24	15	107
10	0,07	5	104	0,25	16	108
11	0,07	5	105	0,24	16	107
12	0,07	4	105	0,16	15	108
13	0,07	3	105	0,16	14	107
14	0,06	2	105	0,16	13	107
15	0,07	2	104	0,16	13	108
16	0,07	2	104	0,16	13	108
17	0,14	15	104	0,16	13	107
18	0,22	17	104	0,16	12	107
19	0,23	31	104	0,16	12	107
20	0,15	17	104	0,17	13	108
21	0,15	16	104	0,17	13	108
22	0,15	16	104	0,1	13	107
23	0,14	16	104	0,09	10	107
24	0,07	14	103	0,09	9	107
<b>Promedio</b>	<b>0,114</b>	<b>9,167</b>	<b>104,208</b>	<b>0,173</b>	<b>14,792</b>	<b>107,208</b>

La siguiente tabla 2.49 muestra los 24 datos obtenidos durante la prueba de medición de gases de escape, efectuada los días uno y dos al vehículo liviano (b usado), marca Chevrolet, modelo D-MAX CRDi 3.0 CD, con la prueba realizada a un régimen del motor de 2 500 rpm, en el horario de 12h00 – 13h00 pm, en el cantón Santa Ana de Cotacachi en la parroquia de Quiroga a 2 462 m s n.m.

**Tabla 2.49** Vehículo liviano (b usado) a 2 500 rpm medio día

<b>Vehículo liviano (b) modelo D-MAX CRDi 3.0 CD (usado)</b>						
	GASES DE ESCAPE Día 1			GASES DE ESCAPE Día 2		
Dato N°	CO (%)	HC (ppm)	NOx (ppm)	CO (%)	HC (ppm)	NOx (ppm)
1	0	0	167	0,08	1	108
2	0	0	140	0,17	15	108
3	0	0	125	0,24	16	107
4	0	0	120	0,24	31	107
5	0	0	114	0,26	32	107
6	0,08	1	108	0,25	31	107
7	0,17	15	108	0,17	18	107
8	0,24	16	107	0,1	1	106
9	0,24	31	107	0,09	1	107
10	0,26	32	107	0,17	15	107
11	0,25	31	107	0,24	15	107
12	0,17	18	107	0,25	16	108
13	0,1	1	106	0,24	16	107
14	0,09	1	107	0,16	15	108
15	0,17	15	107	0,16	14	107
16	0,24	15	107	0,16	13	107
17	0,25	16	108	0,16	13	108
18	0,24	16	107	0,16	13	108
19	0,16	15	108	0,16	13	107
20	0,16	14	107	0,16	12	107
21	0,16	13	107	0,16	12	107
22	0,16	13	108	0,17	13	108
23	0,16	13	108	0,17	13	108
24	0,16	13	107	0,1	13	107
<b>Promedio</b>	<b>0,144</b>	<b>12,042</b>	<b>112,667</b>	<b>0,176</b>	<b>14,667</b>	<b>107,292</b>

La siguiente tabla 2.50 muestra los 24 datos obtenidos durante la prueba de medición de gases de escape, efectuada los días uno y dos al vehículo liviano (b usado), marca Chevrolet, modelo D-MAX CRDi 3.0 CD, con la prueba realizada a un régimen del motor de 2 500 rpm, en el horario de 17h00 – 18h00 pm, en el cantón Santa Ana de Cotacachi en la parroquia de Quiroga a 2 462 m s n.m.

**Tabla 2.50** Vehículo liviano (b usado) a 2 500 rpm en la noche

<b>Vehículo liviano (b) modelo D-MAX CRDi 3.0 CD (usado)</b>						
	GASES DE ESCAPE Día 1			GASES DE ESCAPE Día 2		
Dato N°	CO (%)	HC (ppm)	NOx (ppm)	CO (%)	HC (ppm)	NOx (ppm)
1	0,01	2	121	0,24	18	84
2	0,01	2	96	0,25	19	84
3	0,01	2	87	0,25	19	84
4	0,09	2	81	0,25	18	85
5	0,1	4	80	0,24	16	85
6	0,11	4	79	0,17	14	85
7	0,12	4	77	0,16	12	85
8	0,13	4	78	0,17	11	85
9	0,14	3	78	0,17	10	85
10	0,14	4	78	0,17	9	85
11	0,14	4	79	0,17	8	85
12	0,31	22	79	0,18	9	85
13	0,39	36	80	0,18	10	85
14	0,39	36	80	0,27	11	85
15	0,28	21	81	0,27	26	86
16	0,17	18	81	0,27	26	85
17	0,18	17	82	0,13	11	86
18	0,26	16	82	0,13	10	86
19	0,25	16	82	0,12	8	86
20	0,17	1	82	0,12	6	86
21	0,16	1	83	0,19	7	86
22	0,16	1	83	0,27	8	85
23	0,16	0	83	0,27	23	85
24	0,17	1	84	0,28	24	86
<b>Promedio</b>	<b>0,169</b>	<b>9,208</b>	<b>83,167</b>	<b>0,205</b>	<b>13,875</b>	<b>85,167</b>

A continuación, en la siguiente tabla 2.51 se muestra los 24 datos obtenidos durante la prueba de medición de gases de escape, efectuada los días uno y dos al vehículo pesado (a usado), marca Hino, modelo GH8JF7D-XG3, con la prueba realizada a ralenti en el horario de 07h00 - 09h00 am, en el cantón de San Miguel de Ibarra a 2 225 m s n.m.

**Tabla 2.51** Vehículo pesado (a usado) en ralentí en la mañana

<b>Vehículo pesado (a) modelo GH8JF7D-XG3 (usado)</b>						
	GASES DE ESCAPE Día 1			GASES DE ESCAPE Día 2		
Dato N°	CO (%)	HC (ppm)	NOx (ppm)	CO (%)	HC (ppm)	NOx (ppm)
1	0,01	1	116	0,09	1	116
2	0,01	1	117	0,09	3	117
3	0,01	1	117	0,02	5	117
4	0,01	1	117	0,02	4	118
5	0,01	1	118	0,02	3	118
6	0,02	1	118	0,01	3	118
7	0,02	2	118	0,02	4	117
8	0,03	3	118	0,03	5	118
9	0,03	4	118	0,03	6	119
10	0,02	3	118	0,02	4	119
11	0,02	3	118	0,02	4	119
12	0,02	2	119	0,01	3	119
13	0,02	2	119	0,01	2	119
14	0,03	1	119	0,02	3	119
15	0,03	2	119	0,03	4	119
16	0,02	1	119	0,02	3	119
17	0,02	2	119	0,02	2	120
18	0,02	2	119	0,01	2	120
19	0,02	2	119	0,01	1	120
20	0,02	1	120	0,01	1	120
21	0,01	1	120	0,01	1	121
22	0,01	1	121	0,02	2	120
23	0,01	1	121	0,03	3	121
24	0,01	1	121	0,03	4	121
<b>Promedio</b>	<b>0,018</b>	<b>1,667</b>	<b>118,667</b>	<b>0,025</b>	<b>3,042</b>	<b>118,917</b>

La siguiente tabla 2.52 muestra los 24 datos obtenidos durante la prueba de medición de gases de escape, efectuada los días uno y dos al vehículo pesado (a usado), marca Hino, modelo GH8JF7D-XG3, con la prueba realizada a ralentí en el horario de 12h00 – 13h00 pm, en el cantón de San Miguel de Ibarra a 2 225 m s n.m.

**Tabla 2.52** Vehículo pesado (a usado) en ralentí medio día

<b>Vehículo pesado (a) modelo GH8JF7D-XG3 (usado)</b>						
	GASES DE ESCAPE Día 1			GASES DE ESCAPE Día 2		
Dato N°	CO (%)	HC (ppm)	NOx (ppm)	CO (%)	HC (ppm)	NOx (ppm)
1	0,02	3	108	0,04	2	115
2	0,02	2	111	0,03	2	115
3	0,09	4	114	0,03	2	116
4	0,09	18	115	0,04	2	116
5	0,09	19	115	0,04	3	117
6	0,1	21	116	0,03	3	117
7	0,08	19	117	0,03	2	116
8	0,08	18	118	0,03	2	118
9	0,07	17	118	0,09	3	118
10	0,08	16	119	0,03	4	118
11	0,08	16	118	0,03	4	118
12	0,09	18	119	0,1	4	119
13	0,09	19	119	0,1	5	119
14	0,09	19	119	0,04	5	119
15	0,1	20	119	0,03	4	119
16	0,1	20	119	0,04	4	119
17	0,09	20	118	0,03	3	119
18	0,09	21	119	0,03	2	119
19	0,1	21	119	0,03	2	119
20	0,09	20	119	0,02	2	119
21	0,01	7	119	0,02	1	119
22	0,01	6	119	0,13	2	119
23	0,01	5	120	0,13	3	119
24	0,02	12	119	0,12	3	119
<b>Promedio</b>	<b>0,070</b>	<b>15,042</b>	<b>117,333</b>	<b>0,052</b>	<b>2,875</b>	<b>117,958</b>

La siguiente tabla 2.53 muestra los 24 datos obtenidos durante la prueba de medición de gases de escape, efectuada los días uno y dos al vehículo pesado (a usado), marca Hino, modelo GH8JF7D-XG3, con la prueba realizada a ralentí en el horario de 17h00 – 18h00 pm, en el cantón de San Miguel de Ibarra a 2 225 m s n.m.

**Tabla 2.53** Vehículo pesado (a usado) en ralentí en la noche

<b>Vehículo pesado (a) modelo GH8JF7D-XG3 (usado)</b>						
	GASES DE ESCAPE Día 1			GASES DE ESCAPE Día 2		
Dato N°	CO (%)	HC (ppm)	NOx (ppm)	CO (%)	HC (ppm)	NOx (ppm)
1	0,04	1	121	0,1	19	118
2	0,1	1	121	0,1	19	118
3	0,1	1	121	0,03	3	118
4	0,1	2	121	0,02	2	118
5	0,1	2	121	0,02	2	119
6	0,1	3	121	0,02	2	119
7	0,1	4	121	0,01	1	119
8	0,09	4	121	0,01	3	119
9	0,03	3	121	0,02	6	119
10	0,02	3	120	0,02	6	119
11	0,1	3	121	0,02	6	118
12	0,17	18	121	0,01	6	119
13	0,17	18	121	0,01	5	119
14	0,16	18	122	0,01	4	119
15	0,16	17	122	0,01	4	120
16	0,09	15	122	0,01	5	120
17	0,1	3	122	0,08	20	119
18	0,03	3	121	0,08	20	120
19	0,03	2	122	0,01	18	120
20	0,03	2	122	0,01	17	120
21	0,03	2	122	0,01	15	120
22	0,03	1	122	0,01	2	121
23	0,03	1	122	0,01	2	121
24	0,03	1	123	0,01	2	121
<b>Promedio</b>	<b>0,081</b>	<b>5,333</b>	<b>121,417</b>	<b>0,027</b>	<b>7,875</b>	<b>119,292</b>

A continuación, en la siguiente tabla 2.54 se muestra los 24 datos obtenidos durante la prueba de medición de gases de escape, efectuada los días uno y dos al vehículo pesado (a usado), marca Hino, modelo GH8JF7D-XG3, con la prueba realizada a un régimen del motor de 2 000 rpm, en el horario de 07h00 - 09h00 am, en el cantón de San Miguel de Ibarra a 2 225 m s n.m.

**Tabla 2.54** Vehículo pesado (a usado) en 2 000 rpm en la mañana

<b>Vehículo pesado (a) modelo GH8JF7D-XG3 (usado)</b>						
	GASES DE ESCAPE Día 1			GASES DE ESCAPE Día 2		
Dato N°	CO (%)	HC (ppm)	NOx (ppm)	CO (%)	HC (ppm)	NOx (ppm)
1	0,09	2	166	0,08	6	103
2	0,08	3	149	0,01	5	103
3	0,08	5	121	0,01	4	103
4	0,08	7	114	0,08	5	104
5	0,08	6	110	0,08	6	104
6	0,01	6	108	0,02	2	106
7	0,02	7	107	0,01	3	106
8	0,02	7	107	0,01	3	107
9	0,21	24	106	0,01	3	106
10	0,21	25	106	0,09	4	106
11	0,04	12	106	0,17	21	106
12	0,03	10	106	0,17	21	106
13	0,03	8	106	0,16	21	106
14	0,02	6	106	0,03	19	106
15	0,02	5	106	0,03	18	106
16	0,02	4	106	0,04	16	107
17	0,11	18	106	0,04	15	107
18	0,12	18	105	0,04	14	106
19	0,11	16	105	0,04	13	106
20	0,04	15	105	0,05	13	106
21	0,01	2	108	0,05	12	106
22	0,02	3	106	0,04	10	106
23	0,09	3	105	0,04	8	106
24	0,09	4	104	0,03	7	106
<b>Promedio</b>	<b>0,068</b>	<b>9,000</b>	<b>111,417</b>	<b>0,055</b>	<b>10,375</b>	<b>105,583</b>

La siguiente tabla 2.55 muestra los 24 datos obtenidos durante la prueba de medición de gases de escape, efectuada los días uno y dos al vehículo pesado (a usado), marca Hino, modelo GH8JF7D-XG3, con la prueba realizada a un régimen del motor de 2 000 rpm, en el horario de 12h00 – 13h00 pm, en el cantón de San Miguel de Ibarra a 2 225 m s n.m.

**Tabla 2.55** Vehículo pesado (a usado) en 2 000 rpm medio día

<b>Vehículo pesado (a) modelo GH8JF7D-XG3 (usado)</b>						
	GASES DE ESCAPE Día 1			GASES DE ESCAPE Día 2		
Dato N°	CO (%)	HC (ppm)	NOx (ppm)	CO (%)	HC (ppm)	NOx (ppm)
1	0,06	23	128	0,13	35	108
2	0,05	22	118	0,12	35	108
3	0,04	20	113	0,12	35	107
4	0,03	19	111	0,11	34	107
5	0,02	17	109	0,11	33	107
6	0,03	18	107	0,11	33	107
7	0,09	19	107	0,1	33	106
8	0,09	20	107	0,11	33	106
9	0,08	21	108	0,11	33	106
10	0,02	20	107	0,02	31	105
11	0,02	19	108	0,01	17	105
12	0,02	19	109	0,01	16	104
13	0,02	19	109	0,01	16	106
14	0,09	20	110	0,01	17	109
15	0,1	21	109	0,02	18	106
16	0,03	21	109	0,02	18	106
17	0,03	21	111	0,01	3	105
18	0,13	37	110	0,01	3	105
19	0,14	38	110	0,01	5	105
20	0,15	39	110	0,01	19	105
21	0,14	38	110	0,01	20	105
22	0,14	37	110	0,02	21	105
23	0,14	36	109	0,09	24	105
24	0,14	35	108	0,09	25	104
<b>Promedio</b>	<b>0,075</b>	<b>24,958</b>	<b>110,292</b>	<b>0,057</b>	<b>23,208</b>	<b>105,917</b>

La siguiente tabla 2.56 muestra los 24 datos obtenidos durante la prueba de medición de gases de escape, efectuada los días uno y dos al vehículo pesado (a usado), marca Hino, modelo GH8JF7D-XG3, con la prueba realizada a un régimen del motor de 2 000 rpm, en el horario de 17h00 – 18h00 pm, en el cantón de San Miguel de Ibarra a 2 225 m s n.m.

**Tabla 2.56** Vehículo pesado (a usado) en 2 000 rpm en la noche

<b>Vehículo pesado (a) modelo GH8JF7D-XG3 (usado)</b>						
	GASES DE ESCAPE Día 1			GASES DE ESCAPE Día 2		
Dato N°	CO (%)	HC (ppm)	NOx (ppm)	CO (%)	HC (ppm)	NOx (ppm)
1	0,08	3	108	0,02	4	108
2	0,08	2	108	0,02	5	108
3	0,08	2	108	0,1	6	107
4	0,08	3	108	0,1	7	107
5	0,09	5	108	0,09	6	107
6	0,1	6	108	0,08	5	108
7	0,1	7	107	0,07	4	108
8	0,1	8	107	0,07	4	107
9	0,09	7	107	0,07	5	107
10	0,09	6	107	0,07	5	107
11	0,08	4	107	0,14	7	107
12	0,08	4	107	0,14	9	107
13	0,09	3	107	0,14	11	107
14	0,09	3	108	0,14	11	107
15	0,09	4	108	0,14	26	107
16	0,09	5	107	0,15	26	108
17	0,09	5	107	0,14	25	108
18	0,02	5	107	0,14	24	108
19	0,01	4	108	0,14	22	108
20	0,02	3	108	0,14	21	107
21	0,02	4	108	0,12	19	108
22	0,02	5	108	0,12	18	107
23	0,1	6	107	0,11	17	108
24	0,1	7	107	0,12	17	108
<b>Promedio</b>	<b>0,075</b>	<b>4,625</b>	<b>107,500</b>	<b>0,107</b>	<b>12,667</b>	<b>107,458</b>

A continuación, en la siguiente tabla 2.57 se muestra los 24 datos obtenidos durante la prueba de medición de gases de escape, efectuada los días uno y dos al vehículo pesado (b usado), marca Hino, modelo SS1EKSA-VAX, con la prueba realizada a ralenti en el horario de 07h00 - 09h00 am, en el cantón de San Miguel de Ibarra a 2 225 m s n.m.

**Tabla 2.57** Vehículo pesado (b usado) a ralentí en la mañana

<b>Vehículo pesado (b) modelo SS1EKSA-VAX (usado)</b>						
Dato N°	GASES DE ESCAPE Día 1			GASES DE ESCAPE Día 2		
	CO (%)	HC (ppm)	NOx (ppm)	CO (%)	HC (ppm)	NOx (ppm)
1	0,07	3	97	0,02	3	99
2	0,08	19	98	0,02	2	99
3	0,08	19	97	0,02	2	99
4	0,01	18	97	0,02	2	98
5	0,01	17	97	0,09	1	99
6	0,01	15	97	0,1	15	99
7	0,01	15	97	0,11	15	99
8	0,02	15	97	0,1	14	99
9	0,02	2	97	0,1	13	99
10	0,01	1	97	0,17	14	98
11	0,01	1	97	0,16	13	99
12	0,01	1	98	0,08	12	99
13	0,01	1	98	0,09	12	98
14	0,01	1	98	0,09	12	99
15	0,01	2	98	0,1	12	98
16	0,01	4	98	0,11	12	99
17	0,02	5	98	0,12	12	99
18	0,02	6	98	0,12	11	99
19	0,02	7	98	0,11	10	99
20	0,01	7	98	0,04	9	99
21	0,01	8	99	0,03	7	99
22	0,01	8	98	0,03	6	100
23	0,01	8	98	0,1	5	100
24	0,09	23	98	0,1	5	99
<b>Promedio</b>	<b>0,024</b>	<b>8,583</b>	<b>97,625</b>	<b>0,085</b>	<b>9,125</b>	<b>98,917</b>

La siguiente tabla 2.58 muestra los 24 datos obtenidos durante la prueba de medición de gases de escape, efectuada los días uno y dos al vehículo pesado (b usado), marca Hino, modelo SS1EKSA-VAX, con la prueba realizada a ralentí en el horario de 12h00 – 13h00 pm, en el cantón de San Miguel de Ibarra a 2 225 m s n.m.

**Tabla 2.58** Vehículo pesado (b usado) a ralentí medio día

<b>Vehículo pesado (b) modelo SS1EKSA-VAX (usado)</b>						
	GASES DE ESCAPE Día 1			GASES DE ESCAPE Día 2		
Dato N°	CO (%)	HC (ppm)	NOx (ppm)	CO (%)	HC (ppm)	NOx (ppm)
1	0,02	11	100	0,07	14	104
2	0,02	9	100	0,08	15	103
3	0,02	8	100	0,09	16	103
4	0,11	9	99	0,08	15	104
5	0,11	11	99	0,07	14	103
6	0,12	13	100	0,01	12	102
7	0,12	13	100	0,01	11	103
8	0,12	14	100	0,02	11	103
9	0,12	15	99	0,02	11	103
10	0,04	13	99	0,03	11	102
11	0,04	12	99	0,03	10	102
12	0,04	12	100	0,02	8	102
13	0,04	11	100	0,02	6	102
14	0,04	11	100	0,01	5	102
15	0,04	12	100	0,01	4	101
16	0,05	13	100	0,01	3	102
17	0,04	12	99	0,01	3	102
18	0,03	10	99	0,01	3	101
19	0,03	8	100	0,02	4	101
20	0,02	6	100	0,02	3	101
21	0,02	5	100	0,01	2	101
22	0,01	4	100	0,01	2	101
23	0,01	3	99	0,01	2	101
24	0,01	3	99	0,01	1	101
<b>Promedio</b>	<b>0,051</b>	<b>9,917</b>	<b>99,625</b>	<b>0,028</b>	<b>7,750</b>	<b>102,083</b>

La siguiente tabla 2.59 muestra los 24 datos obtenidos durante la prueba de medición de gases de escape, efectuada los días uno y dos al vehículo pesado (b usado), marca Hino, modelo SS1EKSA-VAX, con la prueba realizada a ralentí en el horario de 17h00 – 18h00 pm, en el cantón de San Miguel de Ibarra a 2 225 m s n.m.

**Tabla 2.59** Vehículo pesado (b usado) a ralentí en la noche

<b>Vehículo pesado (b) modelo SS1EKSA-VAX (usado)</b>						
	GASES DE ESCAPE Día 1			GASES DE ESCAPE Día 2		
Dato N°	CO (%)	HC (ppm)	NOx (ppm)	CO (%)	HC (ppm)	NOx (ppm)
1	0,07	3	90	0,03	2	96
2	0,08	5	93	0,03	1	96
3	0,02	6	93	0,04	2	96
4	0,02	6	94	0,04	2	96
5	0,02	5	94	0,04	2	96
6	0,02	5	94	0,03	2	96
7	0,03	5	94	0,03	1	96
8	0,03	4	95	0,02	1	96
9	0,03	5	95	0,02	1	97
10	0,04	6	95	0,1	1	97
11	0,11	7	96	0,1	3	97
12	0,11	7	95	0,1	5	97
13	0,04	6	96	0,09	6	97
14	0,03	5	95	0,01	6	97
15	0,03	4	95	0,01	5	97
16	0,02	3	95	0,01	1	97
17	0,02	3	96	0,01	1	97
18	0,01	2	96	0,01	1	97
19	0,1	2	97	0,01	1	96
20	0,11	16	96	0,08	1	97
21	0,11	16	96	0,71	1	97
22	0,11	16	95	0,56	2	97
23	0,04	15	95	0,18	2	97
24	0,03	2	95	0,11	2	97
<b>Promedio</b>	<b>0,051</b>	<b>6,417</b>	<b>94,792</b>	<b>0,099</b>	<b>2,167</b>	<b>96,625</b>

A continuación, en la siguiente tabla 2.60 se muestra los 24 datos obtenidos durante la prueba de medición de gases de escape, efectuada los días uno y dos al vehículo pesado (b usado), marca Hino, modelo SS1EKSA-VAX, con la prueba realizada a un régimen del motor de 1 500 rpm, en el horario de 07h00 - 09h00 am, en el cantón de San Miguel de Ibarra a 2 225 m s n.m.

**Tabla 2.60** Vehículo pesado (b usado) a 1 500 rpm en la mañana

<b>Vehículo pesado (b) modelo SS1EKSA-VAX (usado)</b>						
	GASES DE ESCAPE Día 1			GASES DE ESCAPE Día 2		
Dato N°	CO (%)	HC (ppm)	NOx (ppm)	CO (%)	HC (ppm)	NOx (ppm)
1	0,02	2	363	0,02	1	423
2	0,02	2	405	0,02	1	422
3	0,02	2	407	0,02	2	422
4	0,01	2	397	0,03	15	423
5	0,01	1	389	0,03	2	424
6	0,01	1	386	0,02	1	424
7	0,01	1	390	0,02	1	424
8	0,01	2	394	0,02	1	422
9	0,08	4	388	0,01	1	422
10	0,08	5	386	0,01	1	421
11	0,08	3	385	0,02	2	421
12	0,09	5	385	0,03	3	420
13	0,02	5	385	0,02	3	420
14	0,02	4	385	0,02	2	419
15	0,01	3	385	0,02	2	419
16	0,01	3	386	0,03	3	420
17	0,01	2	386	0,03	3	419
18	0,01	2	386	0,02	2	418
19	0,01	2	383	0,02	2	417
20	0,01	2	383	0,02	3	417
21	0,02	4	383	0,03	3	417
22	0,03	5	383	0,02	3	417
23	0,1	21	384	0,02	2	417
24	0,01	20	385	0,01	2	416
<b>Promedio</b>	<b>0,029</b>	<b>4,292</b>	<b>387,042</b>	<b>0,021</b>	<b>2,542</b>	<b>420,167</b>

La siguiente tabla 2.61 muestra los 24 datos obtenidos durante la prueba de medición de gases de escape, efectuada los días uno y dos al vehículo pesado (b usado), marca Hino, modelo SS1EKSA-VAX, con la prueba realizada a un régimen del motor de 1 500 rpm, en el horario de 12h00 – 13h00 pm, en el cantón de San Miguel de Ibarra a 2 225 m s n.m.

**Tabla 2.61** Vehículo pesado (b usado) a 1 500 rpm medio día

<b>Vehículo pesado (b) modelo SS1EKSA-VAX (usado)</b>						
	GASES DE ESCAPE Día 1			GASES DE ESCAPE Día 2		
Dato N°	CO (%)	HC (ppm)	NOx (ppm)	CO (%)	HC (ppm)	NOx (ppm)
1	0,03	2	367	0,03	4	356
2	0,03	2	366	0,02	3	356
3	0,02	2	364	0,02	2	355
4	0,02	1	364	0,02	2	354
5	0,01	1	365	0,03	3	354
6	0,01	1	365	0,03	3	354
7	0,01	1	367	0,04	4	355
8	0,08	1	357	0,11	6	355
9	0,16	15	361	0,11	7	356
10	0,16	15	368	0,11	8	357
11	0,09	14	371	0,11	10	357
12	0,09	13	369	0,12	11	355
13	0,08	3	365	0,04	9	355
14	0,09	4	361	0,04	8	354
15	0,08	5	362	0,03	6	355
16	0,01	4	365	0,02	5	356
17	0,01	3	365	0,02	4	357
18	0,01	3	364	0,03	4	357
19	0,08	2	363	0,09	4	360
20	0,01	2	363	0,09	5	361
21	0,19	16	363	0,08	5	360
22	0,27	32	363	0,08	5	359
23	0,19	17	363	0,07	5	359
24	0,09	15	362	0,07	4	358
<b>Promedio</b>	<b>0,076</b>	<b>7,250</b>	<b>364,292</b>	<b>0,059</b>	<b>5,292</b>	<b>356,458</b>

La siguiente tabla 2.62 muestra los 24 datos obtenidos durante la prueba de medición de gases de escape, efectuada los días uno y dos al vehículo pesado (b usado), marca Hino, modelo SS1EKSA-VAX, con la prueba realizada a un régimen del motor de 1 500 rpm, en el horario de 17h00 – 18h00 pm, en el cantón de San Miguel de Ibarra a 2 225 m s n.m.

**Tabla 2.62** Vehículo pesado (b usado) a 1 500 rpm en la noche

<b>Vehículo pesado (b) modelo SS1EKSA-VAX (usado)</b>						
Dato N°	GASES DE ESCAPE Día 1			GASES DE ESCAPE Día 2		
	CO (%)	HC (ppm)	NOx (ppm)	CO (%)	HC (ppm)	NOx (ppm)
1	0,03	6	381	0,11	24	360
2	0,03	5	357	0,1	23	360
3	0,03	6	349	0,1	21	361
4	0,04	8	354	0,09	20	362
5	0,04	8	352	0,08	19	362
6	0,03	7	351	0,08	19	360
7	0,04	8	351	0,09	20	361
8	0,12	22	351	0,09	20	360
9	0,12	22	353	0,08	20	359
10	0,12	21	354	0,08	19	359
11	0,12	21	355	0,02	3	356
12	0,12	21	354	0,01	2	357
13	0,12	20	354	0,01	2	357
14	0,03	1	354	0,07	15	360
15	0,11	19	352	0,08	15	361
16	0,11	20	353	0,08	16	361
17	0,02	4	355	0,16	31	360
18	0,02	4	360	0,16	31	360
19	0,02	4	356	0,15	30	359
20	0,02	3	354	0,14	29	358
21	0,02	4	354	0,13	27	358
22	0,01	4	355	0,12	26	358
23	0,01	3	356	0,06	13	357
24	0,07	4	355	0,05	13	357
<b>Promedio</b>	<b>0,058</b>	<b>10,208</b>	<b>355,000</b>	<b>0,089</b>	<b>19,083</b>	<b>359,292</b>

## CAPÍTULO III

### 3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 3.1 FUNDAMENTACIÓN TECNOLÓGICA

El presente capítulo muestra los resultados obtenidos mediante la prueba de análisis de gases de escape en estado estático, efectuadas a cuatro vehículos: un vehículo liviano (a), marca Citroën, modelo C-ELYSÉE HDi 92 FEEL; un vehículo liviano (b), marca Chevrolet, modelo D-MAX CRDi 3.0 CD; un vehículo pesado (a), marca HINO, modelo GH8JF7D-XG3; y un vehículo pesado (b), marca HINO, modelo SS1EKSA-VAX; la obtención de los datos de las pruebas se realizaron en diferentes localidades de la provincia de Imbabura (Cotacachi, Urcuquí e Ibarra), con variaciones de altitud y según un horario establecido: primera prueba de 07h00 - 09h00 am, la segunda prueba de 12h00 – 13h00 pm, la tercera prueba de 17h00 – 18h00 pm; cumpliendo con la metodología utilizada durante la investigación basada en la norma oficial mexicana NOM-167-SEMARNAT-2017, la norma oficial mexicana NOM-047-SEMARNAT-2014 y las adaptaciones que se requirieron para desarrollar la investigación.

El diagnóstico basado en las emisiones de gases de escape es una prueba no invasiva, ya que no requiere el desmontaje de los componentes, únicamente se debe cumplir con el protocolo de medición y obtención de los datos a través del analizador de gases AUTOplus 5-2; las pruebas se realizaron en estado estático, con el motor del vehículo en ralentí y a plena carga; tanto en vehículos nuevos y usados con un kilometraje superior a 100 000 kilómetros; estos últimos son del mismo tipo y modelo que el vehículo nuevo.

Con la realización de las mediciones de gases de escape se obtuvieron los datos referenciales de cada vehículo de acuerdo a la cilindrada que éste tenga, teniendo desde 1 500 a 13 000 cc; estos datos crearon la tabla de parámetros de referencia de acuerdo a la cilindrada de los motores, tomando en cuenta que todos tienen un sistema de turbo alimentación.

Con la ayuda del analizador de gases AUTOplus 5-2, se efectuaron las mediciones de gases de escape, se procedió analizar y determinar los siguientes parámetros de referencia: Vehículo liviano (a), el rango establecido en ralentí de: 0,01 a 0,12 % de volumen de monóxido de carbono (CO); 0 a 9,36 partículas por millón de hidrocarburos no combustionados (HC); y 119 a 146,51 partículas por millón de óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>); y el rango establecido a un régimen del motor de 2 500 rpm de: 0,01 a 0,15 % de volumen de (CO); 0 a 11,32 ppm de (HC); y 63 a 116,56 ppm de (NO<sub>x</sub>).

Vehículo liviano (b), el rango establecido en ralentí de: 0,00 a 0,06 % Vol de (CO), 1 a 12,28 ppm de (HC), y 122 a 172,51 ppm de (NO<sub>x</sub>); y el rango establecido a un régimen del motor de 2 500 rpm de: 0,00 a 0,14 % Vol de (CO); 0 a 14,75 ppm de (HC); y 77 a 90,74 ppm de (NO<sub>x</sub>).

Vehículo pesado (a), el rango establecido en ralentí de: 0,00 a 0,06 % Vol de (CO); 1 a 4,11 ppm de (HC); y 108 a 217,65 ppm de (NO<sub>x</sub>); y el rango establecido a un régimen del motor de 2 000 rpm de: 0,00 a 0,10 % Vol de (CO); 0 a 7,6 ppm de (HC); y 103 a 132,97 ppm de (NO<sub>x</sub>).

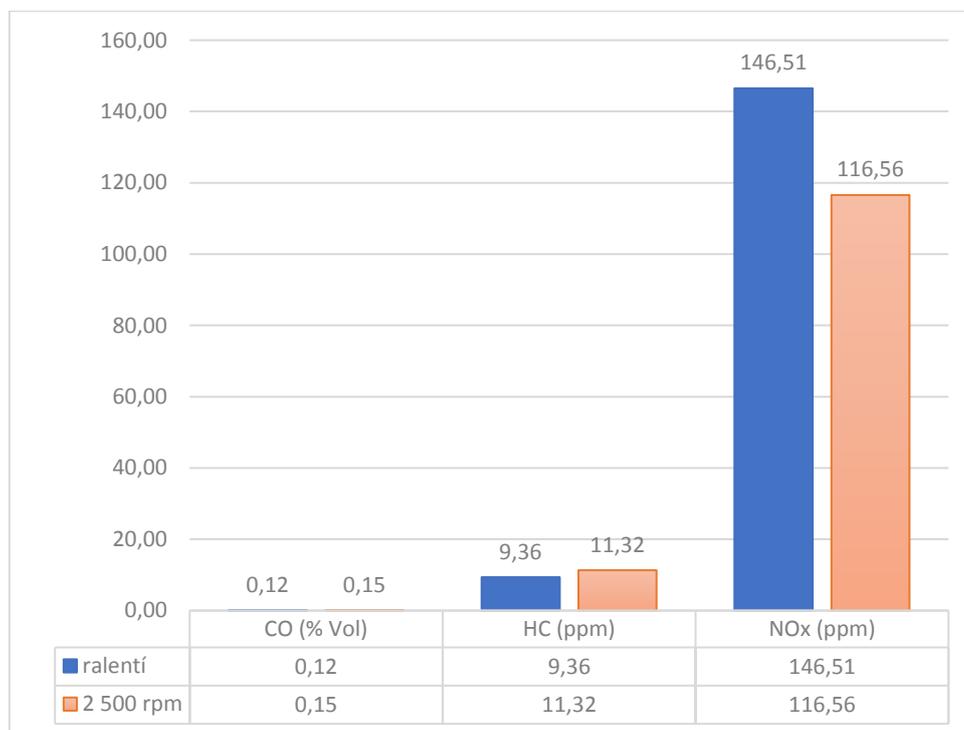
Vehículo pesado (b), el rango establecido en ralentí de: 0,002 a 0,01 % Vol de (CO); 0 a 16,22 ppm de (HC), y 90 a 219,06 ppm de (NO<sub>x</sub>); y el rango establecido a un régimen del motor de 1 500 rpm de: 0,00 a 0,03 % Vol de (CO); 1 a 20,38 ppm de (HC), y 189,33 a 274 ppm de (NO<sub>x</sub>).

### **3.2 ANÁLISIS DE LOS DATOS OBTENIDOS EN VEHÍCULOS NUEVOS**

Con las diferentes pruebas de análisis de gases de escape realizadas utilizando el analizador de gases AUTOplus 5-2 en 4 tipos de vehículos, se procedieron a evaluar las emisiones de monóxido de carbono (CO), hidrocarburos no combustionados (HC) y óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>) en cada uno de los vehículos, con el propósito de establecer un plan de diagnóstico del estado actual de los componentes del motor y sistema de alimentación, para diagnosticar el estado del motor de un vehículo dependiendo de la cilindrada que este tenga; mediante una prueba no invasiva a través del análisis de gases de escape.

### 3.2.1 ANÁLISIS DE LOS DATOS OBTENIDOS AL VEHÍCULO LIVIANO (A)

Dentro del análisis de gases de escape que se desarrolló en el vehículo marca Citroën, modelo C-ELYSÉE HDi 92 FEEL, nuevo, se obtuvo los siguientes datos expresados a continuación en la figura 3.1.



**Figura 3.1** Promedio de gases de escape vehículo liviano (a) nuevo

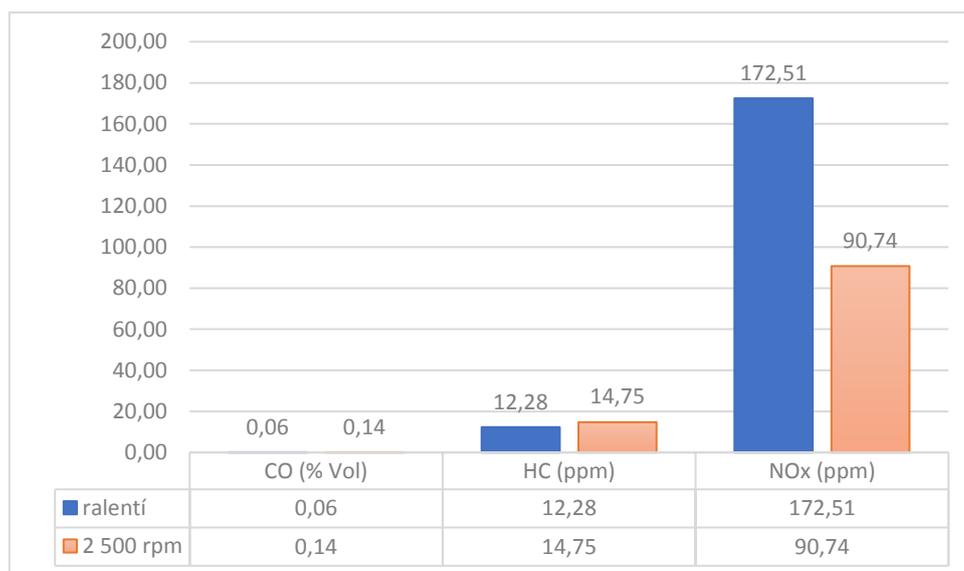
Los valores mostrados en la figura 3.1 se obtuvieron con la ayuda del analizador de gases AUTOplus 5-2, siguiendo un horario establecido y cumpliendo con cada uno de los pasos para realizar la correcta adquisición de los datos; como resultado se obtiene los valores de monóxido de carbono (CO) en % volumen, valores de hidrocarburos no combustionados (HC) en ppm y valores de óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>) en ppm.

Existen dos pruebas que se realizaron, una de ellas con el motor del vehículo en ralentí y la otra prueba con el motor del vehículo sometido a un régimen de carga de 2 500 rpm. Al analizar la figura 3.1 se puede deducir que los valores de CO e HC cuando el vehículo se encuentra en ralentí son menores a los valores cuando el vehículo está a 2 500 rpm; dando excelentes referencias sobre el estado del sistema de inyección y el proceso de combustión que se realiza en el interior del cilindro del motor.

En cuanto a los  $\text{NO}_x$  se tiene 146,51 ppm en ralentí frente a 116,56 ppm con la prueba a 2 500 rpm; reflejando que el sistema de recirculación de gases de escape funciona eficientemente al aumentarse las revoluciones del motor, que existe una gran cantidad de oxígeno y sobre todo una elevada temperatura que incentivará a la producción de óxidos de nitrógeno con el motor en ralentí.

### 3.2.2 ANÁLISIS DE LOS DATOS OBTENIDOS AL VEHÍCULO LIVIANO (B)

Dentro del análisis de gases de escape que se desarrolló en el vehículo marca Chevrolet, modelo D-MAX CRDi 3.0 CD, nuevo, se obtuvo los siguientes datos expresados a continuación en la figura 3.2.



**Figura 3.2** Promedio de gases de escape vehículo liviano (b) nuevo

Los valores de los datos obtenidos corresponden al horario establecido para el vehículo liviano (b), en donde se establecen dos pruebas una a ralentí y otra con el régimen del motor a 2 500 rpm.

Analizando la figura 3.2 se puede deducir que los valores de CO equivalente a 0,06 % Vol en ralentí, son menores a los valores de CO equivalente a 0,14 % Vol a 2 500 rpm dando una muestra de que en regímenes altos el carbono del combustible no se puede

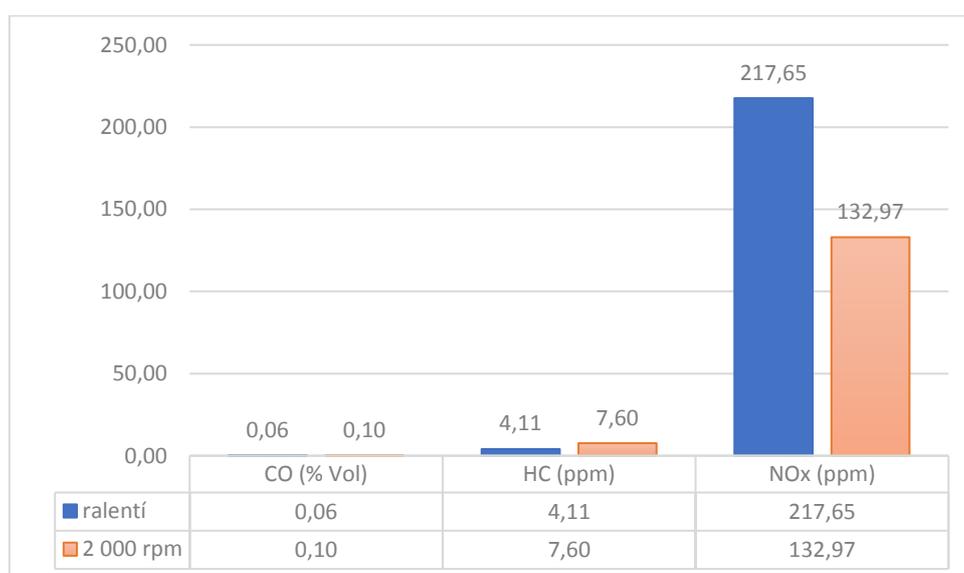
convertir en dióxido de carbono CO<sub>2</sub>, debido a la formación de mezclas heterogéneas y zonas donde el aire no es suficiente y el combustible no completa las reacciones de oxidación necesarias.

En cuanto a los HC se tiene 12,28 ppm en ralentí y 14,75 ppm en la prueba a 2 500 rpm; evidenciando que la presencia de partículas de combustible no combustionado en los gases de escape es muy baja, debido a que se tiene mezclas muy pobres y se combustiona todo el combustible que ha ingresado.

Finalmente, en referencia a los NO<sub>x</sub> se tiene 172,51 ppm en ralentí frente a 90,74 ppm con la prueba a 2 500 rpm; comprobando que el sistema de recirculación de gases de escape funciona eficientemente al aumentarse las revoluciones del motor, existe una gran cantidad de oxígeno y sobre todo una elevada temperatura que incentivará a la producción de óxidos de nitrógeno con el motor en ralentí.

### 3.2.3 ANÁLISIS DE LOS DATOS OBTENIDOS AL VEHÍCULO PESADO (A)

Dentro del análisis de gases de escape que se desarrolló en el vehículo marca Hino, modelo GH8JF7D-XG3, nuevo, se obtuvo los siguientes datos expresados a continuación en la figura 3.3.



**Figura 3.3** Promedio de gases de escape vehículo pesado (a) nuevo

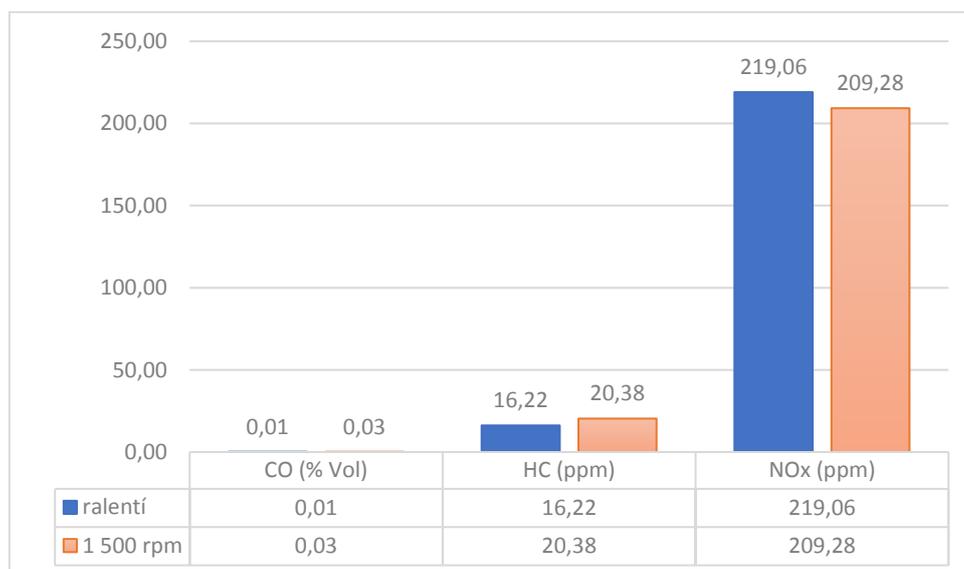
Los valores de los datos obtenidos corresponden al horario establecido para el vehículo pesado (a), realizándose dos pruebas en estado estático: una a ralentí y otra con el régimen del motor a 2 000 rpm.

Al analizar la figura 3.3 se puede deducir que los valores de CO e HC cuando el vehículo se encuentra en ralentí son menores a los valores cuando el vehículo está a 2 000 rpm; al ser el vehículo de la serie Hino 500 cumple con la normativa euro 3 por lo tanto las emisiones de HC son muy reducidas, lo que da como resultado 4,11 ppm en ralentí frente a 7,60 ppm con el régimen del motor a 2 000 rpm, esto significa que todo el combustible se está combustionando en el interior de la cámara de combustión.

En cuanto a los NO<sub>x</sub> se tiene 217,65 ppm en ralentí frente a 132,97 ppm con la prueba a 2 000 rpm; comprobando el buen funcionamiento de los sistemas anticontaminación, como es el caso de la válvula EGR que funciona con el aumento del rpm del motor.

### 3.2.4 ANÁLISIS DE LOS DATOS OBTENIDOS AL VEHÍCULO PESADO (B)

Dentro del análisis de gases de escape que se desarrolló en el vehículo marca Hino, modelo SS1EKSA-VAX, nuevo, se obtuvo los siguientes datos expresados a continuación en la figura 3.4.



**Figura 3.4** Promedio de gases de escape vehículo pesado (b) nuevo

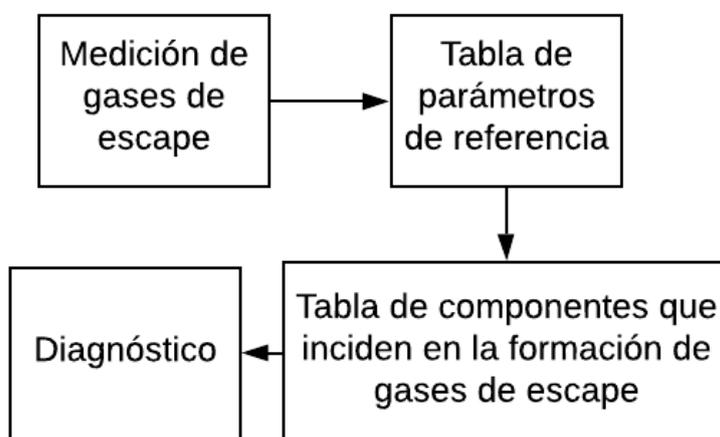
Los valores de los datos obtenidos corresponden al horario establecido para el vehículo pesado (b), realizándose dos pruebas en estado estático: una a ralentí y otra con el régimen del motor a 1 500 rpm.

Al analizar la figura 3.4 se puede deducir que los valores de CO e HC cuando el vehículo se encuentra en ralentí son menores a los valores cuando el vehículo está a 1 500 rpm; al tener valores muy bajos de CO se tiene una idea de que el sistema de inyección está funcionando de forma eficiente, brindando la cantidad exacta de combustible de acuerdo a los requerimientos del motor.

En cuanto a los valores de las emisiones de HC del vehículo de la serie Hino 700 que cumple con la normativa euro 3; obteniendo 16,22 ppm en ralentí frente a 20,38 ppm con el régimen del motor a 1 500 rpm, esto significa que gran parte del combustible inyectado a la cámara de combustión se está combustionando y que por ser un motor de alto cilindraje contamina en mayor cantidad.

En cuanto a los NO<sub>x</sub> se tiene 219,06 ppm en ralentí frente a 209,28 ppm con la prueba que se realiza a 1 500 rpm; esto quiere decir que la presión y la temperatura son elevadas en este tipo de motores incentivando a la formación de este gas contaminante, el sistema de recirculación de gases ayuda a reducir NO<sub>x</sub> en un régimen elevado del motor con la introducción de los gases que salen de la combustión hacia la admisión, pero no es suficiente ya que la reducción es del 4,55 %.

### 3.3 PLAN DE DIAGNÓSTICO



**Figura 3.5** Metodología aplicada al plan de diagnóstico

Para realizar la detección de los fallos en los vehículos de combustión interna de encendido por compresión MEC a través de una prueba en estado estático, se eligieron 4 tipos de vehículos en los que se tiene dos livianos y dos pesados, con el sistema de inyección de riel común CRDi, turbo alimentados, utilizan diésel como combustible y que luego se han dividido de acuerdo a la cilindrada de cada uno de ellos.

Siguiendo el protocolo de medición establecido, se obtienen los datos emitidos por el analizador de gases AUTOplus 5-2, luego se debe comparar con los valores de la tabla de parámetros de referencia de acuerdo al tipo de vehículo evaluado; y se establece en qué rango se encuentra. Para facilitar la comprensión e interpretación de las tablas que se mostrarán a continuación es necesario definir algunos términos:

Rango establecido: es una serie de valores tomados de un vehículo nuevo por medio del analizador de gases AUTOplus 5-2, los cuales se consideran ideales debido a que todos los componentes del motor se encuentran en perfectas condiciones, trabajando con su máxima eficiencia y la mínima contaminación ambiental; el rango de este valor está determinado por el valor mínimo obtenido en el vehículo nuevo, hasta el valor promedio obtenido de las tablas de ralentí o del régimen del motor a plena carga en el vehículo nuevo.

Defecto tipo 1; aparece cuando los valores del vehículo analizado coinciden con los de esta columna; evidenciando que existe la presencia de defectos que no involucran un riesgo inminente para los componentes del motor y/o para el medio ambiente, este tipo de defecto no condiciona al motor ni a sus componentes; el rango de este valor está determinado por el valor mayor que el promedio obtenido en el vehículo nuevo, hasta el valor máximo de las tablas de ralentí o del régimen del motor a plena carga en el vehículo nuevo.

Defecto tipo 2; aparece cuando los valores del vehículo analizado coinciden con los de esta columna; evidenciando que existe la presencia de defectos que son un riesgo potencial para el motor del vehículo y/o para el medio ambiente, este tipo de defecto no condiciona al motor, pero sí a sus componentes; el rango de este valor está determinado por el valor mayor que máximo de las tablas de ralentí o del régimen del motor a plena

carga en el vehículo nuevo, hasta el valor máximo de las tablas de ralentí o del régimen del motor a plena carga en el vehículo usado.

Defecto tipo 3; aparece cuando los valores del vehículo analizado coinciden con los de esta columna; esto quiere decir que se tiene la presencia de defectos que representan un riesgo inminente para los componentes y sistemas de motor y/o medio ambiente, este defecto condiciona al vehículo automotor reprobando por el mal estado de sus componentes; este valor se tomó como referencial y está determinado por la Norma Oficial Mexicana NOM-167-SEMARNAT 2017.

Continuando con la metodología aplicada al plan de diagnóstico, se cuenta con la tabla 3.1 la cual expresa todos los componentes que inciden en la formación de gases de escape; esta tabla contiene varios colores los cuales fueron seleccionados de acuerdo a la incidencia en la producción y aumento de los gases de escape CO, HC, NO<sub>x</sub>; y representan un inminente riesgo para el motor del vehículo y/o para el medio ambiente. Para facilitar la comprensión e interpretación de la tabla que se mostrará a continuación es necesario definir algunos términos:

Recuadro de color blanco; quiere decir que todos los componentes del motor se encuentran en perfecto estado y sus sistemas auxiliares trabajan de manera eficiente, por ende, no tienen incidencia en la formación de CO, HC y NO<sub>x</sub>.

Recuadro de color verde; quiere decir que ciertos componentes del motor o de sus sistemas auxiliares están presentando problemas leves, lo que conlleva a tener una baja incidencia en la formación de CO, HC y NO<sub>x</sub>.

Recuadro de color amarillo; quiere decir que ciertos componentes del motor presentan desgastes o sus sistemas auxiliares están presentando problemas, lo que conlleva a tener un alto margen de incidencia en la formación de CO, HC y NO<sub>x</sub>.

Recuadro de color rojo; quiere decir que ciertos componentes del motor presentan serios problemas o sus sistemas auxiliares están empezando a fallar por tiempos más prolongados, lo que conlleva a tener incidencia completa en la formación de CO, HC y NO<sub>x</sub>.

**Tabla 3.1** Componentes que inciden en la formación de gases de escape

GASES DE ESCAPE COMPONENTES	BOMBA ELÉCTRICA	FILTRO DE COMBUSTIBLE	BOMBA DE ALTA PRESIÓN	VÁLVULA DOSIFICADORA DE COMBUSTIBLE	RIEL COMÚN	INYECTORES	FILTRO DE AIRE	TURBO	RINES DESGASTADOS	GUÍAS DE VÁLVULAS DESGASTADAS	ASIENTOS DE VÁLVULAS	EGR
	CO	Yellow	Green	Red	Yellow	Red	Red	Green				Yellow
HC		Yellow	Green	Yellow		Red	Yellow	Red	Yellow	Red		
NO <sub>x</sub>								Yellow	Red	Red	Red	Red

Por último, se diagnostica el vehículo, llevando a cabo todo el proceso para finalizar con un informe del estado actual de los componentes del motor y sus sistemas auxiliares; aplicando la metodología de diagnóstico basada en las emisiones de CO, HC y NO<sub>x</sub>.

### 3.3.1 VEHÍCULOS CON CILINDRADA DE 1 500 A 1 600 CC

El vehículo con el que se trabajó y que está dentro del valor de 1 500 a 1 600 cc; ha sido seleccionado por estar presente en el mercado local y nacional, tiene un motor turbo alimentado de 1 560 cc, que eroga una potencia de 92 CV y 230 Nm de par @ 1 750 rpm, se destaca como un automóvil robusto diseñado para resistir la prueba del tiempo y los kilómetros.

Con las pruebas realizadas de análisis de gases de escape se obtuvo la siguiente tabla 3.2 en donde se muestran los parámetros de referencia para vehículos livianos con cilindrada entre 1 500 a 1 600 cc y con esta tabla se procederá a comprobar la ubicación del valor obtenido dentro de la misma; teniendo como opciones el rango establecido, defecto tipo 1, defecto tipo 2 y defecto tipo 3 que reprueba la revisión.

**Tabla 3.2** Parámetros de referencia para vehículos livianos

<b>Gases de escape en Ralentí</b>	<b>rango establecido</b>	<b>Defecto tipo 1</b>	<b>Defecto tipo 2</b>	<b>Defecto tipo 3 Reprueba</b>
<b>CO</b>	0,01 - 0,12	0,13 - 0,20	0,21 - 0,24	< 1 %
<b>HC</b>	0 - 9,36	9,37 - 29	29,01 - 32	< 100 ppm
<b>NO<sub>x</sub></b>	119 - 146,51	146,52 - 189	189,01 - 190	< 1000 ppm
<b>Gases de escape a 2500 rpm</b>	<b>rango establecido</b>	<b>Defecto tipo 1</b>	<b>Defecto tipo 2</b>	<b>Defecto tipo 3 Reprueba</b>
<b>CO</b>	0,01 - 0,15	0,16 - 0,27	0,28 - 0,34	< 1%
<b>HC</b>	0 - 11,32	11,33 - 26	26,01 - 54	< 100 ppm
<b>NO<sub>x</sub></b>	63 - 116,56	116,57 - 160	160,01 - 165	< 1000 ppm

### 3.3.2 VEHÍCULOS CON CILINDRADA DE 1 601 A 3 000 CC

El vehículo con el que se trabajó y que está dentro del valor de 1 601 a 3 000 cc; ha sido seleccionado por ser uno de los vehículos más comercializados a nivel local y nacional, tiene un motor turbo alimentado de 3,0 litros que eroga una potencia de 134 HP y 294 Nm de par, es apto para la geografía ecuatoriana, con la seguridad y la tecnología indispensable para realizar el trabajo más duro, con la comodidad que se necesita, su gran capacidad de carga y su eficiente consumo de combustible la convierten en la mejor opción.

Con las pruebas realizadas de análisis de gases de escape se obtuvo la siguiente tabla 3.3 en donde se tiene los parámetros de referencia para realizar una evaluación y diagnóstico de una camioneta con cilindrada comprendida entre 1 601 a 3 000 cc; con esta tabla se procederá a comprobar la ubicación del valor obtenido dentro de la misma; teniendo como opciones el rango establecido, defecto tipo 1, defecto tipo 2 y defecto tipo 3 que reprueba la revisión.

**Tabla 3.3** Parámetros de referencia para vehículos livianos (camionetas)

<b>Gases de escape en Ralentí</b>	<b>rango establecido</b>	<b>Defecto tipo 1</b>	<b>Defecto tipo 2</b>	<b>Defecto tipo 3 Reprueba</b>
CO	0,00 - 0,06	0,07 - 0,17	0,18 - 0,22	< 1 %
HC	1 - 12,28	12,29 - 40	40,01 - 44	< 100 ppm
NOx	122 - 172,51	172,52- 175	175,01 - 217	< 1000 ppm
<b>Gases de escape a 2500 rpm</b>	<b>rango establecido</b>	<b>Defecto tipo 1</b>	<b>Defecto tipo 2</b>	<b>Defecto tipo 3 Reprueba</b>
CO	0,00 - 0,14	0,15 - 0,29	0,30 - 0,39	< 1%
HC	0 - 14,75	14,76 - 36	36,01 - 54	< 100 ppm
NOx	77 - 90,74	90,75 - 117	117,01 - 167	< 1000 ppm

### 3.3.3 VEHÍCULOS CON CILINDRADA DE 3 001 A 8 000 CC

El vehículo con el que se trabajó y que está dentro del valor de 3 001 a 8 000 cc; ha sido seleccionado por ofrecer una gran versatilidad de aplicaciones como son furgón, tanquero, camión y volquete, además de ser un vehículo homologado en Ecuador, tiene un motor turbo alimentado de 7 684 cc, que eroga una potencia de 276 HP y 90 Nm de par @ 1 500 rpm, su capacidad de carga es de 12 705 kg y es un Hino serie 500.

Con las pruebas realizadas de análisis de gases de escape se obtuvo la siguiente tabla 3.4 en donde se tiene los parámetros de referencia para vehículos pesados con cilindrada comprendida entre 3 001 a 8 000 cc y con esta tabla se procederá a comprobar la ubicación del valor obtenido dentro de la misma; teniendo como opciones el rango establecido, defecto tipo 1, defecto tipo 2 y defecto tipo 3 que reprueba la revisión.

**Tabla 3.4** Parámetros de referencia para vehículos pesados (a)

<b>Gases de escape en Ralentí</b>	<b>rango establecido</b>	<b>Defecto tipo 1</b>	<b>Defecto tipo 2</b>	<b>Defecto tipo 3 Reprueba</b>
CO	0,00 - 0,06	0,07 - 0,11	0,12 - 0,17	< 1 %
HC	1 - 4,11	4,12 - 17	17,01 - 21	< 100 ppm
NOx	108 - 217,65	217,66 - 219,66	219,67 - 222	< 1000 ppm
<b>Gases de escape a 2000 rpm</b>	<b>rango establecido</b>	<b>Defecto tipo 1</b>	<b>Defecto tipo 2</b>	<b>Defecto tipo 3 Reprueba</b>
CO	0,00 - 0,10	0,11 - 0,19	0,20 - 0,26	< 1%
HC	0 - 7,6	7,61 - 17	17,01 - 39	< 100 ppm
NOx	103 - 132,97	132,98 - 165,17	165,18 - 246	< 1000 ppm

### 3.3.4 VEHÍCULOS CON CILINDRADA DE 8 001 A 13 000 CC

El vehículo con el que se trabajó y que está dentro del valor de 8 001 a 13 000 cc, ha sido seleccionado por estar presente en el mercado local y nacional; tiene un motor con sistema CRDi, normativa euro 3, de mayor potencia de motor con menor consumo de combustible con un cilindraje de 12 913 cc, tiene aplicaciones tanto de bañera, como de tráiler y es muy accesible económicamente frente a los vehículos empleados para estas actividades.

Con las pruebas realizadas de análisis de gases de escape se obtuvo la siguiente tabla 3.5 en donde se tiene los parámetros de referencia para realizar una evaluación y diagnóstico de un vehículo pesado con cilindrada comprendida entre 8 001 a 13 000 cc y con esta tabla se procederá a comprobar la ubicación del valor obtenido dentro de la misma; teniendo como opciones el rango establecido, defecto tipo 1, defecto tipo 2 y defecto tipo 3 que reprueba la revisión.

**Tabla 3.5** Parámetros de referencia para vehículos pesados (b)

<b>Gases de escape en Ralentí</b>	<b>rango establecido</b>	<b>Defecto tipo 1</b>	<b>Defecto tipo 2</b>	<b>Defecto tipo 3 Reprueba</b>
CO	0,002 - 0,01	0,02 - 0,08	0,09 – 0,71	< 1 %
HC	0- 16,22	16,23 - 23	23,01 - 47	< 100 ppm
NOx	90 - 219,06	219,07 - 230,16	230,17 - 265	< 1000 ppm
<b>Gases de escape a 1500 rpm</b>	<b>rango establecido</b>	<b>Defecto tipo 1</b>	<b>Defecto tipo 2</b>	<b>Defecto tipo 3 Reprueba</b>
CO	0,00 - 0,03	0,04 - 0,09	0,10 - 0,27	< 1%
HC	1 - 20,38	20,39 - 32	32,01 - 53	< 100 ppm
NOx	189,33 - 274	274,01 - 349	349,01 - 424	< 1000 ppm

### 3.4 VALIDACIÓN DE LOS DATOS OBTENIDOS

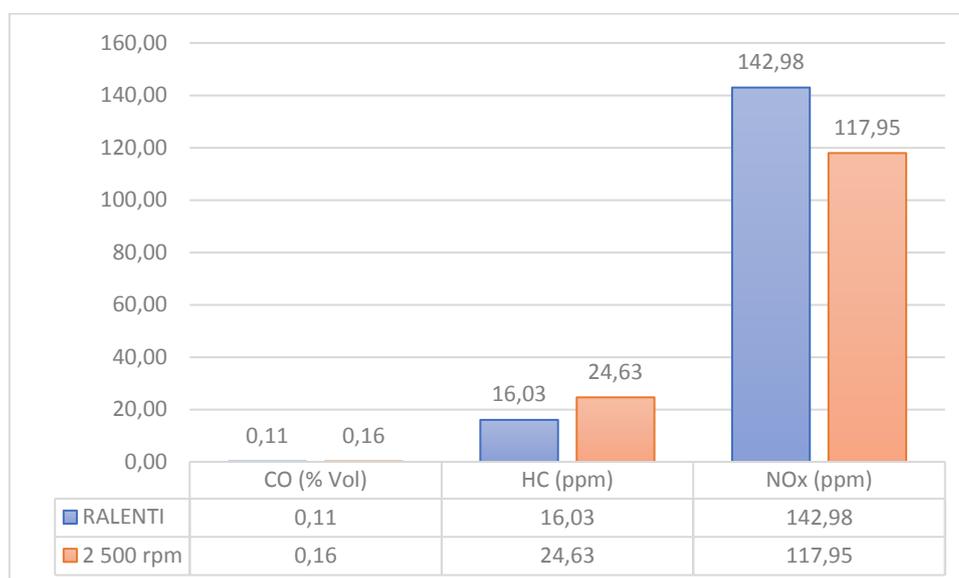
Con las diferentes pruebas de análisis de gases de escape realizadas utilizando el analizador de gases AUTOplus 5-2 en los mismo tipos y modelos de vehículos (nuevos), se procedieron a evaluar las emisiones de monóxido de carbono CO, hidrocarburos no combustionados HC y óxidos de nitrógeno NO<sub>x</sub> en cada uno de los vehículos (usados) con más de 100 000 km; con el propósito de diagnosticar el estado de los componentes y sistemas auxiliares del motor dependiendo de la cilindrada que estos tengan.

#### 3.4.1 ANÁLISIS DE LOS DATOS OBTENIDOS EN EL VEHÍCULO LIVIANO (USADO)

A continuación, en la figura 3.6 se muestran los valores promedio obtenidos de las pruebas realizadas al vehículo liviano marca Citroën, modelo C-ELYSÉE HDi 92 FEEL, (usado), según el horario establecido y en los regímenes de trabajo establecidos, cumpliendo con la metodología empleada para el desarrollo de esta investigación.

Para realizar el diagnóstico del estado del motor y sus componentes se debe empezar revisando la figura 3.7, en donde se muestran los parámetros de referencia para vehículos livianos con un cilindraje de 1 500 a 1 600 cc; con los valores obtenidos en el vehículo

liviano (usado), se tiene que realizar una evaluación y comprobación para ubicar la columna en la que se encuentra el valor medido.



**Figura 3.6** Promedio de gases de escape vehículo liviano (usado)

Gases de escape Ralentí	rango establecido	Defecto tipo 1	Defecto tipo 2	Defecto tipo 3 Reprueba
CO	0,01 - 0,12	0,13 - 0,20	0,21 - 0,24	< 1 %
HC	0 - 9,36	9,37 - 29	29,01 - 32	< 100 ppm
NO <sub>x</sub>	119 - 146,51	146,52 - 189	189,01 - 190	< 1000 ppm
Gases de escape a 2500 rpm	rango establecido	Defecto tipo 1	Defecto tipo 2	Defecto tipo 3 Reprueba
CO	0,01 - 0,15	0,16 - 0,27	0,28 - 0,34	< 1%
HC	0 - 11,32	11,33 - 26	26,01 - 54	< 100 ppm
NO <sub>x</sub>	63 - 116,56	116,57 - 160	160,01 - 165	< 1000 ppm

**Figura 3.7** Parámetros de referencia vehículos con cilindraje de 1 500 a 1 600 cc

Continuando con el diagnóstico se debe revisar la figura 3.8 en donde se explica de manera clara con diferentes tonalidades cual es el elemento y/o componentes que inciden directamente en la formación de CO, HC o NO<sub>x</sub>. La utilización de esta figura se complementa con la figura 3.7, ya que determina el color de la figura 3.8 debido a que se relaciona directamente con el defecto tipo 1 el color verde, el color amarillo con el defecto tipo 2, y con el defecto tipo 3 o fuera del rango el color rojo.

GASES DE ESCAPE COMPONENTES	BOMBA ELÉCTRICA	FILTRO DE COMBUSTIBLE	BOMBA DE ALTA PRESIÓN	VÁLVULA DOSIFICADORA DE COMBUSTIBLE	RIEL COMÚN	INYECTORES	FILTRO DE AIRE	TURBO	RINES DESGASTADOS	GUÍAS DE VÁLVULAS DESGASTADAS	ASIENTOS DE VÁLVULAS	EGR
	CO	Yellow	Green	Red	Yellow	Red	Red	Green				Yellow
HC		Yellow	Green	Yellow		Red	Yellow	Red	Yellow	Red		
NO <sub>x</sub>								Yellow	Red	Red	Red	Red

**Figura 3.8** Componentes que inciden en la formación de CO, HC y NO<sub>x</sub>

Para analizar el estado actual del vehículo liviano sometido a la prueba de emisiones de gases en estado estático, se ha resumido en la tabla 3.6 los valores que ha arrojado el analizador de gases AUTOplus 5-2.

**Tabla 3.6** Estado del vehículo liviano (usado)

Vehículo liviano (usado)					
Gases de escape	Promedio en Ralentí	Parámetros de referencia	Promedio a 2 500 rpm	Parámetros de referencia	Componentes que inciden en la formación de gases de escape
<b>CO (%Vol)</b>	0,11	Rango establecido	0,16	Defecto tipo 1	Filtro de combustible, filtro de aire.
<b>HC (ppm)</b>	16,03	Defecto tipo 1	24,63	Defecto tipo 1	Bomba de alta presión
<b>NO<sub>x</sub> (ppm)</b>	142,98	Rango establecido	117,95	Defecto tipo 1	Revisar niveles de los fluidos.

Analizando el estado del vehículo liviano (usado) mostrado en la tabla 3.6 se determina que los valores de CO se encuentran en 0,11 % Vol en ralentí y 0,16 % Vol a 2 500 rpm; el valor obtenido en ralentí por este vehículo revela que se encuentra dentro del rango establecido, lo que significa que no presenta ningún componente o sistema del motor que esté elevando los valores de CO; con el valor obtenido a 2 500 rpm se puede decir que el vehículo está presentando componentes o elementos que a regímenes de trabajo elevado

están incidiendo levemente en la formación de CO, esto se debe a que tanto el filtro de combustible y el filtro de aire están sucios y tienen que ser reemplazados.

Los valores de HC se encuentran en 16,03 ppm en ralentí y 24,63 ppm a 2 500 rpm; el valor obtenido en ralentí por este vehículo revela que se encuentra con defectos de tipo 1; los cuales no condicionan al vehículo, ya que sus componentes y sistemas se encuentran en buen estado; con el valor obtenido a 2 500 rpm se puede decir que el vehículo está presentando componentes o elementos que a regímenes de trabajo elevado tienen una leve incidencia en la formación de HC; esto se debe a filtro de aire sucio que no permite que ingrese la suficiente cantidad de aire al interior de la cámara de combustión, que el filtro de combustible este lleno de impurezas, lo que conlleva a que el flujo de combustible se obstruya, se debe comprobar ciertos componentes como son la bomba de alta presión.

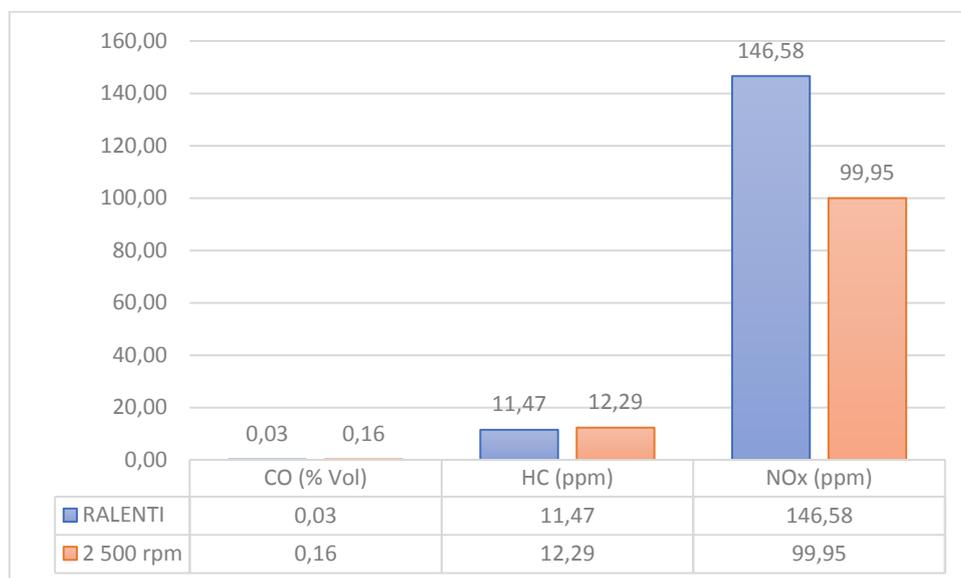
Los valores de NO<sub>x</sub> se encuentran en 142,98 ppm en ralentí y 117,95 ppm a 2 500 rpm; el valor obtenido en ralentí por este vehículo revela que se encuentra en perfectas condiciones al estar dentro del rango establecido, no existen pérdidas de presión; con el valor obtenido a 2 500 rpm se puede decir que el vehículo cuando está sometido a altos regímenes de trabajo tiene una leve incidencia en la formación de NO<sub>x</sub>; por ello se debe revisar si existen fugas de fluidos comprobando los niveles, ya que existen mínimas fugas de presión.

Se concluye que el vehículo liviano sometido a la prueba de análisis de gases se encuentra dentro de los valores establecidos como parámetros de referencia, presenta defectos de tipo 1 que no afectan directamente a los componentes del motor, necesita un mantenimiento de filtros y por lo tanto el diagnóstico es favorable aprobando la prueba a través del análisis de gases de escape.

### **3.4.2 ANÁLISIS DE LOS DATOS OBTENIDOS EN EL VEHÍCULO LIVIANO (B USADO)**

A continuación, en la figura 3.9 se muestran los valores promedio obtenidos de las pruebas realizadas al vehículo liviano marca Chevrolet, modelo D-MAX CRDi 3.0 CD

(usado), según el horario establecido y en los regímenes de trabajo establecidos cumpliendo con la metodología empleada para el desarrollo de esta investigación.



**Figura 3.9** Promedio de gases de escape vehículo liviano (b usado)

Para realizar el diagnóstico del estado del motor y sus componentes se debe empezar revisando la figura 3.10, en donde se muestran los parámetros de referencia para vehículos livianos con un cilindraje de 1 601 a 3 000 cc, con los valores obtenidos en el vehículo liviano (b usado), se tiene que realizar una evaluación y comprobación para ubicar la columna en la que se encuentra el valor medido.

Continuando con el diagnóstico se debe revisar la figura 3.11 en donde se explica de manera clara con diferentes tonalidades cuál es el elemento y/o componentes que inciden directamente en la formación de CO, HC o NO<sub>x</sub>. la utilización de esta figura se complementa con la figura 3.10, ya que determina el color de la figura 3.11 debido a que se relaciona directamente con el defecto tipo 1 el color verde, el color amarillo con el defecto tipo 2, y con el defecto tipo 3 o fuera de rango el color rojo.

Gases de escape Ralenti	rango establecido	Defecto tipo 1	Defecto tipo 2	Defecto tipo 3 Reprueba
CO	0,00 - 0,06	0,07 - 0,17	0,18 - 0,22	< 1 %
HC	1 - 12,28	12,29 - 40	40,01 - 44	< 100 ppm
NOx	122 - 172,51	172,52- 175	175,01 - 217	< 1000 ppm
Gases de escape a 2500 rpm	rango establecido	Defecto tipo 1	Defecto tipo 2	Defecto tipo 3 Reprueba
CO	0,00 - 0,14	0,15 - 0,29	0,30 - 0,39	< 1%
HC	0 - 14,75	14,76 - 36	36,01 - 54	< 100 ppm
NOx	77 - 90,74	90,75 - 117	117,01 - 167	< 1000 ppm

**Figura 3.10** Parámetros de referencia vehículos con cilindraje de 1 601 a 3 000 cc

GASES DE ESCAPE COMPONENTES	COMPONENTES											
	BOMBA ELÉCTRICA	FILTRO DE COMBUSTIBLE	BOMBA DE ALTA PRESIÓN	VÁLVULA DOSIFICADORA DE COMBUSTIBLE	RIEL COMÚN	INYECTORES	FILTRO DE AIRE	TURBO	RINES DESGASTADOS	GUÍAS DE VÁLVULAS DESGASTADAS	ASIENTOS DE VÁLVULAS	EGR
CO	Yellow	Green	Red	Yellow	Red	Red	Green				Yellow	Yellow
HC		Yellow	Green	Yellow		Red	Yellow	Red	Yellow	Red	Red	
NOx								Yellow	Red	Red	Red	Red

**Figura 3.11** Componentes que inciden en la formación de CO, HC y NO<sub>x</sub>

Para analizar el estado actual del vehículo liviano (b) sometido a la prueba de emisiones de gases en estado estático, se ha resumido en la tabla 3.7 los valores que ha arrojado el analizador de gases AUTOplus 5-2.

**Tabla 3.7** Estado del vehículo liviano (b usado)

<b>Camioneta D-MAX (usado)</b>					
Gases de escape	Promedio en Ralentí	Parámetros de referencia	Promedio a 2 500 rpm	Parámetros de referencia	Componentes que inciden en la formación de gases de escape
<b>CO (%Vol)</b>	0,03	Rango establecido	0,16	Defecto tipo 1	Filtro de combustible, filtro de aire.
<b>HC (ppm)</b>	11,47	Rango establecido	12,29	Rango establecido	No presenta problemas
<b>NO<sub>x</sub> (ppm)</b>	146,58	Rango establecido	99,95	Defecto tipo 1	Presencia de fugas de presión, revisión de niveles de fluidos

Analizando el estado del vehículo liviano (b usado) mostrado en la tabla 3.7 se determina que los valores de CO se encuentran en 0,03 % Vol en ralentí y 0,16 % Vol a 2 500 rpm; el valor obtenido en ralentí por este vehículo revela que se encuentra dentro del rango establecido, lo que significa que no presenta ningún componente o sistema del motor que esté elevando los valores de CO; con el valor obtenido a 2 500 rpm se puede decir que el vehículo tiene defectos de tipo 1, ya que está presentando componentes o elementos que a regímenes de trabajo elevado están incidiendo levemente en la formación de CO, esto se debe a que tanto el filtro de combustible y el filtro de aire están sucios, se recomienda reemplazarlos.

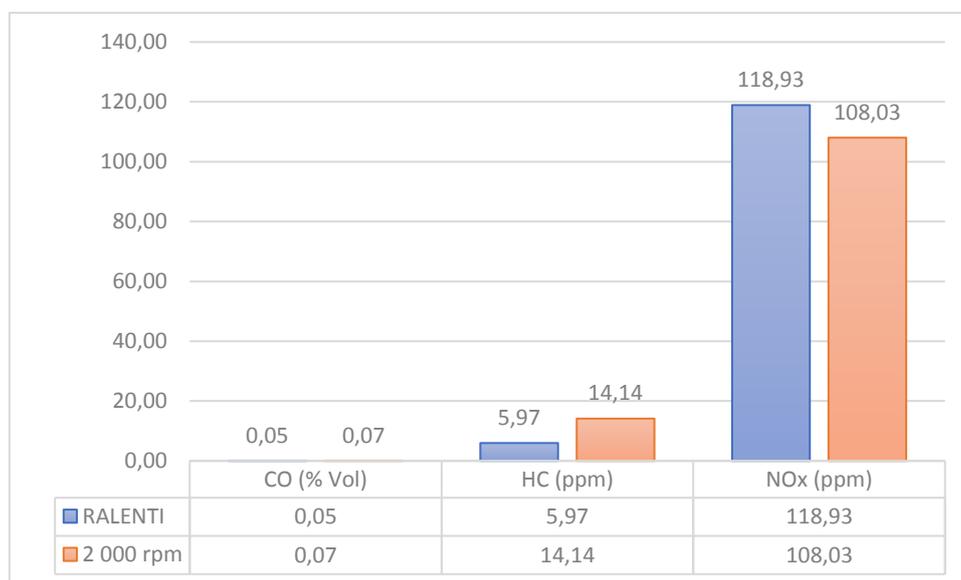
Los valores de HC se encuentran en 11,47 ppm en ralentí y 12,29 ppm a 2 500 rpm; el valor obtenido en ralentí por este vehículo revela que se encuentra dentro del rango establecido, que sus componentes y sistemas se encuentran en perfecto estado ya que se está combustionando el combustible que ingresa el motor en su totalidad; con el valor obtenido a 2 500 rpm se puede decir que el vehículo no presenta componentes o elementos que a regímenes de trabajo elevado incidan en la formación de HC.

Los valores de NO<sub>x</sub> se encuentran en 146,58 ppm en ralentí y 99,95 ppm a 2 500 rpm; el valor obtenido en ralentí por este vehículo revela que se encuentra dentro del rango establecido, los sistemas anticontaminación funcionan correctamente; con el valor a 2 500 rpm se presenta defectos tipo 1 por la presencia de fugas de presión mínimas, además se puede decir que cuando el vehículo eleva el régimen de revoluciones la válvula EGR, recircula los gases combustionados y reduce la producción de NO<sub>x</sub>.

Se concluye que el vehículo liviano (camioneta) sometido a la prueba de análisis de gases en ralentí, se encuentra con los valores de CO, HC y NO<sub>x</sub> dentro de la columna de rango establecido, no se está evidenciando componentes del motor que eleven los valores de los gases mencionados; cuando el régimen del motor es de 2 500 rpm existen defectos tipo 1, por lo que se recomienda realizar un mantenimiento preventivo en donde se debe cambiar filtro de combustible, filtro de aire, comprobación de los niveles de todos los fluidos y revisión de fugas de presión; por lo tanto el diagnóstico es favorable aprobando la prueba a través del análisis de gases de escape.

### 3.4.3 ANÁLISIS DE LOS DATOS OBTENIDOS EN EL VEHÍCULO PESADO (A USADO)

A continuación, en la figura 3.12 se muestran los valores promedio obtenidos de las pruebas realizadas al vehículo pesado (a) marca Hino, modelo GH8JF7D-XG3 (usado), según el horario establecido y en los regímenes de trabajo establecidos, cumpliendo con la metodología empleada para el desarrollo de esta investigación.



**Figura 3.12** Promedio de gases de escape vehículo pesado (a usado)

Para realizar el diagnóstico del estado del motor y sus componentes se debe empezar revisando la figura 3.13, en donde se muestran los parámetros de referencia para vehículos pesados con cilindraje de 3 001 a 8 000 cc; con los valores obtenidos en el vehículo pesado

(usado), se tiene que realizar una evaluación y comprobación para ubicar la columna en la que se encuentra el valor medido.

Gases de escape Ralentí	de escape en	rango establecido	Defecto tipo 1	Defecto tipo 2	Defecto tipo 3 Reprueba
CO		0,00 - 0,06	0,07 - 0,11	0,12 - 0,17	< 1 %
HC		1 - 4,11	4,12 - 17	17,01 - 21	< 100 ppm
NOx		108 - 217,65	217,66 - 219,66	219,67 - 222	< 1000 ppm
Gases de escape a 2000 rpm	de escape a 2000 rpm	rango establecido	Defecto tipo 1	Defecto tipo 2	Defecto tipo 3 Reprueba
CO		0,00 - 0,10	0,11 - 0,19	0,20 - 0,26	< 1%
HC		0 - 7,6	7,61 - 17	17,01 - 39	< 100 ppm
NOx		103 - 132,97	132,98 - 165,17	165,18 - 246	< 1000 ppm

**Figura 3.13** Parámetros de referencia vehículos con cilindraje de 3 000 a 8 000 cc

Continuando con el diagnóstico se debe revisar la figura 3.14 en donde se explica de manera clara con diferentes tonalidades cuál es el elemento y/o componentes que inciden directamente en la formación de CO, HC o NO<sub>x</sub>. La utilización de esta figura se complementa con la figura 3.13, ya que determina el color de la figura 3.14 debido a que se relaciona de forma directa con el defecto tipo 1 el color verde, el color amarillo con el defecto tipo 2, y con el defecto tipo 3 o fuera de rango el color rojo.

GASES DE ESCAPE COMPONENTES	BOMBA ELÉCTRICA	FILTRO DE COMBUSTIBLE	BOMBA DE ALTA PRESIÓN	VÁLVULA DOSIFICADORA DE COMBUSTIBLE	RIEL COMÚN	INYECTORES	FILTRO DE AIRE	TURBO	RINES DESGASTADOS	GUÍAS DE VÁLVULAS DESGASTADAS	ASIENTOS DE VÁLVULAS	EGR
CO	Verde	Amarillo	Rojo	Amarillo	Rojo	Rojo	Amarillo				Rojo	Amarillo
HC		Amarillo	Amarillo	Amarillo		Rojo	Amarillo	Rojo	Amarillo	Rojo		
NOx								Amarillo	Rojo	Rojo	Rojo	Rojo

**Figura 3.14** Componentes que inciden en la formación de CO, HC y NO<sub>x</sub>

Para analizar el estado actual del vehículo pesado (usado) sometido a la prueba de emisiones de gases en estado estático, se ha resumido en la tabla 3.8 los valores que ha arrojado el analizador de gases AUTOplus 5-2.

**Tabla 3.8** Estado del vehículo pesado (a usado)

<b>Vehículo pesado (a usado)</b>					
Gases de escape	Promedio en Ralentí	Parámetros de referencia	Promedio a 2 000 rpm	Parámetros de referencia	Componentes que inciden en la formación de gases de escape
<b>CO (%Vol)</b>	0,05	Rango establecido	0,07	Rango establecido	No presentan problemas
<b>HC (ppm)</b>	5,97	Defecto tipo 1	14,14	Defecto tipo 1	Bomba de alta presión
<b>NO<sub>x</sub> (ppm)</b>	118,93	Rango establecido	108,03	Rango establecido	Revisar niveles de los fluidos

Analizando el estado del vehículo pesado (a usado) mostrado en la tabla 3.8 se determina que los valores de CO se encuentran en 0,05 % Vol en ralentí y 0,07% Vol a 2 000 rpm; el valor obtenido en ralentí por este vehículo revela que se encuentra dentro del rango establecido, lo que significa que no presenta ningún componente o sistema del motor que esté elevando los valores de CO; con el valor obtenido a 2 000 rpm se puede decir que el vehículo no está presentando componentes o elementos que a regímenes de trabajo elevado inciden en la formación de CO.

Los valores de HC se encuentran en 5,97 ppm en ralentí y 14,14 ppm a 2 000 rpm; el valor obtenido en ralentí por este vehículo revela que se encuentra con defectos de tipo 1; los cuales no condicionan al vehículo pero indican que un componente o sistema está afectando levemente a la formación de HC; con el valor obtenido a 2 000 rpm se puede decir que el vehículo está presentando componentes o elementos que a regímenes de trabajo elevado tienen una leve incidencia en la formación de HC, esto se debe a la presencia de combustible que no se ha combustionado en su totalidad, debido a la falta de aire para cierta cantidad de combustible, así como un exceso de combustible inyectado, además revisar la bomba de alta presión.

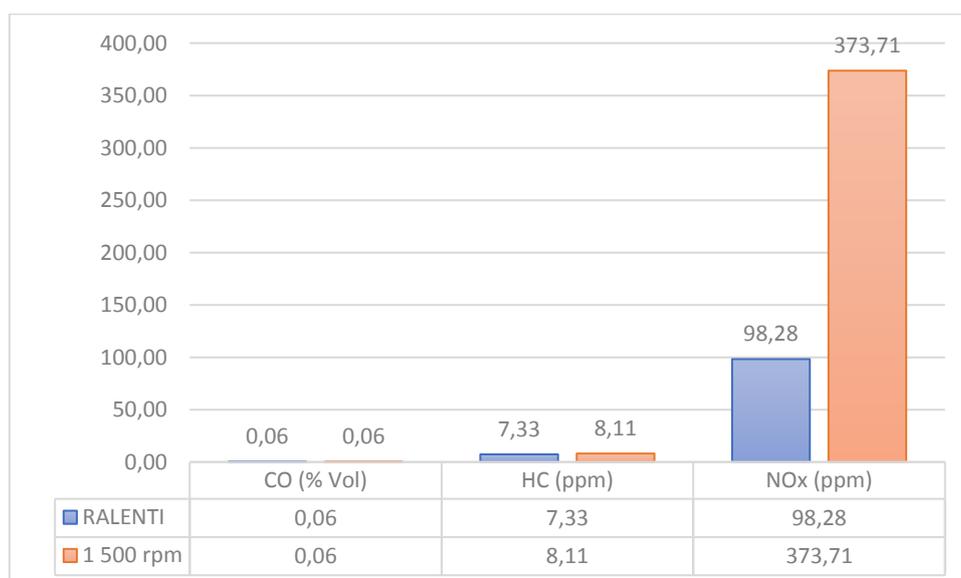
Los valores de NO<sub>x</sub> se encuentran en 118,93 ppm en ralentí y 108,03 ppm a 2 000 rpm; este vehículo revela a través de sus datos que se encuentra en perfectas condiciones al

estar dentro del rango establecido, los sistemas anticontaminación funcionan correctamente; con el valor a 2 000 rpm se puede decir que el vehículo eleva el régimen de revoluciones y la válvula EGR, recircula los gases combustionados y reduce la producción de NO<sub>x</sub>.

Se concluye que el vehículo pesado sometido a la prueba de análisis de gases se encuentra con los valores de CO y NO<sub>x</sub> dentro de lo normal; existen componentes que inciden levemente en la formación de HC, pero no condicionan al vehículo al estar con defecto tipo 1, por lo tanto, el diagnóstico es favorable aprobando la prueba a través del análisis de gases de escape.

### 3.4.4 ANÁLISIS DE LOS DATOS OBTENIDOS EN EL VEHÍCULO PESADO (B USADO)

A continuación, en la figura 3.15 se muestran los valores promedio obtenidos de las pruebas realizadas al vehículo pesado (b) marca HINO, modelo SS1EKSA-VAX, según el horario establecido y en los regímenes de trabajo establecidos, cumpliendo con la metodología empleada para el desarrollo de esta investigación.



**Figura 3.15** Promedio de gases de escape vehículo pesado (b usado)

Para realizar el diagnóstico del estado del motor y sus componentes se debe empezar revisando la figura 3.16, en donde se muestran los parámetros de referencia para vehículos pesados con un cilindraje de 8 001 a 13 000 cc; con los valores obtenidos en el vehículo pesado (b usado), se tiene que realizar una evaluación y comprobación para ubicar la columna en la que se encuentra el valor medido.

<b>Gases de escape Ralentí</b>	<b>rango en establecido</b>	<b>Defecto tipo 1</b>	<b>Defecto tipo 2</b>	<b>Defecto tipo 3 Reprueba</b>
CO	0,002 - 0,01	0,02 - 0,08	0,09 - 0,71	< 1 %
HC	0- 16,22	16,23 - 23	23,01 - 47	< 100 ppm
NOx	90 - 219,06	219,07 - 230,16	230,17 - 265	< 1000 ppm
<b>Gases de escape a 1500 rpm</b>	<b>rango establecido</b>	<b>Defecto tipo 1</b>	<b>Defecto tipo 2</b>	<b>Defecto tipo 3 Reprueba</b>
CO	0,00 - 0,03	0,04 - 0,09	0,10 - 0,27	< 1%
HC	1 - 20,38	20,39 - 32	32,01 - 53	< 100 ppm
NOx	189,33 - 274	274,01 - 349	349,01 - 424	< 1000 ppm

**Figura 3.16** Parámetros de referencia vehículos con cilindraje de 8 001 a 13 000 cc

Continuando con el diagnóstico se debe revisar la figura 3.17, en donde se explica de manera clara con diferentes tonalidades cuál es el elemento y/ o componentes que inciden directamente en la formación de CO, HC o NO<sub>x</sub>. La utilización de esta figura se complementa con la figura 3.16, ya que determina el color de la figura 3.17 debido a que se relaciona directamente con el defecto tipo 1 el color verde, el color amarillo con el defecto tipo 2, y con el defecto tipo 3 o fuera de rango el color rojo.

GASES DE ESCAPE COMPONENTES	BOMBA ELÉCTRICA	FILTRO DE COMBUSTIBLE	BOMBA DE ALTA PRESIÓN	VÁLVULA DOSIFICADORA DE COMBUSTIBLE	RIEL COMÚN	INYECTORES	FILTRO DE AIRE	TURBO	RINES DESGASTADOS	GUÍAS DE VÁLVULAS DESGASTADAS	ASIENTOS DE VÁLVULAS	EGR
	CO	Yellow	Green	Red	Yellow	Red	Red	Green				Yellow
HC		Yellow	Green	Yellow		Red	Yellow	Red	Yellow	Red		
NOx								Yellow	Red	Red	Red	Red

**Figura 3.17** Componentes que inciden en la formación de CO, HC y NO<sub>x</sub>

Para analizar el estado actual del vehículo pesado sometido a la prueba de emisiones de gases en estado estático, se ha resumido en la tabla 3.9 los valores que ha arrojado el analizador de gases AUTOplus 5-2.

**Tabla 3.9** Estado del vehículo pesado (b usado)

Vehículo pesado (b usado)					
Gases de escape	Promedio en Ralentí	Parámetros de referencia	Promedio a 1 500 rpm	Parámetros de referencia	Componentes que inciden en la formación de gases de escape
<b>CO (%Vol)</b>	0,06	Defecto tipo 1	0,06	Defecto tipo 1	Filtro de combustible, filtro de aire
<b>HC (ppm)</b>	7,33	Rango establecido	8,11	Rango establecido	No presenta componentes en mal estado
<b>NO<sub>x</sub> (ppm)</b>	98,28	Rango establecido	373,71	Defecto tipo 2	Revisar niveles de los fluidos, existen fugas de presión y turbo

Analizando el estado del vehículo pesado (b usado) mostrado en la tabla 3.9 se determina que los valores de CO se encuentran en 0,06 % Vol en ralentí y 0,06% Vol a 1 500 rpm; el valor obtenido en ralentí por este vehículo revela que se encuentra con defectos de tipo 1, lo que significa que algunos componentes o elementos del sistema del motor tienen una leve incidencia en la formación de CO, se debe realizar el mantenimiento de filtro de aire y filtro de combustible; con el valor obtenido a 1 500 rpm se puede decir que el vehículo está presentando componentes o elementos que a regímenes de trabajo elevado están

incidiendo levemente en la formación de CO, esto se debe a que tanto el filtro de combustible y el filtro de aire están sucios, se recomienda reemplazar.

Los valores de HC se encuentran en 7,33 ppm en ralentí y 8,11 ppm a 1 500 rpm; con estos valores se puede decir que el vehículo no tiene problemas en el motor, ni en sus componentes para que incidan en la formación de HC al encontrarse dentro del rango establecido.

Los valores de NO<sub>x</sub> se encuentran en 98,28 ppm en ralentí y 373,71 ppm a 1 500 rpm; el valor obtenido en ralentí por este vehículo revela que se encuentra dentro del rango establecido, no existen pérdidas de presión ni aumentos en la temperatura de la cámara de combustión; con el valor obtenido a 1 500 rpm se puede decir que el vehículo sometido a la prueba presenta defectos de tipo 2, con ello se comprueba que existen muchas pérdidas de presión; no se está alcanzando la presión y temperatura ideal en la cámara de combustión, esto se debe a que se tiene problemas con el tubo del motor, ya que cuando está sometido a altos regímenes de trabajo tiene una completa incidencia en la formación de NO<sub>x</sub>.

Se concluye que el vehículo pesado (b) sometido a la prueba de análisis de gases se encuentra con elevado consumo de combustible, pérdida de potencia y los valores de NO<sub>x</sub> muy elevados provocando mucha contaminación ambiental, ya que los valores muy están diferentes a los parámetros establecidos.

### **3.4.5 VALIDACIÓN DE LOS DATOS**

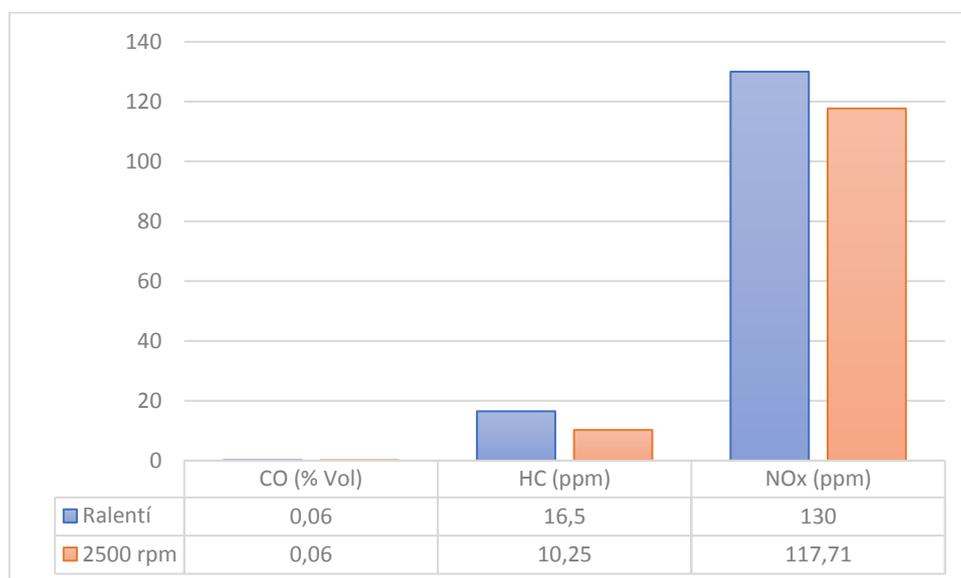
#### **3.4.5.1 Diagnóstico del vehículo marca Hyundai modelo Tucson 2.0 CRDi VGT Classic 4x2**

Se realizó la obtención de los valores de emisiones de gases de escape a través del analizador de gases AUTOplus 5-2, en el vehículo marca Hyundai, modelo Tucson 2.0 CRDi VGT Classic 4x2 con un kilometraje de 217 630 km, como se indica en la tabla 3.10

**Tabla 3.10** Valores vehículo Hyundai Tucson

Vehículo marca Hyundai modelo Tucson 2.0 CRDi VGT Classic 4x2		
Gases de escape	Ralentí	2 500 rpm
CO (% Vol)	0,06	0,06
HC (ppm)	16,5	10,25
NO <sub>x</sub> (ppm)	130	117,71

A continuación, en la figura 3.18 se muestran los valores promedio obtenidos de las pruebas realizadas al vehículo liviano marca Hyundai, modelo Tucson 2.0 CRDi VGT Classic 4x2, cumpliendo con la metodología empleada para el desarrollo de esta investigación.

**Figura 3.18** Promedio gases de escape vehículo Hyundai Tucson

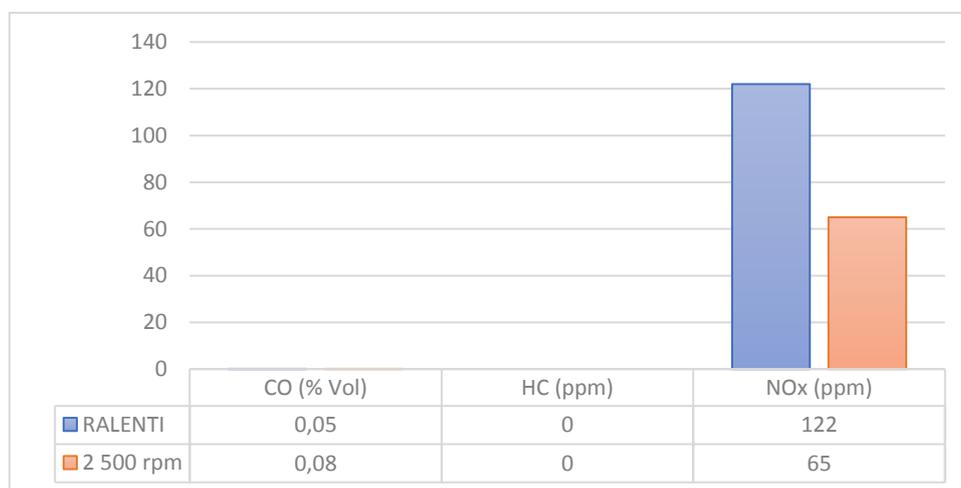
Continuando con el análisis para determinar el diagnóstico del vehículo mostrado en la tabla 3.10 se determina que los valores de CO se encuentran en 0,06 % Vol en ralentí y 0,06 % Vol a 2 500 rpm; con el valor en ralentí se evidencia que se encuentra dentro del límite del rango establecido y con el valor a 2 500 rpm se encuentra dentro del rango establecido.

Los valores de HC se encuentran en 16,5 ppm en ralentí y 10,25 ppm a 2 500 rpm; el valor obtenido en ralentí revela que se encuentra con defectos de tipo 1, los cuales no condicionan al vehículo, ya que sus componentes y sistemas se encuentran en buen

estado, pero se debe revisar la bomba de alta presión; con el valor obtenido a 2 500 rpm se puede decir que el vehículo está dentro del rango establecido.

Los valores de NO<sub>x</sub> se encuentran en 130 ppm en ralentí y 117,71 ppm a 2 500 rpm, el valor obtenido en ralentí por este vehículo revela que se encuentra en perfectas condiciones al estar dentro del rango establecido; con el valor obtenido a 2 500 rpm se puede decir que el vehículo se encuentra dentro de la columna de defecto tipo 2, ya que cuando está sometido a altos regímenes de trabajo tiene una completa incidencia en la formación de NO<sub>x</sub>, la válvula EGR no está cumpliendo con su función impidiendo la recirculación de gases de escape, se está alcanzando temperaturas muy elevadas por periodos de tiempo más largos y existe gran cantidad de aire que incentiva la formación de NO<sub>x</sub>, además el turbo está presentando desgastes que deben ser revisados.

Se realizó un mantenimiento al vehículo liviano marca Hyundai, modelo Tucson 2.0 CRDi VGT Classic 4x2, en donde se hizo un cambio de filtro de aire y de combustible para posterior realizar una medición de gases de escape en estado estático cumpliendo con la metodología empleada para el desarrollo de esta investigación y se obtuvieron los siguientes datos expresados en la tabla 3.11.



**Figura 3.19** Realizado mantenimiento al vehículo liviano

Continuando con el análisis para determinar el diagnóstico del vehículo mostrado en la figura 3.19 se determina que los valores de CO se encuentran en 0,05 % Vol en ralentí y 0,08 % Vol a 2 500 rpm; con el valor en ralentí se evidencia que se encuentra dentro del rango establecido y con el valor a 2 500 rpm se encuentra dentro del rango establecido.

Los valores de HC se encuentran en 0 ppm en ralentí y 0 ppm a 2 500 rpm; el valor obtenido en ralentí y el valor obtenido a 2 500 evidencian que todo el combustible se está combustionando en el interior del motor ya que se encuentra en el rango establecido, debido a que los filtros de aire y combustible son nuevos.

Los valores de NO<sub>x</sub> se encuentran en 122 ppm en ralentí y 65 ppm a 2 500 rpm, el valor obtenido en ralentí por este vehículo revela que se encuentra en perfectas condiciones al estar dentro del rango establecido; con el valor obtenido a 2 500 rpm se evidencia claramente que se encuentra fuera de los rangos establecidos presentando defectos de tipo 3, reprobando la prueba por ello se debe revisar fugas de presión, el turbo, se tiene rines con holguras que influyen en la pérdida de presión, además, existen fugas de presión por las guías de válvulas, se tiene presencia de carbonilla en los asientos de válvulas y la válvula EGR está funcionando mal.

Se concluye que para realizar un correcto diagnóstico se debe realizar un análisis de gases de escape, realizar los mantenimientos necesarios arrojados por la prueba y posterior realizar otra medición de gases de escape para determinar el estado de todos los componentes del motor y sistemas auxiliares como se lo realizó en el vehículo Hyundai, modelo Tucson 2.0 CRDi VGT Classic 4x2.

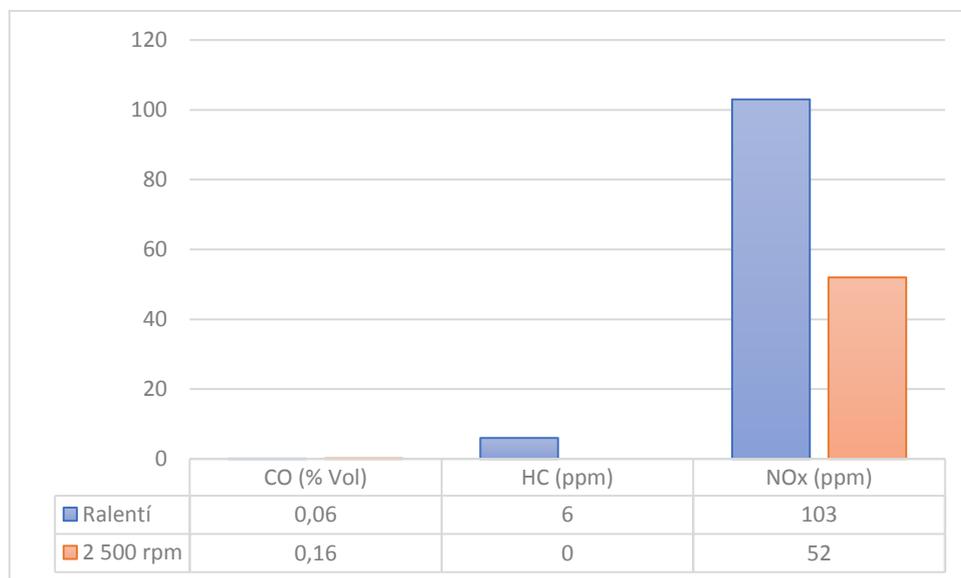
### 3.4.5.2 Diagnóstico del vehículo marca Kia modelo Sportage lx 2.0l 4x2 DSL

Se realizó la obtención de los valores de emisiones de gases de escape a través del analizador de gases AUTOplus 5-2, en el vehículo marca Kia, modelo Sportage lx 2.0l 4x2 DSL, con un kilometraje de 182 034 km, como se muestra en la tabla 3.11.

**Tabla 3.11** Valores vehículo Kia Sportage

KIA SPORTAGE LX 2.0L 4x2 DSL		
Gases de escape	Ralentí	2 500 rpm
CO (% Vol)	0,06	0,16
HC (ppm)	6	0
NO <sub>x</sub> (ppm)	103	52

A continuación, en la figura 3.20 se muestran los valores promedio obtenidos de las pruebas realizadas al vehículo liviano marca Kia, modelo Sportage LX 2.0L 4x2 DSL, cumpliendo con la metodología empleada para el desarrollo de esta investigación.



**Figura 3.20** Promedio de gases de escape vehículo Kia Sportage

Continuando con el análisis para determinar el diagnóstico del vehículo mostrado en la tabla 3.11 se determina que los valores de CO se encuentran en 0,06 % Vol en ralentí y 0,16 % Vol a 2 500 rpm; con el valor en ralentí se evidencia que se encuentra dentro del límite del rango establecido y con el valor a 2 500 rpm se determina defectos de tipo 1 debido al filtro de aire y filtro de combustible que se encuentran con la presencia de impurezas.

Los valores de HC se encuentran en 6 ppm en ralentí y 0 ppm a 2 500 rpm; los dos valores demuestran que se encuentran dentro del rango establecido.

Los valores de NO<sub>x</sub> se encuentran en 103 ppm en ralentí y 52 ppm a 2 500 rpm; con ello se comprueba que los valores se encuentran fuera del rango establecido, comprobándose esto ya que el motor presentaba una serie de fallas al momento de estar encendido, esto se debe a problemas con el turbo, rines desgastados, guías de válvulas desgastadas, asientos de válvulas con presencia de carbonilla y la válvula EGR está enviando un flujo elevado de gases combustionados al interior del motor debido a que en el régimen de 2 500 rpm el valor de NO<sub>x</sub> es muy reducido.

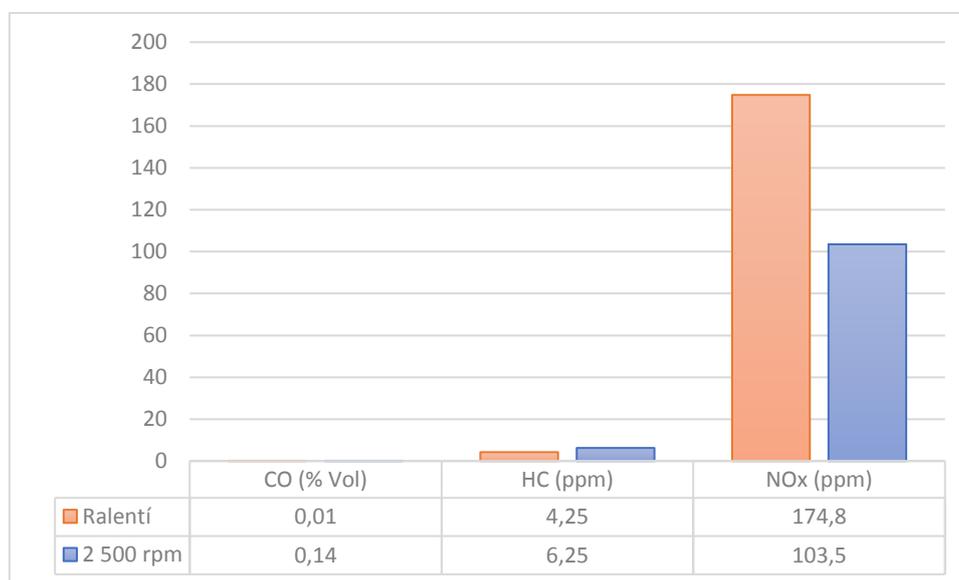
### 3.4.5.3 Diagnóstico vehículo marca Chevrolet, modelo D-MAX CRDi 3.0 CD

Se realizó la obtención de los valores de emisiones de gases de escape a través del analizador de gases AUTOplus 5-2, en el vehículo marca Chevrolet, modelo D-MAX CRDi 3.0 CD, con un kilometraje de 285 509 km, como se muestra en la tabla 3.12.

**Tabla 3.12** Valores vehículo Chevrolet D-MAX CRDi

D-MAX 3.0 CRDi CD		
Gases de escape	Ralentí	2 500 rpm
CO (% Vol)	0,01	0,14
HC (ppm)	4,25	6,25
NO <sub>x</sub> (ppm)	174,8	103,5

A continuación, en la figura 3.21 se muestran los valores promedio obtenidos de las pruebas realizadas al vehículo liviano marca Chevrolet, modelo D-MAX CRDi 3.0 CD, cumpliendo con la metodología empleada para el desarrollo de esta investigación.



**Figura 3.21** Promedio gases de escape vehículo Chevrolet D-MAX CRDi

Continuando con el análisis para determinar el diagnóstico del vehículo mostrado en la tabla 3.12 se determina que los valores de CO se encuentran en 0,01 % Vol en ralentí y 0,14 % Vol a 2 500 rpm; con el valor en ralentí se evidencia que se encuentra dentro del rango establecido y con el valor a 2 500 rpm se determina que se encuentra dentro del

límite del rango establecido, debido a filtro de aire y filtro de combustible que se encuentran con la presencia de impurezas ratificándolo debido a que los filtros tenían más de 8 000 km de uso.

Los valores de HC se encuentran en 6 ppm en ralentí y 0 ppm a 2 500 rpm; los dos valores demuestran que se encuentran dentro del rango establecido.

Los valores de NO<sub>x</sub> se encuentran en 174,8 ppm en ralentí y 103,5 ppm a 2 500 rpm; los dos valores evidencian la presencia de defectos tipo 1 tanto en ralentí como en 2 500 rpm, como diagnóstico se debe revisar los niveles de los fluidos, presencia de fugas, y posiblemente problemas futuros con el turbo.

## 4 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 4.1 CONCLUSIONES

- Con base en los datos obtenidos a los diferentes vehículos a través de las pruebas estáticas de emisiones de gases de escape se determina que la formación de CO, HC y NO<sub>x</sub>; incide de forma leve cuando los filtros de combustible y de aire están en mal estado, evidenciando defecto tipo 1. Cuando la bomba eléctrica y válvula dosificadora de combustible presentan problemas de presión o saturación, se relaciona con defectos tipo 2. Cuando los valores no se encuentran dentro de un rango establecido la bomba de alta presión, el riel común, los inyectores, el turbo, rines desgastados, guías de válvulas desgastadas, asientos de válvulas con presencia de carbonilla y la EGR están condicionando al funcionamiento del motor teniendo defectos tipo 3.
- Mediante el análisis de gases contaminantes, se puede apreciar que los valores de CO y HC en la prueba realizada a ralentí son menores en un 40,48 y 22,48 % respectivamente a los resultados obtenidos en la prueba de aceleración. Mientras tanto, para los valores de NO<sub>x</sub> se tiene que en ralentí los valores son mayores en un 27,26 % a los datos obtenidos en la prueba de aceleración.
- Analizando a los vehículos livianos se tiene al vehículo marca Citroën modelo C-Elysée HDi 92 FEEL, en ralentí dio un promedio de 0,12 % Vol de CO y un 9,36 ppm de HC y 146,51 ppm de NO<sub>x</sub>. A un régimen promedio de 2 500 rpm valores de 0,15 % Vol de CO y un 11,32 ppm de HC y 116,56 ppm de NO<sub>x</sub>. Al vehículo marca Chevrolet modelo D-MAX 3.0 CRDi, en ralentí los siguientes valores promedio 0,06 % Vol de CO y un 12,28 ppm de HC y 172,51 ppm de NO<sub>x</sub>. A un régimen de 2 500 rpm 0,14 % Vol de CO un 14,75 ppm de HC y 90,74 ppm de NO<sub>x</sub>.
- Como resultados en los vehículos pesados se tiene al vehículo marca HINO modelo GH8JF7D- XG3, en ralentí dio un promedio de 0,06 % Vol de CO y un

4,11 ppm de HC y 217,65 ppm de NO<sub>x</sub>. A un régimen promedio de 2 000 rpm valores de 0,10 % Vol de CO un 7,6 ppm de HC y 132,97 ppm de NO<sub>x</sub>. Al vehículo marca HINO modelo SS1EKSA- VAX, en ralentí los siguientes valores promedio 0,01 % Vol de CO un 16,22 ppm de HC y 219,06 ppm de NO<sub>x</sub>. A un régimen de 1 500 rpm 0,03 % Vol CO un 20,38 ppm de HC y 274 ppm de NO<sub>x</sub>.

- Con la realización de un mantenimiento a un vehículo liviano que consistió en un cambio de filtros de combustible y de aire logró apreciar una reducción en ralentí del 16,76 % de CO un 100 % de ppm de HC y 6,16 % de ppm de NO<sub>x</sub>. A 2 500 rpm se apreció un aumento del 33.33 % de CO debido que se mejoró la combustión al tener un mejor llenado de los cilindros, una disminución del 100 % de ppm de HC y 44.78 % de ppm de NO<sub>x</sub>.
- Al final el diagnóstico de un vehículo se lo realiza de manera sencilla por medio de una prueba no invasiva, a través de un analizador de gases portátil, lo que permite una reducción de costos de parada de los vehículos, las pruebas se realizan a una velocidad óptima y los resultados se obtienen en un tiempo comprendido entre 8 a 10 minutos, emitiéndose con mayor rapidez el diagnóstico mediante los gases de escape en un motor Diesel.

## 4.2 RECOMENDACIONES

- Comprobar que los niveles de los fluidos se encuentren en los máximos establecidos, no esté encendida la luz de check engine (MIL) y que no existan fugas de aceite o de gases contaminantes por el conducto de escape.
- El procedimiento de diagnóstico es válido para vehículos que cuenten con sistema de alimentación de combustible Common Rail y utilicen el mismo tipo de diésel como combustible.
- Dentro del plan de diagnóstico se debe realizar la obtención de los datos cumpliendo con la metodología utilizada, comprobar en qué columna se encuentran los valores obtenidos en la tabla de parámetros de referencia de acuerdo con el cilindraje del vehículo evaluado, verificar en la tabla de componentes que inciden en la formación de CO, HC, NO<sub>x</sub> y emitir el diagnóstico de acuerdo a los resultados.
- Llevar a cabo un mantenimiento programado en el vehículo prolonga la vida de todos los componentes y sistemas del motor, reduciendo la cantidad de gases contaminantes emitidos a la atmósfera y manteniendo la salud en las personas.

### Trabajos Futuros

- Realizar la obtención de datos de gases de escape a través de pruebas dinámicas para cumplir con los límites máximos establecidos en la normativa ecuatoriana (INEN NTE 2207) para vehículos diésel.
- Además, realizar una medición de opacidad en estado estático para comprobar si el vehículo aprueba la Revisión Técnica Vehicular.
- Controlar que los vehículos sometidos a las pruebas de análisis de gases tengan el mismo combustible patrón, para que la calidad del diésel utilizado no afecte a los datos obtenidos.

## 5 REFERENCIAS

1. Fuentes Covarrubias, R., & Fuentes Covarrubias, A. (2013). Desarrollo de un sistema experto para el diagnóstico de fallas automotrices. *TE & ET*, 83 - 91. Obtenido de <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/32398>
2. Acevedo Perez, M., shkiliova, L., & Boada Carranza, O. (2005). *Etapas del desarrollo del transporte automotor y los sistemas de alimentación de combustible diesel : Novedades*. Santa Clara, Villa Clara, Cuba: Editorial Feijóo. Obtenido de <https://ebookcentral.proquest.com/lib/utnortesp/reader.action?docID=3191770&query=sistema+common+rail>
3. Aguirre Ayala, V., & Ortiz Hernández, B. (2014). *Elaboración de un módulo didáctico del sistema common rail del motor mazda BT 50 WL-C 2.5 CRDi diesel*. Ibarra: UTN. Obtenido de <http://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/3438>
4. Aguirre Ayala, V., & Ortiz Hernández, B. (2014). *Elaboración de un módulo didáctico del sistema common rail del motor mazda BT 50 WL-C 2.5 CRDi diesel*. Ibarra: UTN. Obtenido de <http://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/3438>
5. Ali , A., Shoukat, A., & Adnan , I. (2016). Emissions from Diesel Engine and Exhaust After Treatment Technologies. *Energy and Environmental Engineering Research Group (EEERG)*, 2. Obtenido de [https://www.researchgate.net/publication/314215052\\_Emissions\\_from\\_Diesel\\_Engine\\_and\\_Exhaust\\_After\\_Treatment\\_Technologies](https://www.researchgate.net/publication/314215052_Emissions_from_Diesel_Engine_and_Exhaust_After_Treatment_Technologies)
6. Alkidas, A. (1987). On the Premixed Combustion in a Direct-Injection Diesel Engine. *Journal of Engineering for Gas Turbines and Power*, 187- 192.
7. Andrade Castañeda, H., Arteaga Céspedes, C., & Segura Madrigal, M. (2017). Emisión de gases de efecto invernadero por uso de combustibles fósiles en Ibagué, Tolima (Colombia). *Corpoica Cienc Tecnol Agropecuaria.*, 103-112. doi:[http://dx.doi.org/10.21930/rcta.vol18\\_num1\\_art:561](http://dx.doi.org/10.21930/rcta.vol18_num1_art:561)
8. AUGUSTO, J. S. (2018). *ANÁLISIS DE LA PRODUCCIÓN DE CARBONILLA EN LA CÁMARA DE COMBUSTIÓN DE UN MOTOR DIÉSEL ISUZU 4JB1 2.8, CON EL USO DE DIÉSEL PREMIUM Y BIODIESEL A BASE DE HIGUERILLA B10*. Ibarra: UTN.
9. Báez Chamorro, O. (2016). *ANTENIMIENTO AUTOMOTRIZ; MOTOR DIESEL; EFICIENCIA ENERGÉTICA; MOTOR DIESEL ELECTRÓNICO; BIODIÉSEL; IBARRA; PRUEBAS DE OPACIDAD*. IBARRA: UTN. Obtenido de <http://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/4945>
10. Bao, Z., Horibe, N., & Ishiyama, T. (2018). A Study on Diesel Spray Characteristics for Small-Quantity Injection. *SAE international*. doi:10.4271/2018-01-0283.
11. Batallas Espinosa, J. (2017). *Maqueta didáctica del sistema riel común*. Quito: Universidad San Francisco. Obtenido de <http://repositorio.usfq.edu.ec/handle/23000/7011>

12. Bernal Matute, Á. (2013). *manejo y optimización de las operaciones de mantenimiento preventivo y correctivo en un taller automotriz*. Guayaquil: Escuela Superior Politécnica del Litoral.
13. Bosch, R. (2005). *Sistema de inyección Diesel por Acumulador Common Rail*. Stuttgart, Alemania: conocimientos técnicos de automoción Control del motor Diesel.
14. Bowman, C. (1975). Kinetics of pollutant formation and destruction in combustion. *Progress in Energy and Combustion Science* 1, 22.
15. Bustillos Chicaiza, H., & Simbaña Quinsasamín, F. (9-feb-2018). *Investigación del compartimiento mecánico y electrónico de los inyectores piezoeléctricos Bosch del sistema de inyección CRDI (Common Rail Diesel Injection) de los vehículos Volkswagen Amarok 2.0 y Land Rover Freelander II 2.2*. Latacunga . Obtenido de <http://repositorio.espe.edu.ec/handle/21000/14025>
16. CACOANGO VACACELA, W., & GUAMÁN MOCHA, J. (2016). *DE QUE MANERA INFLUYEN LOS GASES TÓXICOS EMANADOS POR LOS MOTORES A DIÉSEL DE LOS BUSES QUE TRANSITAN POR EL CANTÓN COLTA EN LA SALUD DE LOS HABITANTES EN EL AÑO 2013-2014*. Riobamba: UNACH. Obtenido de <http://dspace.unach.edu.ec/handle/51000/2915>
17. Calleja , D. (2015). *Mantenimiento de sistemas auxiliares del motor de ciclo Diesel*. Madrid: Paraninfo, SA.
18. Campos Navarro, D. (2016). *Estudio de las emisiones de escape en motores de combustión interna alternativos utilizando diferentes sistemas de control de contaminantes*. Valencia: universidad politecnica de valencia .
19. CAÑIZARES CALDERÓN, J., & CRUZ ARCOS, G. (2008). *ANÁLISIS DE LOS GASES DE ESCAPE MEDIANTE LA OPTIMIZACIÓN DEL MOTOR ISUZU DEL LABORATORIO DE MOTORES DIESEL-GASOLINA*. Latacunga: ESPE.
20. Cedar Lake Ventures, I. (03 de 07 de 2019). *WeatherSpark*. Obtenido de WeatherSpark: <https://es.weatherspark.com/y/20036/Clima-promedio-en-Cotacachi-Ecuador-durante-todo-el-a%C3%B1o>
21. Cengel, Y., & Boles, M. (2015). *Termodinámica* (Vol. 8 edición). Madrid: McGraw - Hill.
22. CÓNDOR ROBALINO, M., & ALLAICA TZETZA, C. (2014). *DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UN BANCO DE PRUEBAS DEL SISTEMA COMMON RAIL*. Latacunga: ESPE. Obtenido de <http://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/7330/1/T-ESPEL-MAI-0445.pdf>
23. Escudero , S., González, J., & Juan , L. (2009). *motores*. iberia: Macmillan Iberia, S.A.
24. Garcia Nieto , S., Salcedo, J., Blasco, X., & Martinez , M. (2009). Sistema de Control Borroso para el Proceso de Renovación de la Carga en Motores Turbodiese. *Revista Iberoamericana de Automática e Informática Industrial RIAI*, 36-46. doi:[https://doi.org/10.1016/S1697-7912\(09\)70091-3](https://doi.org/10.1016/S1697-7912(09)70091-3)
25. Garrido Quintana, D., & Alvarez Luzuriaga, V. (2016). *Estudio de la evolución de los CRDI (Common Rail Direct Injection) en función del combustible en*

- Sudamérica*. Quito: QUITO/UIDE/2016. Obtenido de <http://repositorio.uide.edu.ec/handle/37000/1766>
26. Gobernacion, e. d. (17 de 04 de 2019). Obtenido de [https://www.dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=5496105&fecha=05/09/2017](https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5496105&fecha=05/09/2017)
  27. Gobernacion, S. d. (17 de 04 de 2019). *diario oficial de la federacion* . Obtenido de NORMA Oficial Mexicana NOM-167-SEMARNAT-2017: [https://www.dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=5496105&fecha=05/09/2017](https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5496105&fecha=05/09/2017)
  28. González Calleja, D. (2015). *Motores térmicos y sus sistemas auxiliares*. Madrid, España: Paraninfo S.A.
  29. Granada, L., & Cabrera , B. (2007). ESTIMACIÓN DE LAS EMISIONES DE FUENTES MÓVILES UTILIZANDO EL MOBILE 6 EN CALI – COLOMBIA. *AVANCES Investigacion en Ingenieria*, 17-28. Obtenido de [http://www.unilivre.edu.co/revistaavances/avances-6/r6\\_art2.pdf](http://www.unilivre.edu.co/revistaavances/avances-6/r6_art2.pdf)
  30. Haro , L., & Oscullo , J. (2016). Factor Anual de Emisión de CO2 Producido por el Parque Generador del Sistema Nacional Interconectado del Ecuador, Mediante la Aplicación de la Metodología de la Convención Marco Sobre el Cambio Climático UNFCCC, para el Periodo 2009-2014. *Revista Politécnica*, 1-7.
  31. IEA Statistics 2013. (2014). CO2 Emissions from Fuel Combustion, Highlights. *nternational Energy Agency*. , 125.
  32. Kister, T., & Hawkins, B. (2 de septiembre de 2007). Maintenance Planning and Scheduling/ Planificación y programación de mantenimiento. *Butterworth-Heinemann*, 189. doi:<https://doi.org/10.1016/B978-0-7506-7832-2.X5000-9>
  33. Lema Parra, E. (2019). *Comprobación del comportamiento de un motor de combustión interna electrónico ciclo Otto usando Bioetanol con mezclas E5*. Imbabura. Ecuador.: Universidad Técnica del Norte.
  34. Llanga Vargas, E., Cacoango Vacacela, W., & Guamán Mocha, J. (2016). *De qué manera influyen los gases tóxicos emanados por los motores a diésel de los buses que transitan por el cantón Colta en la salud de los habitantes en el año 2013-2014*. Riobamba : Riobamba, UNACH 2016.
  35. López, L. H. (2010). *Predicción y optimización de emisiones y consumo mediante redes neuronales en motores Diesel*. Valencia: Reverté S.A. Obtenido de <http://ebookcentral.proquest.com/lib/utnortesp/detail.action?docID=3214606>
  36. Luis Vélez de Guevara. (13 de 11 de 2017). *makinando*. Obtenido de <https://makinandovelez.wordpress.com/2017/11/13/significado-siglas-mec-y-mep-motores-de-combustion-interna/>
  37. Luján , J., Bermúdez C., V., Guardiola , C., & Abbad , A. (2010). “A methodology for combustion detection in diesel engines through in-cylinder pressure derivative signal. *Mechanical Systems and Signal Processing*, 2261-2275.
  38. MANJARRÉS, J. A. (marzo 2017). *ESTUDIO DE EMISIONES DE GASES DE UN MOTOR DIÉSEL UTILIZANDO EL COMBUSTIBLE ECUATORIANO Y EL COLOMBIANO EN UN DINAMOMETRO*. Quito : UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA EQUINOCCIAL.
  39. Martínez González, C., & Cruz Carmona, M. (2012). efectos de la contaminacion atmosférica en el aparato respiratorio. *neumologia clinica, Elsevier* , 600-606.

40. Martínez-Martínez, S., Montefort-Sánchez, J., Gallegos-Muñoz, A., & Riesco-Ávila, J. (2012). *Procesos Alternativos de Combustión en Motores de Combustión Interna*. Oxford Reino Unido : Directory of Open Access Journals.
41. Medrano Márquez, J., Gonzáles Ajuech, V., & Díaz de León Santiago, V. (2017). *Mantenimiento: técnicas y aplicaciones industriales*. Mexico: Grupo Editorial Patria. Obtenido de <https://ebookcentral.proquest.com/lib/utnortesp/reader.action?docID=5213557&query=mantenimiento>
42. MENESES BUITRÓN , P. (2015). *IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE MONITORIZACIÓN DE CO2 MEDIANTE REDES DE SENSORES INALÁMBRICOS EN EL CAMPUS UNIVERSITARIO DE LA ESPE*. Sangolquí: ESPE.
43. Montero Alpírez, G., Pérez Sánchez, A., Ayala Bautista, J., Coronado Ortega, M., García González, C., & Campbell Ramírez, H. (2015). Simulación en Aspen de la combustión de mezclas diesel-biodiesel. *INGENIERIA INVESTIGACION Y TECNOLOGIA* , 83-92. doi:[https://doi.org/10.1016/S1405-7743\(15\)72109-8](https://doi.org/10.1016/S1405-7743(15)72109-8)
44. Nabi, M., Zare, A., Hossain, F., Ristovski, Z., & Brown, R. (2017). reductions in diesel emissions including PM and PN emissions with diesel-biodiesel blends. *journal of cleaner production*, 1-22.
45. Netto, R. S. (04 de 07 de 2018). *fisicanet*. Obtenido de [https://www.fisicanet.com.ar/tecnicos/tecnologia/te12\\_analizador\\_de\\_gases.php](https://www.fisicanet.com.ar/tecnicos/tecnologia/te12_analizador_de_gases.php)
46. Nieto Carlier, R., González Fernández, C., López Paniagua, I., Rodríguez Marín, J., & Jiménez Álvaro, A. (2014). *Termodinámica*. Madrid: Dextra Editorial S.I.
47. NORMALIZACIÓN, I. E. (2002). *GESTIÓN AMBIENTAL. AIRE. VEHÍCULOS AUTOMOTORES. LÍMITES PERMITIDOS DE EMISIONES PRODUCIDAS POR FUENTES MÓVILES TERRESTRES DE DIESEL*. Quito: Instituto Ecuatoriano de Normalización, INEN. Obtenido de <http://www.competencias.gob.ec/wp-content/uploads/2017/06/03NOR2000-INEN04.pdf>
48. Normalización, I. E. (2009). *Reglamento Técnico Ecuatoriano RTE INEN 017:2008 CONTROL DE EMISIONES CONTAMINANTES DE FUENTES MÓVILES TERRESTRES*. Quito- Ecuador: INEN. Obtenido de <https://www.ant.gob.ec/index.php/regulacion/normas-y-reglamentos-inen/emisiones-contaminantes-y-ruido/file/163-reglamento-tecnico-ecuadoriano-rte-inen-017-2008>
49. Normalización, I. E. (2016). *Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 1489 Octava Revisión*. Quito Ecuador: INEN. Obtenido de [https://181.112.149.204/buzon/normas/nte\\_inen\\_1489-8.pdf](https://181.112.149.204/buzon/normas/nte_inen_1489-8.pdf)
50. Oliver, J. M. (2004). *aportaciones al estudio del proceso de combustion turbulenta de chorros en motores diesel de inyeccion directa*. Valencia: Universidad Politécnica de Valencia. Obtenido de <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/55164/Tesis.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

51. Orellana Monar, L. (2017). *Análisis del Impuesto Ambiental a la Contaminación Vehicular y su incidencia en la emisión de gases contaminantes, a partir de la Revisión Técnica Vehicular, en la ciudad de Quito, estudio para el periodo 2008-2015*. Quito: EPN. Obtenido de <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/18931>
52. ORTEGA GUERRÓN, L., & PUEDMAG CHUQUÍN, A. (2015). *ANÁLISIS DE LOS GASES CONTAMINANTES Y PUESTA A PUNTO DE LOS MOTORES A DIESEL Y GASOLINA QUE EXISTEN EN LOS TALLERES DE LA CARRERA DE INGENIERÍA EN MANTENIMIENTO AUTOMOTRIZ*. Ibarra: UTN.
53. PADILLA, C. A. (Octubre 2016). *ESTUDIO COMPARATIVO DE LA CONTAMINACIÓN DEL MOTOR DIÉSEL, UTILIZANDO COMBUSTIBLE ECUATORIANO Y EXTRANJERO EN UNA RUTA DE MAYOR TRÁFICO EN LA CIUDAD DE QUITO*. Quito: UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA EQUINOCCIAL.
54. Palacios Pazmiño, J. (2016). *Estudio de factibilidad para la construcción de habitaciones de alquiler en la parroquia de Urcuquí-cantón Urcuquí, provincia de Imbabura*. Imbabura. Ecuador.: Universidad Técnica del Norte. Obtenido de <http://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/5943>
55. Parra, R. (2015). Factor de emisión de CO<sub>2</sub> debido a la generación de electricidad en el Ecuador durante el periodo 2001 – 2011. *avances en ciencias e ingenierías*, C39-C42. Obtenido de <http://www.usfq.edu.ec/Publicaciones/Avances/C39-5-1-2013>
56. Parreño Ibañez, S. (2012). *Mantenimiento de sistemas auxiliares del motor de ciclo Diésel (MF0133\_2)*. Andalucía, España: IC Editorial. Obtenido de <http://ebookcentral.proquest.com/lib/utnortesp/detail.action?docID=3211564>.
57. QUIMBITA TAIPE, S. (2016). *ANÁLISIS DEL CONTROL DE EMISIONES DE GASES DE COMBUSTIÓN DEL MOTOR GASOLINA TOYOTA SERIE 2TR CUANDO SE GENERAN DTC'S EN EL SISTEMA DE CONTROL ELECTRÓNICO DE COMBUSTIBLE*. Latacunga: ESPE.
58. Reyes Cualchi, J. (2018). *Diagnóstico de motores diésel electrónicos, a base de presiones en el riel común (CRDI)*. Ibarra: UTN.
59. Reyes Cualchi, J. (2018). *DIAGNÓSTICO DE MOTORES DIÉSEL ELECTRÓNICOS; BASE DE PRESIONES EN EL RIEL COMÚN; CRDI*. Imbabura. Ecuador.: Universidad Técnica del Norte. Obtenido de <http://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/8354>
60. Riesco-Ávila, J., Gallegos-Muñoz, A., Montefort Sanchez, J., & Martínez Martínez, S. (2009). *Procesos alternativos de combustión en motores de combustión interna*. Guanajuato, Gt México: Universidad de Guanajuato. doi:ISSN 0188-6266
61. Robert Bosch España, S.L.U. (2018). *Bosch Automóvil*. Obtenido de [http://es.bosch-automotive.com/es/internet/parts/parts\\_and\\_accessories/motor\\_and\\_systems/diesel/common\\_rail\\_injection/common\\_rail\\_diesel\\_motorsys\\_parts.html](http://es.bosch-automotive.com/es/internet/parts/parts_and_accessories/motor_and_systems/diesel/common_rail_injection/common_rail_diesel_motorsys_parts.html)
62. Rojas, N. Y. (2004). Review of particulate emissions by diesel and biodiesel combustion. *revista de ingeniería*, 58-68.

63. Rovira de Antonio, A., & Muñoz Domínguez, M. (2015). *motores de combustión interna*. Madrid: UNED - Universidad Nacional de Educación a Distancia. Obtenido de <http://ebookcentral.proquest.com/lib/utnortesp/detail.action?docID=4421922>
64. Salud, O. M. (2 de mayo de 2018). *Calidad del aire y salud*. Obtenido de [https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/ambient-\(outdoor\)-air-quality-and-health](https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/ambient-(outdoor)-air-quality-and-health)
65. Sánchez Moreno, F. (2017). *Análisis computacional de las etapas físico-químicas de los procesos de oxidación en un catalizador de oxidación diésel*. Valencia : Universidad Politecnica de Valencia.
66. SARÁUZ ÁLVAREZ, P. (2017). *IMPUESTO AMBIENTAL A LA CONTAMINACIÓN VEHICULAR Y SU IMPACTO SOBRE LA CANTIDAD DE EMISIONES DE DIÓXIDO DE CARBONO (CO2) EN ECUADOR*. Ibarra: UTN. Obtenido de <http://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/6616>
67. Tariq Chaichan, M., Ibrahim Abass, K., & K Maroon, O. (2016). The effect of diesel engine cold start period on the emitted emissions. *Revista Internacional de Investigación Científica e Ingeniería*, 749-753. Obtenido de [https://www.researchgate.net/publication/299402701\\_The\\_effect\\_of\\_diesel\\_engine\\_cold\\_start\\_period\\_on\\_the\\_emitted\\_emissions?enrichId=rgreq-c11fecbfc269d9602410e6ac943d0a32-XXX&enrichSource=Y292ZXJQYWdlOzI5OTQwMjcwMTtBUzozNDMyMDc3Mjk3NDU5MjJAMTQ1ODgzODUwNzg5](https://www.researchgate.net/publication/299402701_The_effect_of_diesel_engine_cold_start_period_on_the_emitted_emissions?enrichId=rgreq-c11fecbfc269d9602410e6ac943d0a32-XXX&enrichSource=Y292ZXJQYWdlOzI5OTQwMjcwMTtBUzozNDMyMDc3Mjk3NDU5MjJAMTQ1ODgzODUwNzg5)
68. Tipanluisa, L., Remache, A., Ayabaca, C., & Reina, S. W. (2017). *Emisiones Contaminantes de un Motor de Gasolina Funcionando a dos Cotas con Combustibles de dos Calidades*. Quito: Chile: Revista Información Tecnológica.
69. Transito, A. M. (11 de 07 de 2018). *Quito Agencia Metropolitana de Transito AMT*. Obtenido de <http://www.amt.gob.ec/index.php/servicios/revision-tecnica/revision-tecnica-vehicular.html>

## **ANEXOS**

**ANEXO I**  
**REALIZACIÓN DE LA TOMA DE DATOS DE GASES DE ESCAPE EN**  
**ESTADO ESTÁTICO**



**Figura A I 2** Toma de datos vehículo liviano



**Figura A I 1** Toma de datos vehículo liviano



**Figura A I 3** Impresión de datos obtenidos