

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA

**“ANÁLISIS DE EMISIONES EN VEHÍCULOS A GASOLINA UTILIZANDO
PRUEBAS ESTACIONARIA Y DINÁMICA MEDIANTE CICLO IM-240”**

**TESIS PREVIA A LA OBTENCIÓN DEL GRADO DE MAGISTER EN
SISTEMAS AUTOMOTRICES**

MAURICIO NORBERTO RECALDE ROJAS

maunor@hotmail.com

ROMEL VLADIMIR REVELO ARGOTI

romel_revelo@hotmail.com

DIRECTOR: Ing. ÁNGEL PORTILLA AGUILAR M.Sc.

ahph2001@yahoo.com

Quito, abril de 2015

DECLARACIÓN

Nosotros, Mauricio Norberto Recalde Rojas, Romel Vladimir Revelo Argoti, declaramos que el trabajo aquí descrito es de nuestra autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

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

Ing. Mauricio Norberto Recalde Rojas

Ing. Romel Vladimir Revelo Argoti

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por los ingenieros Mauricio Norberto Recalde Rojas y Romel Vladimir Revelo Argoti, bajo mi dirección.

Ing. Ángel Adalberto Portilla Aguilar M.Sc.

DIRECTOR DEL PROYECTO

AGRADECIMIENTOS

- A mi Dios, familia, amigos y compañeros por el brindarme el espíritu de coraje para hacer posible el desarrollo de ésta tesis.
- La más viva gratitud al Ing. Ángel Portilla Aguilar, por su asistencia, atención y por haberme brindado su ayuda pacientemente.
- Al personal técnico del CCICEV, por su soporte y colaboración concreta en la realización de este proyecto.

Mauricio Recalde

- A Dios, quien me brinda día a día sabiduría, protección y bendición en cada paso de mi vida, dándome muestra siempre de su eterno amor.
- Al Ing. Ángel Portilla Aguilar, por su apoyo constante durante el desarrollo de este proyecto.
- Al personal técnico del CCICEV–EPN, por todas las facilidades brindadas para la ejecución de cada una de las pruebas.
- Al Unidad de Postgrados de la mejor Facultad del mundo: Mecánica

Romel Revelo Argoti

DEDICATORIA

- A mi esposa Deysy e hija Martina por confiar y tolerar largas horas de ausencia, será mi vida el retribuirles aunque sea una pequeñísima parte de cuanto ellas me han brindado.

Mauricio Recalde

- A mi esposa Liliana, a mis hijas: Camila, Micaela y Zoe, a mis hijos: Sebastián y Guillermo, quienes han sido mi soporte y motivación para alcanzar este objetivo.
- A mi Padres: Guillermo y Beatriz, ejemplo de sabiduría, constancia, verdad y humildad.
- A mi abuelo Luis Argoti, inspiración de ingenio.
- A mis hermanos, sobrinos, tíos y primos, por su apoyo incondicional.
- A todas las personas que han sido los puntales en cada momento de mi vida.

Romel Revelo Argoti

INDICE GENERAL

DECLARACIÓN	I
CERTIFICACIÓN	II
AGRADECIMIENTOS	III
DEDICATORIA	IV
INDICE GENERAL	V
INDICE DE TABLAS	IX
INDICE DE FIGURAS	XI
RESUMEN	XIV
PRESENTACIÓN	XV
CAPÍTULO I	1
1. INTRODUCCIÓN	1
1.1 CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA	1
1.1.1 Contaminantes primarios.....	1
1.1.2 Contaminantes secundarios	2
1.2 MOTORES DE COMBUSTIÓN INTERNA	2
1.2.1 Ciclo Otto.....	3
1.3 LA COMBUSTIÓN	5
1.3.1 Tipos de combustión.....	6
1.3.2 Relación aire combustible.....	8
1.3.3 Factor Lambda (λ)	8
1.4 EMISIONES VEHICULARES	9
1.4.1 Emisiones de gases de escape	10
1.4.2 Gases de escape en función del factor lambda (λ).....	12
CAPÍTULO II	16
2. NIVELES AMBIENTALES DE LOS CONTAMINANTES Y MONITOREO .	16
2.1 NORMA DE CALIDAD DEL AIRE AMBIENTE	16
2.1.1 Contaminantes comunes del aire ambiente.....	16
2.1.2 Concentraciones de contaminantes comunes	17

2.1.3 Métodos de medición de concentración	17
2.2 NORMAS DE EMISIONES.....	18
2.2.1 Normas Americanas	19
2.2.2 Normas Europeas.....	21
2.2.3 Normas Nacionales	22
2.3 CONTROL DE EMISIONES.....	23
2.3.1 Control de las emisiones del sistema de escape	23
2.3.2 Control de las emisiones de vapores tóxicos.....	24
2.3.3 Certificación de emisiones.....	24
2.4 FACTORES DE EMISION.....	25
2.4.1 Métodos directos para el cálculo	26
2.4.2 Métodos indirectos para el cálculo.....	26
2.4.3 Factores de emisión mediante modelo de combustión simplificado	26
CAPÍTULO III.....	32
3. DETERMINACIÓN DE EMISIONES	32
3.1 SISTEMAS DE INSPECCIÓN Y MANTENIMIENTO (I/M)	32
3.2 METODOS ESTÁTICOS.....	33
3.2.1 Marcha ralentí / ralentí elevado	34
3.2.2 Prueba ralentí / ralentí elevada con prueba Lambda	35
3.2.3 Prueba INCOLL / AUTONAT	36
3.3 METODOS DINÁMICOS EN ESTADO ESTABLE	37
3.3.1 Prueba US FEDERAL 3-mode	38
3.3.2 Prueba CLAYTON KEY	39
3.3.3 Prueba CALVIP	40
3.3.4 Prueba con simulación de la aceleración (ASM)	41
3.4 METODOS DINÁMICOS EN ESTADO TRANSITORIO	43
3.4.1 Prueba europea ECE.....	43
3.4.2 Prueba europea “Common Artemis Driving Cycle” (CADC)	45
3.4.3 Prueba americana FTP75.....	46
3.4.4 Prueba americana New York City.....	49
3.4.5 Prueba americana CDH-226	50
3.4.6 Prueba americana IM-240	51
3.4.6.1 Procedimiento.....	52
3.4.6.2 Equipamiento.....	54
3.4.6.3 Correlación IM-240 con pruebas de programas I/M.....	55
CAPÍTULO IV.....	56

4.	EJECUCIÓN DE PRUEBAS DE EMISIONES	56
4.1	MUESTREO	56
4.1.1	Medidas de tendencia central	57
4.1.1.1	Media	57
4.1.1.2	Mediana	57
4.1.1.3	Moda	57
4.1.2	Medidas de dispersión	58
4.1.2.1	Rango	58
4.1.2.2	Varianza	58
4.1.2.3	Desviación estándar	58
4.2	TAMAÑO DE MUESTRA	59
4.2.1	Muestreo no probabilístico	59
4.2.2	Muestreo probabilístico	59
4.2.2.1	Nivel de precisión (ϵ)	60
4.2.2.2	Nivel de confianza (z)	60
4.2.2.3	Grado de variabilidad (p)	61
4.2.3	Determinación del parque automotor de Quito	62
4.2.3.1	Estimación del tamaño de la muestra de vehículos de ciclo Otto a gasolina en el DMQ	65
4.2.3.2	Selección de la muestra de vehículos de ciclo Otto a gasolina en el DMQ	67
4.3	EMISIONES MEDIANTE PRUEBAS ESTÁTICAS	69
4.3.1	Descripción de equipos utilizados	69
4.3.2	Protocolo de pruebas estáticas	70
4.3.3	Resultados de pruebas estáticas en ralentí y 2,500 rpm	73
4.4	EMISIONES MEDIANTE PRUEBAS DINÁMICAS	76
4.4.1	Descripción de equipos utilizados	76
4.4.2	Protocolo de pruebas dinámicas	77
4.4.3	Resultados de pruebas dinámicas	80
4.5	CONSUMO DE COMBUSTIBLE	82
4.5.1	Descripción de equipos utilizados	82
4.5.2	Protocolo de pruebas de consumo de combustible	85
4.5.3	Resultados de pruebas de consumo de combustible	87
4.6	DETERMINACIÓN DE LOS FACTORES DE EMISIÓN	88
4.6.1	Descripción de metodología	88
4.6.2	Factores de emisión en pruebas estáticas	89
4.6.3	Factores de emisión en pruebas dinámicas IM-240	89
4.6.3.1	Factores de emisión Toyota_Corolla	91
4.6.3.2	Factores de emisión Chevrolet Aveo	92

4.6.3.3 Factores de emisión Chevrolet Spark_2.....	93
4.6.3.4 Factores de emisión Chevrolet Sail	94
4.6.3.5 Factores de emisión Chevrolet Spark_1	95
4.6.4 Análisis comparativo de resultados de factores de emisión	96
4.6.4.1 Tendencia factores de emisión versus año modelo del vehículo.....	97
4.6.4.2 Correlación entre los factores de emisión estático y dinámico	98
4.6.4.3 Corrección entre los factores de emisión estático y dinámico	100
4.6.4.4 Corrección entre los factores de emisión estático y dinámico	103
5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	106
5.1 CONCLUSIONES	106
5.2 RECOMENDACIONES	107
5.3 BIBLIOGRAFIA	109
ANEXOS	114
ANEXO A1: UBICACIÓN DEL CENTRO DE TRANSFERENCIA.....	115
ANEXO A2: ESPECIFICACIONES TECNICAS DE EQUIPOS E INSTRUMENTOS UTILIZADOS	116
ANEXO A2.1: EQUIPO DE MEDICION DE GASES CONTAMINANTES MAHA MGT 5.....	116
ANEXO A2.2: DATOS TECNICOS MAHA MGT 5	117
ANEXO A2.3: DINAMOMETRO DE CHASIS LPS 3000	118
ANEXO A2.4: EQUIPO DE MEDICION DE CONSUMO DE COMBUSTIBLE	121
ANEXO A3: ESPECIFICACIONES DE LA GASOLINA EXTRA	123
ANEXO A4: EJEMPLO DE CÁLCULO DE FACTORES DE EMISIÓN.....	124
ANEXO A5: DATOS DE EMISIONES OBTENIDOS DE LAS	125
ANEXO A5.1: PRUEBAS ESTATICAS A RALENTI.....	125
ANEXO A5.2: PRUEBAS ESTATICAS A 2,500 RPM.....	125
ANEXO A5.3: GRAFICOS PRUEBAS DINAMICAS CHEVROLET SPARK_1	126
ANEXO A5.4: GRAFICOS PRUEBAS DINAMICAS CHEVROLET SPARK_2	128
ANEXO A5.5: GRAFICOS PRUEBAS DINAMICAS CHEVROLET SAIL	130
ANEXO A5.6: GRAFICOS PRUEBAS DINAMICAS CHEVROLET AVEO.....	132
ANEXO A5.7: GRAFICOS PRUEBAS DINAMICAS TOYOTA COROLLA.....	134
ANEXO A5.8: CONSUMO DE COMBUSTIBLE	136
ANEXO A6: NORMAS DE GESTION AMBIENTAL VIGENTES EN	141
ANEXO A6.1: NTE INEN 2204:2002.....	141
ANEXO A6.2: NORMA TECNICA ECUATORIANA NTE INEN 2203:2000	148

INDICE DE TABLAS

Tabla 2.1 Concentración de contaminantes	17
Tabla 2.2 Métodos de medición de Concentración	17
Tabla 2.3 Límites numéricos de cada categoría del IQCA ($\mu\text{g}/\text{m}^3$).....	18
Tabla 2.4 Normas de regulación de emisiones en EEUU para vehículos de pasajeros.....	21
Tabla 2.5 Normas de regulación de emisiones en EU para vehículos de pasajeros (<2,500Kg). Basado en el Nuevo Ciclo de Manejo Europeo (NEDC = ECE15 + EUDC).....	22
Tabla 2.6 Límites máximos de emisiones para vehículos a gasolina. Prueba Estática.....	23
Tabla 2.7 Límites máximos de emisiones para vehículos a gasolina. Prueba Dinámica	23
Tabla 2.8 Fórmula molecular equivalente	27
Tabla 3.1 Modos de velocidad y carga de la prueba US Federal 3-mode	38
Tabla 3.2 Modos de velocidad y carga de la prueba Clayton Key.....	39
Tabla 3.3 Modo de velocidad y carga prueba CALVIP	40
Tabla 3.4 Parámetros seleccionados para ECE y EUDC	45
Tabla 3.5 Características de manejo de la prueba CDH-226	50
Tabla 3.6 Características de manejo de la prueba IM-240	53
Tabla 3.7 Programa de cambios de marcha prueba IM 240	54
Tabla 4.1 Valores de z de acuerdo al nivel de confianza	60
Tabla 4.2 Distribución de ventas de vehículos en el Ecuador ⁶⁰	63
Tabla 4.3 Especificaciones de vehículos probados.....	69
Tabla 4.4 Características Analizador de Gases	70
Tabla 4.5 Datos promedio de emisiones y factor lambda para ralentí.....	73
Tabla 4.6 Datos promedio de emisiones y factor lambda para 2,500 rpm	74
Tabla 4.7 Características del Banco de Pruebas	77
Tabla 4.8 Datos promedio de emisiones y factor lambda utilizando el ciclo IM-240	81

Tabla 4.9 Características canister de combustible	83
Tabla 4.10 Características GPS Garmin MAP.....	84
Tabla 4.11 Datos promedio de consumo de combustible bajo el ciclo Quito.....	88
Tabla 4.12 Datos promedio de factores de emisiones para ralentí	89
Tabla 4.13 Datos promedio de factores de emisiones para 2,500 rpm	89
Tabla 4.14 Datos promedio de factores de emisión con el ciclo dinámico IM- 240	90
Tabla 4.15 Datos comparativos de factores de emisión para el CO.....	99
Tabla 4.16 Datos comparativos de factores de emisión para el HC.....	99
Tabla 4.17 Datos comparativos de factores de emisión para el NO.....	100
Tabla 4.18 Diferencia de corrección entre las pruebas estáticas y dinámicas para CO.....	101
Tabla 4.19 Diferencia de corrección entre las pruebas estáticas y dinámicas para HC.....	101
Tabla 4.20 Diferencia de corrección entre las pruebas estáticas y dinámicas para NO.....	102
Tabla 4.21 Datos corregidos de factores de emisión para el CO en ralentí	102
Tabla 4.22 Datos corregidos de factores de emisión para el HC en ralentí	102
Tabla 4.23 Datos corregidos de factores de emisión para el NO en ralentí	103
Tabla 4.24 Emisiones estáticas reportadas por el centro de revisión vehicular ..	103
Tabla 4.25 Cálculo de factores de emisión estáticos de muestras aleatorias	103
Tabla 4.26 Factores de emisión ajustados	104
Tabla 4.27 Factores de emisión reportados por laboratorio acreditado	104
Tabla 4.28 Factores de emisión ajustados	104

INDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Contaminantes atmosféricos.....	2
Figura 1.2 Motor de combustión interna.....	3
Figura 1.3 Ciclo Otto	4
Figura 1.4 Motor ciclo Otto de 4 tiempos.....	5
Figura 1.5 Factor Lambda λ	8
Figura 1.6 Emisiones vehiculares.....	9
Figura 1.7 Composición de los gases de escape en motores con Ciclo Otto...	10
Figura 1.8 Contaminantes vs factor lambda	13
Figura 1.9 Zona de utilización del motor con lambda entre 0.8 y 1.2	15
Figura 3.1 Prueba estática	34
Figura 3.2 Prueba estática en ralentí / ralentí elevado	35
Figura 3.3 Secuencia de la prueba INCOLL / AUTONAT.....	36
Figura 3.4 Prueba dinámica	37
Figura 3.5 Prueba dinámica USD FEDERAL 3-modos	38
Figura 3.6 Prueba dinámica Clayton Key (p/inercia \leq 1270 Kg).....	39
Figura 3.7 Prueba dinámica CALVIP (p/cilindros \leq 4)	40
Figura 3.8 Prueba ASM.....	41
Figura 3.9 Procedimientos de prueba ASM5015 y ASM2525	42
Figura 3.10 Ciclo de la prueba ECE-15.....	44
Figura 3.11 Ciclo de la prueba EUDC	44
Figura 3.12 Ciclo urbano ARTEMIS	45
Figura 3.13 Ciclo rural ARTEMIS	46
Figura 3.14 Ciclo autopista ARTEMIS.....	46
Figura 3.15 Procedimiento de prueba FTP75.....	47
Figura 3.16 Ciclo de prueba FTP-75	47
Figura 3.17 Ciclo de prueba SFTP-US06.....	48
Figura 3.18 Ciclo de prueba SFTP-SC03.....	48
Figura 3.19 Ciclo de prueba US EPA NYCC	49
Figura 3.20 Ciclo de prueba US CDH-226	50

Figura 3.21 Ciclo de prueba US IM-240	51
Figura 3.22 Ciclo de la prueba IM-240	52
Figura 3.23 Ciclo de la prueba IM-240	53
Figura 4.1 Distribución normalizada	61
Figura 4.2 Ventas de vehículos en el Ecuador distribuido por años	63
Figura 4.3 Tendencia en el Ecuador: No. de automóviles vs industria en miles	64
Figura 4.4 Porcentaje de automóviles en el Ecuador	64
Figura 4.5 Automóviles nuevos en el DMQ distribuidos por año	65
Figura 4.6 Número de cilindros en la población de automóviles	67
Figura 4.7 Tipo de transmisión en la población de automóviles	68
Figura 4.8 Número de catalizadores en la población de automóviles	68
Figura 4.9 Analizador de gases MAHA MGT-5	69
Figura 4.10 Vehículo en lugar ventilado	71
Figura 4.11 Sonda de Temperatura	71
Figura 4.12 Conexión pinza trigger	71
Figura 4.13 Conexión sonda analizador de gases	72
Figura 4.14 Instalación del ducto de gases	72
Figura 4.15 Inicio de pruebas	72
Figura 4.16 Lectura de datos en el monitor	73
Figura 4.17 Emisiones de CO en condiciones estáticas	74
Figura 4.18 Emisiones de CO ₂ en condiciones estáticas	75
Figura 4.19 Emisiones de HC en condiciones estáticas	75
Figura 4.20 Emisiones de O ₂ en condiciones estáticas	75
Figura 4.21 Emisiones de NO _x en condiciones estáticas	76
Figura 4.22 Banco de pruebas LPS 3000	77
Figura 4.23 Presión de neumáticos	78
Figura 4.24 Sujeción del vehículo al dinamómetro	78
Figura 4.25 Instalación de sonda y ducto de gases	79
Figura 4.26 Temperatura de funcionamiento del motor	79
Figura 4.27 Instalación del ventilador	80
Figura 4.28 Avance del ciclo IM-240	80
Figura 4.29 Vehículo Spark_1 en prueba del ciclo IM-240	81
Figura 4.30 Ciclo Quito	82

Figura 4.31 Canister de combustible.....	83
Figura 4.32 GPS Garmin MAP 76CX	84
Figura 4.33 Conexión del canister	86
Figura 4.34 Acoples para instalación	86
Figura 4.35 Presión del canister.....	86
Figura 4.36 Factor de emisión de CO_Toyota en ciclo dinámico IM-240	91
Figura 4.37 Factor de emisión de HC_Toyota en ciclo dinámico IM-240	91
Figura 4.38 Factor de emisión de NO_Toyota en ciclo dinámico IM-240	91
Figura 4.39 Factor de emisión de CO_Aveo en ciclo dinámico IM-240.....	92
Figura 4.40 Factor de emisión de HC_Aveo en ciclo dinámico IM-240	92
Figura 4.41 Factor de emisión de NO_Aveo en ciclo dinámico IM-240.....	92
Figura 4.42 Factor de emisión de CO_Spark2 en ciclo dinámico IM-240.....	93
Figura 4.43 Factor de emisión de HC_Spark2 en ciclo dinámico IM-240.....	93
Figura 4.44 Factor de emisión de NO_Spark2 en ciclo dinámico IM-240.....	93
Figura 4.45 Factor de emisión de CO_Sail en ciclo dinámico IM-240	94
Figura 4.46 Factor de emisión de HC_Sail en ciclo dinámico IM-240	94
Figura 4.47 Factor de emisión de NO_Sail en ciclo dinámico IM-240	94
Figura 4.48 Factor de emisión de CO_Spark1 en ciclo dinámico IM-240.....	95
Figura 4.49 Factor de emisión de HC_Spark1 en ciclo dinámico IM-240.....	95
Figura 4.50 Factor de emisión de NO_Spark1 en ciclo dinámico IM-240.....	95
Figura 4.51 Comparativo promedio de factores de emisión de CO	96
Figura 4.52 Comparativo promedio de factores de emisión de HC	96
Figura 4.53 Comparativo promedio de factores de emisión de NO	97
Figura 4.54 Tendencia de factores de emisión de CO	97
Figura 4.55 Tendencia de factores de emisión de HC	98
Figura 4.56 Tendencia de factores de emisión de NO	98

RESUMEN

El presente estudio se inicia con la definición de los conceptos básicos de contaminación atmosférica, la combustión en los motores Otto, sus diferentes tipos de emisiones y consecuencias sobre la salud de las personas y medio ambiente.

Posteriormente se realiza una descripción de las normativas ambientales vigentes y los controles implementados con el objetivo de reducir la contaminación proveniente de los motores de combustión interna. Adicionalmente se define y detalla el procedimiento para la medición de los factores de emisión, cuya variación determina la calidad del aire.

Se realiza la descripción y estudio de las principales metodologías para determinar las emisiones de los vehículos de combustión interna a gasolina. Los ciclos de conducción que se han desarrollado en distintos países son los más utilizados para la evaluación de las emisiones, los cuales se contrastan con los programas de verificación vehicular o control también llamados de inspección y mantenimiento (I/M).

Se analiza el parque automotriz de la ciudad de Quito, para determinar estadísticamente el tamaño de la muestra. Luego se detalla el protocolo de pruebas de cada uno de los experimentos, lo que permite determinar los factores de emisión mediante el método estático y dinámico que serán posteriormente correlacionados.

Finalmente al comparar los factores de emisión obtenidos a través del ciclo IM-240 empleados en la medición de los contaminantes con la normativa actual, permitirá realizar los ajustes necesarios a la reglamentación existente, lo cual ayudará a realizar un mejor control e incorporar tecnologías disponibles en el mercado internacional a los vehículos que se homologan y venden en el país.

PRESENTACIÓN

De acuerdo al inventario de emisiones de la ciudad de Quito, se establece que un gran aporte a las emisiones contaminantes son las fuentes móviles; entre las más representativas son las producidas por los motores de combustión interna que funcionan bajo el ciclo Otto los cuales son: gasolina y diesel.

Estos inventarios de emisiones se elaboran considerando los factores de emisión de gases, los cuales permiten cuantificar la cantidad de masa emitida por un contaminante en cada kilómetro recorrido. La elaboración de estos inventarios se basa en valores de factores obtenidos de investigaciones realizadas en otros países como Estados Unidos, México, Colombia, Chile.

Con el propósito de hallar los factores de emisión mediante ciclos estáticos y dinámicos, es necesario tener una metodología que se pueda utilizar, para este propósito se plantea la necesidad de relacionar los resultados que se obtienen en los centros de revisión técnica vehicular de la ciudad con un ciclo dinámico; con estos requerimientos que se selecciona el ciclo IM 240, cuya ventaja principal reproducir las condiciones de manejo en ciudad y carretera.

De ser posible se podrá encontrar un valor de relación entre los dos ciclos: estático y dinámico.

CAPÍTULO I

1. INTRODUCCIÓN

En este capítulo se dan los conceptos necesarios para el desarrollo de esta investigación, se define la contaminación atmosférica, la combustión en motores Otto y el desarrollo de emisiones producidas por estos.

1.1 CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA

Se entiende por contaminación atmosférica a la presencia en el aire de sustancias (partículas sólidas, líquidas o gaseosas suspendidas) en una cantidad significativa que cause molestias o riesgos para la salud de las personas y medio ambiente. Actualmente, la contaminación se ha convertido en un problema importante de salud pública presente en la mayoría de ciudades del mundo causando una degradación en la calidad de vida e incluso con pérdidas de vidas humanas.

Los contaminantes atmosféricos son clasificados de diferentes maneras, entre éstas se tiene las que se basan en:

- Las características químicas del contaminante.
- Las características físicas del contaminante.
- Sus efectos.
- Sus fuentes de producción o emisión.

Sin embargo, además de éstas clasificaciones existe una que es específica y considerada de mayor importancia: contaminantes atmosféricos primarios y secundarios¹.

1.1.1 Contaminantes primarios

¹FLORES, HUGO; Contaminación atmosférica; México DF; 1997.

Se conocen como contaminantes primarios a las sustancias que se encuentran en la atmósfera tal como fueron emitidas por las fuentes, sean estas naturales o industriales. Entre los contaminantes primarios y sus abreviaturas o fórmulas se tienen: partículas suspendidas (PS), bióxido de azufre (SO_2), bióxido de carbono (CO_2), monóxido de carbono (CO), bióxido de nitrógeno (NO_2), monóxido de nitrógeno (NO), hidrocarburos (HC), tal como se muestra en la figura 1.1.

1.1.2 Contaminantes secundarios

Se llaman contaminantes secundarios a los que resultan de la interacción de varios contaminantes primarios, ya sea entre sí y/o con otras sustancias del medio. Entre los más importantes están: el ácido sulfúrico, el ácido nítrico y los compuestos oxidantes que constituyen el llamado “smog”, también se destaca el ozono troposférico. Ver figura 1.1.



Figura 1.1 Contaminantes atmosféricos²

1.2 MOTORES DE COMBUSTIÓN INTERNA

Un motor de combustión interna es básicamente una máquina que convierte en trabajo mecánico la mayor cantidad de energía liberada durante el proceso de combustión, que es la quema de la mezcla de oxígeno con combustible

² <http://www.educarchile.cl/ech/pro/app/detalle?ID=139604>

gasificado dentro del mismo equipo. Los motores, que utilizan como combustible la gasolina, basan su funcionamiento en el ciclo termodinámico Otto.

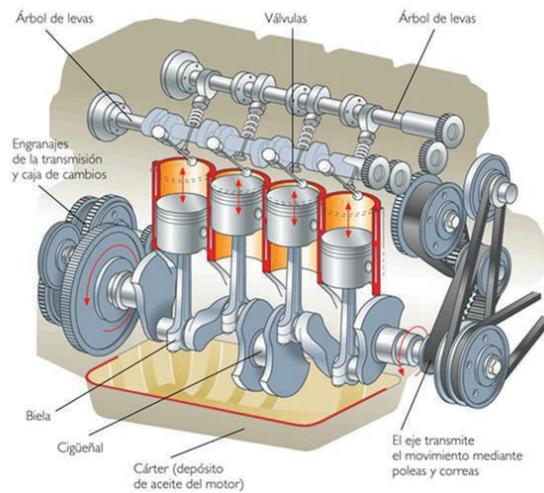


Figura 1.2 Motor de combustión interna³

1.2.1 Ciclo Otto⁴

Es el ciclo ideal para máquinas reciprocantes de encendido por chispa. En la mayoría de éstas el pistón ejecuta cuatro tiempos completos dentro del cilindro, mientras que el cigüeñal realiza dos revoluciones por cada ciclo termodinámico.

Este se compone de procesos reversibles internamente, como se muestra a continuación en las figuras 1.3.

- 1-2 compresión isentrópica
- 2-3 adición de calor a volumen constante
- 3-4 expansión isentrópica
- 4-1 rechazo de calor a volumen constante.

³ <https://jasf1961.wordpress.com/tag/isentropico/>

⁴ CENGEL Y, BOLES M; Termodinámica 5ta edición, MCGraw Hill México, 2006.

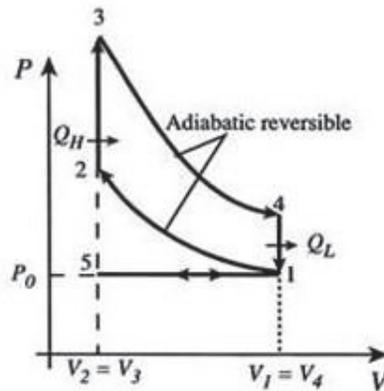


Figura 1.3 Ciclo Otto⁵

Admisión: En este tiempo, el pistón se desplaza desde el punto muerto superior (PMS) hasta el punto muerto inferior (PMI) y efectúa su primera carrera, en este instante se aspira la mezcla aire combustible. Durante éste desplazamiento el cigüeñal gira 180° , la válvula de escape permanece cerrada y la válvula de admisión se encuentra abierta.

Compresión: En esta fase el pistón efectúa su segunda carrera y se desplaza desde el punto muerto inferior (PMI) hasta el punto muerto superior (PMS), comprimiendo la mezcla que se tiene en el cilindro. Durante este recorrido la muñequilla del cigüeñal realiza otro giro de 180° y además ambas válvulas se encuentran cerradas.

Explosión: Cuando el pistón llega al final de la compresión (PMS), entre los electrodos de la bujía salta una chispa eléctrica que produce la ignición y provoca la inflamación de la mezcla, la cual progresa rápidamente incrementando la temperatura y presión dentro del cilindro y expandiendo los gases que empujan el pistón hacia el PMI. Angulo total girado por el cigüeñal 540° y ambas válvulas permanecen cerradas.

Escape: En este tiempo el pistón realiza su cuarta carrera o desplazamiento desde el punto muerto inferior (PMI) hasta el punto muerto superior (PMS), permitiendo que los gases quemados procedentes de la combustión salgan a la

⁵ http://eribera_bo.tripod.com/ciclo_otto.html

atmósfera a través de la válvula de escape. El ángulo total girado por el cigüeñal 720°.

En la figura 1.4 se muestra gráficamente el ciclo en mención con todos los desplazamientos:

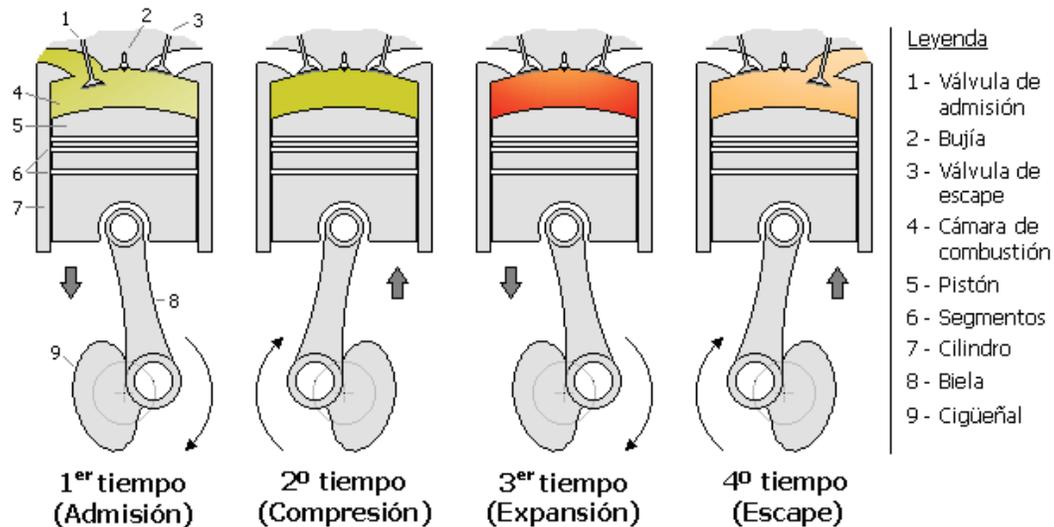


Figura 1.4 Motor ciclo Otto de 4 tiempos⁶

1.3 LA COMBUSTIÓN

La combustión es un proceso químico de oxidación rápido que va acompañado de desprendimiento de energía en forma de calor y luz. Para que este proceso se dé, es necesaria la presencia de un combustible, un comburente y calor. El combustible debe alcanzar una temperatura mínima para que pueda arder, ésta temperatura es la denominada punto de ignición o temperatura de inflamación.⁷

La reacción de oxidación del combustible con el oxígeno origina sustancias gaseosas entre las cuales las más comunes son: CO₂, H₂O, N₂, O₂, CO, H₂, SO₂.

⁶ http://es.wikipedia.org/wiki/Ciclo_de_cuatro_tiempos

⁷ <http://conceptodefinicion.de/combustion/>

El combustible que se utiliza es la gasolina, que es una mezcla de hidrocarburos provenientes de la refinación fraccionaria del petróleo, el cual está compuesto a base de hidrógeno y carbono.

1.3.1 Tipos de combustión⁸

Los procesos de combustión se pueden clasificar en:

a) Combustión completa: Esto se produce cuando existe una oxidación total de todos los elementos que constituyen el combustible. Para el caso de los hidrocarburos se tiene:

Carbono → CO₂

Hidrógeno → H₂O

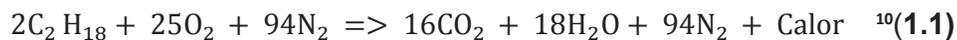
Azufre → SO₂

Nitrógeno → N₂

Oxígeno → Participa como oxidante

El nitrógeno se considera como masa inerte, aunque a temperaturas altas en los gases se pueden formar óxidos de nitrógeno por disociación⁹.

A continuación se muestra la reacción ideal del Octano:



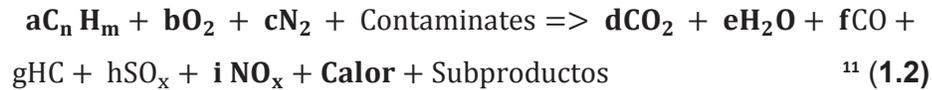
b) Combustión incompleta: En la combustión incompleta, el combustible no se oxida completamente, se forman sustancias que todavía pueden seguir oxidándose; por ejemplo el CO producto de una combustión incompleta de

⁸ <http://www.textoscientificos.com/quimica/combustion/tipo-combustion>

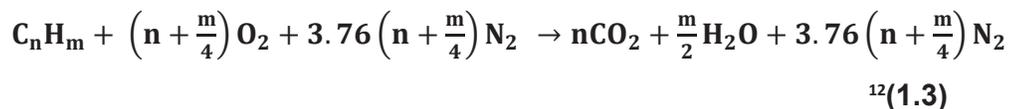
⁹ CAIZA, P., PORTILLA, A.; Determinación de la influencia de la altura en emisiones contaminantes de un vehículo con motor de ciclo Otto de inyección electrónica de gasolina, Tesis EPN; diciembre 2010.

¹⁰ ALBA, E., LOPEZ, J.; Desarrollo y validación de un método para determinación de factores de emisión vehicular mediante pruebas a bordo en la ciudad de Quito, Tesis EPN; octubre 2010.

un motor de un automóvil. Por lo tanto, los productos de la combustión incompleta varían según la cantidad de oxígeno disponible, una ecuación que representa la combustión incompleta su muestra a continuación:



c) Combustión estequiométrica o teórica: Es la combustión que se realiza con la cantidad teórica de oxígeno estrictamente necesaria para producir la oxidación total del combustible sin que existan sustancias combustibles en los gases de reacción. Esta es teórica, porque en la práctica siempre se producen sustancias no deseadas, aunque sea en muy pequeña proporción. En la siguiente ecuación se muestra un ejemplo genérico de este tipo.



d) Combustión Pobre: Es la reacción que se produce con una cantidad de aire superior al mínimo necesario. Cuando se utiliza un exceso de aire, la combustión tiende a no producir sustancias combustibles en los gases de reacción y es típica la presencia de oxígeno en los mismos. En otras palabras, existe una menor cantidad de combustible en comparación a la cantidad de aire necesaria para la combustión.

e) Combustión Rica: Es la reacción que se produce con cantidad de aire inferior al mínimo necesario. En este tipo de reacción es característica la presencia de sustancias combustibles en los gases de reacción. Aquí existe una mayor cantidad de combustible en relación al aire necesario para la combustión.

¹¹ ALBA, E., LOPEZ, J.; Desarrollo y validación de un método para determinación de factores de emisión vehicular mediante pruebas a bordo en la ciudad de Quito, Tesis EPN; octubre 2010.

¹² CAIZA, P., PORTILLA, A.; Determinación de la influencia de la altura en emisiones contaminantes de un vehículo con motor de ciclo Otto de inyección electrónica de gasolina, Tesis EPN; diciembre 2010.

1.3.2 Relación aire combustible

Es la relación de la mezcla de combustible y aire necesario para la combustión completa de una determina cantidad de combustible, representada en porcentaje en peso por medio de la siguiente ecuación:

$$A/C = \frac{Kg_{aire}}{Kg_{combustible}} \quad (1.4)$$

1.3.3 Factor Lambda (λ)

La combustión dentro de un motor de gasolina no es perfecta se presenta la necesidad de determinar la calidad de la combustión, para ello se incorpora el factor lambda (λ); el cual se define como la relación entre la cantidad de aire necesaria para producir una combustión completa (en relación estequiométrica) y la cantidad de aire real que aspira el motor, es decir cuando el motor se quema la mezcla aire/combustible alrededor de la estequiométrica.

$$\text{Lambda} = \frac{\text{Masa real de aire}}{\text{Masa teórica de aire}} \quad (1.5)$$

El factor lambda da una idea muy precisa de cuando la mezcla es rica o pobre. En la figura 1.5 se observa que cuando $\lambda=1$ se obtiene una combustión perfecta, cuando lambda es inferior a uno indica una escasez de aire por lo que la mezcla resulta rica de combustible y cuando lambda es superior a uno indica exceso de aire con lo cual la mezcla es pobre de combustible.



Figura 1.5 Factor Lambda λ ¹³

¹³ <http://www.ngk.de/es/tecnologia-en-detalle/sondas-lambda/aspectos-basicos-de-los-gases-de-escape/factor-de-exceso-de-aire/>

1.4 EMISIONES VEHICULARES

En las últimas décadas, los vehículos han crecido de forma masiva en las ciudades contribuyendo a aumentar los problemas de contaminación atmosférica como consecuencia de sus emisiones, los cuales se pueden presentar en forma sólida, líquida o gaseosa.

De acuerdo al inventario de emisiones en el Distrito Metropolitano de Quito del año 2003 se determino que el 97% de las emisiones de CO es aportado por las fuentes móviles. Por otro lado el 56% de las emisiones de SO₂ tuvieron su origen en las fuentes móviles. Un 25.7% de las otras fuentes (fijas) corresponden las centrales de generación termoeléctrica. El 80 % de las emisiones de NO_x proceden de fuentes móviles, principalmente buses y pesados (42%) y particulares livianos, taxis y camionetas (35%). Otra fuente significativa son las centrales de generación termoeléctrica (17%).¹⁴

En la figura 1.6 se muestran los componentes iniciales y finales de la combustión en el motor de un vehículo a gasolina.

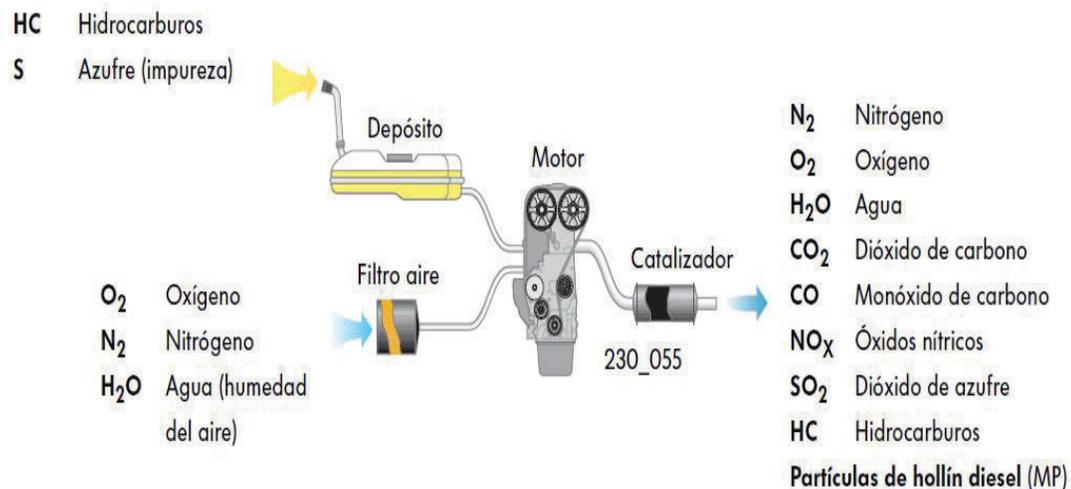


Figura 1.6 Emisiones vehiculares¹⁵

¹⁴ GEO ECUADOR 2008. Informe sobre el estado del medio ambiente. Flacso Mae Pnuma.

¹⁵ Emisiones de gases de escape de vehículos, Programa autodidacto 230, Audi.

1.4.1 Emisiones de gases de escape

Las emisiones por el tubo de escape son producto de la quema del combustible y comprenden a una serie de contaminantes tales como: el monóxido y bióxido de carbono, los hidrocarburos, los óxidos de nitrógeno, las partículas, entre otros, los cuales representan una fracción del total de la cantidad de gases de escape (ver figura 1.7). Estas emisiones dependen de las características del vehículo, su tecnología y su sistema de control de emisiones.

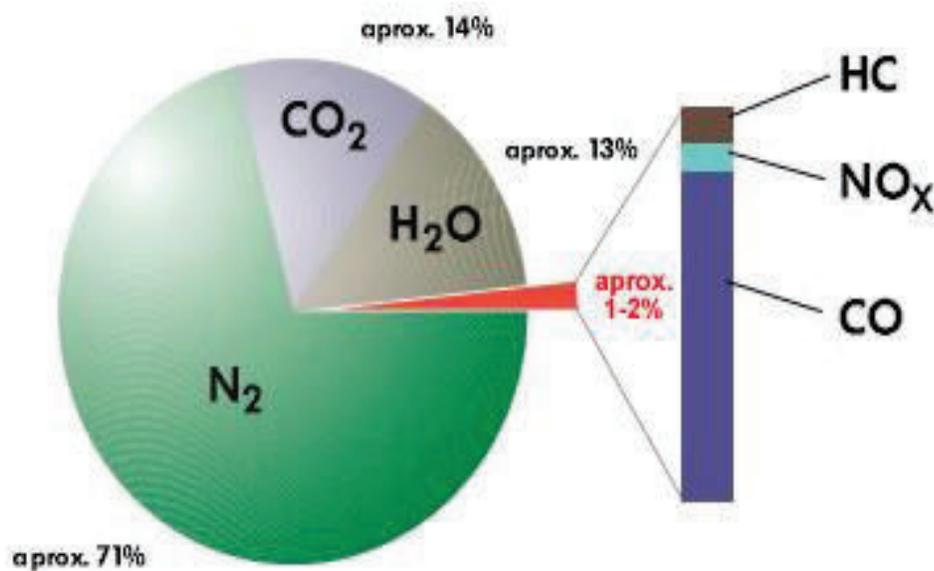


Figura 1.7 Composición de los gases de escape en motores con Ciclo Otto¹⁵

Entre los gases generados en la combustión, hay unos que son nocivos para la salud y otros no, clasificados de la siguiente forma:

- Gases inofensivos: N₂, O₂, CO₂, H₂O
- Gases contaminantes: HC, NO_x, CO, SO₂

A continuación se detallan las características, formación y daños originados a la salud de las personas y medio ambiente, de productos de la combustión:

- **Nitrógeno (N₂):** Es un gas no combustible, incoloro e inodoro, se trata de un componente esencial del aire (78% nitrógeno), que forma parte del proceso de la combustión. La mayor parte del nitrógeno aspirado vuelve a salir puro en los gases de escape; sólo una pequeña parte se combina con el oxígeno y forma los óxidos de nitrógeno (NO_x).
- **Oxígeno (O₂):** Es un gas incoloro, inodoro e insípido. Es otro componente del aire (21 % oxígeno), el cual es uno de los elementos imprescindible para la combustión. Como este proceso es incompleto, el oxígeno no se consume completamente y es expulsado a través del sistema de escape.
- **Agua (H₂O):** Es aspirada en parte por el motor (humedad del aire) o se produce con motivo de la combustión “fría”(fase de calentamiento del motor). Es un subproducto de la combustión y es expulsado por el sistema de escape del vehículo, se lo puede visualizar sobre todo en los días más fríos, como un humo blanco que sale por el escape, o en el caso de condensarse a lo largo del tubo, se produce un goteo. Es un componente inofensivo.
- **Dióxido de carbono (CO₂):** Se produce al ser quemados los combustibles que contienen carbono (por ejemplo gasolina). El carbono se combina durante esa operación con el oxígeno aspirado y se comporta como un gas incoloro y no combustible. El dióxido de carbono CO₂ a pesar de ser un gas no tóxico, reduce el estrato de la atmósfera terrestre que suele servir de protección contra la penetración de los rayos UV (la tierra se calienta). Es un precursor del efecto invernadero.
- **Monóxido de carbono (CO):** Es un producto de la combustión incompleta de combustibles que contienen carbono. Es un gas incoloro, inodoro, explosivo y altamente tóxico. En una concentración normal en el aire ambiental se oxida al corto tiempo, formando dióxido de carbono CO₂. Causa daños severos a la salud cuando reacciona con la hemoglobina de la sangre produciendo déficit de oxígeno en el organismo.

- **Óxidos nítricos (NO_x):** Son combinaciones de nitrógeno N₂ y oxígeno O₂. Los óxidos de nitrógeno se producen al existir una alta presión, alta temperatura y exceso de oxígeno durante la combustión en el motor. El monóxido de nitrógeno (NO), es un gas incoloro, inodoro e insípido. Al combinarse con el oxígeno del aire, es transformado en dióxido de nitrógeno (NO₂), de color pardo rojizo y de olor moderadamente penetrante, ocasiona en las personas irritación de los ojos e inflamación sistema respiratorio, sensación de cansancio y tos.
- **Dióxido de azufre (SO₂):** El dióxido de azufre o anhídrido sulfuroso es un gas incoloro, de olor penetrante, no combustible. Si se reduce el contenido de azufre en el combustible es posible disminuir las emisiones de dióxido de azufre. La exposición a este compuesto origina irritación de los ojos, nariz, garganta, los más sensibles son los niños a los que les producen tos seca y fiebre que en muchos casos asfixia.
- **Hidrocarburos (HC):** Son restos no quemados del combustible, que surgen en los gases de escape después de una combustión incompleta. La mala combustión puede ser debido a la falta de oxígeno durante la combustión (mezcla rica) o también por una baja velocidad de inflamación (mezcla pobre).

1.4.2 Gases de escape en función del factor lambda (λ)¹⁶

Los gases contaminantes del escape de un vehículo dependen del tipo de mezcla que ingresa al motor, pudiéndose relacionar sus niveles de emisión con el factor lambda.

En la figura 1.8 se observa el comportamiento de las concentraciones en volumen de estos productos, en función de lambda.

¹⁶ <http://www.taringa.net/post/autos-motos/16136191/Gases-de-Escape-y-Sistemas-Anticontaminacion-1er-Parte.html>

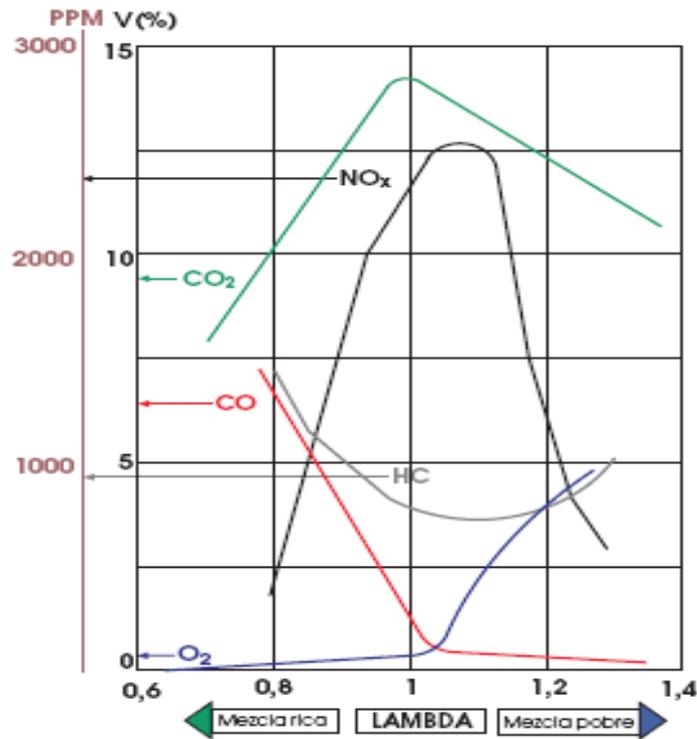


Figura 1.8 Contaminantes vs factor lambda¹⁷

1. **Monóxido de carbono (CO):** La emisión de monóxido de carbono (CO) aumenta con las mezclas ricas, esto es para un factor " $\lambda < 1$ ", el oxígeno existente no es suficiente para completar la combustión, por lo cual el contenido de CO en los gases de escape es elevado. Por el contrario el monóxido de carbono (CO) disminuye con las mezclas pobres; es decir, para mezclas con un factor " $\lambda > 1$ ", el oxígeno presente es abundante y la combustión tiende a completarse, por lo cual el contenido de CO en los gases de escape alcanza valores mínimos.

2. **Dióxido de carbono (CO₂):** La concentración de CO₂ alcanza el valor máximo para coeficientes " λ " cercanos a 1. El valor de CO₂ puede dar una idea de la "calidad" de la combustión.

3. **Hidrocarburos (HC):** La concentración de hidrocarburos sin quemar se reduce a valores mínimos para relaciones aire-gasolina ligeramente superiores

¹⁷ <http://www.edu.xunta.es/centros/cifpsomeso/system/files/ANALISIS+DE+GASES.pdf>

a la estequiométrica, es decir, para mezclas clasificadas como pobres ($\lambda=1.2$). Con mezclas ricas es imposible quemar por completo los hidrocarburos por falta de oxígeno. Por el contrario, con mezclas muy pobres ($\lambda>1.2$) se pueden tener retrasos en la combustión, dificultad de propagación de la llama o fallos de encendido al haberse superado los límites de inflamabilidad. En este caso la combustión resulta incompleta y se comprueba un aumento significativo de los HC emitidos en el escape.

4. **Óxidos de nitrógeno (NOx):** La dosificación de la mezcla influye también en la emisión de óxidos de nitrógeno (NOx). Una mezcla pobre contiene una cantidad mayor de oxígeno que facilita la formación de NOx. Para valores " $\lambda =1.1$ " (relación aire/gasolina de 16:1) ligeramente superior a la relación estequiométrica ($\lambda=1.0$) se obtiene la concentración máxima de NOx. Si aumenta aún más la dosificación, disminuye la temperatura de combustión y por consiguiente se reduce la cantidad de óxidos de nitrógeno aunque exista exceso de oxígeno.

El análisis que se plantea ahora, sobre la formación de los gases de escape, consiste en la imposibilidad de limitar al mismo tiempo los tres gases contaminantes principales: CO, HC y NOx, actuando únicamente sobre la dosificación de la mezcla.

Para poder controlar estos gases en el vehículo, se impone en la práctica soluciones técnicas que garanticen el funcionamiento correcto en todas las condiciones de servicio del motor, las cuales por ejemplo se presentan como: la implementación de sistemas de inyección de gasolina con mando electrónico, la regulación de la mezcla, el uso del catalizador, entre otras.

En la zona de utilización del motor ($\lambda = 0.8$ a 1.1) como se observa en la figura 1.9.a, ocurre que a los valores mínimos de la emisiones de CO y HC corresponde el valor máximo de NOx. Para conseguir al mismo tiempo una reducción drástica de CO y de NOx y obtener un buen comportamiento de los HC, sería preciso garantizar una combustión completa con un factor λ cercano a 1.05.

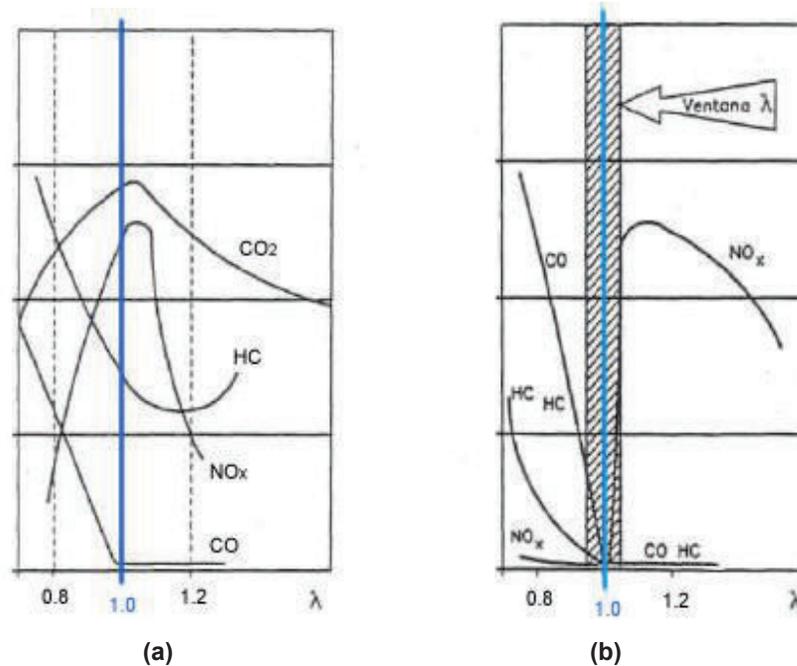


Figura 1.9 Zona de utilización del motor con lambda entre 0.8 y 1.2¹⁸

En esta zona llamada “ventana lambda” como se observa en la figura 1.9.b que muestra las gráficas de los gases de escape después de atravesar el catalizador, en esta parte la proporción de gases es mínima y si se puede conseguir que el motor trabaje en esta franja, se garantizará una mayor reducción de los gases contaminantes.

¹⁸ <http://www.taringa.net/post/autos-motos/16136191/Gases-de-Escape-y-Sistemas-Anticontaminacion-1er-Parte.html>

CAPÍTULO II

2. NIVELES AMBIENTALES DE LOS CONTAMINANTES Y MONITOREO

Este capítulo contiene una descripción de las normativas ambientales y de controles implementados con el objetivo de reducir la contaminación proveniente en mayor grado de los motores de combustión interna. Adicionalmente se define y detalla el procedimiento para la medición de los factores de emisión, cuya variación determina la calidad del aire.

2.1 NORMA DE CALIDAD DEL AIRE AMBIENTE¹⁹

La presente norma tiene como objetivo preservar la calidad del aire y el bienestar de los ecosistemas, estableciendo los límites máximos permisibles de contaminantes en el aire ambiente a nivel del suelo durante un tiempo promedio de muestreo. La norma describe los siguientes puntos importantes:

- Contaminantes comunes del aire ambiente
- Concentraciones de contaminantes comunes
- Métodos de medición de concentración

2.1.1 Contaminantes comunes del aire ambiente

Se ha declarado como contaminantes comunes del aire ambiente a los siguientes:

- Partículas sedimentables
- Material particulado de diámetro menor a 10 micrones (PM₁₀)
- Material particulado de diámetro menor a 2.5 micrones (PM_{2.5})
- Óxidos de nitrógeno (NO y NO₂)
- Dióxido de azufre (SO₂)
- Monóxido de carbono (CO)
- Oxidantes fotoquímicos, expresados como ozono.

¹⁹ Ministerio del Ambiente del Ecuador (2012). Libro VI anexo 4 Calidad del aire. Texto Unificado de Legislación Secundaria (TULAS) [Consultado el 2 de diciembre del 2014]

2.1.2 Concentraciones de contaminantes comunes²⁰

Se establecen las siguientes concentraciones máximas permitidas:

Tabla 2.1 Concentración de contaminantes

Partículas sedimentables	1mg/cm ²	Recolectada durante 30 días continuos
PM ₁₀	150 µg/m ³	Concentración máxima en 24 horas
PM _{2.5}	65 µg/m ³	Concentración máxima en 24 horas
SO ₂	350 µg/m ³	Concentración máxima en 24 horas
CO	40 000 µg/m ³	Concentración máxima en 1 hora
O ₃	160 µg/m ³	Concentración máxima en 1 hora
NO y NO ₂	150 µg/m ³	Concentración máxima en 24 horas

2.1.3 Métodos de medición de concentración

Los métodos para la determinación de la concentración de contaminantes son:

Tabla 2.2 Métodos de medición de concentración

Partículas sedimentables	Método gravimétrico, mediante captación de partículas en envases abiertos
PM ₁₀	Método gravimétrico, mediante equipo de muestras de alto caudal o bajo caudal
PM _{2.5}	Método gravimétrico, mediante equipo de muestras de bajo caudal.
SO ₂	Método de Pararos anilina: absorción en medio líquido y análisis colorimétrico posterior. Fluorescencia
CO	Analizador infrarrojo no dispersivo (NDIR)
O ₃	Quimioluminiscencia. Fotómetro ultravioleta
NO y NO ₂	Quimioluminiscencia.

²⁰ Ministerio del Ambiente del Ecuador (2012). Libro VI anexo 4 Calidad del aire. Texto Unificado de Legislación Secundaria (TULAS) [Consultado el 2 de diciembre del 2014]

Con el propósito de calificar los niveles de contaminación del aire a los que se encuentran expuestos los habitantes se han establecido índices de la calidad del aire, por ejemplo: el Índice Metropolitano de la Calidad del Aire de México (IMECA), el Índice de Calidad del Aire de EEUU (AQI), el Índice Quiteño de la Calidad del Aire (IQCA), entre otros.

El IQCA es una escala numérica entre 0-500, con rangos intermedios expresados también en diferentes colores. Mientras más alto es el valor del IQCA, mayor es el nivel de contaminación atmosférica y, consecuentemente, los peligros para la salud de las personas. La Tabla 2.3 presenta las categorías del IQCA y sus valores límites, para cada contaminante común de la atmósfera, junto con el código de colores a ser utilizado.

Tabla 2.3 Límites numéricos de cada categoría del IQCA ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)²¹

Rango	Categoría	CO ^a	O ₃ ^b	NO ₂ ^c	SO ₂ ^d	PM _{2.5} ^e	PM ₁₀ ^f
0–50	Nivel deseable u óptimo	0–5000	0–50	0–100	0–62.5	0–25	0–50
51–100	Nivel aceptable o bueno	5001–10000	51–100	101–200	63.5–125	26–50	51–100
101–200	Nivel de precaución	10001–15000	101–200	201–1000	126–200	51–150	101–250
201–300	Nivel de alerta	15001–30000	201–400	1001–2000	201–1000	151–250	251–400
301–400	Nivel de alarma	30001–40000	401–600	2001–3000	1001–1800	251–350	401–500
401–500	Nivel de emergencia	>40000	>600	>3000	>1800	>350	>500

Notas: a, concentración máxima de promedio en 8 horas; b, concentración máxima de promedio de 8 horas; c, concentración máxima en 1 hora; d, concentración promedio en 24 horas; e, concentración promedio en 24 horas; f, concentración promedio en 24 horas

2.2 NORMAS DE EMISIONES

Se considera el valor de descarga permisible de sustancias contaminantes, establecido por la autoridad ambiental competente, la misma que contribuye al logro de los estándares establecidos en la Norma de Calidad de Aire.

²¹ Secretaria de ambiente. Informe de la calidad del aire de Quito 2013. Disponible en www.quitoambiente.gov.ec [Consultado el 12 de diciembre del 2014]

Los gases provenientes de los motores de combustión interna son la principal fuente de contaminación. Sin embargo, detener el crecimiento de automotores no es posible ni deseable, dado aspectos económicos y ventajas de movilidad. Por lo tanto, el desafío es maximizar el beneficio del uso de los vehículos y minimizar su impacto adverso sobre el ambiente y la sociedad.

Estados Unidos, Europa y otros países con el propósito de disminuir el impacto de los gases emitidos por los motores de combustión interna, han fijado estándares, los mismos que se vienen aplicando paulatinamente para la homologación de los vehículos. Los estándares de emisiones de California, más exigentes que los requerimientos de la EPA, se conocen como LEV. En Europa se utilizan los límites dados por las normas de la Unión Europea, conocidas como EURO²².

2.2.1 Normas Americanas

En Estados Unidos, los estándares de emisiones son gestionados por la Agencia de Protección Ambiental (EPA). Para la EPA, la cantidad de emisiones contaminantes ha sido limitada por versiones cada vez más exigentes llamadas "Tier". En 1994 se puso en vigencia un nuevo conjunto de normas sobre emisiones de escapes y evaporativas denominadas Tier I (eliminadas progresivamente entre 1994 y 1997). Para el 2004 se contempló la aplicación de las normas Tier II (aplicadas al 100% hasta el 2009), con un 50% de reducciones sobre la Tier I. Luego, en el 2013 se considera las normas Tier III que tendrán su aplicación desde el 2017 hasta el 2025 con su aplicación completa²³.

El estado de California tiene competencias para promulgar normas de emisiones de los vehículos, y otros estados pueden optar por seguir ya sea el

²² Secretaria de ambiente. 2013. Estudio económico y ambiental de la tecnología automotriz para el control de emisiones vehiculares. Disponible en www.quitoambiente.gob.ec [Consultado el 15 de diciembre del 2014]

²³ Normas de emisión. (2014). Disponible en <http://www.dieselnet.com/standards/us/ld.php> [Consultado el 22 de diciembre del 2014]

nacional o las normas de California. Las normas de emisiones de California son establecidas por la “California Air Resources Board” (CARB) que ha ejercido una enorme influencia sobre los requisitos de emisiones que los grandes fabricantes de automóviles deben cumplir si desean vender en este mercado. Las políticas de CARB también han influenciado en las normas de emisiones de la Unión Europea (UE).

Las normas de emisiones de California son más estrictas que las Federales EPA. Los principales pasos regulares en la evolución de las normas de emisión del estado incluyen:

- LEV 1 / NIVEL 1:** normas de emisión extendidas hasta el 2003.
- LEV 2 / NIVEL 2:** normas de emisión extendidas desde el 2004 hasta 2010.
- LEV 3 / NIVEL 3:** normas de emisión a ser aplicadas gradualmente desde el 2015 hasta el 2025.

Este conjunto de normas tendientes a llegar a emisiones nulas, se dividen en subcategorías:

- TLEV:** emisiones vehiculares muy bajas transitorias.
- LEV:** emisiones vehiculares bajas.
- ULEV:** emisiones vehiculares ultra bajas.
- SULEV:** emisiones vehiculares súper ultra bajas (vehículos con 90% menos de emisiones).
- PZEV:** emisiones vehiculares parcial cero (cero emisiones por evaporación).
- ZEV:** emisiones vehiculares cero (eléctricos e hidrógeno).

En la tabla 2.4 se resumen los límites máximos permitidos en masa de sustancia contaminante por unidad de distancia (gramos/milla), que aplican tanto para los estándares de California como para las leyes Federales de Estados Unidos.

Tabla 2.4 Normas de regulación de emisiones en EEUU para vehículos de pasajeros.Basado en el ciclo FTP75. Unidades gramos/milla²⁴

NORMA	50,000 millas / 5 años			100,000 millas / 10 años		
	CO [g/mi]	HC [g/mi]	NOx [g/mi]	CO [g/mi]	HC [g/mi]	NOx [g/mi]
Federal						
US Tier 0 (previo a 1994)	3.400	0.410	1.000	-	-	-
US Tier I	3.400	0.250	0.400	4.200	0.310	0.600
US Tier II	1.700	0.125	0.200	1.700	0.125	0.200
US Tier III	-	-	-	1.000	0.030	
California LEV I (Fase I)						
Transición (TLEV)	3.400	0.125	0.400	4.200	0.156	0.600
Emisiones bajas (LEV)	3.400	0.075	0.200	4.200	0.090	0.300
Emisiones ultra bajas (ULEV)	1.700	0.040	0.200	2.100	0.055	0.300
Emisiones cero (ZEV)	0	0	0	-	-	-
California LEV II (Fase II)						
Emisiones bajas (LEV)	3.400	0.075	0.050	4.200	0.090	0.070
Emisiones ultra bajas (ULEV)	1.700	0.040	0.050	2.100	0.055	0.070
California LEV III (Fase III)						
Emisiones bajas (LEV)	-	-	-	4.200	0.160	
Emisiones ultra bajas (ULEV125)	-	-	-	2.100	0.125	
Emisiones ultra bajas (ULEV70)	-	-	-	1.700	0.070	
Emisiones ultra bajas (ULEV50)	-	-	-	1.700	0.050	
Emisiones ultra bajas (SULEV30)	-	-	-	1.000	0.030	
Emisiones ultra bajas (SULEV20)	-	-	-	1.000	0.020	

2.2.2 Normas Europeas

Las normas Europeas regulan los límites aceptables para las emisiones de gases de combustión de los vehículos vendidos en los países miembros de la Unión Europea. Las normas de emisión se definen en una serie de directivas de la Unión Europea con implantación progresiva que son cada vez más restrictivas. Estas normas van desde la Euro 0 hasta la Euro VI y regulan las emisiones de óxidos de nitrógeno (NOx), hidrocarburos (HC), monóxido de carbono (CO) y material particulado. El cumplimiento se determina controlando el funcionamiento del motor en un ciclo de ensayos controlado.

²⁴ Normas de emisión. (2014). Disponible en URL <http://www.dieselnet.com/standards/us/ld.php> [Consultado el 3 de diciembre del 2014]

Las normas Euro han sido establecidas según la fecha que han entrado en vigencia y la directiva de EU:

- Euro 0:** después de 1988
- Euro I:** para pasajeros, desde 1993 (directiva CEE 91/441)
- Euro II:** para pasajeros, desde 1996 (directiva CEE 94/12 & 96/69)
- Euro III:** para cualquier vehículo, desde 2000 (directiva CEE 98/69)
- Euro IV:** para cualquier vehículo, desde 2005 (directiva CEE 98/69 & 2002/80)
- Euro V:** para cualquier vehículo, desde 2009 (COM (2005) 683)
- Euro VI:** para cualquier vehículo, desde 2014 (COM (2005) 683)

En la tabla 2.5 se resumen los límites máximos permitidos en masa de sustancia contaminante por unidad de distancia (gramos/kilometro), que aplican para los estándares Europeos. Adicionalmente, la regulación Euro VI introduce un límite de emisiones de número de partículas (PN).

Tabla 2.5 Normas de regulación de emisiones en EU para vehículos de pasajeros (<2,500Kg). Basado en el Nuevo Ciclo de Manejo Europeo (NEDC = ECE15 + EUDC)²⁵

Norma	CO (g/Km)	HC (g/Km)	HC+NOx (g/Km)	NOx (g/Km)	PM (g/Km)	PN (#/Km)
Euro I (Julio 1992)	2.72	-	0.97	-	-	-
Euro II (Enero 1996)	2.20	-	0.50	-	-	-
Euro III (Enero 2000)	2.30	0.20	-	0.15	-	-
Euro IV (Enero 2005)	1.00	0.10	-	0.08	-	-
Euro V (Septiembre 2009)	1.00	0.10	-	0.06	0.005 (DI)	-
Euro VI (Septiembre 2014)	1.00	0.10	-	0.06	0.005 (DI)	6x10 ¹¹ (DI)

2.2.3 Normas Nacionales

Los límites de emisiones nacionales están basados en la normativa emitida por el Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN) que es un organismo oficial de la República del Ecuador para la normalización, la certificación y la metrología. El INEN mediante la norma NTE INEN 2204:2002 establece los límites permitidos de emisiones contaminantes producidas por fuentes móviles

²⁵Normas de emisión, (2014). Disponible en URL: <http://www.dieselnet.com/standards/eu/ld.php> [Consultado el 15 de diciembre del 2014].

terrestres de gasolina, dicha norma tiene sus fundamentos en regulaciones europeas y americanas adaptadas a la política nacional ecuatoriana. La tabla 2.6 expresa los límites máximos de emisiones para pruebas estáticas considerando la altura sobre el nivel del mar; mientras la tabla 2.7 representa los límites máximos de factores de emisión para pruebas dinámicas.

Tabla 2.6 Límites máximos de emisiones para vehículos a gasolina. Prueba Estática

AÑO MODELO	% CO (volumen)		ppm HC (volumen)	
	0-1500 msnm	1500-3000 msnm	0-1500 msnm	1500-3000 msnm
2000 y posteriores	1.0	1.0	200.0	200.0
1990 a 1999	3.5	4.5	650.0	750.0
1989 y anteriores	5.5	6.5	1000.0	1200.0

Tabla 2.7 Límites máximos de emisiones para vehículos a gasolina. Prueba Dinámica²⁶

CATEGORIA	Peso Bruto del Vehículo (Kg)	CO (g/Km)	HC (g/Km)	NOx (g/Km)	Ciclo de Prueba
Ciclo Americano					
Livianos (año > 2000)	-	2.10	0.25	0.62	FTP - 75
Medianos (año > 2000)	3860	6.20	0.50	0.75	FTP - 75
Ciclo Europeo					
Livianos (año > 2000)	3500	2.72	0.97		ECE15 + EUDC

NOTA: Pruebas realizadas a nivel del mar

2.3 CONTROL DE EMISIONES

El control de emisiones o tecnologías que se utilizan para reducir las causas de contaminación del aire esta direccionada a los automóviles y se clasifican en los siguientes ítems, los cuales solamente serán nombrados ya que no son objetivos primordiales del presente estudio.

2.3.1 Control de las emisiones del sistema de escape

El control de las emisiones del sistema de escape puede estimarse por:

- a) Incremento en la eficiencia del motor

²⁶Servicio de información on-line INEN (2014). Disponible en URL: <http://www.inen.gov.ec/> [Consultado el 15 de diciembre del 2014].

- Sistemas de inyección a gasolina
 - Unidad de control electrónica
 - Ignición electrónica
- b) Incremento en la eficiencia del vehículo
- Menor peso en los diseños
 - Mejor aerodinámica
 - Mejora de sistemas de transmisión
 - Frenos regenerativos
- c) Incremento en la eficiencia de manejo
- Mejores técnicas de conducción
 - Reducción del número de arranques en condiciones frías
 - Mejoras de circulación en tráfico.
- d) Limpieza de las emisiones producidas
- Inyección de aire
 - Reciclaje y recirculación de los gases de escape
 - Convertidores catalíticos

2.3.2 Control de las emisiones de vapores tóxicos

Los esfuerzos en la reducción de emisiones de vapores nocivos incluyen la captura de vapores ventilados dentro del vehículo y la reducción de estos al momento de recargar combustible:

- a) Captura de los vapores expulsados
- b) Reducción de pérdidas durante el abastecimiento de combustible²⁷

2.3.3 Certificación de emisiones

Es un procedimiento mediante el cual se certifica que determinados modelos de vehículos motorizados, destinados a circular en un país específico cumplen con las normas técnicas vigentes que determinan las leyes locales donde se comercializarán las unidades. Por lo tanto, el estudio y obligatoriedad del

²⁷Control de emisiones vehiculares (2014). Disponible en URL: <http://es.wikipedia.org/wiki/> [Consultado el 26 de diciembre del 2014].

cumplimiento del control anual o semestral de las inspecciones de gases para el parque automotor o vehículos de combustión interna (fuentes móviles) son de gran importancia en las ciudades de alta densidad poblacional, teniendo como desafío disminuir sus cantidades sin resignar la movilidad y la comunicación.

Los importadores y ensambladores de vehículos deben obtener la certificación de emisiones expedida por la casa fabricante o propietaria del diseño del vehículo y avalada por la autoridad competente del país de origen, o de un laboratorio autorizado por ella. Los procedimientos de evaluación base para las certificaciones serán los establecidos para los ciclos FTP 75, ciclo transiente pesado ECE 15 + EUDC, SHED, según las características del vehículo. Los ciclos nombrados serán detallados en el capítulo 3.

2.4 FACTORES DE EMISION

Los factores de emisión son importantes para quienes toman decisiones en los estudios de impacto ambiental, para diseñar las estrategias de vialidades y sobre todo para la estimación de los inventarios de emisiones y poder evaluar los programas de control de la contaminación atmosférica.

Un factor de emisión es considerado una relación entre la cantidad de contaminante emitido a la atmósfera y una unidad de actividad o proceso (consumo de energía, unidades de producción, kilómetros recorridos, etc.)²⁸; las normas buscan la reducción de este factor, en base a la tecnología, combustible, uso, régimen, control, entre otros.

Para las fuentes móviles los factores de emisión se expresan en gramos de contaminante por kilómetro recorrido o kilogramos de contaminante por cantidad de combustible quemado y pueden ser obtenidos por métodos directos o indirectos. Estos métodos se explican brevemente para explicar a continuación los factores de emisión a detalle.

²⁸TORRES L, URVINA H; Determinación de los factores reales de emisión de los motores ciclo Otto en la ciudad de Quito; EPN; Quito; 2008.

2.4.1 Métodos directos para el cálculo

Representan las emisiones de un vehículo en condiciones reales de operación, sin embargo, el costo asociado al equipo requerido para las pruebas es alto lo cual lo puede transformar en inasequible. Los métodos directos más comunes son los siguientes: sensor remoto, medición a bordo y prueba en dinamómetro.

2.4.2 Métodos indirectos para el cálculo

Se basa en modelos internacionales que utilizan información de los métodos directos ajustada a las condiciones teóricas de cada modelo. Los modelos más comunes son los siguientes: MOBILE 6, MOVES, IVE y COPERT²⁹

2.4.3 Factores de emisión mediante modelo de combustión simplificado

En este proyecto de estudio se va a utilizar para el cálculo de los factores de emisión un método teórico basado en el modelo simplificado de combustión, con la consideración de que el consumo de combustible es aproximadamente proporcional a las emisiones de contaminantes.

El modelo simplificado de combustión básicamente representa la conversión de la mezcla aire-combustible en sus principales productos. En vista que el CO₂, CO y HC son resultados de la combustión que contienen carbono es posible desarrollar un balance de masa respecto a la cantidad de carbono presente en el combustible y en estos 3 productos de la combustión. Por lo tanto, el número total de átomos de carbono en cada caso debería ser igual, ya que se deben conservar.

Posteriormente, con el conocimiento del peso molecular y la densidad del combustible utilizado es posible calcular la cantidad de CO, HC y NO emitidos por galón de combustible quemado. Sin embargo, la mayoría de los inventarios de emisiones se presenta en gramos de contaminante por kilómetro recorrido,

²⁹Clean Air Institute; Metodologías para la estimación de emisiones de transporte urbano; Washington; 2013.

para lo cual es necesario introducir el consumo de combustible promedio del vehículo de prueba³⁰.

Para llegar a la composición de los productos de combustión, se asume los siguientes puntos:

- Completo consumo del combustible.
- El carbono del combustible es emitido como CO₂, CO o como un hidrocarburo no quemado equivalente al propano (C₃H₆).
- El cálculo es basado en cantidades estequiométricas de aire. Si una cantidad de oxígeno adicional es quemado, el único efecto en el balance de masa sería que se presente oxígeno en los productos de combustión.
- Se consideran adicionalmente como productos de combustión al N₂ y NO³¹.

El punto de partida para el cálculo del modelo de combustión es desarrollar una fórmula molecular equivalente para el combustible. Por ejemplo, se asume que el combustible consiste principalmente de carbono e hidrógeno con cantidades despreciables de otros elementos para el propósito del balance de masa. En la tabla 2.8 se observa el desarrollo de una fórmula molecular equivalente para un combustible que contiene 80% peso carbono y 20% peso hidrogeno, obteniéndose en este ejemplo la fórmula CH₃.

Tabla 2.8 Fórmula molecular equivalente

COMPONENTE	lb por 100 lb de combustible	Peso Molecular	lb mol por 100 lb de combustible	lb mol por lb mol de carbono
Carbono	80.0	12.0	6.7	1.0
Hidrogeno	20.0	1.0	20.0	3.0

³⁰FREY H., EICHENBERGER D; Remote sensing of mobile source air pollutant emissions, North Carolina State University; June 1997.

³¹CAIZA, P., PORTILLA, A.; Determinación de la influencia de la altura en emisiones contaminantes de un vehículo con motor de ciclo Otto de inyección electrónica de gasolina, Tesis EPN; diciembre 2010.

Del ejemplo anterior, se puede deducir que el peso molecular del combustible está dado por la fórmula molecular equivalente CH_y , de la cual se tiene³²:

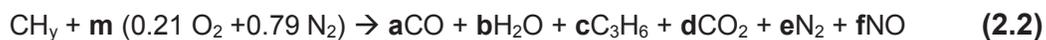
$$y = \left(\frac{\% \text{ peso H}}{\% \text{ peso C}} \right) \left(\frac{MW_C}{MW_H} \right) \quad (2.1)$$

Donde:

MW_C : peso molecular del carbono

MW_H : peso molecular del hidrogeno

Se consideran como productos de combustión los siguientes: CO , H_2O , C_3H_6 , CO_2 y adicionalmente los productos N_2 y NO que son en la actualidad de gran importancia en la contaminación atmosférica.³³ En definitiva, el balance de masa para la combustión, despreciando el exceso de oxígeno, está dado por:



Donde las variables **a**, **b**, **c**, **d**, **e**, **f** y **m** son coeficientes estequiométricos desconocidos y definidos como:

m = moles de aire consumido por mol de combustible consumido

a = moles formados de CO por mol de combustible consumido

b = moles formados de H_2O por mol de combustible consumido

c = moles formados de C_3H_6 por mol de combustible consumido

d = moles formados de CO_2 por mol de combustible consumido

e = moles formados de N_2 por mol de combustible consumido

f = moles formados de NO por mol de combustible consumido

En vista que los átomos contenidos en la combustión no pueden ser creados ni destruidos, las ecuaciones del balance de masa se pueden escribir como:

³²FREY H., EICHENBERGER D; Remote sensing of mobile source air pollutant emissions, North Carolina State University; June 1997.

³³CAIZA, P., PORTILLA, A.; Determinación de la influencia de la altura en emisiones contaminantes de un vehículo con motor de ciclo Otto de inyección electrónica de gasolina, Tesis EPN; diciembre 2010.

Elemento	Reactantes	=	Productos	
Carbono	1	=	$a + 3c + d$	(2.3)
Hidrogeno	y	=	$2b + 6c$	(2.4)
Oxigeno	0.42 m	=	$a + b + 2d + f$	(2.5)
Nitrógeno	1.58 m	=	$2e + f$	(2.6)

Con el objetivo de resolver este sistema de ecuaciones, se realiza la medición de gases (concentraciones volumétricas) en pruebas estáticas y dinámicas para obtener datos adicionales que nos permitan determinar las incógnitas³⁴.

$$R_{CO} = \left(\frac{CO}{CO_2} \right) = \frac{a}{d} \quad (2.7)$$

$$R_{HC} = \left(\frac{HC}{CO_2} \right) = \frac{c}{d} \quad (2.8)$$

$$R_{NO} = \left(\frac{NO}{CO_2} \right) = \frac{f}{d} \quad (2.9)$$

Donde:

R_{CO} , R_{HC} y R_{NO} son las razones de %CO a %CO₂; %HC a %CO₂ y %NO a %CO₂, respectivamente; obteniéndose las siguientes ecuaciones:

$$a = R_{CO} d \quad (2.10)$$

$$c = R_{HC} d \quad (2.11)$$

Reemplazando estas relaciones en la ecuación (2.3) se obtiene:

$$d = \frac{1}{R_{CO} + 3R_{HC} + 1} \quad (2.12)$$

³⁴FREY H., EICHENBERGER D; Remote sensing of mobile source air pollutant emissions, North Carolina State University; June 1997.

Con los valores de a, c y f, se puede obtener los factores de emisión (EF') en gramos de contaminante por gramo de combustible consumido, dado por³⁵:

$$EF'_{CO} = a * \frac{MW_{CO}}{MW_{Fuel}} = \frac{R_{CO}}{R_{CO}+3R_{HC}+1} * \frac{MW_{CO}}{MW_{Fuel}} \quad (2.13)$$

$$EF'_{HC} = c * \frac{MW_{HC}}{MW_{Fuel}} = \frac{R_{HC}}{R_{CO}+3R_{HC}+1} * \frac{MW_{HC}}{MW_{Fuel}} \quad (2.14)$$

$$EF'_{NO} = f * \frac{MW_{NO}}{MW_{Fuel}} = \frac{R_{NO}}{R_{CO}+3R_{HC}+1} * \frac{MW_{NO}}{MW_{Fuel}} \quad (2.15)$$

Considerando como base principal del combustible al octano C₈H₁₈ (equivalente CH_{2.25}), se procede a determinar el peso molecular del combustible:

$$\begin{aligned} MW_{Fuel} &= \frac{12 \text{ g C}}{\text{mol C}} * \left(\frac{1 \text{ mol C}}{\text{mol Fuel}} \right) + \frac{1 \text{ g H}}{\text{mol H}} * \left(\frac{2.25 \text{ mol H}}{\text{mol Fuel}} \right) \\ &= 14.25 \frac{\text{g Fuel}}{\text{mol Fuel}} \end{aligned}$$

Finalmente, introduciendo la densidad del combustible δ_F (Kg/m³) y el consumo de combustible por distancia recorrida FC (m³/Km), se puede obtener el factor de emisión en gramos de cada contaminante por kilómetro recorrido, así³⁶:

$$EF = EF' * \delta_{Fuel} * FC \quad (2.16)$$

³⁵POKHAREL S., BISHOP G.; Fuel-based on-road motor vehicle emissions inventory for the Denver metropolitan area, University of Denver; 2000.

³⁶CAIZA, P., PORTILLA, A.; Determinación de la influencia de la altura en emisiones contaminantes de un vehículo con motor de ciclo Otto de inyección electrónica de gasolina, Tesis EPN; diciembre 2010.

$$EF_{CO} = \frac{g_{CO}}{Km} = \frac{28 \frac{\%CO}{\%CO_2}}{\frac{\%CO}{\%CO_2} + \left(3 \frac{\%HC}{\%CO_2}\right) + 1} * \frac{\delta_{Fuel} * FC}{0.01425} \quad (2.17)$$

$$EF_{HC} = \frac{g_{HC}}{Km} = \frac{42 \frac{\%HC}{\%CO_2}}{\frac{\%CO}{\%CO_2} + \left(3 \frac{\%HC}{\%CO_2}\right) + 1} * \frac{\delta_{Fuel} * FC}{0.01425} \quad (2.18)$$

$$EF_{NO} = \frac{g_{NO}}{Km} = \frac{30 \frac{\%NO}{\%CO_2}}{\frac{\%CO}{\%CO_2} + \left(3 \frac{\%HC}{\%CO_2}\right) + 1} * \frac{\delta_{Fuel} * FC}{0.01425} \quad (2.19)$$

Finalmente, las fórmulas obtenidas 2.17, 2.18 y 2.19 servirán para calcular los factores de emisión de los vehículos de prueba que se seleccionarán estadísticamente, y que permitirán realizar la correlación entre los factores de emisión obtenidos con el método estático y dinámico IM-240. Los valores a determinar experimentalmente para el cálculo de los factores de emisión son:

- Emisiones en volumen de NO, HC, CO y CO₂.
- Consumo de combustible en m³ / Km.

CAPÍTULO III

3. DETERMINACIÓN DE EMISIONES

El presente apartado describe las principales metodologías para determinar las emisiones de los vehículos de combustión interna a gasolina. Los ciclos de conducción que se han desarrollado en distintos países son los más utilizados para la evaluación de las emisiones, los cuales se contrastan con los programas de verificación vehicular o control también llamados de inspección y mantenimiento (I/M).

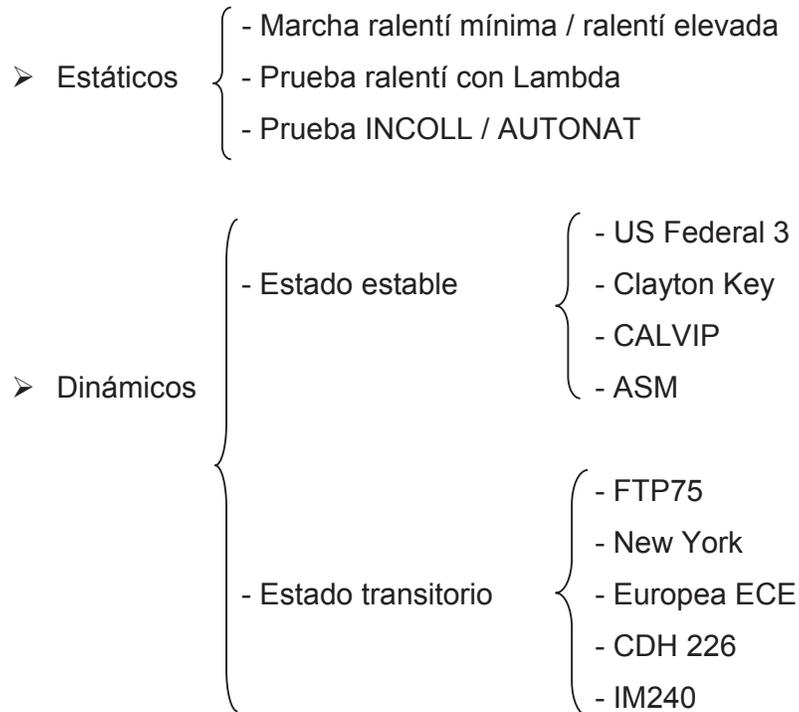
3.1 SISTEMAS DE INSPECCIÓN Y MANTENIMIENTO (I/M)

En vista que el parque vehicular es responsable de la emisión de más del 95% del monóxido de carbono y de las emisiones de los precursores de ozono, la mayoría de países industrializados alrededor de 1970 iniciaron la implementación de programas de control de emisiones vehiculares o también llamados de inspección y mantenimiento (I/M).

Las pruebas de emisiones de gases empleadas en los sistemas I/M se basan en el mismo principio que las utilizadas en los sistemas de homologación, sin embargo, el objetivo que persiguen las pruebas en ambos sistemas es completamente distinto. En los sistemas de homologación se desea comprobar si el vehículo, cuando salga de la fábrica, sea capaz de cumplir con los límites de emisiones de contaminantes establecidos, para ello se requiere de pruebas dinámicas con ciclos de conducción complejos y con tiempos de duración relativamente largos, en cambio en los sistemas I/M el objetivo es identificar a los autos que por falta de mantenimiento adecuado no cumplen con los límites de emisiones y para ello la prueba debe ser sencilla, económica y de corta duración.³⁷

³⁷Subdirección de estudios ambientales IDEAM; Documento soporte norma de fuentes móviles; Bogotá; 2006.

Entre los principales procedimientos directos de medición de emisiones sobre vehículos a gasolina que se han desarrollado existen una gran variedad de métodos como los descritos a continuación:



3.2 METODOS ESTÁTICOS

Se conoce a los métodos estáticos como las pruebas que no aplican carga, es decir, no transmiten potencia ya que son realizadas con la transmisión en neutro. Este tipo de pruebas son las más populares en el mundo y sirven para medir la concentración de diferentes gases de combustión y determinar las emisiones vehiculares a distintos regímenes de revoluciones, dada su rapidez de aplicación y el costo de la infraestructura.

En la figura 3.1 se observa las pruebas estáticas realizadas a un automóvil, para lo cual se introduce en el tubo de escape una sonda que toma muestras de los gases de escape, los procesa y entrega los resultados digitales en una computadora. Entre las principales pruebas estáticas se tienen:

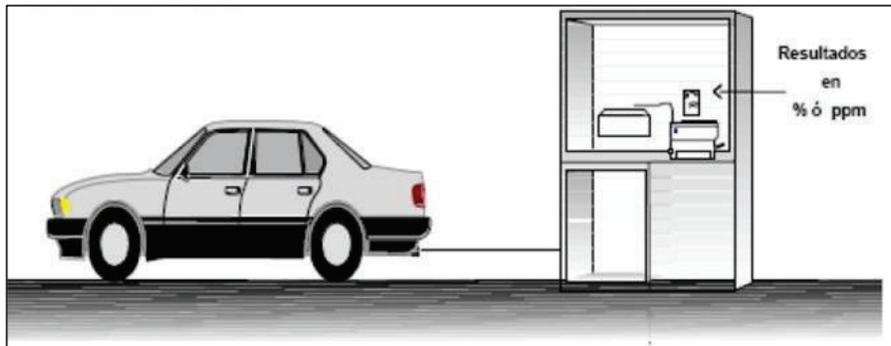


Figura 3.1 Prueba estática

3.2.1 Marcha ralentí / ralentí elevado

Este tipo de prueba es la más utilizada en los programas I/M porque es la más rápida, más barata, más fácil de ejecutar y con el mínimo equipo posible. La prueba se divide en 4 etapas:

- Inspección visual / subjetiva de la existencia y operación de componentes tales como: sistema de escape, filtro de aire, mangueras de motor, etc.
- Revisión visual del humo, acelerando a 2,500 rpm por 30s. Si se observa humo azul o negro por más de 10s, se concluye la prueba reprobándola.
- Acelerar el motor entre 2,000 / 3,000 rpm durante 30s y tomar las lecturas de emisiones de CO, HC, CO₂ de los últimos 5s.
- Mantener el vehículo en marcha lento 900 rpm en vacío sin acelerar por 30s, luego tomar las lecturas de emisiones de CO, HC, CO₂ de los últimos 5s.

Esta prueba de ralentí / ralentí elevado está más direccionada a los autos carburados y no es recomendada para vehículos con inyección electrónica de gasolina, equipados con catalizadores de tres vías, porque el catalizador es capaz de funcionar en forma muy eficiente con bajos flujos de emisiones (propios de ralentí), pero emitiría grandes cantidades de contaminantes en otras etapas de funcionamiento del motor, principalmente en las etapas transitorias, que solo pueden ser medidas con pruebas en ciclos de conducción

(dinámicas). Adicionalmente, los NOx medidos en ralentí no son representativos en estas condiciones de prueba, razón por la cual este gas no se fiscaliza en la realización de estas pruebas³⁸.

En la figura 3.2 se esquematiza el procedimiento de una prueba estática, considerando ralentí a 900 rpm y ralentí elevado a 2,500 rpm.

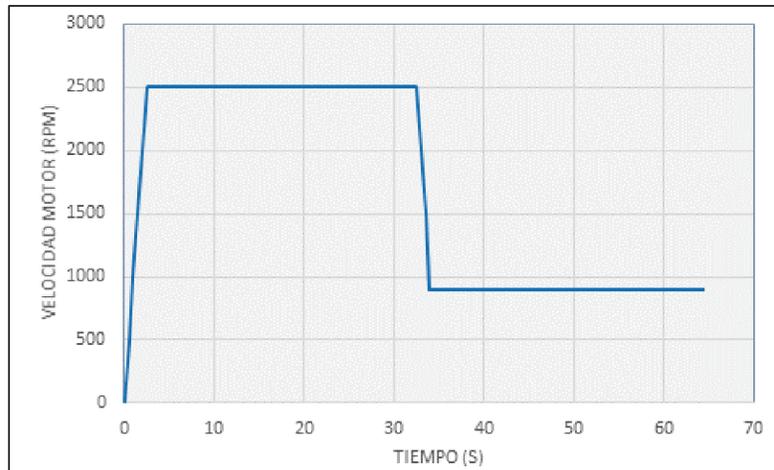


Figura 3.2 Prueba estática en ralentí / ralentí elevado

3.2.2 Prueba ralentí / ralentí elevada con prueba Lambda

Una prueba Lambda (proporción aire / combustible) puede ser acoplada con la prueba ralentí / ralentí elevada con el fin de verificar la eficiencia del sistema de preparación de la mezcla.

La lógica sobre la cual se fundamenta el uso combinado de la prueba lambda con la prueba ralentí es que la primera puede identificar un mal funcionamiento en los sistemas modernos de preparación de mezcla, mientras que la segunda verificaría la eficiencia de la capacidad de conversión del catalizador. De esta manera es posible analizar en forma separada ambos sistemas, que son cruciales en el control de las emisiones de un auto moderno, y diagnosticar cuál de los dos es el responsable por los altos niveles de emisiones.

³⁸Jon Bickel, 2001, Revisión técnica de vehículos-límites máximos permisibles de emisiones, Lima-Perú.

3.2.3 Prueba INCOLL / AUTONAT

Estas dos pruebas fueron diseñadas para vehículos a gasolina y en realidad son distintas pero con el mismo principio. La prueba INCOLL fue desarrollada en Suecia en 1985, mientras que la prueba AUTONAT fue desarrollada en Francia en 1994. En estas pruebas el motor del vehículo opera con la transmisión en neutro y es acelerado y desacelerado rápidamente de ralentí a 4,500 rpm en un corto tiempo menor a 100 ms (observar figura 3.3), de manera que la carga que el motor tiene que vencer para acelerar sus partes rotativas y reciprocantes (incluyendo el volante y caja de cambios) se aproxime a la carga de un ciclo normal de conducción. De este modo sería posible realizar una prueba dinámica en estado transitorio sin ninguna carga externa.

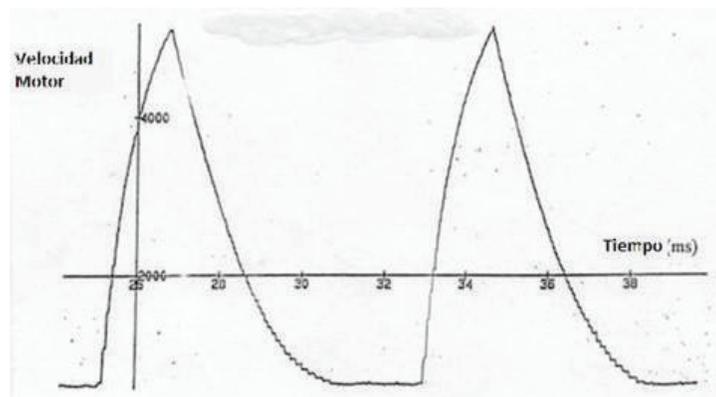


Figura 3.3 Secuencia de la prueba INCOLL / AUTONAT³⁹

El realizar un ciclo de prueba actual requiere entre 2 y 5 minutos, mientras el tiempo de preparación para la prueba INCOLL / AUTONAT toma aproximadamente 30 minutos el poder obtener la relación entre la posición del pedal del acelerador y velocidad del motor / carga para cada tipo de carro, sin embargo el ciclo de operación aceleración – carga constante – desaceleración – ralentí demora aproximadamente 10 milisegundos y es repetido continuamente varias veces (Figura 3.3).⁴⁰

³⁹Jon Bickel, 2001, Revisión técnica de vehículos-límites máximos permisibles de emisiones, Lima-Perú.

⁴⁰Zissis Samaras, 1995, The inspection of in-use cars in order to attain minimum emissions of pollutants and optimum energy efficiency, Thessaloniki-Greece.

A pesar de que ambas pruebas han demostrado tener una buena correlación con los ciclos de manejo más comunes, presentan la gran desventaja de que para obtener esa correspondencia debe ajustarse la secuencia de manejo a las características de cada tipo de vehículo, es decir que este tipo de prueba requiere de un ciclo de manejo exclusivo para cada combinación motor / transmisión, alejándose del principio perseguido por los sistemas I/M de “una prueba para todos los vehículos”.

3.3 METODOS DINÁMICOS EN ESTADO ESTABLE

Las pruebas estáticas no son representativas para determinar las emisiones de los NOx porque son realizadas en posición de marcha neutral, es decir, sin absorción de energía o carga. Por lo tanto, para medir los niveles de emisiones de NOx que constituyen un tema crítico en la contaminación del aire urbano se requiere el uso de un dinamómetro con absorción de energía en estado estable que constituye la prueba con el más simple estado de carga. En la figura 3.4 se observa un vehículo sobre los rodillos de un dinamómetro y así poder proceder con las mediciones.

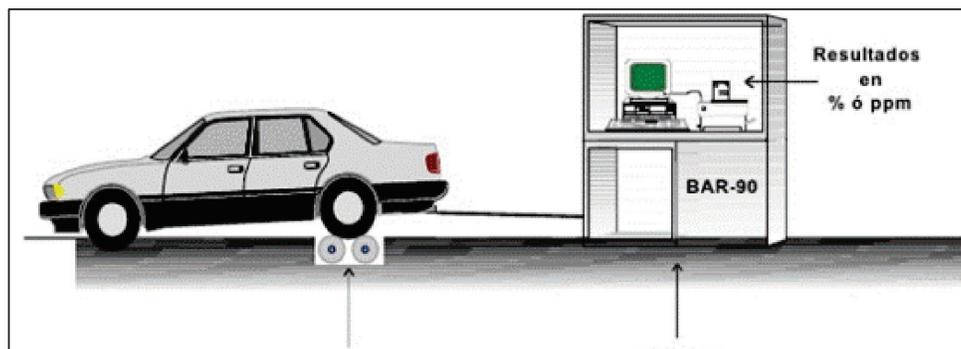


Figura 3.4 Prueba dinámica

Finalmente, no se necesita una simulación del peso inercial del carro ya que no existe una fase transitoria durante la prueba: el motor se mantiene a una velocidad específica (o una serie de velocidades) por un tiempo determinado, siendo las concentraciones de contaminantes (CO, HC, NOx y CO₂) medidas durante el ensayo. Entre las pruebas dinámicas en estado estable tenemos:

3.3.1 Prueba US FEDERAL 3-mode

Esta prueba se desarrolló en Estados Unidos en los años 70 y fue uno de los múltiples procedimientos de prueba que la US EPA tuvo en consideración para los programas I/M en las emisiones de los vehículos a gasolina. Como lo muestra la tabla 3.1 y el gráfico 3.5, la prueba implica una fase a alta velocidad (80 Km/h), una a baja velocidad (48 Km/h) y otra en ralentí, considerando que la carga varía de acuerdo a la inercia del vehículo (4 subdivisiones).

Tabla 3.1 Modos de velocidad y carga de la prueba US Federal 3-mode⁴¹

Peso Inercial (Kg)	Fase de alta velocidad		Fase de baja velocidad	
	Velocidad (Km/h)	Carga (Hp)	Velocidad (Km/h)	Carga (Hp)
≤ 1134	80	21	48	9
1134 - 1586	80	26	48	12
1587 - 2041	80	31	48	15
> 2041	80	36	48	18

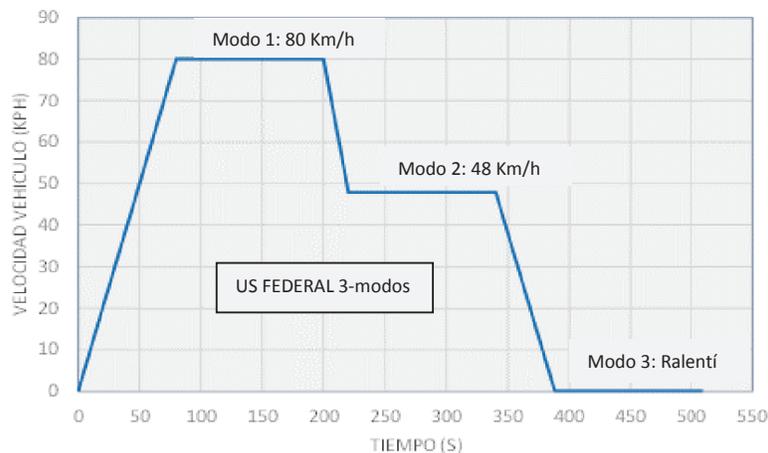


Figura 3.5 Prueba dinámica USD FEDERAL 3-modos

La prueba se utiliza para medir la concentración de los contaminantes CO, HC y NOx con un tiempo de duración aproximado de 10 minutos incluyendo preparación, prueba y documentación, mientras cada fase puede tomar un

⁴¹Jon Bickel, 2001, Revisión técnica de vehículos-límites permisibles de emisiones, Lima-Perú.

tiempo máximo de 2 minutos. A pesar de mantener una buena correlación con las pruebas FTP (coeficientes entre 0.63 y 0.85); nunca se implementó debido al alto costo de los dinamómetros, de los analizadores de NOx y de la pobre reproducibilidad.

3.3.2 Prueba CLAYTON KEY

La prueba Clayton Key mode fue desarrollada en Estados Unidos en 1970 para los programas I/M de los vehículos a gasolina. De acuerdo a la tabla 3.2 y figura 3.6 la prueba es muy similar a la Federal 3-modos, con la diferencia en el rango del peso del vehículo y velocidades/cargas diferentes para sus 3 modos.

Tabla 3.2 Modos de velocidad y carga de la prueba Clayton Key⁴²

Peso Inercial (Kg)	Fase de alta velocidad		Fase de baja velocidad	
	Velocidad (Km/h)	Carga (Hp)	Velocidad (Km/h)	Carga (Hp)
≤ 1270	60.0	14.0	47.0	5.0
1271 - 1724	72.0	22.5	50.0	9.0
> 1725	80.0	28.5	53.0	11.0

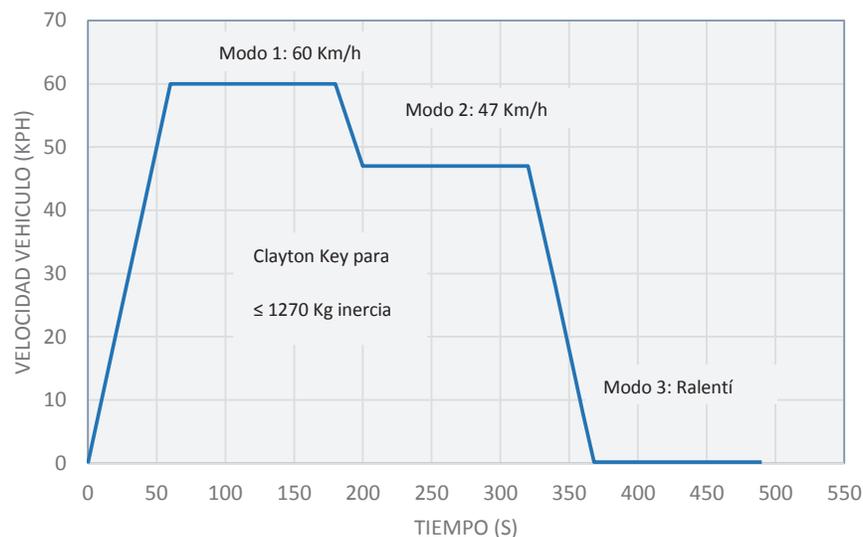


Figura 3.6 Prueba dinámica Clayton Key (p/inercia ≤ 1270 Kg)

⁴²Zissis Samaras, 1995, The inspection of in-use cars in order to attain minimum emissions of pollutants and optimum energy efficiency, Thessaloniki-Greece.

La prueba se utiliza para medir la concentración de los contaminantes CO, HC y NOx con un tiempo de duración de 2 minutos por fase. Así mismo, su correlación con las pruebas FTP fue igual de buena que la Federal 3, los coeficientes de correlación oscilaron entre 0.65 y 0.85; pero no se implementó debido al alto costo de los dinamómetros, de los analizadores de NOx y de la baja reproducibilidad.

3.3.3 Prueba CALVIP

La prueba CALVIP fue desarrollada por la CARB (California Air Resources Board) y se utilizó en el programa I/M centralizado de Los Ángeles entre 1979 y 1984. Al igual que las anteriores pruebas mide los contaminantes CO, HC y NOx, pero a diferente velocidad y carga como se indica en la tabla 3.3 y figura 3.7.

Tabla 3.3 Modo de velocidad y carga prueba CALVIP⁴³

Vehículo	Velocidad (Km/h)	Carga (Hp)
≤ 4 cilindros	65	10.0
5 - 6 cilindros	65	15.0

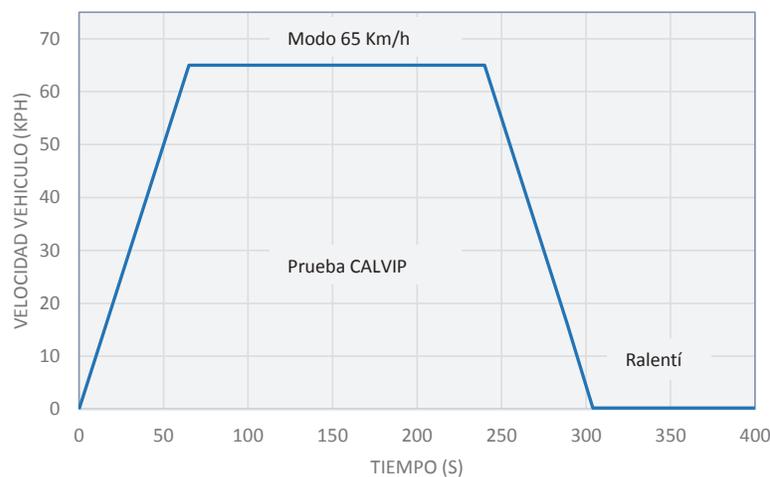


Figura 3.7 Prueba dinámica CALVIP (p/cilindros ≤ 4)

⁴³Zissis Samaras, 1995, The inspection of in-use cars in order to attain minimum emissions of pollutants and optimum energy efficiency, Thessaloniki-Greece.

CALVIP en relación con la prueba Clayton Key demostró tener una correlación ligeramente más alta con las emisiones FTP para autos con catalizador; sin embargo, la correlación con las emisiones de NOx era todavía muy modesta (en el orden de 0.6).

3.3.4 Prueba con simulación de la aceleración (ASM)

La prueba “Modos de Aceleración Simulada” (ASM) es una prueba dinámica en estado estable reglamentada por la EPA, para vehículos livianos y utilizada en sistemas I/M de varios países (Argentina, Chile, Estados Unidos). Este ensayo es de régimen estacionario, el cual emplea un dinamómetro de chasis que absorbe potencia sin necesidad de simular la inercia del vehículo (observar figura 3.8), ya que se lo conduce a una velocidad y carga constantes sin pasar por fases variables. Durante esta fase estable (velocidad y carga constantes), se miden las concentraciones de emisiones de CO, HC y NOx directamente de los gases de escape.

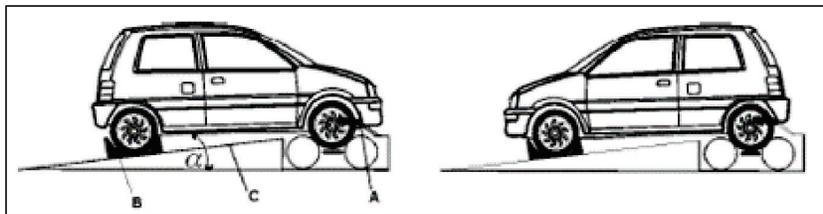


Figura 3.8 Prueba ASM

La prueba ASM requiere que el vehículo sea conducido a una cierta potencia y velocidad en dos condiciones distintas que son las que mejor se correlacionan con el ciclo de la FTP (Federal Test Procedure):

ASM 5015: ciclo de prueba de un vehículo en dinamómetro utilizando la prueba de aceleración simulada (ASM), en donde a una velocidad constante de 15 mph (24 Km/h), se aplica una carga externa al motor equivalente al 50% de la potencia requerida para acelerar al vehículo a una tasa de aceleración de 1.47 m/s^2 . Observar el detalle en la figura 3.9.

ASM 2525: ciclo de prueba de un vehículo en dinamómetro utilizando la prueba de aceleración simulada (ASM), en donde a una velocidad constante de 25 mph (40 Km/h), se aplica una carga externa al motor equivalente al 25% de la potencia requerida para acelerar al vehículo a una tasa de aceleración de 1.47 m/s². Observar el detalle en la figura 3.9.

Al uso combinado de las dos modalidades se le ha llamado prueba ASM2. La duración de esta prueba es de aproximadamente 10 minutos incluyendo preparación, prueba y documentación. El resultado es que ambas pruebas son capaces de identificar por encima del 80% el exceso de emisiones de HC y CO, sin embargo el desempeño de ambas pruebas y su correlación con FTP (con coeficientes entre 0.47 y 0.77) no es tan bueno como el de las pruebas con carga en estado transitorio⁴⁴.

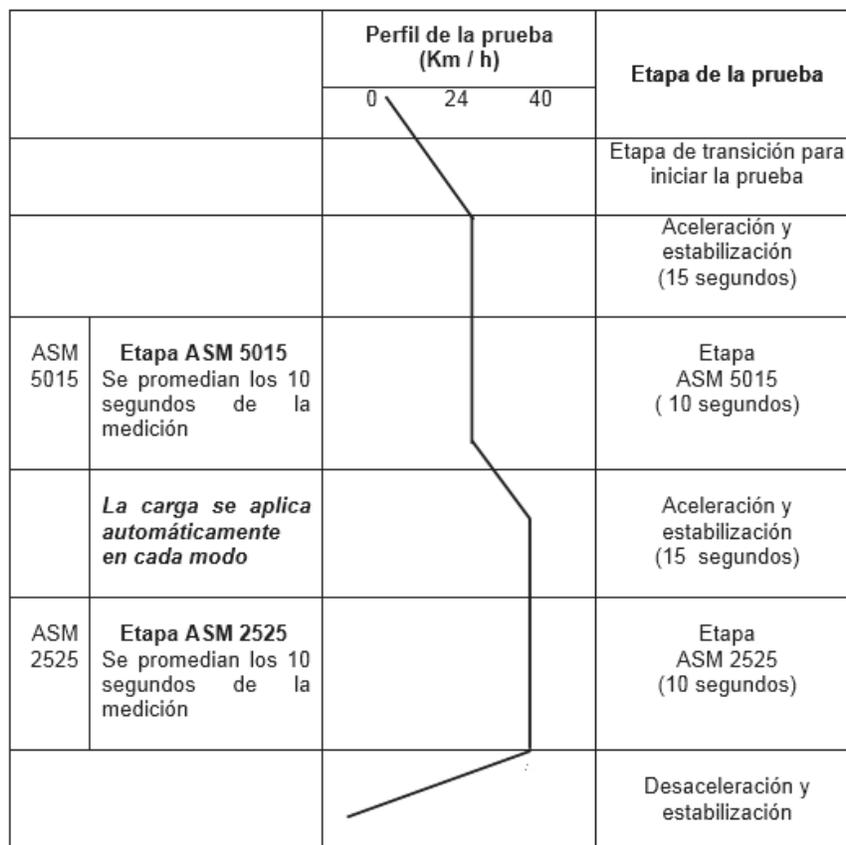


Figura 3.9 Procedimientos de prueba ASM5015 y ASM2525

⁴⁴Jon Bickel, 2001, Revisión técnica de vehículos-límites permisibles de emisiones, Lima-Perú.

3.4 METODOS DINÁMICOS EN ESTADO TRANSITORIO

Las pruebas dinámicas en estado transitorio son realizadas sobre un dinamómetro siguiendo un ciclo de conducción donde se aplican cargas y velocidades variables en todo momento, con el fin de simular la carga instantánea que da la carretera y la potencia necesaria para acelerar la masa inercial de cada vehículo.

La evaluación de los contaminantes se realiza obteniendo pequeñas muestras del gas de escape a lo largo de toda la prueba y determinando el resultado en unidades de masa de contaminante por distancia recorrida. Este tipo de pruebas buscan tener una alta correlación con la FTP, siendo las únicas que presentan una buena analogía con el protocolo de certificación de emisiones vehiculares que se utiliza para los automotores nuevos, sin embargo, el costo de la infraestructura y el tiempo de duración en algunos casos las hace impopulares.

Existen un sin número de ciclos de conducción con diferentes coeficientes de correlación con la FTP, entre los de mayor trascendencia se tiene a los Europeos y Americanos, ya que han sido acogidos por otros países.

- Europeos: ECE-15 + EUDC, CADC
- Americanos: FTP-75, NYCC, CDH 226, IM-240

3.4.1 Prueba europea ECE

El procedimiento para pruebas de emisiones fue definido por la regulación Europea ECE-15. Este procedimiento ECE es un ciclo de manejo urbano basado en el tráfico de Paris o Roma con aceleraciones relativamente suaves, caracterizado por cargas y velocidades bajas, como se observa en la figura 3.10 al no sobrepasar los 50 Km/h. ⁴⁵

⁴⁵Servicio de información on-line diesel.net (2014). Disponible en URL: http://www.dieselnet.com/standards/cycles/ece_eudc.php [Consulta 11/01/2015].

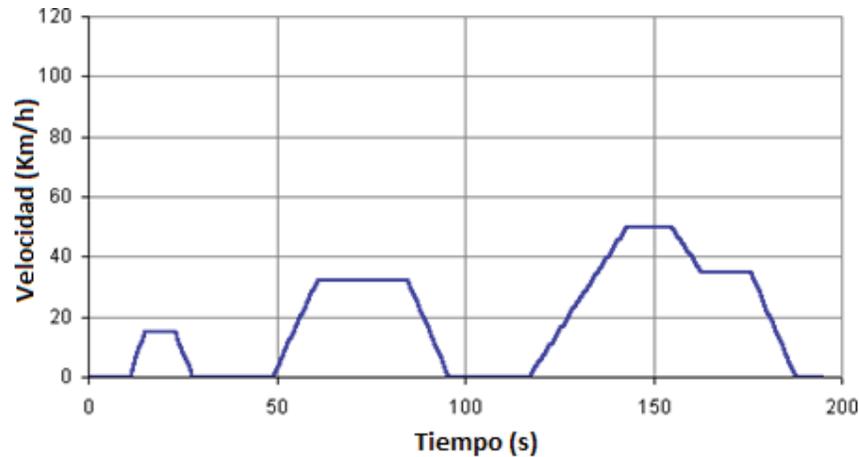


Figura 3.10 Ciclo de la prueba ECE-15⁴⁶

Posteriormente, el segmento EUDC (Extra Urban Driving Cycle) (ver figura 3.11) fue añadido después de la cuarta corrida de ECE para aumentar su agresividad (modo de alta velocidad, 120 Km/h). Por lo tanto, la prueba ECE-15 + EUDC está formada por cinco etapas bien definidas (4 veces ECE-15 y una EUDC) y es el equivalente de la Unión Europea al FTP-75 de Estados Unidos ya que es empleada para la certificación y homologación de vehículos livianos. La diferencia fundamental entre la prueba americana y europea es el ciclo de manejo, concebido este último para representar las condiciones de las ciudades y autopistas europeas. En la tabla 3.4 se observa los parámetros característicos para los ciclos ECE y EUDC.

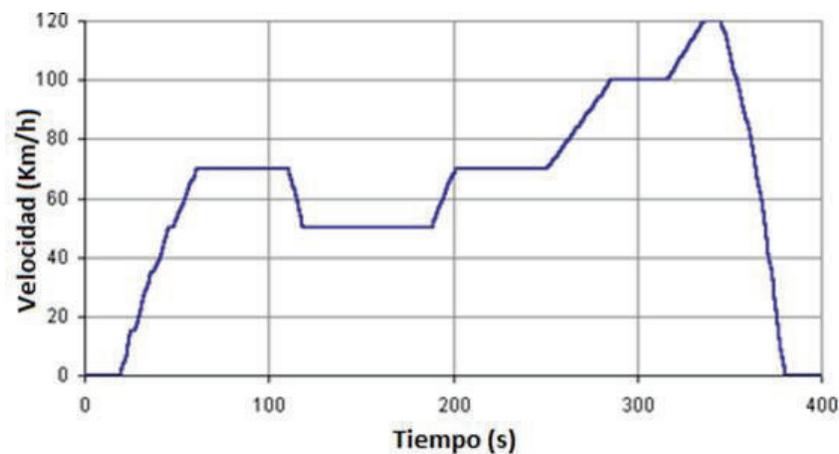


Figura 3.11 Ciclo de la prueba EUDC⁴⁶

⁴⁶Servicio de información on-line diesel.net (2014). Disponible en URL: http://www.dieseln.net/standards/cycles/ece_eudc.php [Consulta 11/01/2015].

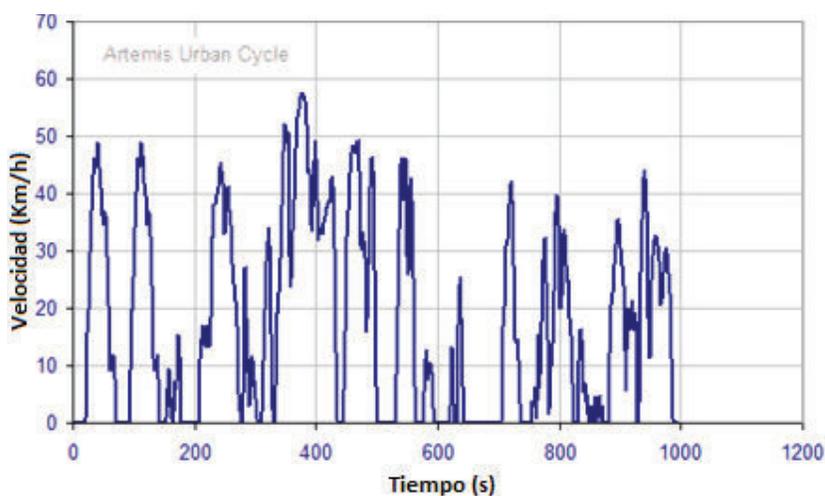
Tabla 3.4 Parámetros seleccionados para ECE y EUDC

Características	Unidad	ECE-15	EUDC
Distancia	Km	0.9941	6.9549
Tiempo total	s	195.0	400.0
Ralentí	s	57.0	39.0
Velocidad promedio (incl. paradas)	Km/h	18.35	62.59
Velocidad promedio de manejo (excl. paradas)	Km/h	25.93	69.36
Máxima velocidad	Km/h	50.0	120.0
Aceleración promedio	m/s ²	0.599	0.354
Máxima aceleración	m/s ²	1.042	0.833

3.4.2 Prueba europea “Common Artemis Driving Cycle” (CADC)

El ciclo CADC fue desarrollado en Europa mediante análisis estadístico sobre las bases de datos de modelos reales, ejecutados bajo el proyecto ARTEMIS (Assessment and Reliability of Transport Emission Models and Inventory Systems). El ciclo se encuentra dividido en 3 fases de conducción:

- Urbano (ver figura 3.12)
- Rural (ver figura 3.13)
- Autopista, este presenta 2 variantes 130 / 150 Km/h (ver figura 3.14)

**Figura 3.12** Ciclo urbano ARTEMIS⁴⁷

⁴⁷Servicio de información on-line diesel.net (2015). Disponible en URL: http://www.dieseln.net/standards/cycles/ece_eudc.php [Consulta 11/01/2015].

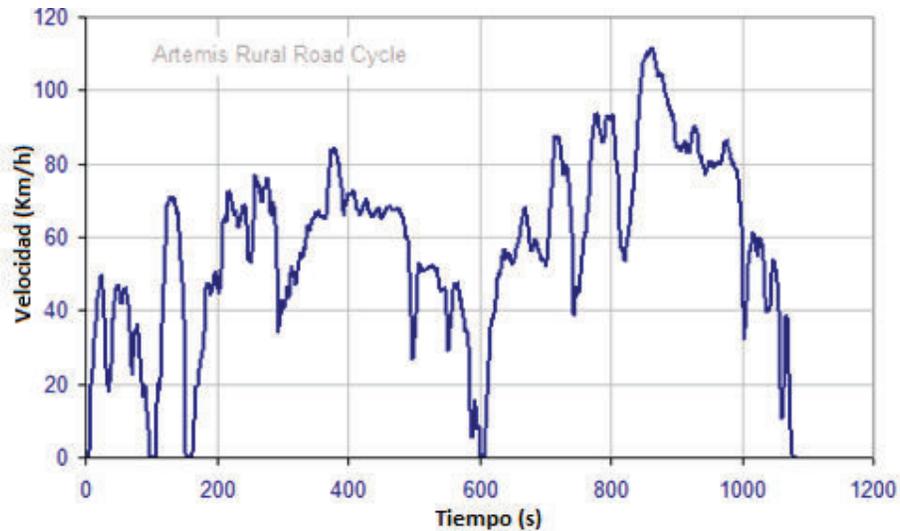


Figura 3.13 Ciclo rural ARTEMIS⁴⁸

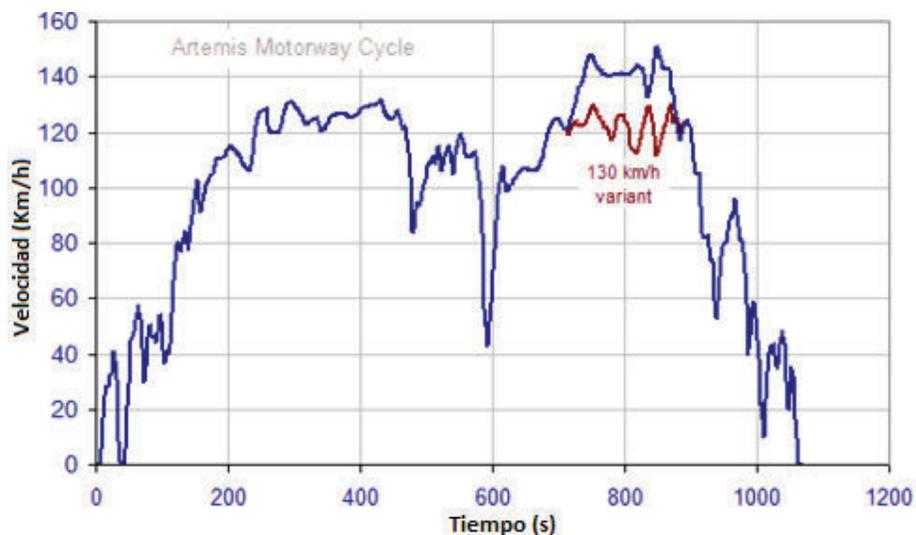


Figura 3.14 Ciclo autopista ARTEMIS⁴⁸

3.4.3 Prueba americana FTP75

El ciclo FTP75 (Federal Test Procedure) fue desarrollado en los años 70 y es derivado del ciclo FTP72, el cual fue desarrollado para describir un recorrido urbano. La FTP-75 es empleada en Estados Unidos para la certificación en

⁴⁸Servicio de información on-line diesel.net (2015). Disponible en URL: http://www.dieseln.net/standards/cycles/ece_eudc.php [Consulta 11/01/2015].

emisiones de los vehículos livianos, ya que proporciona las características más representativas de manejo tanto en ciudad como en carretera (ver figura 3.15).



Figura 3.15 Procedimiento de prueba FTP75

Los principales parámetros básicos de este ciclo son (ver figura 3.16):

- Distancia recorrida: 11.04 millas (17.77 Km)
- Duración: 2475 s (41 minutos con 15 segundos)
- Velocidad promedio: 21.2 mi/h (34.1 Km/h)
- Velocidad máxima: 91.2 Km/h

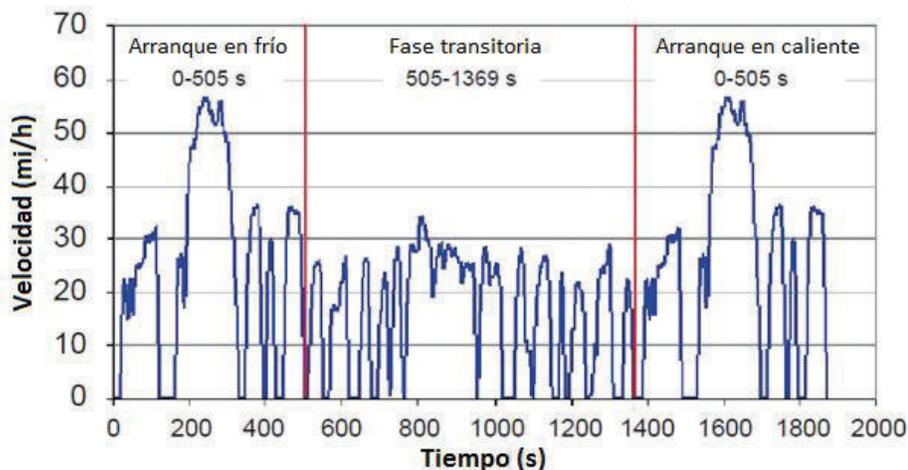


Figura 3.16 Ciclo de prueba FTP-75⁴⁹

Para la certificación de vehículos año-modelo 2000 en adelante es obligatorio añadir dos pruebas complementarias SFTP (Supplemental Federal Test

⁴⁹Delphi, 2013, Worldwide emissions standards, Sao Paulo-Brazil.

Procedure) para incluir las emisiones producidas: (1) en altas velocidades bajo aceleraciones violentas y (2) bajo el uso del aire acondicionado:

- SFTP-US06, representado en la figura 3.17, evidencia las condiciones de manejo a altas velocidades, aceleraciones bruscas y con fluctuaciones rápidas; es un recorrido de 12.8 Km con una duración de 596 segundos y una velocidad máxima de 129 Km/h.

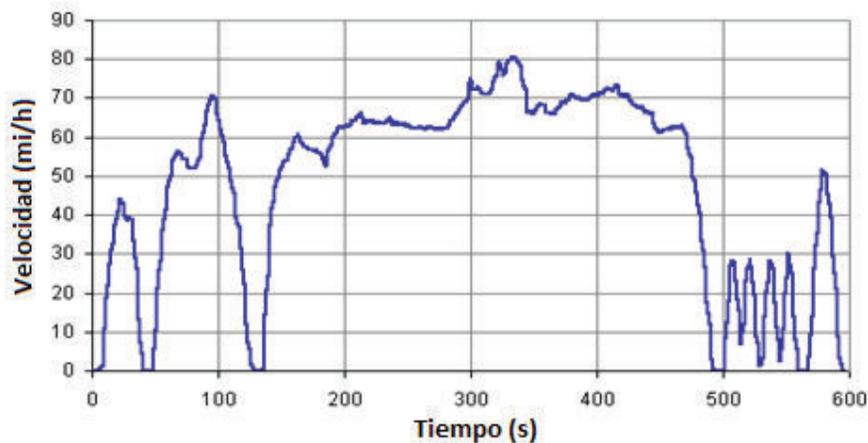


Figura 3.17 Ciclo de prueba SFTP-US06⁵⁰

- SFTP-SC03, representado en la figura 3.18, evidencia las condiciones de manejo con el aire acondicionado del auto encendido; es un recorrido de 5.8 Km con una duración de 596 segundos, una velocidad máxima de 88.2 Km/h y una temperatura ambiente de 35°C.

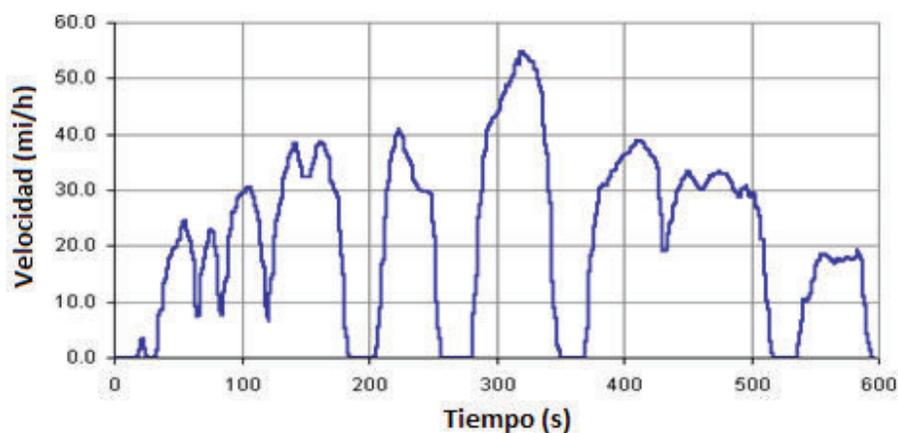


Figura 3.18 Ciclo de prueba SFTP-SC03⁵⁰

⁵⁰Servicio de información on-line diesel.net (2015). Disponible en URL: <http://www.dieseln.net/standards/cycles/nycc.php> [Consulta 11/01/2015].

3.4.4 Prueba americana New York City

La prueba NYCC (New York City Cycle) simula la conducción urbana con velocidades bajas y frecuentes paradas, como se demuestra en el ciclo representado en la figura 3.19.

El ciclo tiene los siguientes parámetros básicos:

- Distancia recorrida: 1.18 millas (1.89 Km)
- Duración: 598 segundos
- Velocidad promedio: 7.1 mi/h (11.4 Km/h)
- Velocidad máxima: 27.7 mi/h (44.6 Km/h)

La correlación de la prueba NYCC con la FTP fue mejor que la obtenida con las pruebas anteriores (coeficientes entre 0.82 y 0.95) aún en el caso de las emisiones para NOx. Sin embargo, el costo de implementación para programas generalizados de I/M es demasiado alto y la reproducibilidad no es satisfactoria.

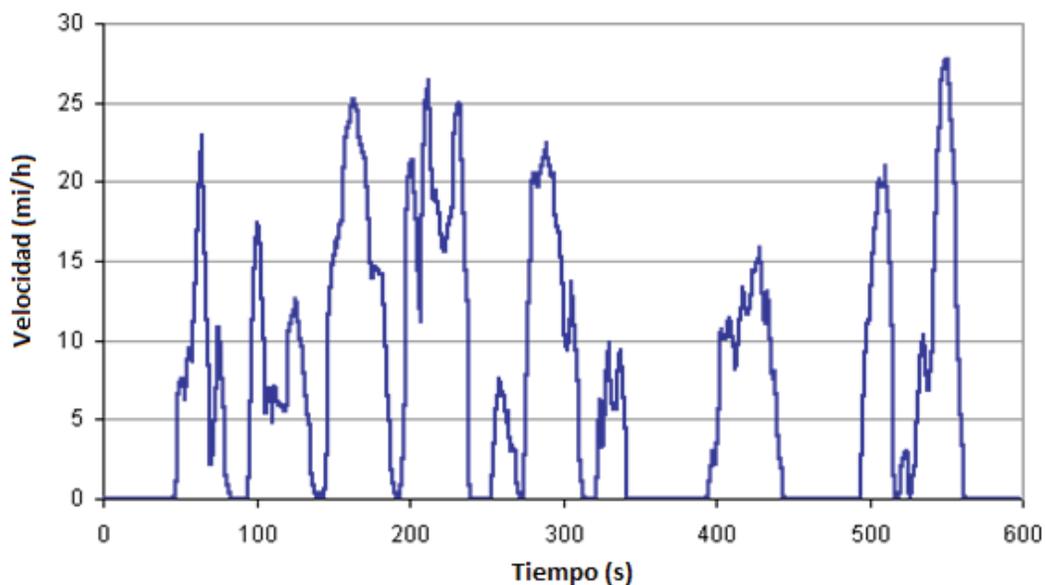


Figura 3.19 Ciclo de prueba US EPA NYCC⁵¹

⁵¹Servicio de información on-line diesel.net (2015). Disponible en URL: <http://www.dieseln.net/standards/cycles/nycc.php> [Consulta 11/01/2015].

3.4.5 Prueba americana CDH-226

La prueba CDH-226 fue desarrollada por el Departamento de Salud de Colorado y buscaba alcanzar una alta correlación con la FTP, especialmente para vehículos con catalizadores de tres vías. El ciclo CDH-226 tiene un tiempo de duración de 226 segundos por lo cual se considera una prueba corta que logra medir las emisiones CO, HC y NOx.

Las características de manejo promedio de la prueba se expresan en la tabla 3.5, así también se observa el ciclo de conducción en la figura 3.20.

Tabla 3.5 Características de manejo de la prueba CDH-226

Tiempo total en ralentí (s)	% en ralentí del tiempo total de la prueba	Velocidad promedio total (Km/h)	Velocidad promedio en movimiento (Km/h)	Velocidad máxima (Km/h)
45	19.9	36	45	82

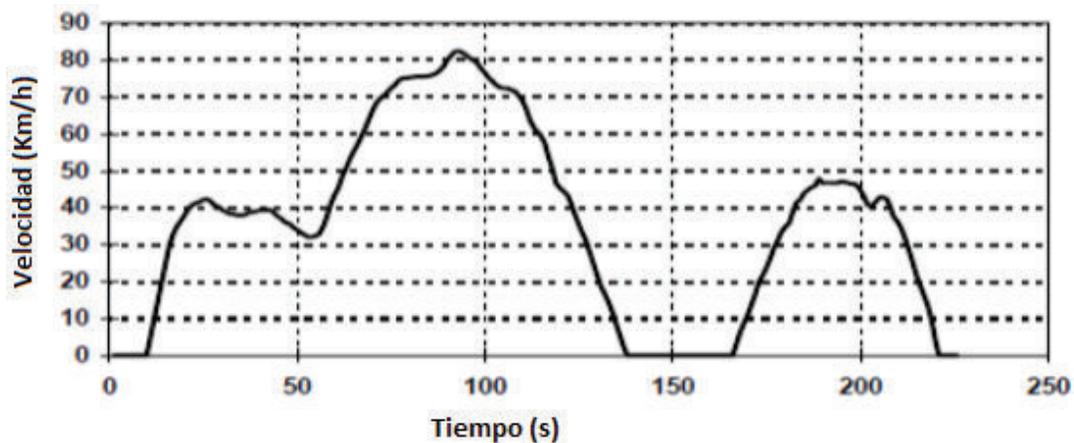


Figura 3.20 Ciclo de prueba US CDH-226⁵²

En la prueba CDH-226 las tasas de identificación de los excesos de emisiones están alrededor del 90% para los 3 contaminantes y con unos coeficientes de correlación que oscilan entre 0.79 y 0.96, sin embargo este ciclo de manejo es considerado “blando” ya que bajo acciones relativamente pequeñas del

⁵²Zissis Samaras, 1995, The inspection of in-use cars in order to attain minimum emissions of pollutants and optimum energy efficiency, Thessaloniki-Greece.

acelerador, los resultados de las emisiones pueden afectarse. Por lo tanto, la US EPA decidió desarrollar una mejor alternativa para simular los modos de manejo transitorios de la FTP y de esa manera surgió la prueba IM-240.

3.4.6 Prueba americana IM-240

Las regulaciones y controles a fabricantes de vehículos han logrado que las unidades nuevas cumplan con los límites de emisiones por un tiempo, pero debido al deterioro que sufren los componentes de los vehículos por su uso normal, puede resultar en el aumento de las emisiones contaminantes. Por lo tanto, existen ciclos como el IM-240 que es parte de un sistema de inspección y mantenimiento (I/M) que tiene como objetivo fundamental identificar dentro de los autos en circulación, a aquellos que por problemas mecánicos, están descargando a la atmósfera cantidades de contaminantes mayores a las permitidas por la ley.

El ciclo IM-240 es una prueba que se realiza sobre dinamómetros (ver figura 3.21), este ciclo de tipo transitorio sirve para la medición y registro de emisiones en vehículos livianos en movimiento y se caracteriza porque las pruebas no se ejecutan a velocidad constante, sino que se sigue un ciclo de recorrido de 3.2 kilómetros en el que se somete a aceleraciones y desaceleraciones al vehículo.

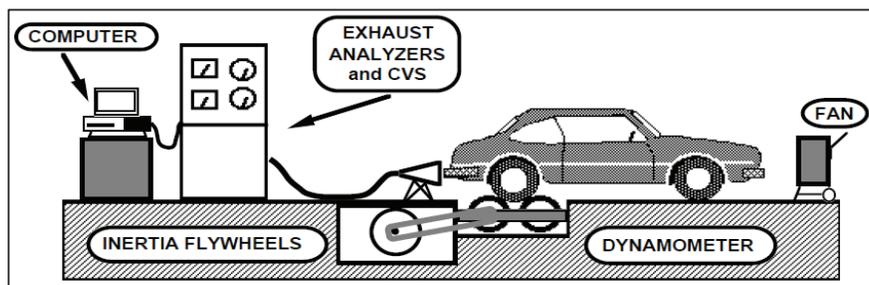


Figura 3.21 Ciclo de prueba US IM-240

El ciclo IM-240 sugerido por la EPA como una prueba para sistemas I/M, contempla los siguientes objetivos:

- Determinar las emisiones de escape de CO, HC y NOx.
- Emplear un menor tiempo de ensayo sin sacrificar precisión para poder evaluar una mayor cantidad de vehículos pero a su vez identificar problemas de emisión y de vehículos que necesitan reparación.
- Distinguir entre los vehículos suficientemente / insuficientemente reparados.
- Correlacionar sus mediciones con los ensayos US FTP para interpretar la eficiencia del programa.

3.4.6.1 Procedimiento

El ciclo de conducción IM-240 es un condensado de 240 segundos de los primeros 505 segundos del ciclo US FTP como se observa en la figura 3.22, es decir, lo que denominamos período transitorio del primer ciclo, ejecutado primero con arranque en frío y repetido al final del ensayo, luego de la parada de 10 minutos, pero con arranque en caliente.

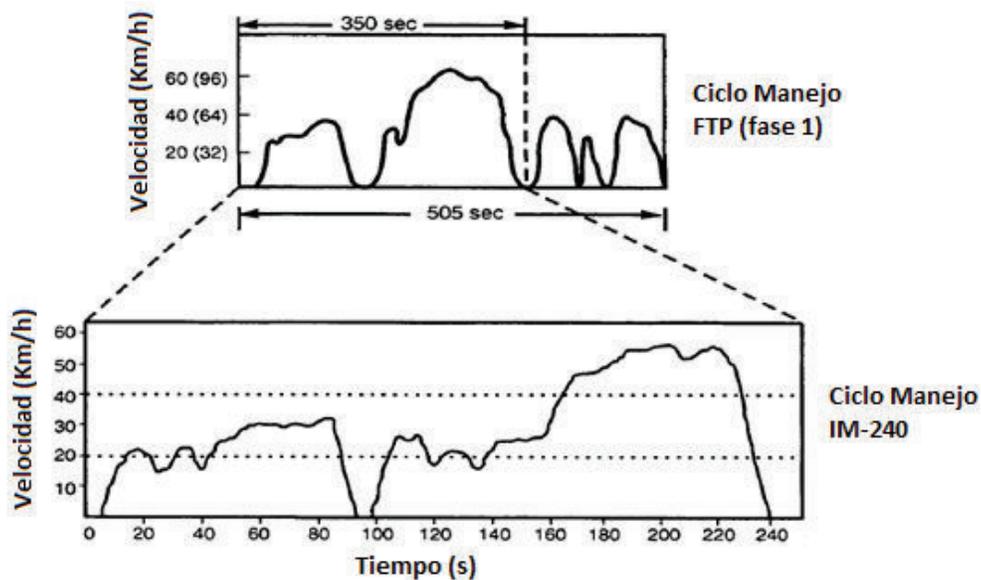


Figura 3.22 Ciclo de la prueba IM-240⁵³

⁵³Servicio de información on-line emission testing (2015). Disponible en URL: <http://www.testroete.com/car/Toyota/mr2%20spyder/References/Technical%20Training/06%20-%20Advanced%20Emissions%20and%20Driveability/04.pdf> [Consulta 12/02/2015].

El IM-240 no considera un pre-acondicionamiento extenso para contemplar las emisiones en fase fría, sino que realiza la evaluación partiendo en caliente con el motor en régimen. Por lo tanto, para establecer condiciones iniciales repetitivas que aseguren una temperatura de régimen del motor en la partida, la norma prevee un pre-acondicionamiento opcional, según los puntos:

- Operación sin carga a 2500 rpm hasta un máximo de 4 minutos.
- Operación en estado estable a 30 mph en un dinamómetro hasta un máximo de 4 minutos.
- Conduciendo en el dinamómetro un ciclo en estado transitorio preliminar.

De acuerdo a lo indicado en la tabla 3.6 y figura 3.23, el trazado velocidad vs tiempo ejecutada por el vehículo, simula un corto recorrido urbano de 3.2 Km., a una velocidad media de 30 Km/h y una máxima de 91 Km/h, permaneciendo solamente un 4.58% (11 segundos) del ciclo en ralentí.

Tabla 3.6 Características de manejo de la prueba IM-240

Tiempo total en ralentí (s)	% en ralentí del tiempo total de la prueba	Velocidad media (Km/h)	Velocidad promedio en movimiento (Km/h)	Velocidad máxima (Km/h)
11	4.58	30	49	91

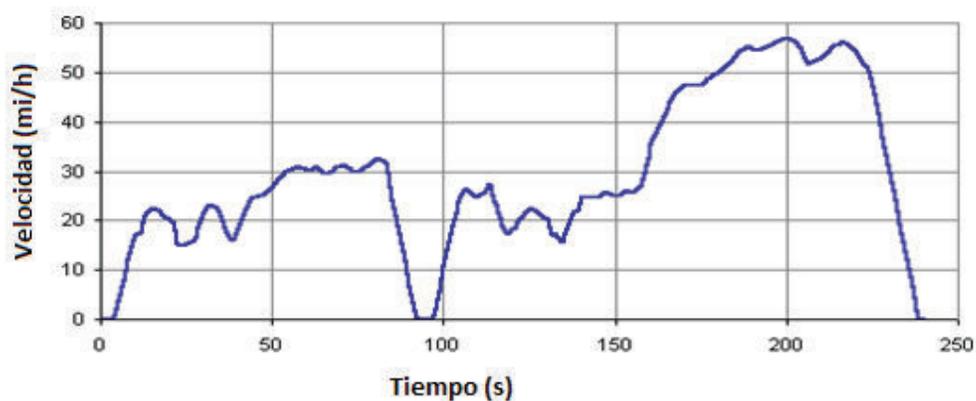


Figura 3.23 Ciclo de la prueba IM-240⁵⁴

⁵⁴Servicio de información on-line diesel.net (2015). Disponible en URL: http://www.dieseln.net/standards/cycles/ece_eudc.php [Consulta 11/01/2015].

El curso de manejo a seguir deberá indicar claramente los cambios de marcha como los indicados en la tabla 3.7. Para vehículos con transmisión manual, los cambios de marcha deberán ocurrir en los puntos del ciclo de manejo donde las velocidades especificadas son obtenidas. Para vehículos con seis marchas se deberá seguir el mismo programa indicado, omitiendo la marcha más alta. Cabe señalar que todos los accesorios disponibles en el vehículo como: aire acondicionado, calefacción, radio, control de tracción automático, etc., deben estar apagados.

Tabla 3.7 Programa de cambios de marcha prueba IM 240⁵⁵

Cambio secuencial de marchas	Velocidad mph (Km/h)	Tiempo del ciclo nominal (s)
1 - 2	15 (24.13)	9.3
2 - 3	25 (40.22)	47.0
Desacelerar - Embragar	15 (24.13)	87.9
1 - 2	15 (24.13)	101.6
2 - 3	25 (40.22)	105.5
3 - 2	17 (27.35)	119.0
2 - 3	25 (40.22)	145.8
3 - 4	40 (64.36)	163.6
4 - 5	45 (72.40)	167.0
5 - 6	50 (80.45)	180.0
Desacelerar - Embragar	15 (24.13)	234.5

3.4.6.2 Equipamiento

El equipo necesario para el ciclo IM-240 es esencialmente similar al utilizado para las pruebas FTP y muy diferente con respecto al equipo empleado en pruebas estáticas.

El siguiente equipamiento básico es utilizado para el ciclo IM-240:

⁵⁵Resolución 61/99, Anexo I, 2001, Medición de emisiones en vehículos livianos equipados con motores ciclo otto, Argentina.

- Dinamómetro de carga variable y con ruedas volantes para simular el efecto de la inercia.
- Monitores para el curso o trazado de conducción.
- Ventilador para enfriamiento del motor.
- Colector de gases a volumen constante.
- Analizadores de gases de alta precisión con los que se obtienen los resultados en masa por distancia recorrida.

3.4.6.3 Correlación IM-240 con pruebas de programas I/M

Las pruebas de emisiones más comunes en programas I/M son las estáticas (ralentí) que miden las concentraciones de HC y CO, las cuales proveen una indicación racional de emisiones para vehículos con sistemas de control mecánicos. Pero en vehículos con control electrónico los resultados no son satisfactorios, por ejemplo la correlación podría ser buena para HC pero no para CO, adicionalmente es inefectivo en detectar altas emisiones de NOx.

Estudios en Estados Unidos (California) y Alemania (1989) demostraron que para que los procedimientos de prueba sean más representativos se requiere que los vehículos sean sometidos a carga estable o transitoria mediante un dinamómetro, simulando de este modo las condiciones de manejo que un vehículo podría sufrir en la realidad. Mediante este procedimiento se obtiene mejores resultados especialmente en emisiones NOx.

Por otro lado, la prueba IM-240 proporciona un grado de correlación bastante alto con la FTP-75, con coeficientes que oscilan entre 0.89 y 0.97 para los 3 contaminantes, valores superiores a los que se obtienen con la ASM. En la actualidad la prueba IM-240 ha sido propuesta por la EPA para los llamados "Sistemas I/M mejorados" exigidos a ciertas regiones del país y que aplican a los vehículos de modelos más nuevos.

CAPÍTULO IV

4. EJECUCIÓN DE PRUEBAS DE EMISIONES

Este capítulo describe el actual parque automotriz de la ciudad de Quito considerado como uno de los de mayor densidad, basado en estos datos se calcula estadísticamente el tamaño de la muestra para determinar experimentalmente los factores de emisión mediante el método estático y dinámico que serán posteriormente correlacionados para precisar sus ventajas y beneficios. Adicionalmente, durante los cálculos mencionados se detalla los procedimientos para la medición así como los equipos utilizados en cada una de sus fases

4.1 MUESTREO⁵⁶

El parque vehicular se ha incrementado excesivamente en diversas zonas urbanas del país con consecuencias directas sobre las emisiones de contaminantes y la calidad del aire. En vista que el universo de estudio consiste en una población demasiado numerosa y los recursos son limitados, se recurre frecuentemente al muestreo que es un subconjunto de la población. Una muestra cuidadosamente seleccionada puede proporcionar una información próxima a la realidad con el consiguiente ahorro de tiempo y dinero.

Uno de los objetivos del muestreo estadístico es conocer el grado de incertidumbre del estudio o investigación, cuya precisión será mayor cuanto más pequeño sea el margen de error. En definitiva, la deducción estadística proporciona herramientas para sacar conclusiones de la muestra hacia la población muestreada.

Con el objetivo de seleccionar adecuadamente una muestra para el presente estudio es necesario conocer algunos conceptos básicos importantes:

⁵⁶RODRIGUEZ, LUIS; Probabilidad y estadística básica para ingenieros; Escuela Superior Politécnica del Litoral; Guayaquil; 2007.

4.1.1 Medidas de tendencia central⁵⁷

La tendencia central se refiere al punto medio de una distribución y sus mediciones se conocen como medidas de posición. Entre las cuales se tiene:

4.1.1.1 Media

La media es la suma de todos los valores de una variable dividido para el número total de datos que se analiza. La media puede recibir distintos nombres según las operaciones analizadas para calcularla: media aritmética, media geométrica, media armónica, etc.

$$\text{Media (X)} = \frac{\sum_{i=1}^N X_i}{N} \quad (4.1)$$

4.1.1.2 Mediana

La mediana es el valor que se encuentra en el centro de una secuencia ordenada de datos. La mediana no se ve afectada por observaciones extremas en un conjunto de datos, por ello cuando se presenta alguna información extrema, resulta apropiado utilizar la mediana y no la media para describir el conjunto de datos.

4.1.1.3 Moda

La moda es el valor de un conjunto de datos que aparece con mayor frecuencia. Se le obtiene fácilmente a partir de un arreglo ordenado. A diferencia de la media aritmética, la moda no se afecta ante la ocurrencia de valores extremos. Sin embargo, sólo se utiliza la moda para propósitos descriptivos porque es más variable, para distintas muestras, que las demás medidas de tendencia central. Un conjunto de datos puede tener más de una moda o ninguna.

⁵⁷RODRIGUEZ, LUIS; Probabilidad y estadística básica para ingenieros; Escuela Superior Politécnica del Litoral; Guayaquil; 2007.

4.1.2 Medidas de dispersión⁵⁸

Estudia la distribución de los valores de la serie, analizando si estos se encuentran más o menos concentrados o dispersos. Entre estas se tiene:

4.1.2.1 Rango

El rango (R) es la diferencia entre el valor máximo ($X_{\text{máx}}$) y el valor mínimo ($X_{\text{mín}}$) de un conjunto de datos. Aunque el rango es una medida de dispersión simple y que se calcula con facilidad, su debilidad preponderante es que no toma en consideración la forma en que se distribuyen los datos entre los valores más pequeños y los más grandes.

$$R = X_{\text{máx}} - X_{\text{mín}} \quad (4.2)$$

4.1.2.2 Varianza

La varianza (σ^2) es una medida de dispersión que se utiliza con frecuencia, ya que toma en consideración la forma en que los valores fluctúan con respecto a la media. Se define como el promedio aritmético de las diferencias entre cada uno de los valores del conjunto de datos y la media aritmética del conjunto elevadas al cuadrado, donde X_i representa los datos de la muestra:

$$\sigma^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n - 1} \quad (4.3)$$

4.1.2.3 Desviación estándar

La desviación estándar (σ) es un número que representa el alejamiento de una serie de números de su valor medio. Se calcula a partir de todas las desviaciones individuales con respecto de la media. Se define simplemente

⁵⁸RODRIGUEZ, LUIS; Probabilidad y estadística básica para ingenieros; Escuela Superior Politécnica del Litoral; Guayaquil; 2007.

como la raíz cuadrada de la varianza y sus unidades son las mismas que se usaron para medir los datos.

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n - 1}} \quad (4.4)$$

4.2 TAMAÑO DE MUESTRA⁵⁹

Para obtener conclusiones el investigador no está obligado a examinar todos y cada uno de los elementos de una población, solamente debe examinar una muestra representativa de dicha población. El tamaño de la muestra, el tipo de muestreo, el procedimiento de recolección de datos, entre otros, forman parte del estudio estadístico previo que debe concordar con el objetivo y el nivel de confiabilidad que se pretende obtener.

Existen diferentes criterios de clasificación de los tipos de muestreo, pero en forma general se dividen en dos grandes grupos: no probabilístico y probabilístico.

4.2.1 Muestreo no probabilístico

Cuando el muestreo resulta costoso se acude a métodos no probabilísticos, la selección de la muestra está influenciada por la persona que la realiza o por otros factores no estadísticos. En definitiva, se debe estar consciente de que no sirven para realizar generalizaciones. Entre estos métodos de muestreo se tiene: muestreo por cuotas, intencional, casual o incidental y por bola de nieve.

4.2.2 Muestreo probabilístico

El método se basa en el principio de la equiprobabilidad, es decir, que todos los elementos tienen la misma probabilidad de ser elegidos para formar parte de una muestra. El muestreo probabilístico provee fórmulas para estimar el error

⁵⁹ÑAUNAY, JOSE; Dotación real de agua potable en edificios de instituciones públicas de la ciudad de Quito; Tesis EPN; Quito, febrero 2010.

estándar, la precisión, la exactitud, los límites del intervalo de confianza, entre otros. Entre estos métodos de muestreo aleatorio se tiene: muestreo simple, sistemático, estratificado y por conglomerados.

Para seguir abordando el problema del tamaño de la muestra es necesario conocer los siguientes conceptos básicos: nivel de precisión, nivel de confianza y el grado de variabilidad del atributo que se mide.

4.2.2.1 Nivel de precisión (ϵ)⁶⁰

También conocido como error muestral (ϵ), indica la amplitud del intervalo de nuestra estimación dentro del cual se encuentra con una determinada probabilidad el valor real (el que obtendríamos si obtuviéramos datos de toda la población en lugar de una muestra). En definitiva cuanto menor es el error muestral de la estimación mayor es su nivel de precisión, normalmente se aceptan errores entre el 5% y 10% que evitan una subestimación o precisión no adecuada.

4.2.2.2 Nivel de confianza (z)⁶¹

Informa la probabilidad de que el valor real se encuentre dentro del intervalo de confianza (z), que normalmente se sitúa en el 95%. Es decir que el nivel de confianza indica la probabilidad de que los resultados de nuestra investigación sean ciertos, por ejemplo el 95% de confianza es lo mismo decir que nos podemos equivocar con una probabilidad del 5%, el intervalo de confianza viene dado por la siguiente tabla 4.1 y gráfico 4.1

Tabla 4.1 Valores de z de acuerdo al nivel de confianza

Nivel de confianza (%)	80.0	85.0	90.0	95.0	97.5	99.0
Valor de z	1.28	1.44	1.65	1.96	2.24	2.58

⁶⁰GUEVARA., GABRIELA.; Metodología de pruebas para la evaluación de convertidores catalíticos en motores a gasolina, Tesis EPN; junio, 2010.

⁶¹ARRIAZA, MANUEL; Guía práctica de análisis de datos; Córdova, 2006.

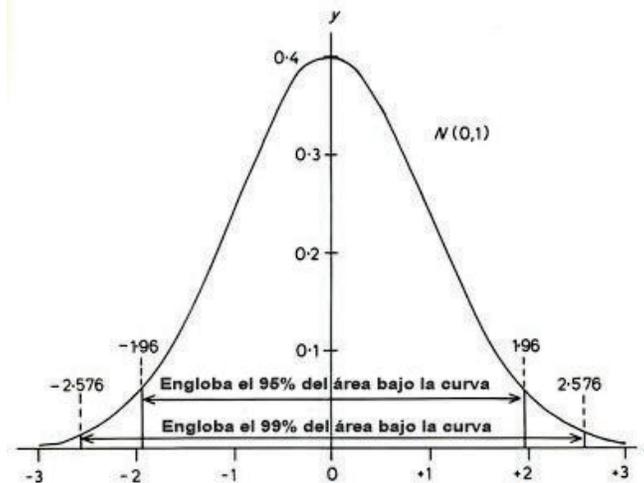


Figura 4.1 Distribución normalizada⁶²

4.2.2.3 Grado de variabilidad (p)

Cuanto mayor sea la heterogeneidad de una población mayor será el tamaño de la muestra para conseguir un mismo nivel de precisión. En cambio, en una población completamente homogénea, el tamaño de la muestra se puede reducir a 1 caso. El mayor grado de heterogeneidad se da cuando la característica estudiada está presente en el 50% de la población, y no se tiene una idea del comportamiento de la proporción de la población.

En definitiva, el tamaño óptimo de la muestra, es decir, aquel tamaño que permite un balance adecuado entre el costo del muestreo y la precisión obtenida, depende del tamaño de la población y de la información previa que se pueda disponer de algún estudio similar, por ejemplo la desviación estándar o la variabilidad⁶³:

Tamaño de la muestra para estimar valores medios:

$$n = \frac{z^2 * \sigma^2}{\epsilon^2} \rightarrow \text{Muestra grande} > 100\ 000 \quad (4.5)$$

⁶²Servicio de información on-line Carlos Ochoa (2013). Disponible en URL: <http://www.netquest.com/blog/es/que-tamano-de-muestra-necesito/> [Consulta 11/02/2015].

⁶³BADII M., GUILLEN A.; Nociones introductorias de muestreo estadístico; International Journal; México; Junio 2011.

$$n = \frac{z^2 * \sigma^2 * N}{(N - 1) \varepsilon^2 + z^2 * \sigma^2} \rightarrow \text{Muestra finita} \quad (4.6)$$

Tamaño de la muestra para estimar proporciones:

$$n = \frac{z^2 * p(1 - p)}{\varepsilon^2} \rightarrow \text{Muestra grande (> 100 000)} \quad (4.7)$$

$$n = \frac{z^2 * p(1 - p) * N}{(N - 1) \varepsilon^2 + z^2 * p(1 - p)} \rightarrow \text{Muestra finita} \quad (4.8)$$

En donde:

n = tamaño de la muestra

z = intervalo de confianza

σ = desviación estándar

p = variabilidad positiva

ε = error de estimación

N = tamaño de la población

4.2.3 Determinación del parque automotor de Quito

En el cálculo del tamaño de la muestra primeramente se caracterizará el parque automotor del Ecuador analizando sus porcentajes para luego determinar el parque automotor del Distrito Metropolitano de Quito (DMQ), considerado uno de los más densos en el País. La idea consiste en establecer cualitativamente el tipo de vehículo de mayor circulación en la ciudad y poder fijar nuestro conjunto poblacional para luego calcular la muestra que será sometida al análisis de emisiones.

Los 120015 vehículos nuevos comercializados en el año 2014 (figura 4.2) han mantenido similar participación geográfica por provincias de acuerdo al año

2013, conservando a Pichincha en el primer lugar con aproximadamente 40%, seguido por Guayas (~27%) y Tungurahua (~7%)⁶⁴.

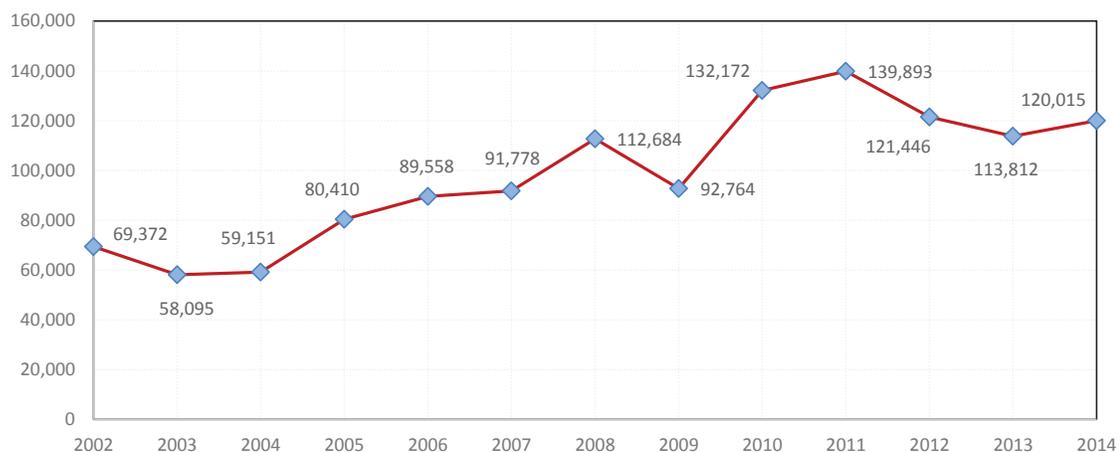


Figura 4.2 Ventas de vehículos en el Ecuador distribuido por años⁶⁰

El segmento de vehículos nuevos más demandado por los clientes en el País es el de automóviles a gasolina que representa en promedio alrededor del 44%, como se demuestra en la tabla 4.2 y gráficos 4.3 y 4.4 proporcionados por la Asociación de Empresas Automotrices del Ecuador (AEADE):

Tabla 4.2 Distribución de ventas de vehículos en el Ecuador⁶⁰

Año	Automóviles	Camionetas	SUVs	VANs	Camiones	Buses	TOTAL
2002	29,296	16,103	12,910	2,664	7,290	1,109	69,372
2003	27,565	14,113	9,050	2,947	3,837	583	58,095
2004	28,474	14,198	10,009	2,372	3,557	541	59,151
2005	41,695	17,734	12,647	2,054	5,264	1,016	80,410
2006	42,932	19,251	15,968	1,563	8,669	1,175	89,558
2007	38,565	20,660	19,769	1,917	9,570	1,297	91,778
2008	46,846	27,963	22,710	2,207	11,521	1,437	112,684
2009	35,869	21,336	24,727	1,895	7,919	1,018	92,764
2010	57,278	27,808	32,972	3,702	9,180	1,232	132,172
2011	62,585	27,469	31,712	5,678	10,788	1,661	139,893
2012	53,526	23,922	27,118	4,463	10,954	1,463	121,446
2013	47,102	22,047	27,067	5,159	11,085	1,352	113,812
2014	52,806*	-	-	-	-	-	120,015

* Dato oficial no disponible todavía, valor estimado en base al promedio del resto de años

⁶⁴Servicio de información on-line Anuario AEADE (2013). Disponible en URL: http://www.aeade.net/web/index.php?option=com_content&view=article&id=145&Itemid=80 [Consulta 11/02/2015].

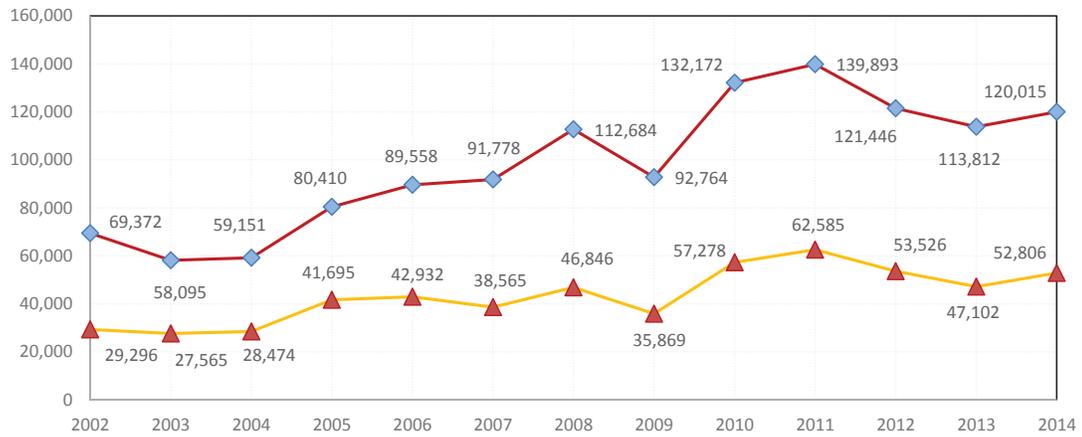


Figura 4.3 Tendencia en el Ecuador: No. de automóviles vs industria en miles⁶⁵

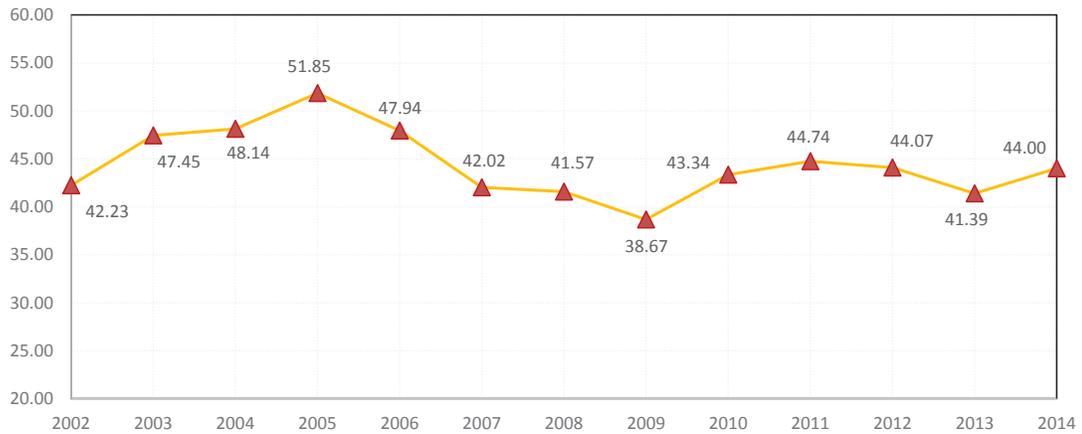


Figura 4.4 Porcentaje de automóviles en el Ecuador⁶¹

Se observa que la mayor tendencia de vehículos en el País son los automóviles (~44%), se procede a consultar la cantidad de autos pequeños a gasolina vendidos en el Distrito Metropolitano de Quito con el objetivo de determinar nuestro conjunto poblacional (figura 4.5). Se considera que la mayor contaminación existente en Quito proviene justamente de vehículos que existen en mayor cantidad y que su probabilidad de circular en la ciudad es elevada (>90%).

⁶⁵Servicio de información on-line Anuario AEADE (2013). Disponible en URL: http://www.aeade.net/web/index.php?option=com_content&view=article&id=145&Itemid=80 [Consulta 11/02/2015].

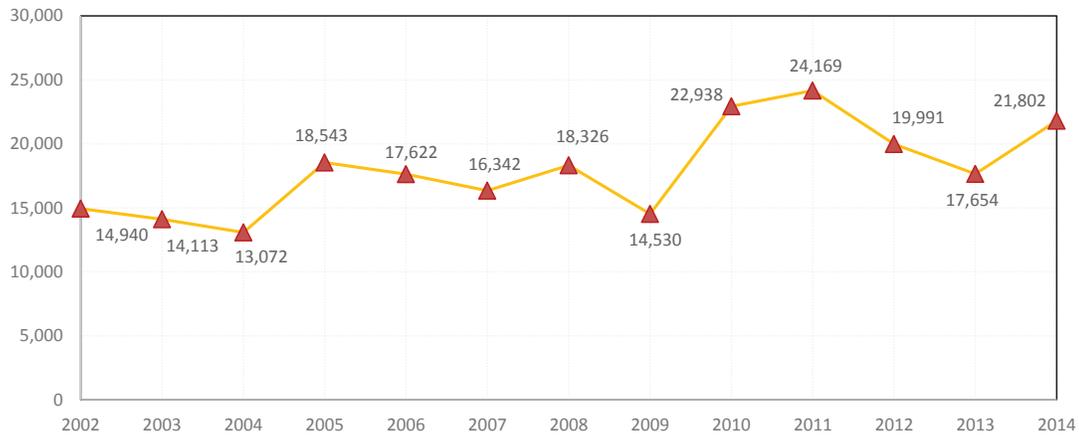


Figura 4.5 Automóviles nuevos en el DMQ distribuidos por año⁶⁶

Se realiza la suma de los automóviles a gasolina nuevos en el DMQ desde el 2002 hasta el 2014 y se obtiene una población de 234032 vehículos que es considerada una cantidad elevada que no debería influir significativamente en el cálculo de la muestra a estudiar.

4.2.3.1 Estimación del tamaño de la muestra de vehículos de ciclo Otto a gasolina en el DMQ.

Una vez conocido nuestro campo de acción que son los vehículos de ciclo Otto a gasolina en el DMQ se determina la fórmula a utilizar y sus características. La ecuación 4.7 es la apropiada para el cálculo de la muestra y considerando que nuestra población es elevada (>100 000) no es significativo utilizar la ecuación 4.8 para poblaciones finitas.

Al tener en cuenta que este es un proyecto piloto para futuros estudios, se emplea algunas consideraciones que deberían ser características comunes en un inventario actualizado de emisiones, lamentablemente no existe un estudio de las emisiones vehiculares en el país en los últimos años, por lo tanto, los puntos a observar son:

⁶⁶Servicio de información on-line Anuario AEADE (2013). Disponible en URL: http://www.aeade.net/web/index.php?option=com_content&view=article&id=145&Itemid=80 [Consulta 11/02/2015].

- Se considera que nuestro conjunto poblacional de automóviles (ciclo Otto con motor a gasolina) presenta una buena uniformidad, ya que los datos que se consideran (2002-2014) se encuentran dentro del último salto tecnológico (2000 y posteriores), así clasificado por la actual y vigente norma técnica ecuatoriana de emisiones NTE INEN 2204:2002 y también por estudios previos realizados por E. Cárdenas / J. Kaslin en su tesis: Caracterización tecnológica del parque automotor del DMQ y propuesta para la reforma de la normativa ecuatoriana de emisiones en fuentes móviles terrestres del año 2006. En definitiva, la convergencia es más precisa y nos permite aceptar un tamaño de muestra pequeño (<10).
- No existe un estudio de varianza o desviación estándar para un parque automotor completo de cada contaminante (CO, HC, NOx) en el país y la utilización de datos de otros países no se ajustan a las características ecuatorianas por el tamaño del parque automotor y diferencias tecnológicas. Por lo tanto, se utilizará la variabilidad (p) como una incógnita a determinar en base a los objetivos del presente estudio. Al tomar en cuenta los conceptos del capítulo 3 y las claras diferencias encontradas por la EPA entre las emisiones obtenidas mediante pruebas estáticas y dinámicas se conoce que las emisiones de los contaminantes CO, HC y particularmente NOx van a ser muy diferentes entre ambos métodos. Por lo tanto, la variabilidad será muy alta ($p=99\%$), lo cual permite también aceptar un tamaño de muestra pequeño.
- El error de estimación asumido no puede superar el 10%, así que se supone un $\epsilon = 9\%$.
- Entre los valores de confiabilidad más comunes y tomados en cuenta en estudios estadísticos se distingue un 95% que corresponde a un $z=1.96$.

En consecuencia el cálculo del tamaño de la muestra de estudio es dado por la fórmula 4.7

$$n = \frac{z^2 * p (1 - p)}{\epsilon^2}$$

$$n = \frac{(1.96)^2 * (0.99) (1 - 0.99)}{(0.09)^2}$$

$$n = \frac{0.038}{0.0081}$$

$$n = 4.69 \cong 5$$

4.2.3.2 Selección de la muestra de vehículos de ciclo Otto a gasolina en el DMQ.

Con el tamaño de muestra ya determinado en 5, el proceso de selección se lo realizará en forma aleatoria considerando las principales características del conjunto poblacional, como son las siguientes:

- Se establece que los motores de 4 cilindros son los que predominan en la población de automóviles del DMQ.

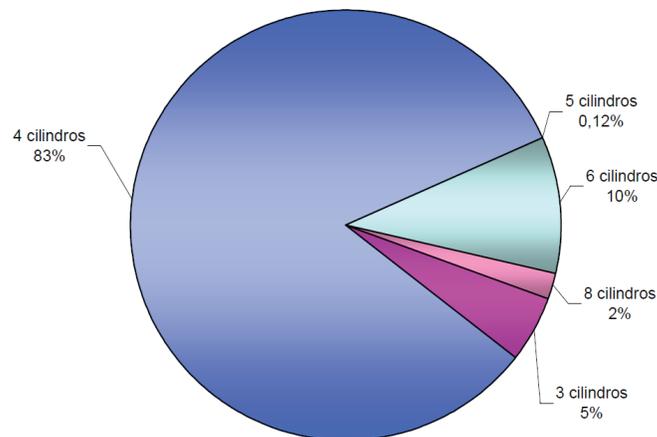


Figura 4.6 Número de cilindros en la población de automóviles⁶⁷

⁶⁷CARDENAS E., KASLIN J.; Caracterización tecnológica del parque automotor del DMQ y propuesta para la reforma de la normativa ecuatoriana de emisiones en fuentes móviles terrestres; EPN; Quito; 2006.

- La mayor cantidad de automóviles en el parque automotor del DMQ poseen transmisión manual.

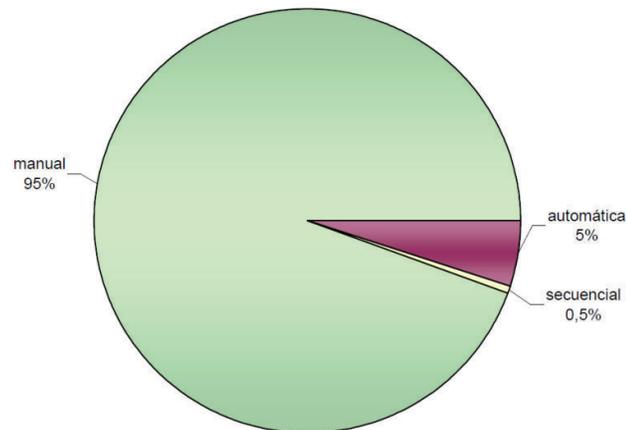


Figura 4.7 Tipo de transmisión en la población de automóviles⁶⁸

- Sobre el 90% de automóviles en el parque automotor del DMQ tienen un solo catalizador para controlar las emisiones.

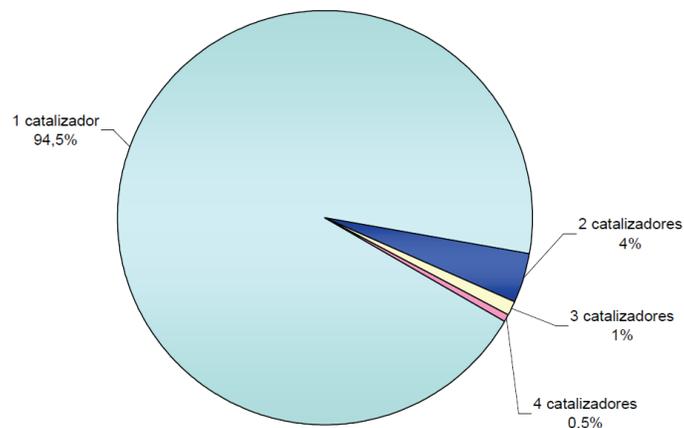


Figura 4.8 Número de catalizadores en la población de automóviles⁵⁴

En conclusión, los 5 automóviles seleccionados para la realización de las pruebas de emisiones y consumo de combustible tienen las características señaladas en la tabla 4.3:

⁶⁸CARDENAS E., KASLIN J.; Caracterización tecnológica del parque automotor del DMQ y propuesta para la reforma de la normativa ecuatoriana de emisiones en fuentes móviles terrestres; EPN; Quito; 2006.

Tabla 4.3 Especificaciones de vehículos probados

No.	Marca	Modelo	Cilindraje	Placa	VIN	Año	Kilometraje	Transmisión	No. Cilindros
1	Chevrolet	Spark	1.0 L	PCM5948	KL1MM6C06FC300323	2015	2,850	MT	4
2	Chevrolet	Spark	1.0 L	PBX3360	KL1MM6A05CC112908	2012	78,828	MT	4
3	Chevrolet	Sail	1.4 L	PCD8090	8LAUY6270D0174586	2013	20,345	MT	4
4	Chevrolet	Aveo	1.6 L	PEI7229	8LATD5861B0054308	2011	1,955	MT	4
5	Toyota	Corolla	1.8 L	POL0647	8XA53ZEC269507393	2006	115,376	MT	4

4.3 EMISIONES MEDIANTE PRUEBAS ESTÁTICAS

En estas pruebas se determinan las emisiones del vehículo con el equipo MAHA MGT5, en dos revoluciones del motor: ralentí y 2500 rpm, cabe mencionar que no se aplica ninguna carga externa al vehículo. Estas pruebas se basan en la Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2204:2002 (Gestión Ambiental. Aire. Vehículos Automotores. Límites Permitidos de emisiones producidas por fuentes móviles terrestres de Gasolina. En ellas se determinan las concentraciones volumétricas de CO, CO₂, HC y NO_x conjuntamente con el O₂ y “λ”, considerando lo explicado en el capítulo 3 que los NO_x no son representativos en las pruebas estáticas.

4.3.1 Descripción de equipos utilizados

El equipo utilizado para la determinación de emisiones mediante pruebas estáticas es el analizador de gases MAHA MGT 5, ver figura 4.9.



Figura 4.9 Analizador de gases MAHA MGT-5⁶⁹

⁶⁹Analizador de gases, MGT5 Stand, MAHA GmbH (2014), Alemania, consultado de http://www.maha.de/cps/rde/xbcr/SID-189FCD39-924CFE14/maha/BRO_MAHA_alle_Abgastester_ES.pdf

Este equipo tiene las características indicadas en la tabla 4.4 y sus especificaciones ampliadas se encuentran en el anexo A2.1

Tabla 4.4 Características Analizador de Gases

Gases analizables	CO, CO ₂ , HC, O ₂ , NO (Opción)
Deriva del margen de medición	inferior a $\pm 0,6$ % del valor final del alcance
Valor Lambda	margen indicador: 0,500 -9,999 w resolución: 0,001 w calculado según Brettschneider
Cantidad total de flujo	máx. 3,5 l/min • mín.1,5 l/min
Caudal - gas de medición	máx. 2,5 l/min • bomba de membrana
Presión de servicio	750 - 1100 mbar
Fluctuación de la presión	máx. errores 0,2 % con fluctuaciones de 5 kPa
Alimentación	85 V - 280 V • 50 Hz • 65 W /12 V-24 DC
Temperatura de servicio	+ 5 ° - + 45 °C • tolerancia ± 2 °C
Dimensiones	560 x 240 x 300 mm

4.3.2 Protocolo de pruebas estáticas

Antes de iniciar el procedimiento para la prueba, se debe realizar una revisión detallada al sistema de escape del automotor comprobando que el sistema esté completamente hermético, verificando que no existan fugas o daños; claro está que el vehículo debe estar en óptimas condiciones mecánicas, es importante que todos los vehículos deben estar abastecidos del mismo combustible y en los posible haberlo hecho en la misma estación de servicio, para esta experimentación se seleccionó gasolina extra, cuyas características se detallan en el anexo A3.

A continuación se detalla el procedimiento:

1. Estacionar el vehículo en un lugar ventilado.



Figura 4.10 Vehículo en lugar ventilado

2. Encender el vehículo.
3. Colocar la palanca de cambios de velocidad en estado neutro.
4. Accionar el freno de estacionamiento manual.
5. Colocar la sonda de temperatura en la bayoneta de aceite.

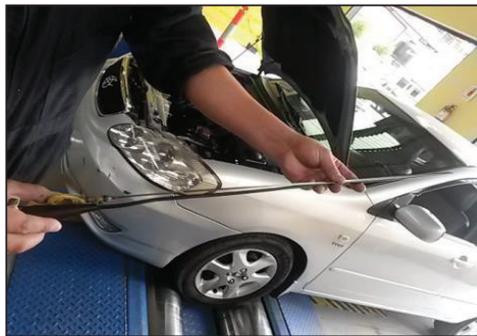


Figura 4.11 Sonda de Temperatura

6. Colocar la pinza trigger del equipo de medición (tacómetro) en el sistema de encendido del motor.



Figura 4.12 Conexión pinza trigger

7. Instalar, encender y asegurar la sonda del analizador de gases MAHA MGT5 a la salida del tubo de escape del vehículo.



Figura 4.13 Conexión sonda analizador de gases

8. Instalar el ducto succionador de gases de escape.



Figura 4.14 Instalación del ducto de gases

9. Permitir que el motor alcance la temperatura normal de funcionamiento (para este caso 95 °C).



Figura 4.15 Inicio de pruebas

10. Dejar que el motor se estabilice; iniciar la prueba en ralentí, durante 30 segundos.

11. Para la prueba a 2,500 rpm; dejar que el motor se estabilice y accionar el acelerador hasta que el motor alcance las revoluciones indicadas durante 30 segundos.
12. Grabar los resultados obtenidos.

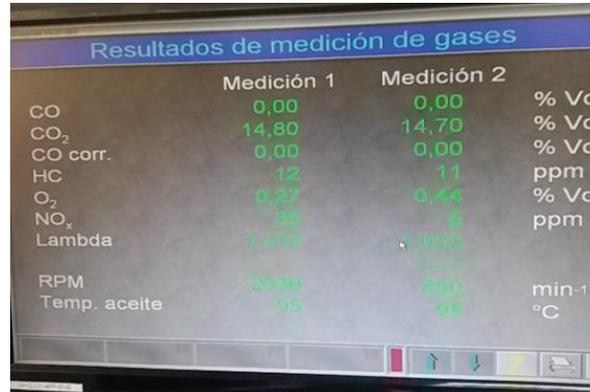


Figura 4.16 Lectura de datos en el monitor

13. Repetir el procedimiento anterior por dos ocasiones.
14. Desinstalar los equipos.

4.3.3 Resultados de pruebas estáticas en ralentí y 2,500 rpm

Los valores promedio de las concentraciones para cada contaminante y vehículo se presentan en las siguientes tablas 4.5 y 4.6

Tabla 4.5 Datos promedio de emisiones y factor lambda para ralentí

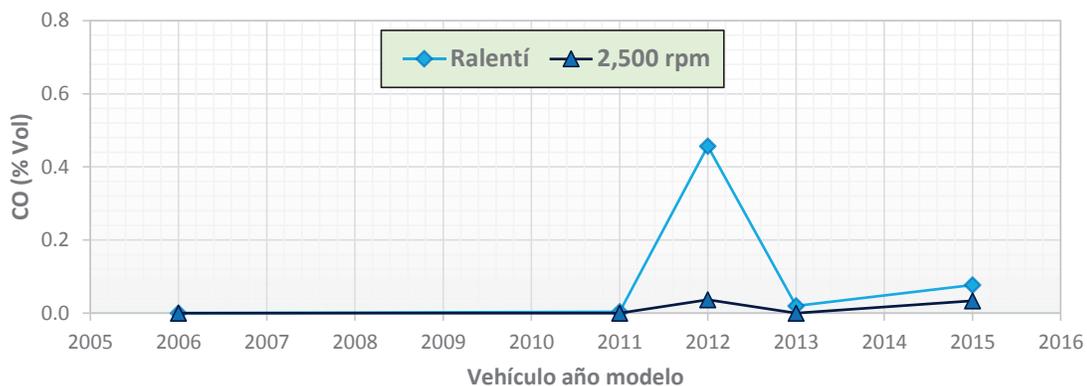
No.	Vehículo	Cilindraje (L)	Año	RPM	Toil (°C)	CO (%Vol)	CO ₂ (%Vol)	HC (ppm)	O ₂ (%Vol)	NO _x (ppm)	Lambda
1	Toyota	1.8	2006	897	96	0.000	14.600	11.667	0.690	19.667	1.033
2	Aveo	1.6	2011	830	94	0.003	14.800	2.333	0.183	3.000	1.008
3	Spark_2	1.0	2012	790	95	0.457	14.867	13.667	0.017	1.000	0.978
4	Sail	1.4	2013	803	95	0.020	14.567	2.667	0.693	1.000	1.032
5	Spark_1	1.0	2015	797	94	0.077	14.933	18.667	0.017	1.000	0.997

Tabla 4.6 Datos promedio de emisiones y factor lambda para 2,500 rpm

No.	Vehículo	Cilindraje (L)	Año	RPM	Toil (°C)	CO (%Vol)	CO ₂ (%Vol)	HC (ppm)	O ₂ (%Vol)	NO _x (ppm)	Lambda
1	Toyota	1.8	2006	2493	95	0.000	14.767	13.667	0.260	43.333	1.011
2	Aveo	1.6	2011	2410	96	0.000	14.933	3.333	0.083	2.667	1.003
3	Spark_2	1.0	2012	2473	95	0.037	14.833	3.000	0.057	1.333	1.001
4	Sail	1.4	2013	2503	95	0.000	14.967	4.667	0.170	2.333	1.007
5	Spark_1	1.0	2015	2480	95	0.033	14.867	21.667	0.023	1.000	0.999

En las figuras 4.17 a 4.21 se comparan los valores obtenidos en ralentí y 2,500 rpm, observándose que los vehículos inspeccionados cumplen con los límites máximos de emisiones establecidos para fuentes móviles con motor ciclo Otto propulsado por gasolina y declarados por la norma técnica ecuatoriana INEN 2204, la cual en estático solamente regula los máximos de CO (1.0% vol.) y HC (200 ppm).

En las figuras 4.18, 4.19 y 4.21 que representan las emisiones obtenidas de CO₂, HC y NO_x respectivamente, se observa que los valores son ligeramente mayores a altas rpm (2,500 rpm) versus ralentí (900 rpm). Mientras en las figuras 4.17 y 4.20 se muestra que sucede lo contrario, es decir, que los valores en ralentí son superiores a los de altas rpm.

**Figura 4.17** Emisiones de CO en condiciones estáticas

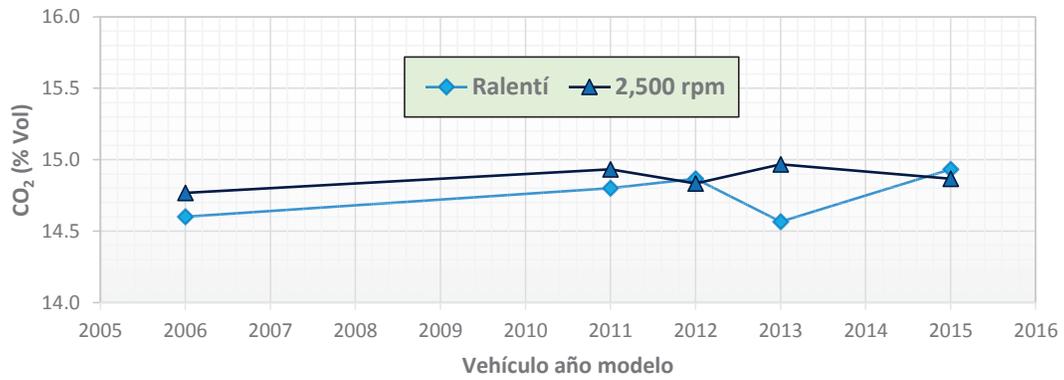


Figura 4.18 Emisiones de CO₂ en condiciones estáticas

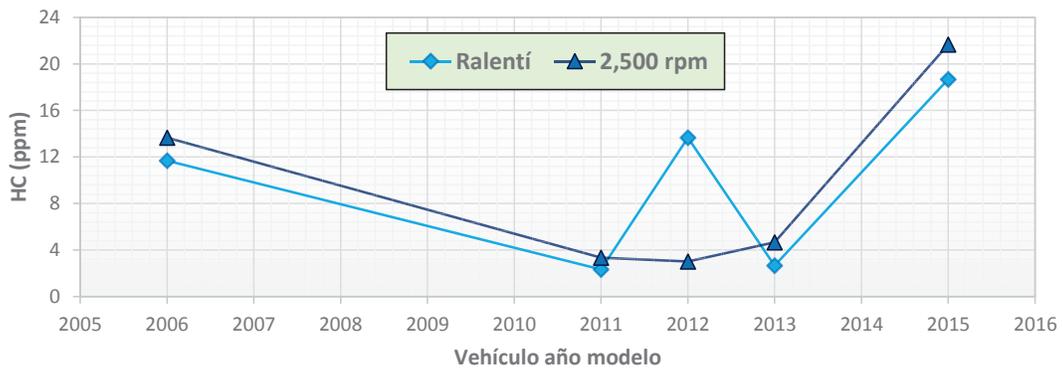


Figura 4.19 Emisiones de HC en condiciones estáticas

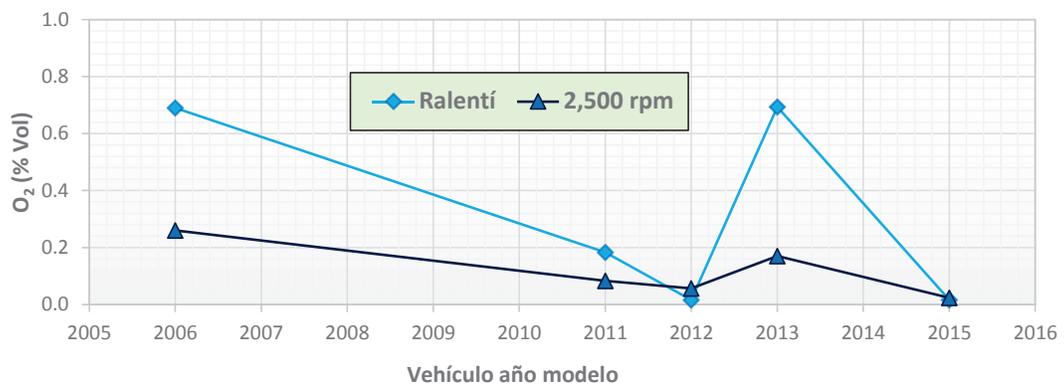


Figura 4.20 Emisiones de O₂ en condiciones estáticas

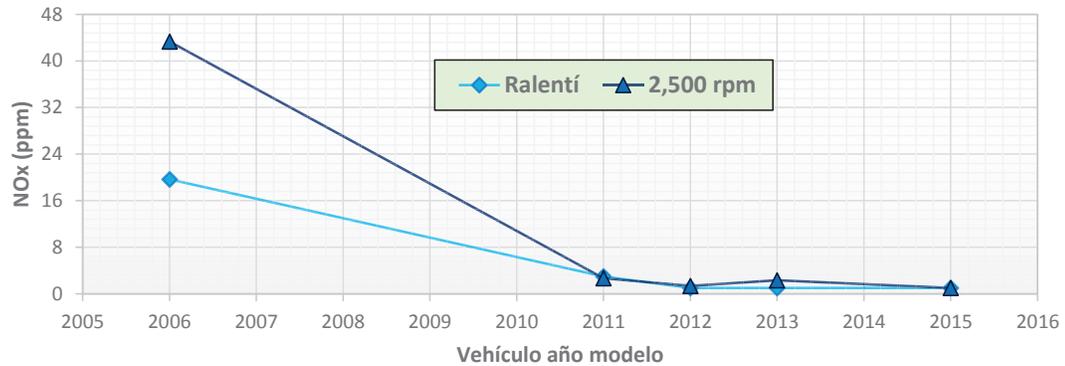


Figura 4.21 Emisiones de NO_x en condiciones estáticas

4.4 EMISIONES MEDIANTE PRUEBAS DINÁMICAS

Las emisiones contaminantes de los vehículos a gasolina se pueden medir utilizando el ciclo de conducción IM-240, cuya experimentación se la realiza en el CICCEV, el cual debe disponer del software y equipamiento mínimo necesario para esta prueba; así como el personal técnico capacitado para su ejecución.

4.4.1 Descripción de equipos utilizados

Para la determinación de emisiones mediante pruebas dinámicas se utilizan el dinamómetro de chasis LPS 3000, para analizar el ciclo IM-240 se acoplan otros equipos constitutivos del dinamómetro tales como:

- Analizador de gases MAHA MGT5 descrito anteriormente
- Equipo para procesamiento de información (computador)
- Ventilador de refrigeración radial.
- Juego de rodillos

En la figura 4.22 se muestra al dinamómetro y sus principales componentes:



Figura 4.22 Banco de pruebas LPS 3000⁷⁰

Las características del dinamómetro se detallan en la tabla 4.7 y sus especificaciones detalladas en el anexo A2.3

Tabla 4.7 Características del Banco de Pruebas

GASES ANALIZABLES	CO	CO₂	HC	O₂	NO_x
Rango de Medición	0 - 15 Vol %	0- 20 Vol %	0 - 2000 ppm (hexano) 0 - 4000 ppm (propano)	0 - 25 Vol %	0 - 5000 (ppm Vol)
Precisión de medida	0.06 Vol %	0.5 Vol %	12 ppm	0.1 Vol %	32-120 ppm
Principio de medida	Infrarrojo	infrarrojo	infrarrojo	electroquímico	electroquímico
Nivel de electricidad para mediciones de gas	3 l/min				
Alimentación de corriente	85 V - 280 V 50 Hz 65 W				
Presión de servicio	750 -1100 mbar				
Temperatura de servicio	desde + 5 C hasta + 45 C				
Termómetro de aceite	desde 0 C hasta + 150 C Resolución 1				

4.4.2 Protocolo de pruebas dinámicas

Esta prueba se ejecuta en los laboratorios del CCICEV; mediante este ciclo dinámico se determinan las concentraciones volumétricas de CO, CO₂, HC y

⁷⁰Dinamómetro, LSP300 Stand, MAHA GmbH (2014), Alemania, consultado de http://www.maha.de/cps/rde/xbc/SID-2B90D560-8F7AC4B6/maha/BRO_MAHA_alle_LPS_ES.pdf

NO_x conjuntamente con el O₂ y el factor λ que son determinados cada 0.1 segundos por el lapso total de duración del ciclo de 240 segundos.

A continuación se detalla el procedimiento seguido:

1. Verificar que las condiciones mecánicas de los vehículos sean óptimas.
2. Verificar que el sistema de escape del vehículo no tenga perforaciones ni fugas.
3. Verificar que la presión de los neumáticos del eje de tracción (delantero en este caso) sea la recomendada por el fabricante del vehículo, para el caso de automóviles debe ser 32 psi. Así como el nivel de desgaste de los mismos no debe exceder el nivel del indicador de desgaste.



Figura 4.23 Presión de neumáticos

4. Anclar el vehículo a los soportes del dinamómetro.



Figura 4.24 Sujeción del vehículo al dinamómetro

5. Instalar y asegurar la sonda del analizador de gases MAHA MGT5 a la salida del tubo de escape del vehículo.



Figura 4.25 Instalación de sonda y ducto de gases

6. Instalar el ducto succionar de gases de escape.
7. Conectar la sonda de temperatura en la bayoneta de medición de aceite del motor
8. Colocar la pinza trigger del equipo de medición (tacómetro) en el sistema de encendido del motor.
9. Encender el vehículo y calentar el motor hasta que alcance la temperatura de operación normal que corresponde a 95°C.



Figura 4.26 Temperatura de funcionamiento del motor

10. Desconectar el aire acondicionado o climatizador.
11. Accionar el freno de estacionamiento del vehículo
12. Instalar el ventilador del dinamómetro



Figura 4.27 Instalación del ventilador

13. Una vez dada la señal de inicio del operador del dinamómetro, el conductor del vehículo sigue la trayectoria del ciclo en el monitor instalado para el propósito, realizando la aceleración y frenado según corresponda para que la conducción se mantenga dentro del rango de tolerancia permitida para la prueba.



Figura 4.28 Avance del ciclo IM-240

14. Grabar los datos obtenidos en el computador.
15. Dejar que el vehículo se estabilice para posterior apagar el motor.
16. Repetir el anterior procedimiento por dos ocasiones.
17. Desconectar los equipos.

4.4.3 Resultados de pruebas dinámicas

En el anexo 5, se observan los gráficos completos de las emisiones obtenidas en las pruebas dinámicas versus el perfil del ciclo IM-240, con el objetivo de conocer los tramos donde se producen los máximos valores de emisiones que

podrían causar la no aprobación del automotor bajo inspección. La norma NTE-INEN 2204 menciona valores máximos de factores de emisión bajo ciclos determinados, por lo tanto, se procederá más adelante a su respectivo cálculo que nos permita su comparación y evaluación con el estándar nacional.

En la figura 4.29 se observa al vehículo Chevrolet Spark sobre los rodillos del dinamómetro MAHA, sometiéndose a la prueba dinámica IM-240. Adicionalmente en la parte posterior del sistema de escape, se encuentra conectada la sonda que nos permite la recolección de las muestras de emisiones.



Figura 4.29 Vehículo Spark_1 en prueba del ciclo IM-240

Los valores promedio de las emisiones obtenidas para cada contaminante y vehículo usando el ciclo IM-240 se resumen en la tabla 4.8 descrita a continuación:

Tabla 4.8 Datos promedio de emisiones y factor lambda utilizando el ciclo IM-240

No.	Vehículo	Cilindraje (L)	Año	CO (%Vol)	CO ₂ (%Vol)	HC (ppm)	O ₂ (%Vol)	NO _x (ppm)	Lambda
1	Toyota	1.8	2006	0.139	14.305	16.155	0.357	116.887	1.015
2	Aveo	1.6	2011	0.015	14.435	7.444	0.615	24.619	1.046
3	Spark_2	1.0	2012	0.155	14.759	7.149	0.103	1.983	1.001
4	Sail	1.4	2013	0.065	13.962	6.082	1.106	21.299	1.089
5	Spark_1	1.0	2015	0.107	14.219	10.766	0.282	5.404	1.015

4.5 CONSUMO DE COMBUSTIBLE

Para conocer el consumo de combustible en el Distrito Metropolitano de Quito se selecciona la ruta que más representa las condiciones topográficas y de tránsito de la ciudad.



Figura 4.30 Ciclo Quito

Esta ruta tiene una mezcla de autopista plana y pendientes, tráfico vehicular, velocidad promedio en dos tramos de la ruta, paradas necesarias tal como se muestra en la figura 4.30. Aquí se determina el consumo real de combustible necesario para recorrer la distancia establecida.

4.5.1 Descripción de equipos utilizados

Los equipos que se utilizan para el propósito de determinar el consumo de combustible son:

- A. Canister de combustible, incluye acoples
- B. Sistema de posición global (GPS)

A. Canister de combustible

Este equipo cuya denominación en inglés es JET CLEAN, es un limpiador del sistema de inyección de motores tanto diesel como a gasolina, permite generar una presión al sistema de inyección de gasolina, es por ello que se lo utiliza para este propósito, es fácilmente adaptable a través de acoples de conexión a los ductos de combustible del vehículo, tal como se muestra en la figura 4.31.



Figura 4.31 Canister de combustible⁷¹

Las características técnicas del equipo se detallan a continuación:

Tabla 4.9 Características canister de combustible

Cantidad de llenado máxima	5 litros
Contenido total del depósito	7 litros
Sobrepresión admisible de servicio	7 bares
Peso de la unidad	4.5 Kg
Dispositivo de seguridad	Válvula de seguridad
	Manómetro
	Válvula de descarga de presión

⁷¹Productos JetClean, Liqui Moly, consultado de <http://www.liquimoly.com.uy/admin/filebrowser/upload/files/info%20tec%20productos/Manual%20Jet%20Clean%205118.pdf>

B. GPS GARMIN

Este equipo permite proporcionar las referencias de ubicación del vehículo con respecto a su altitud, temperatura ambiente y además determina la velocidad media y máxima alcanzada en una distancia recorrida, ver figura 4.32.



Figura 4.32 GPS Garmin MAP 76CX⁷²

Las características técnicas del equipo se detallan a continuación:

Tabla 4.10 Características GPS Garmin MAP

MARCA	Garmin
MODELO	MAP 76 CX
Escala de temperatura	-15 a 70 C
Precisión	< 10 metros
Frecuencia de actualización	1/s continua
Antena	Integrada

⁷²Manual de usuario Garmin MAP 76CX, consultado de http://www.garmin.com/garmin/webdav/site/es/users/garmines/public/manuales/manuales_outdoor/GPSmap%2076Cx%20-%20Manual%20de%20usuario.pdf

4.5.2 Protocolo de pruebas de consumo de combustible

Para poder determinar el consumo real de combustible, se utiliza un canister, con este equipo se genera la presión necesaria para la alimentación de combustible y garantizar un correcto abastecimiento al sistema de inyección. Hay que tomar en cuenta que todas las pruebas se realizan a la misma hora de inicio, lo que permite que los datos obtenidos tengan un mismo patrón en relación a las condiciones de tráfico presentes.

Para validar las pruebas se usa el ciclo Quito y se determina que las condiciones ambientales deben estar libres de lluvia.

El ciclo Quito se caracteriza por ser una ruta combinada, es decir, tiene dos tramos: autopista y ciudad, tal como se puede visualizar en la siguiente forma:

Primer tramo: CCICEV-EL TREBOL – AUTOPISTA LOS CHILLOS - AV.SIMON BOLIVAR- PUENTE DE GUAPULO, simula las características de carretera tiene una distancia de 16.4 kilómetros.

Segundo tramo: PUENTE DE GUAPULO – GONZALEZ SUAREZ – ORELLANA- 10 DE AGOSTO – MARIANA DE JESUS - AMAZONAS - PATRIA –CCICEV, asemeja las características del manejo en ciudad, tiene una distancia de 14.1 kilómetros

A continuación se detalla el protocolo a seguir para la ruta del ciclo trazado en Distrito Metropolitano de Quito (DMQ):

1. El estado mecánico del automotor debe ser óptimo.
2. Identificar los puntos de conexión para la instalación del canister, dependiendo de la marca y el modelo, la conexión puede ser realizada tanto en la salida del tanque de combustible tal como se muestra en la figura 4.33a, o en la entrada de la riel de combustible como se observa en la figura 4.33b

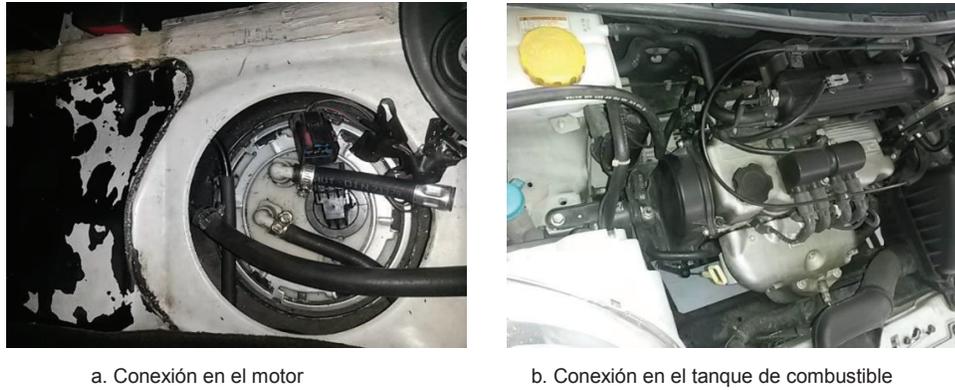


Figura 4.33 Conexión del canister

- Mediante la utilización de los acoples respectivos, se realiza la instalación de los ductos y mangueras del canister con el tanque o riel de combustible.



Figura 4.34 Acoples para instalación

- Previo a la instalación del canister, este debe ser cargado con 5 litros de combustible y llevar la presión interna del tanque a 50 psi.



Figura 4.35 Presión del canister

5. Una vez instalado en canister, se debe abrir las válvulas para el ingreso de combustible y verificar que no existan fugas.
6. Desconectar la bomba de combustible del sistema eléctrico del vehículo, se lo puede realizar quitando el fusible correspondiente de la caja de fusibles.
7. Utilizando el GPS Garmin se realiza la primera toma de datos de ubicación del CICCEV, los datos a ser tomados en cuenta son: altura sobre el nivel del mar y temperatura ambiente, se encera los equipos.
8. Se verifica la lectura del odómetro del vehículo
9. Se da inicio a la ruta del ciclo Quito, la próxima parada es el puente de Guapulo, donde se toma las lecturas de: velocidad máxima, velocidad media, distancia recorrida, altitud sobre el nivel del mar Todos estos datos se registra en los documentos que se muestran en el anexo A5.8.
10. Al retornar nuevamente al lugar de inicio de la ruta Quito, se toman las lecturas de los parámetros descritos en el ítem anterior.
11. Se desconectan los equipos realizando primero la despresurización del canister.
12. Utilizando una probeta de medición se determina el volumen sobrante en el canister, este dato se tabula en la hoja de registro de la prueba.

Durante la prueba se debe mantener la presión del canister en 50 psi, para ello se debe manipular el accesorio para incremento de presión del equipo.

4.5.3 Resultados de pruebas de consumo de combustible

El consumo de combustible es un parámetro necesario para el cálculo de los factores de emisión y se lo realiza utilizando el ciclo Quito bajo condiciones reales en las que se determina la cantidad de gasolina utilizada en determinado recorrido. Los datos originales levantados en ruta se observan en el anexo A5.8.

Los valores promedio del consumo de combustible obtenidos para cada vehículo usando el ciclo Quito se resumen en la siguiente tabla 4.11:

Tabla 4.11 Datos promedio de consumo de combustible bajo el ciclo Quito

No.	Modelo	Cilindraje	Placa	Año	Prueba 1	Prueba 2	Promedio	Promedio
					Consumo Combustible (Km/L)	Consumo Combustible (Km/L)	Consumo Combustible (Km/L)	Consumo Combustible (m ³ /Km)
1	Corolla	1.8 L	POL0647	2006	11.91	13.86	12.89	0.0000780
2	Aveo	1.6 L	PEI7229	2011	13.03	11.73	12.38	0.0000810
3	Spark_2	1.0 L	PBX3360	2012	16.14	15.83	15.99	0.0000626
4	Sail	1.4 L	PCD8090	2013	14.88	14.59	14.74	0.0000679
5	Spark_1	1.0 L	PCM5948	2015	15.40	16.76	16.08	0.0000623

4.6 DETERMINACIÓN DE LOS FACTORES DE EMISIÓN

4.6.1 Descripción de metodología

Los factores de emisión disponibles a nivel mundial se obtienen siguiendo ciclos de conducción en dinamómetros de chasis con el objetivo de reproducir estadísticamente las condiciones de manejo en ciudad y/o carretera.

En el presente estudio se mide la concentración de emisiones contaminantes mediante pruebas estacionarias a dos velocidades (TIS) en base a la normativa local existente y mediante prueba dinámica adoptando el ciclo IM-240 que es un extracto del ciclo americano FTP-75. Luego de obtener los valores de CO₂, CO, HC y NO_x, se determina el consumo de combustible representativo para el DMQ durante la prueba en carretera, con lo cual se está en capacidad de determinar los factores de emisión en masa de contaminante por unidad de distancia recorrida.

Finalmente, los factores de emisión son determinados utilizando el modelo simplificado de combustión detallado en el capítulo 2, que representa la conversión del aire y el combustible en los principales productos de la combustión. Tanto para el cálculo de los factores de emisión estático y dinámico se considera el valor promedio de la densidad del combustible a 15°C de 748 Kg/m³.

4.6.2 Factores de emisión en pruebas estáticas

Para el cálculo de los factores de emisión estático, se introducen en las fórmulas del capítulo 2, los valores de contaminantes obtenidos mediante el método TIS y el consumo de combustible determinado en el DMQ, con lo cual se obtiene los factores de emisión en g/Km, resumidos en la tabla 4.12 y 4.13. Un ejemplo de cálculo de los factores de emisión se detalla en el anexo A4.

Tabla 4.12 Datos promedio de factores de emisiones para ralentí

No.	Vehículo	Cilindraje (L)	Año	Toil (°C)	gCO / Km	gHC / Km	gNO _x / Km
1	Toyota	1.8	2006	96	0.0000	0.0137	0.0165
2	Aveo	1.6	2011	94	0.0268	0.0028	0.0026
3	Spark_2	1.0	2012	95	2.7396	0.0123	0.0006
4	Sail	1.4	2013	95	0.1368	0.0027	0.0007
5	Spark_1	1.0	2015	94	0.4675	0.0171	0.0007

Tabla 4.13 Datos promedio de factores de emisiones para 2,500 rpm

No.	Vehículo	Cilindraje (L)	Año	Toil (°C)	gCO / Km	gHC / Km	gNO _x / Km
1	Toyota	1.8	2006	95	0.0000	0.0159	0.0360
2	Aveo	1.6	2011	96	0.0000	0.0040	0.0023
3	Spark_2	1.0	2012	95	0.2267	0.0028	0.0009
4	Sail	1.4	2013	95	0.0000	0.0047	0.0017
5	Spark_1	1.0	2015	95	0.2047	0.0200	0.0007

4.6.3 Factores de emisión en pruebas dinámicas IM-240

De igual manera para el cálculo de los factores de emisión en pruebas dinámicas, se usa también las fórmulas del capítulo 2, introduciendo los valores promedio de las emisiones obtenidas mediante el ciclo de conducción IM-240 y

el consumo de combustible determinado en el DMQ., con lo cual se obtiene los factores de emisión en gramos de contaminante por kilómetro recorrido, resumidos en la tabla 4.14. Un ejemplo de cálculo se especifica en el anexo A4.

Tabla 4.14 Datos promedio de factores de emisión con el ciclo dinámico IM-240

No.	Vehículo	Cilindraje (L)	Año	Toil (°C)	gCO / Km	gHC / Km	gNO _x / Km
1	Toyota	1.8	2006	95	1.0678	0.0189	0.1004
2	Aveo	1.6	2011	95	0.1214	0.0094	0.0217
3	Spark_2	1.0	2012	95	0.9496	0.0066	0.0013
4	Sail	1.4	2013	95	0.4550	0.0066	0.0168
5	Spark_1	1.0	2015	95	0.6766	0.0103	0.0037

Al considerarse un ciclo dinámico que dura 240 segundos, se tiene la incertidumbre de conocer las fases del ciclo en las cuales los factores de emisión presentan valores más elevados que podrían sobrepasar los límites de los estándares. Por lo tanto, se realiza para cada vehículo de prueba el cálculo y la visualización de los factores de emisión cada 0.1 segundos.

En las figuras 4.36 a 4.50 se observa para cada vehículo la variación del factor de emisiones de los principales contaminantes CO, HC y NO en cada instante del ciclo dinámico IM-240. En forma general se distingue la tendencia de los factores de la siguiente forma:

- Para el caso del CO y HC, éstos aumentan durante las partes pronunciadas de aceleración y en mayor grado en la primera fase del ciclo donde se simulan bajas velocidades representativas del tráfico de ciudad.
- Mientras el factor de emisiones NO alcanza sus valores más altos en las aceleraciones correspondientes a la segunda fase del ciclo, que se caracteriza por altas velocidades similares a las de autopistas y carreteras que alcanzan valores cercanos a 100 Km/h.

4.6.3.1 Factores de emisión Toyota_Corolla

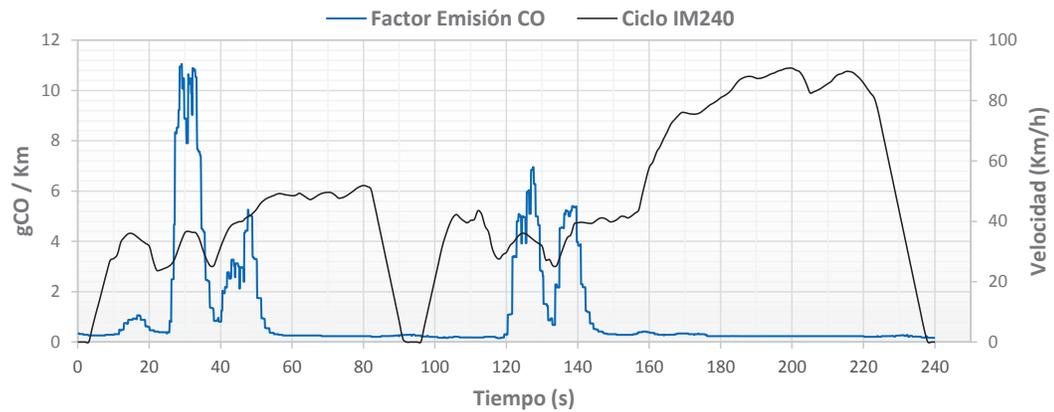


Figura 4.36 Factor de emisión de CO_Toyota en ciclo dinámico IM-240

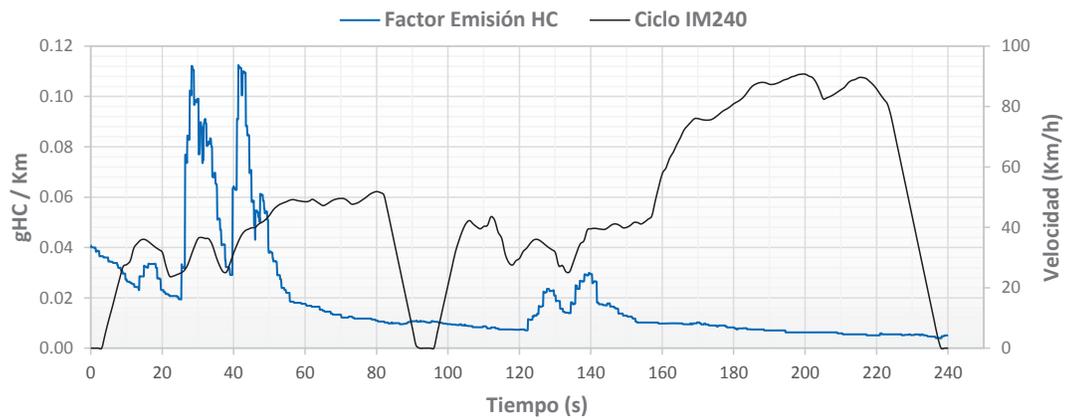


Figura 4.37 Factor de emisión de HC_Toyota en ciclo dinámico IM-240

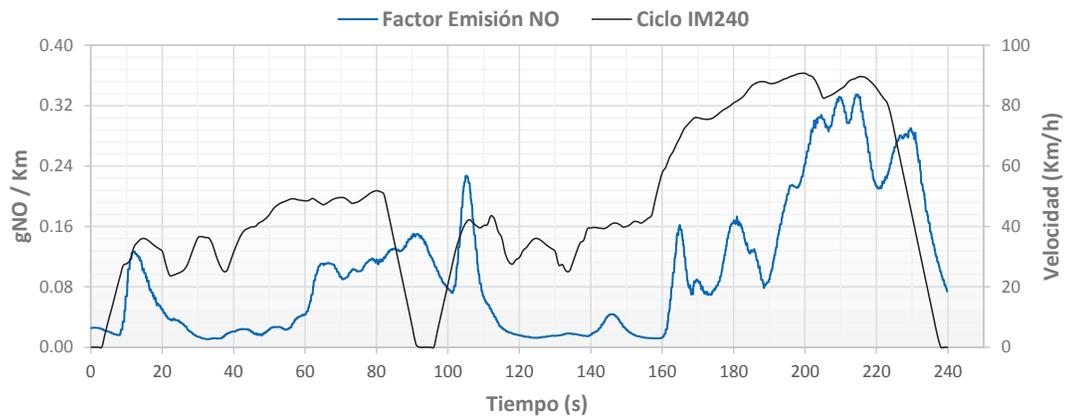


Figura 4.38 Factor de emisión de NO_Toyota en ciclo dinámico IM-240

4.6.3.2 Factores de emisión Chevrolet Aveo

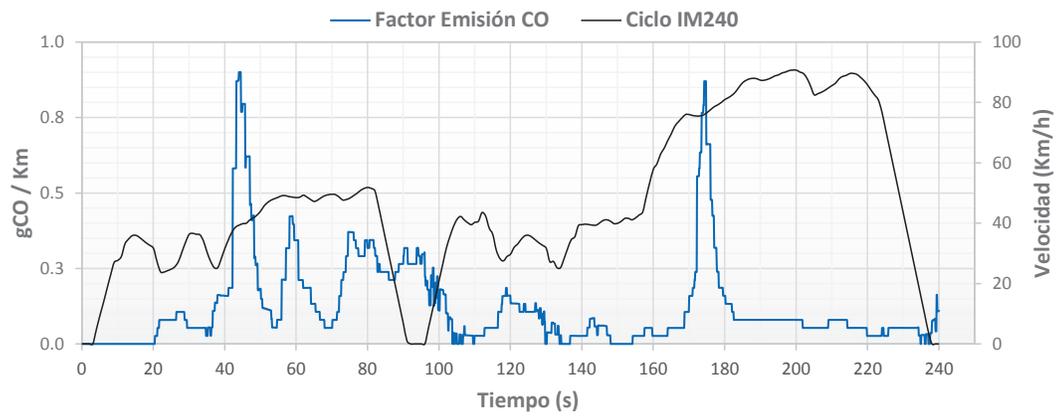


Figura 4.39 Factor de emisión de CO_Aveo en ciclo dinámico IM-240

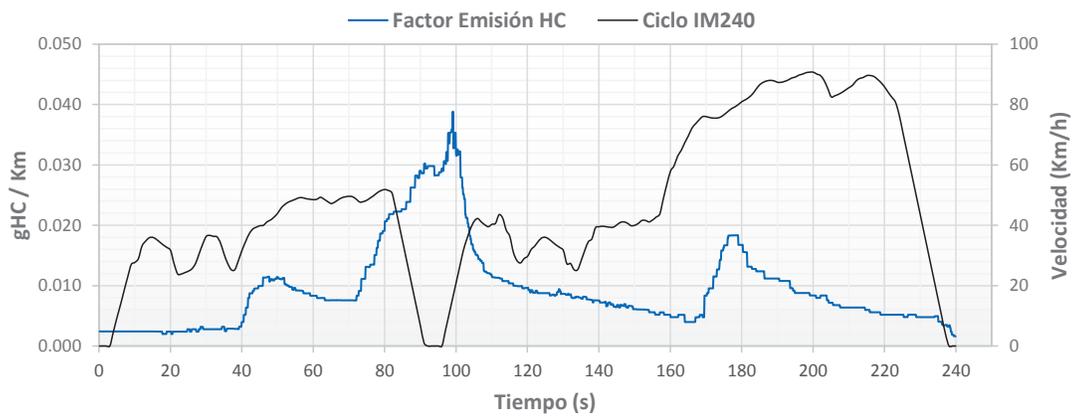


Figura 4.40 Factor de emisión de HC_Aveo en ciclo dinámico IM-240

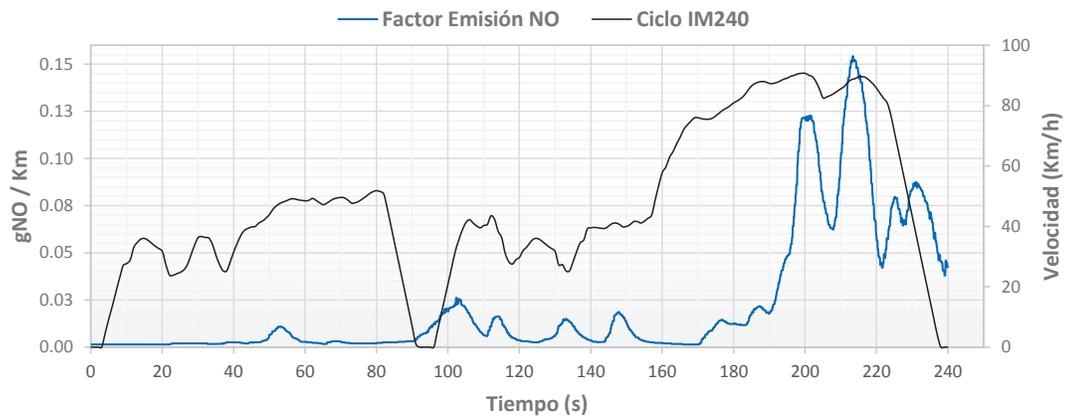


Figura 4.41 Factor de emisión de NO_Aveo en ciclo dinámico IM-240

4.6.3.3 Factores de emisión Chevrolet Spark_2

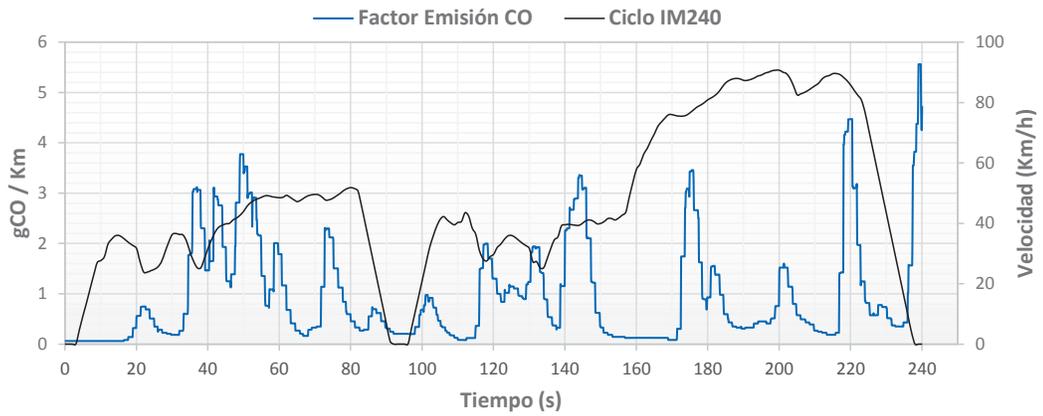


Figura 4.42 Factor de emisión de CO_Spark2 en ciclo dinámico IM-240

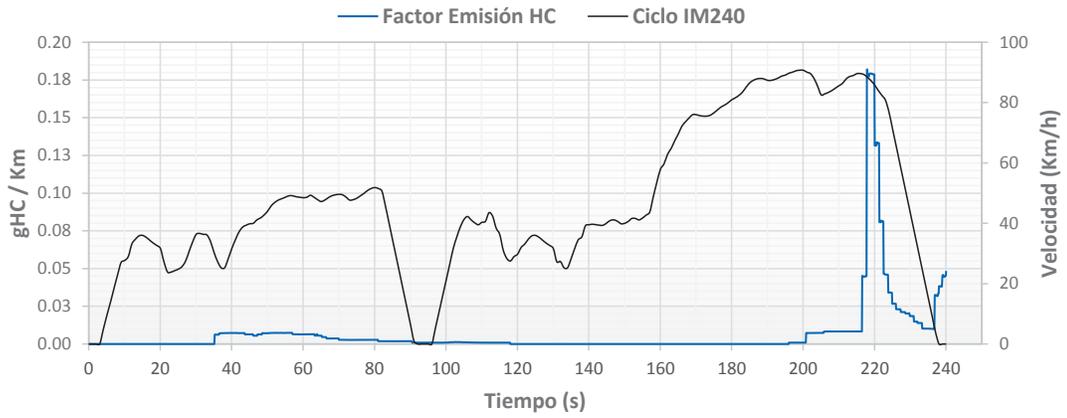


Figura 4.43 Factor de emisión de HC_Spark2 en ciclo dinámico IM-240

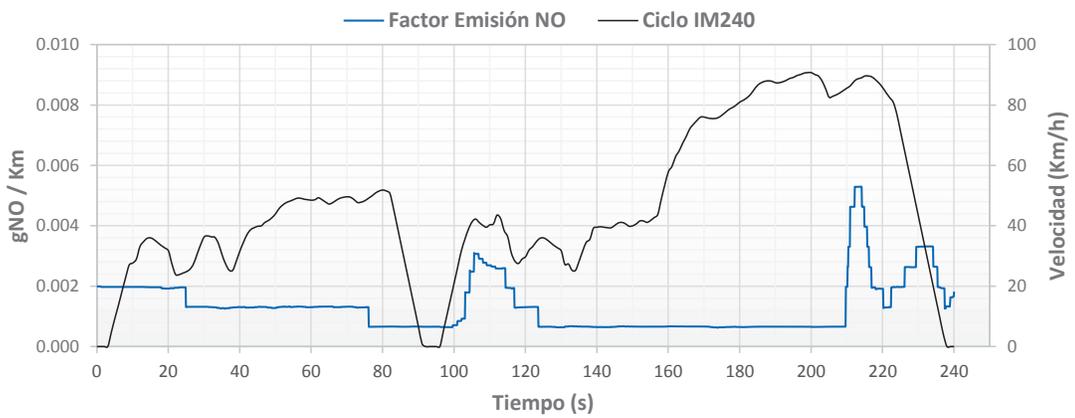


Figura 4.44 Factor de emisión de NO_Spark2 en ciclo dinámico IM-240

4.6.3.4 Factores de emisión Chevrolet Sail

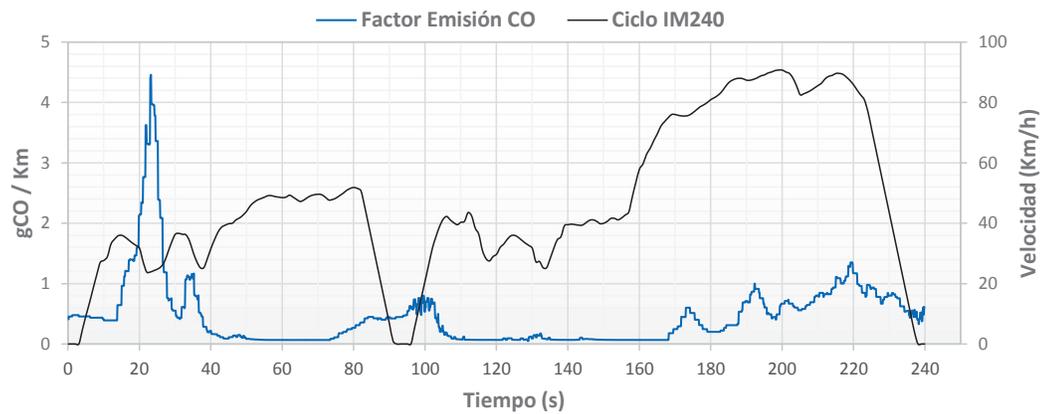


Figura 4.45 Factor de emisión de CO_Sail en ciclo dinámico IM-240

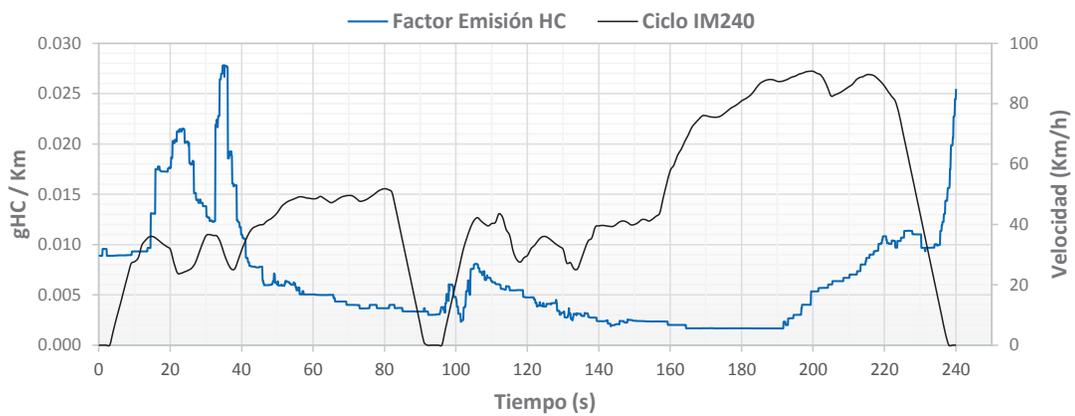


Figura 4.46 Factor de emisión de HC_Sail en ciclo dinámico IM-240

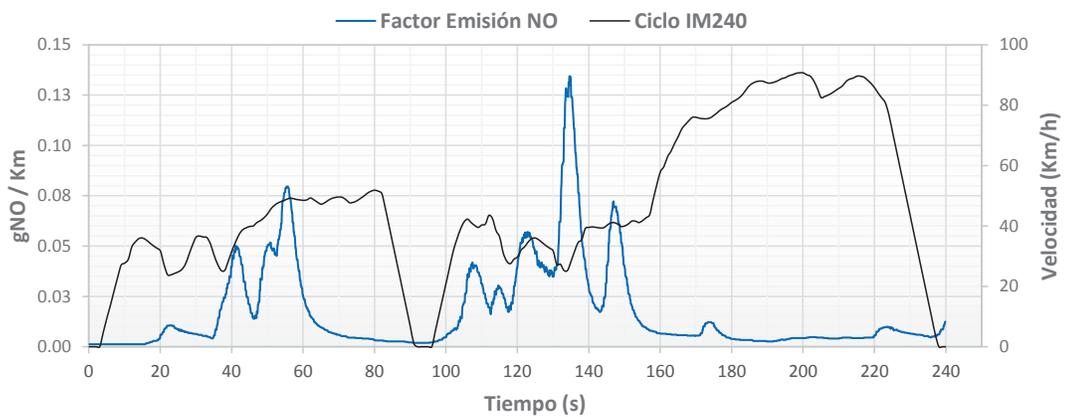


Figura 4.47 Factor de emisión de NO_Sail en ciclo dinámico IM-240

4.6.3.5 Factores de emisión Chevrolet Spark_1

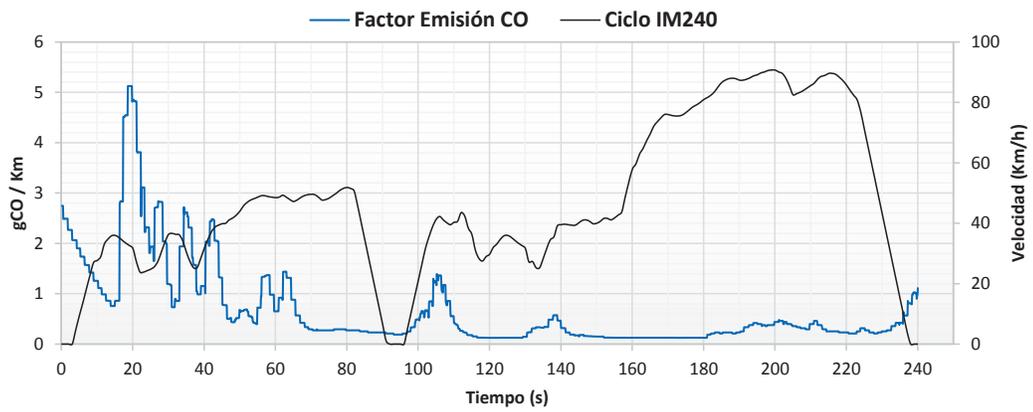


Figura 4.48 Factor de emisión de CO_Spark1 en ciclo dinámico IM-240

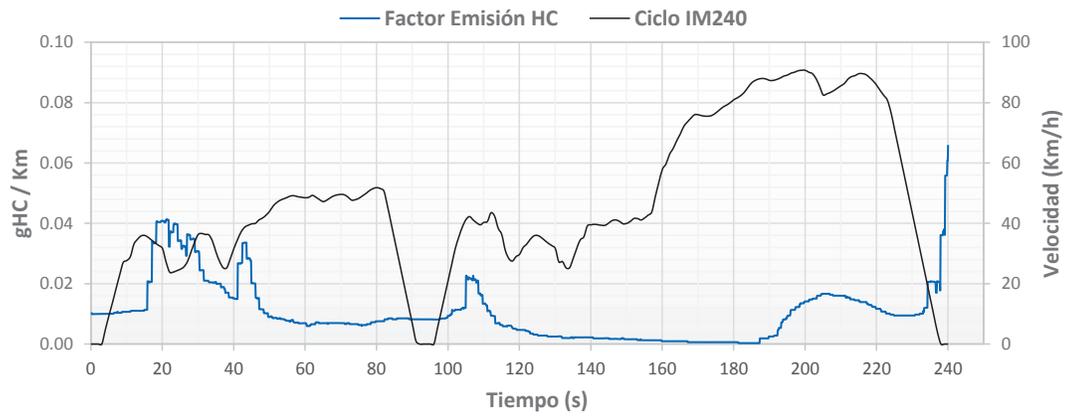


Figura 4.49 Factor de emisión de HC_Spark1 en ciclo dinámico IM-240

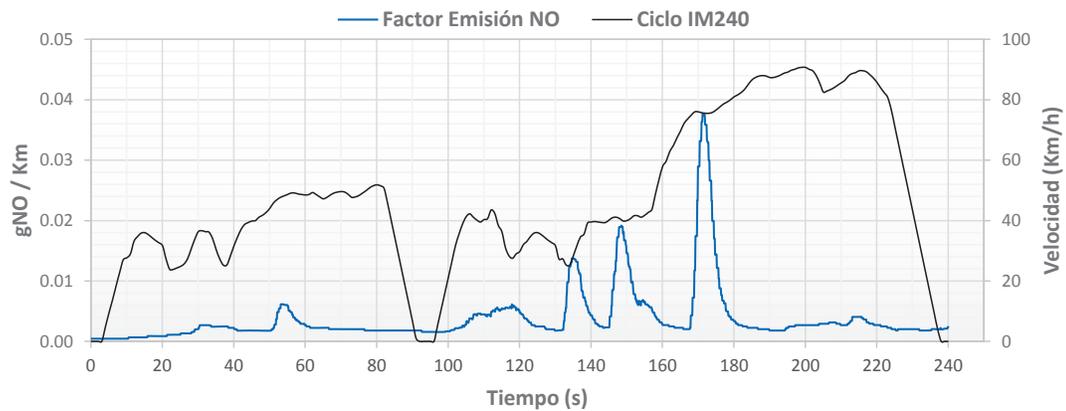


Figura 4.50 Factor de emisión de NO_Spark1 en ciclo dinámico IM-240

4.6.4 Análisis comparativo de resultados de factores de emisión

Al considerar los valores promedio para el cálculo de los factores de emisión, se obtiene como resultado los gráficos 4.51, 4.52 y 4.53 que comparan los CO, HC y NO de cada vehículo. De los gráficos señalados se puede deducir:

- Existe una tendencia de los factores de emisiones de CO, HC y NO obtenidos mediante el ciclo IM-240 superior a la realizada con el método estático.
- Un vehículo del año modelo 2012 (Spark) presenta valores excesivos de contaminantes (fuera del límite de la norma INEN 2204) y no mantiene la tendencia general, por lo tanto, se elimina del análisis respectivo.

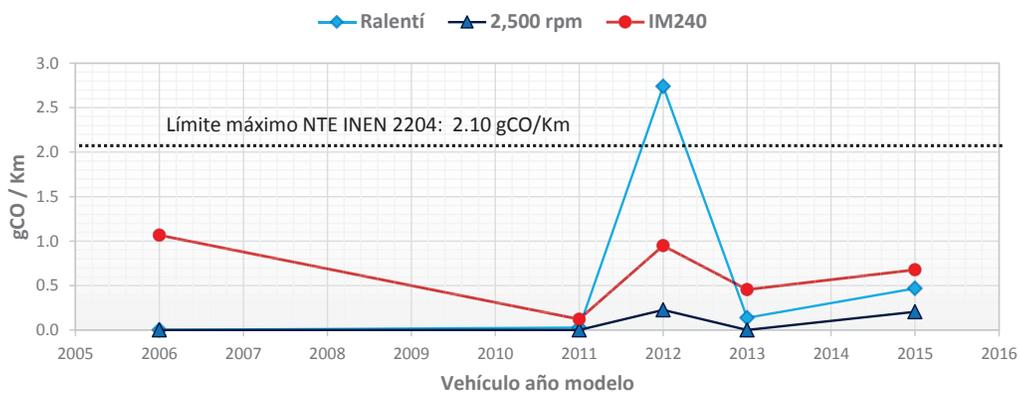


Figura 4.51 Comparativo promedio de factores de emisión de CO

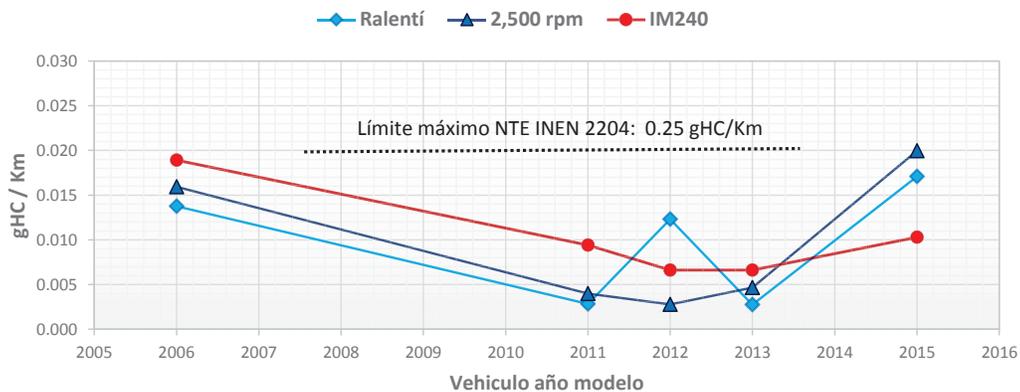


Figura 4.52 Comparativo promedio de factores de emisión de HC

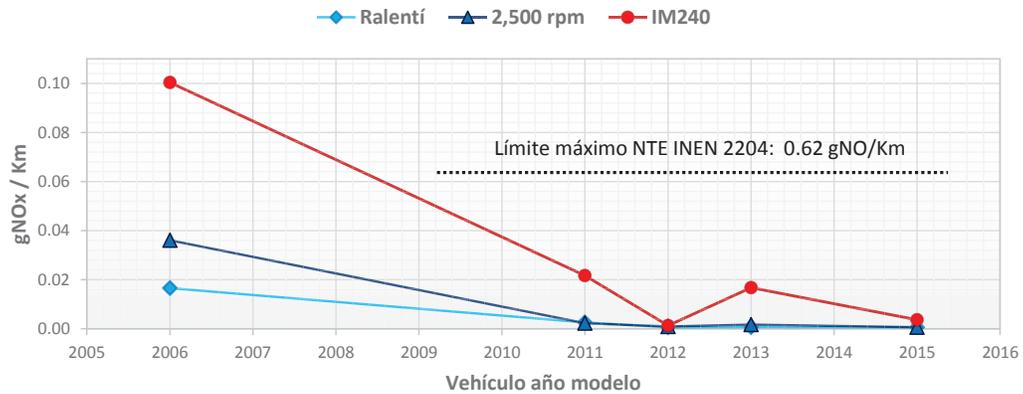


Figura 4.53 Comparativo promedio de factores de emisión de NO

4.6.4.1 Tendencia factores de emisión versus año modelo del vehículo

De las figuras 4.51, 452 y 4.53, se procede a calcular la tendencia del comportamiento de los factores de emisión (CO, HC y NOx) para el ciclo dinámico IM-240 versus el año modelo del vehículo, tal como se indica en las figuras 4.54, 4.55 y 4.56. La tendencia es inversamente proporcional al año modelo, ya que conforme pasan los años los fabricantes de vehículos tienden a implementar tecnologías nuevas que ayudan a disminuir la contaminación ambiental.

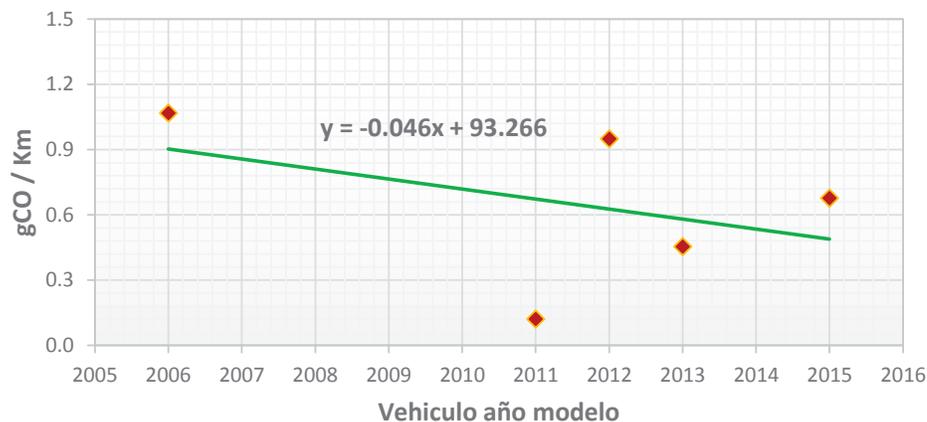


Figura 4.54 Tendencia de factores de emisión de CO

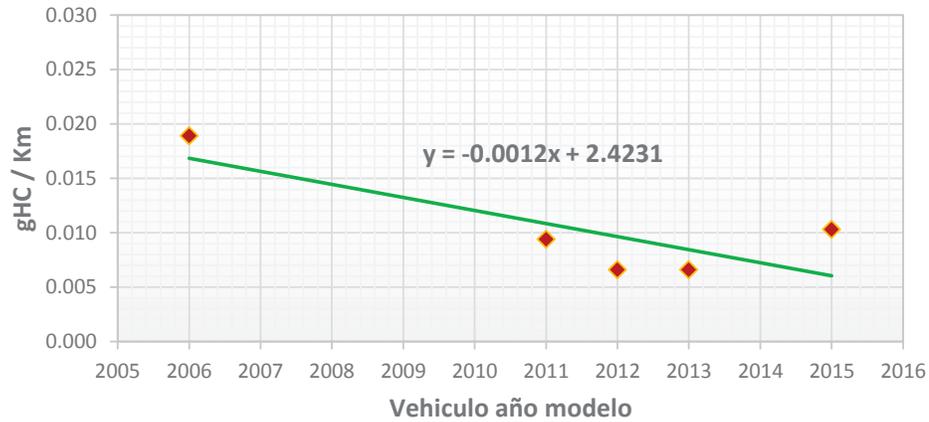


Figura 4.55 Tendencia de factores de emisión de HC

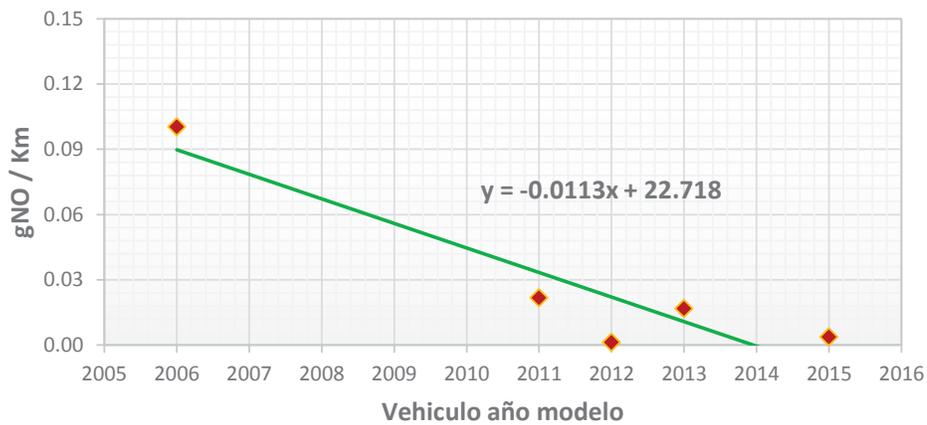


Figura 4.56 Tendencia de factores de emisión de NO

4.6.4.2 Correlación entre los factores de emisión estático y dinámico

El análisis de correlación permite averiguar el tipo y grado de asociación estadística entre dos o más variables. Más concretamente, una vez realizado e identificado el análisis de correlación, puede emprenderse un análisis de regresión.

En el presente estudio, las variables cuantitativas tienen una relación estadística medida por lo que se denomina coeficiente de correlación (r), cuyo valor numérico varía de +1 a -1, indicándonos la fuerza de relación entre las variables. En general, $r > 0$ indica una relación positiva y $r < 0$ indica una

relación negativa, mientras que $r = 0$ indica que no hay relación (o que las variables son independientes y no están relacionadas). Aquí, $r = 1$ describe una correlación positiva perfecta y $r = -1$ describe una correlación negativa perfecta.

Se procede a realizar el cálculo de los coeficientes de correlación estadística mediante la función "CORREL" de Excel, entre la prueba de ralenti y la dinámica IM-240. Los resultados se indican en las tablas siguientes 4.15, 4.16 y 4.17

Tabla 4.15 Datos comparativos de factores de emisión para el CO

No.	Vehículo	Cilindraje (L)	Año Modelo	Ralenti	IM-240	Correlación
				gCO / Km	gCO / Km	
1	Toyota	1.8	2006	0.0000	1.0678	0.4362
2	Aveo	1.6	2011	0.0268	0.1214	
3	Spark_2	1.0	2012	2.7396	0.9496	
4	Sail	1.4	2013	0.1368	0.4550	
5	Spark_1	1.0	2015	0.4675	0.6766	

Tabla 4.16 Datos comparativos de factores de emisión para el HC

No.	Vehículo	Cilindraje (L)	Año Modelo	Ralenti	IM-240	Correlación
				gHC / Km	gHC / Km	
1	Toyota	1.8	2006	0.0137	0.0189	0.4292
2	Aveo	1.6	2011	0.0028	0.0094	
3	Spark_2	1.0	2012	0.0123	0.0066	
4	Sail	1.4	2013	0.0027	0.0066	
5	Spark_1	1.0	2015	0.0171	0.0103	

Tabla 4.17 Datos comparativos de factores de emisión para el NO

No.	Vehículo	Cilindraje (L)	Año Modelo	Ralenti	IM-240	Correlación
				gNO _x / Km	gNO _x / Km	
1	Toyota	1.8	2006	0.0165	0.1004	0.9897
2	Aveo	1.6	2011	0.0026	0.0217	
3	Spark_2	1.0	2012	0.0006	0.0013	
4	Sail	1.4	2013	0.0007	0.0168	
5	Spark_1	1.0	2015	0.0007	0.0037	

De los resultados de las tablas anteriores se puede concluir lo siguiente:

- Los coeficientes de CO y HC son positivos, pero no son iguales a uno, lo cual indica una correlación directa moderada. Por lo tanto las variables se relacionan y es necesario realizar ajustes.
- Se observan 2 vehículos (Toyota y Spark_2), cuyos factores de emisión (NO y CO) son muy altos en comparación con resto de datos, por lo tanto, para evitar distorsiones se retiran del análisis respectivo.
- Los coeficientes de NO_x son positivos muy cercanos a uno, lo que especifica una correlación directa muy fuerte. Sin embargo, sus valores en pruebas estáticas no son representativos, ya que se deben evaluar en condiciones de máxima emisión y esto sucede cuando el motor es sometido a carga.

4.6.4.3 Corrección entre los factores de emisión estático y dinámico

Con la finalidad de encontrar un valor de corrección que permita relacionar los factores de emisión estáticos y dinámicos IM-240, se calcula la diferencia para cada contaminante y vehículo, luego se determina el promedio aritmético que nos indicará el número de corrección a aplicarse (ver tabla 4.18, 4.19 y 4.20), es decir:

Diferencia: $\Delta X = FE_1 - FE_2 \rightarrow$ para igualar entre el método estático y dinámico.

Los valores señalados como diferencia son promediados para obtener el valor a aplicarse a los factores de emisión estáticos:

CO dinámico = CO estático + ΔX

HC dinámico = HC estático + ΔX

NO dinámico = NO estático + ΔX

Tabla 4.18 Diferencia de corrección entre las pruebas estáticas y dinámicas para CO

No.	Vehículo	Cilindraje (L)	Año Modelo	Ralenti	IM-240	Diferencia
				gCO / Km	gCO / Km	
1	Aveo	1.6	2011	0.0268	0.1214	0.0946
2	Sail	1.4	2013	0.1368	0.4550	0.3182
3	Spark_1	1.0	2015	0.4675	0.6766	0.2091
Promedio valor diferencia						0.2073

Tabla 4.19 Diferencia de corrección entre las pruebas estáticas y dinámicas para HC

No.	Vehículo	Cilindraje (L)	Año Modelo	Ralenti	IM-240	Diferencia
				gHC / Km	gHC / Km	
1	Aveo	1.6	2011	0.0028	0.0094	0.0066
2	Sail	1.4	2013	0.0027	0.0066	0.0039
3	Spark_1	1.0	2015	0.0171	0.0103	0.0068
Promedio valor diferencia						0.0057

Tabla 4.20 Diferencia de corrección entre las pruebas estáticas y dinámicas para NO

No.	Vehículo	Cilindraje (L)	Año Modelo	Ralenti	IM-240	Diferencia
				gNO _x / Km	gNO _x / Km	
1	Aveo	1.6	2011	0.0026	0.0217	0.0191
2	Sail	1.4	2013	0.0007	0.0168	0.0161
3	Spark_1	1.0	2015	0.0007	0.0037	0.0030
Promedio valor diferencia						0.0127

En las tablas 4.21, 4.22 y 4.23 se muestran los valores ajustados de los factores de emisión estáticos en ralenti para cada contaminante (CO, HC y NO) en comparación con los valores del ciclo dinámico IM-240.

Tabla 4.21 Datos corregidos de factores de emisión para el CO en ralenti

No.	Vehículo	Cilindraje (L)	Año Modelo	Ralenti	IM-240	Correlación
				gCO / Km	gCO / Km	
2	Aveo	1.6	2011	0.2341	0.1214	0.9220
4	Sail	1.4	2013	0.3441	0.4550	
5	Spark_1	1.0	2015	0.6748	0.6766	

Tabla 4.22 Datos corregidos de factores de emisión para el HC en ralenti

No.	Vehículo	Cilindraje (L)	Año Modelo	Ralenti	IM-240	Correlación
				gHC / Km	gHC / Km	
2	Aveo	1.6	2011	0.0085	0.0094	0.6916
4	Sail	1.4	2013	0.0084	0.0066	
5	Spark_1	1.0	2015	0.0228	0.0103	

Tabla 4.23 Datos corregidos de factores de emisión para el NO en ralenti

No.	Vehículo	Cilindraje (L)	Año Modelo	Ralenti	IM-240	Correlación
				gNO _x / Km	gNO _x / Km	
2	Aveo	1.6	2011	0.0153	0.0217	0.7354
4	Sail	1.4	2013	0.0134	0.0168	
5	Spark_1	1.0	2015	0.0134	0.0037	

4.6.4.4 Corrección entre los factores de emisión estático y dinámico

Con el objetivo de validar si el estudio desarrollado funciona para muestras aleatorias de vehículos del Distrito Metropolitano de Quito, se procede a tomar los resultados de emisiones estáticas reportadas por los Centros de Revisión vehicular como se observa en la tabla 4.24. Se analizan 3 casos aleatorios.

Tabla 4.24 Emisiones estáticas reportadas por el centro de revisión vehicular

No.	Marca	Modelo	Cilindraje	Placa	Año	CO (%Vol)	CO2 (%Vol)	HC (ppm)
1	Chevrolet	Aveo	1.6L	PCJ6147	2014	0.001	14.80	15.00
2	Chevrolet	Vitara	1.6L	PCJ6197	2014	0.020	14.75	29.00
3	Chevrolet	SZ	2.0L	PCJ6111	2015	0.040	14.75	17.00

A continuación en la tabla 4.25 se calcula los factores de emisión correspondientes al CO y HC, para lo cual se utiliza el modelo simplificado de combustión detallado en el capítulo 2. Se considera la densidad del combustible a 15°C de 748 Kg/m³ y el consumo de combustible promedio obtenido del estudio de la Secretaria de Ambiente del DMQ correspondiente al año 2013.

Tabla 4.25 Cálculo de factores de emisión estáticos de muestras aleatorias

No.	Marca	Modelo	Cilindraje	Placa	Año	Consumo (m ³ /Km)	gCO/Km	gHC/Km
1	Chevrolet	Aveo	1.6L	PCJ6147	2014	0.000081	0.008	0.018
2	Chevrolet	Vitara	1.6L	PCJ6197	2014	0.000119	0.236	0.051
3	Chevrolet	SZ	2.0L	PCJ6111	2015	0.000113	0.450	0.029

Conociendo los factores de emisión estáticos se realiza el ajuste respectivo de acuerdo al método desarrollado para obtención de los factores de emisión dinámico, se resume en la tabla 4.26:

- CO dinámico = CO estático + 0.2073
- HC dinámico = HC estático + 0.0057

Tabla 4.26 Factores de emisión ajustados

No.	Marca	Modelo	Cilindraje	Placa	Año	Consumo (m3/Km)	gCO/Km	gHC/Km
1	Chevrolet	Aveo	1.6L	PCJ6147	2014	0.000081	0.215	0.024
2	Chevrolet	Vítara	1.6L	PCJ6197	2014	0.000119	0.443	0.057
3	Chevrolet	SZ	2.0L	PCJ6111	2015	0.000113	0.657	0.034

Tabla 4.27 Factores de emisión reportados por laboratorio acreditado⁷³

No.	Marca	Modelo	Cilindraje	Placa	Año	gCO/Km	gHC/Km	HC + NOx
1	Chevrolet	Aveo	1.6L	PCJ6147	2014	0.373	0.051	0.080
2	Chevrolet	Vítara	1.6L	PCJ6197	2014	0.362	0.090	0.138
3	Chevrolet	SZ	2.0L	PCJ6111	2015	0.428	0.048	0.085

De acuerdo a las tablas 4.26 y 4.27, los valores ajustados o corregidos se comparan con los valores obtenidos en los documentos de certificación de emisiones del vehículo que corresponden a pruebas realizadas en laboratorios acreditados (IDIADA) (ver tabla 4.28 y 4.29). Se observa que los valores corregidos para el CO son superiores en un 7% en promedio respecto a los valores certificados, mientras los valores de laboratorio de HC son 70% en promedio mayores a los determinados experimentalmente.

Tabla 4.28 Comparación factores de emisión ralenti ajustado vs laboratorio_CO

No.	Vehículo	Cilindraje (L)	Año Modelo	Ralenti Ajustado	Laboratorio	Correlación	Diferencia
				gCO / Km	gCO / Km		
1	Aveo	1.6	2014	0.2150	0.3730	0.7661	1.7349
2	Vítara	1.6	2014	0.4430	0.3620		0.8172
3	SZ	2.0	2015	0.6570	0.4280		0.6514
Promedio							1.0678

⁷³IDIADA, Institute for applied automotive research, Korea, 2008

Tabla 4.29 Comparación factores de emisión ralenti ajustado vs laboratorio_HC

No.	Vehículo	Cilindraje (L)	Año Modelo	Ralenti Ajustado	Laboratorio	Correlación	Diferencia
				gHC / Km	gHC / Km		
1	Aveo	1.6	2014	0.0240	0.0510	0.9345	2.1250
2	Vitara	1.6	2014	0.0570	0.0900		1.5789
3	SZ	2.0	2015	0.0340	0.0480		1.4118
Promedio							1.7052

En definitiva, el método de corrección tiene una buena aproximación particularmente para el CO si se considera que para la selección de la muestra se tomó un margen de error cercano al 10%, adicionalmente existe la influencia de factores externos en comparación con las pruebas de laboratorio que son realizadas bajo condiciones contraladas.

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

- Al finalizar el presente estudio, se ha logrado determinar la diferencia existente entre los factores de emisión obtenidos mediante el método estático y dinámico IM-240, para los vehículos de ciclo Otto a gasolina en el Distrito Metropolitano de Quito. La diferencia de los factores de CO supera el 100%, para los HC es de 65% y para los NOx supera el 800% considerando que éstos últimos en marcha mínima de ralentí no son las emisiones totales de este contaminante.
- Los vehículos seleccionados para las pruebas experimentales, cumplen con las exigencias establecidas en la norma local NTE-INEN 2204, en lo que respecta a las emisiones estáticas y a los factores de emisión en el caso de pruebas dinámicas.
- En los resultados obtenidos de factores de emisión dinámicos se observa el decremento que existe de éstos respecto al año de fabricación de los vehículos. Esta mejora se da debido a la incorporación de nuevas tecnologías para el control de emisiones.
- Las emisiones de NOx en pruebas estáticas no son representativas, ya que su variabilidad es muy alta (99%) y se deben evaluar en condiciones de máxima emisión, lo cual sucede cuando el motor es sometido a carga.
- Para la determinación de los factores de emisión de CO, HC y NOx utilizando el modelo simplificado de combustión es necesario conocer las emisiones de CO₂; las cuales no son reportadas en los centros de revisión vehicular locales.
- Los factores de emisión de CO y HC en el ciclo dinámico IM-240 presentan mayores valores a inicios del ciclo (bajas velocidades). Mientras los NOx crecen durante la parte final del ciclo (altas velocidades)
- Dada la dificultad de obtener datos del consumo de combustible en la prueba estática, se utiliza el valor promedio del consumo determinado mediante el ciclo Quito, el cual permite obtener los factores de emisión en gramos de contaminante por cada kilómetro recorrido.

- Comparando los factores de emisión de la prueba dinámica corregida con los obtenidos en laboratorios certificados de emisiones, se evidencia que los valores de CO corregidos son superiores en un 7% en promedio respecto a los valores certificados, mientras los valores de laboratorio de HC son 70% en promedio mayores a los determinados experimentalmente. En definitiva, las emisiones dinámicas de un vehículo pueden determinarse en función de las emisiones estáticas al asociar un factor multiplicador, a excepción de los NOx.
- El método de corrección tiene una muy buena aproximación para obtener los factores de emisión bajo condiciones reales de carga (ciclo dinámico) considerando que para la selección de la muestra se tomó un margen de error cercano al 10%, adicionalmente existe la influencia de factores externos en comparación con las pruebas de laboratorio que son realizadas bajo condiciones contraladas.

5.2 RECOMENDACIONES

- Para garantizar la repetitividad y reproducibilidad de las pruebas se debe asignar un mismo conductor para los vehículos seleccionados en la experimentación; así también, descartar completamente la presencia de lluvia dado que este factor altera los parámetros de funcionamiento del automotor. Este ensayo debe realizarse a la misma hora del día, se sugiere efectuar las pruebas entre las 10:00 AM y 13:00 PM con la finalidad de que la carga de tránsito vehicular sea similar.
- Se recomienda utilizar esta metodología para la homologación de vehículos nuevos que ingresan al país, considerando que la prueba IM-240 es un ciclo en estado transitorio más acorde a la realidad en comparación con la normativa INEN que establece pruebas estáticas en estado estable.
- Es aconsejable realizar éstas pruebas de emisiones incrementando las muestras de vehículos para obtener un mejor factor de ajuste (semejante a 1) que permita obtener resultados confiables próximos a los valores reportados por laboratorios certificados.

- No se recomienda realizar el análisis del factor de correlación entre el método estático y dinámico correspondiente al NOx, ya que éstos son representativos cuando el motor es sometido a carga.
- Se sugiere utilizar para el presente estudio vehículos con recorridos menores a 5000 Km, ya que esto permitirá obtener factores de emisión representativos que puedan ser comparados con los valores establecidos en estándares o laboratorios certificados, los cuales utilizan vehículos para estas pruebas.
- Para evitar distorsión de los resultados obtenidos en las pruebas, se sugiere realizar una prueba previa de análisis de emisiones para determinar el correcto funcionamiento del catalizador y por ende una mayor confiabilidad de los resultados obtenidos. Este inconveniente se lo evidencia en los datos del vehículo Spark_2.
- Para utilizar este método se recomienda que el consumo de combustible se lo determine mediante el proceso de carga y descarga de combustible (kilómetros/galón) para todos los vehículos seleccionados en el muestreo.

5.3 BIBLIOGRAFIA

- ALBA, E., LOPEZ, J.; Desarrollo y validación de un método para determinación de factores de emisión vehicular mediante pruebas a bordo en la ciudad de Quito, Tesis EPN; octubre 2010.
- Analizador de gases, MGT5 Stand, MAHA Maschinenbau Haldenwang GmbH & Co (2014), Alemania, consultado de http://www.maha.de/cps/rde/xbcr/SID-189FCD39-924CFE14/maha/BRO_MAHA_alle_Abgastester_ES.pdf.
- Aprendamos Tecnología. Villalba Hervás. (2013). Consultado de: <https://iesvillalbahervastecnologia.files.wordpress.com/2008/04/motor.png>
- ARRIAZA, MANUEL; Guía práctica de análisis de datos; Córdova, 2006.
- BADI M., GUILLEN A.; Nociones introductorias de muestreo estadístico; International Journal; México; Junio 2011.
- BOSCH. Manual de la Técnica del Automóvil. Barcelona, Segunda Edición, Editorial. Editorial Reverté, 1999.
- BOSCH. Manual de la Técnica del Automóvil. Barcelona, Cuarta Edición, Editorial: ROBERT BOSCH GMBH, 2002
- CARDENAS E., KASLIN J.; Caracterización tecnológica del parque automotor del DMQ y propuesta para la reforma de la normativa ecuatoriana de emisiones en fuentes móviles terrestres; EPN; Quito; 2006.
- CENGEL Y, BOLES M; Termodinámica 5ta edición, MCGraw Hill México, 2006.

- Clean Air Institute; Metodologías para la estimación de emisiones de transporte urbano; Washington; 2013.
- Control de emisiones vehiculares (2014). Disponible en URL: <http://es.wikipedia.org/wiki/>
- CUSTODE R. Contaminación de Origen Vehicular. Quito – 2003
- DELPHI, Worldwide Emissions Standards, Sao Paulo-Brazil. 2014-2015. Consultado de: <http://delphi.com/docs/default-source/old-delphi-files/87b5fc76-3bbf-4568-a051-c83d1e4ad9a3-pdf.pdf?sfvrsn=1>
- DIESEL NET. (2014). Normas de emisión. Disponible en <http://www.dieselnet.com/standards/us/ld.php>
- Dinamómetro, LSP300 Stand, MAHA Maschinenbau Haldenwang GmbH & Co (2014), Alemania, consultado de Alemania, consultado de http://www.maha.de/cps/rde/xbcr/SID-2B90D560-8F7AC4B6/maha/BRO_MAHA_alle_LPS_ES.pdf.
- E-Auto. Manuales. México, (2014), Consultado de: http://e-auto.com.mx/manual_detalle.php?manual_id=244.
- Emisiones de gases de escape de vehículos, Programa autodidacto 230, Audi.
- FLORES, HUGO; Contaminación atmosférica; México DF; 1997.
- FREY H., EICHENBERGER D; Remote sensing of mobile source air pollutant emissions: Variability and Uncertainty in On-Road Emissions Estimates of Carbon Monoxide and Hydrocarbons for School and Transit Buses, North Carolina State University; June 1997.

- GEO ECUADOR 2008. Informe sobre el estado del medio ambiente. Flacso Mae Pnuma. Consultado de: <http://www.flacsoandes.edu.ec/libros/digital/41444.pdf>.
- GUEVARA., GABRIELA.; Metodología de pruebas para la evaluación de convertidores catalíticos en motores a gasolina, Tesis EPN; junio, 2010.
- Instituto Ecuatoriano de Normalización. NTE INEN 2 204:2002: Gestión Ambiental, Aire, Vehículos Automotores. Límites Permitidos de emisiones producidos por fuentes móviles terrestres de gasolina, Primera Edición, Instituto Ecuatoriano de Normalización. 2002
- Instituto Ecuatoriano de Normalización. NTE INEN 2 203:2000 Gestión Ambiental. Aire. Vehículos Automotores. Determinación de la concentración de emisiones de escape en condiciones de marcha mínima o ralentí. Prueba estática.
- Instituto Ecuatoriano de Normalización. NTE INEN 935:2012. Gasolina Requisitos. Primera Edición. Octava revisión Instituto Ecuatoriano de Normalización. 2012.
- JON BICKEL, Revisión técnica de vehículos-límites máximos permisibles de emisiones, Lima-Perú. 2011
- Manual de usuario Garmin MAP 76CX, consultado de http://www.garmin.com/garmin/webdav/site/es/users/garmines/public/manuales/manuales_outdoor/GPSmap%2076Cx%20-%20Manual%20de%20usuario.pdf
- Máquinas Térmicas, (2013). Consultado de: <http://maqterm.blogspot.com/2010/11/ciclo-diesel.html>
- Netquest - Carlos Ochoa (2013). Consultado en: <http://www.netquest.com/blog/es/que-tamano-de-muestra-necesito/>

- ÑAUNAY, JOSE; Dotación real de agua potable en edificios de instituciones públicas de la ciudad de Quito; Tesis EPN; Quito, febrero 2010.
- NGK Spark Plug. (2014). Consultado de: <http://www.ngk.de/es/tecnologia-en-detalle/sondas-lambda/aspectos-basicos-de-los-gases-de-escape/gases-de-escape-y-gases-contaminantes/>
- POKHAREL S.; BISHOP G.; Fuel-based on-road motor vehicle emissions inventory for the Denver metropolitan area, University of Denver; 2000.
- PORTILLA A., CAIZA P.; Determinación de la influencia de la altura en emisiones contaminantes de un vehículo con motor de ciclo Otto e inyección electrónica a gasolina; EPN; Quito; 2010.
- Productos Jet Clean, Liqui Moly, consultado de <http://www.liquimoly.com.uy/admin/filebrowser/upload/files/info%20tec%20productos/Manual%20Jet%20Clean%205118.pdf>.
- Resolución 61/99, Anexo I, 2001, Medición de emisiones en vehículos livianos equipados con motores ciclo otto, Argentina.
- RODRIGUEZ, LUIS; Probabilidad y estadística básica para ingenieros; Escuela Superior Politécnica del Litoral; Guayaquil; 2007.
- Secretaria de ambiente - Quito. (2013). Estudio económico y ambiental de la tecnología automotriz para el control de emisiones vehiculares. Disponible en www.quitoambiente.gob.ec
- Secretaria de Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Nación – Argentina. 2014 Ley 24449 - Resolución 61/69,(2014) Consultado de: http://www2.medioambiente.gov.ar/documentos/mlegal/aire/res61_99_anx1.pdf.

- Secretaria de Ambiente. (2014). Informe de la calidad del aire de Quito 2013. Consultado de: www.quitoambiente.gob.ec
- TORRES L, URVINA H; Determinación de los factores reales de emisión de los motores ciclo Otto en la ciudad de Quito; EPN; Quito; 2008.
- TOYOTA TECHNICAL TRAINING. EMISSION TESTING & ENHANCED I/M (2015). Consultado en:
<http://www.testroete.com/car/Toyota/mr2%20spyder/References/Technical%20Training/06%20-%20Advanced%20Emissions%20and%20Driveability/04.pdf>
- U- Cursos (201), Consultado de: https://www.u-cursos.cl/ingenieria/2005/2/ME741/1/material_docente/objeto/73315.
- ZISSIS SAMARAS, The inspection of in-use cars in order to attain minimum emissions of pollutants and optimum energy efficiency, Thessaloniki-Greece. January 1995.

ANEXOS

ANEXO A1: UBICACIÓN DEL CENTRO DE TRANSFERENCIA TECNOLOGICA PARA LA CAPACITACION E INVESTIGACION EN CONTROL DE EMISIONES VEHICULARES (CICCEV)

La ubicación del CCICEV es la siguiente:

Ciudad: Centro Norte de Quito

Altitud: 2808 msnm.

Temperatura ambiente: mínima 18 °C, máxima 25 °C.

Latitud: 0° 12' 31.80" S.

Longitud: 78° 29' 10.97" O.

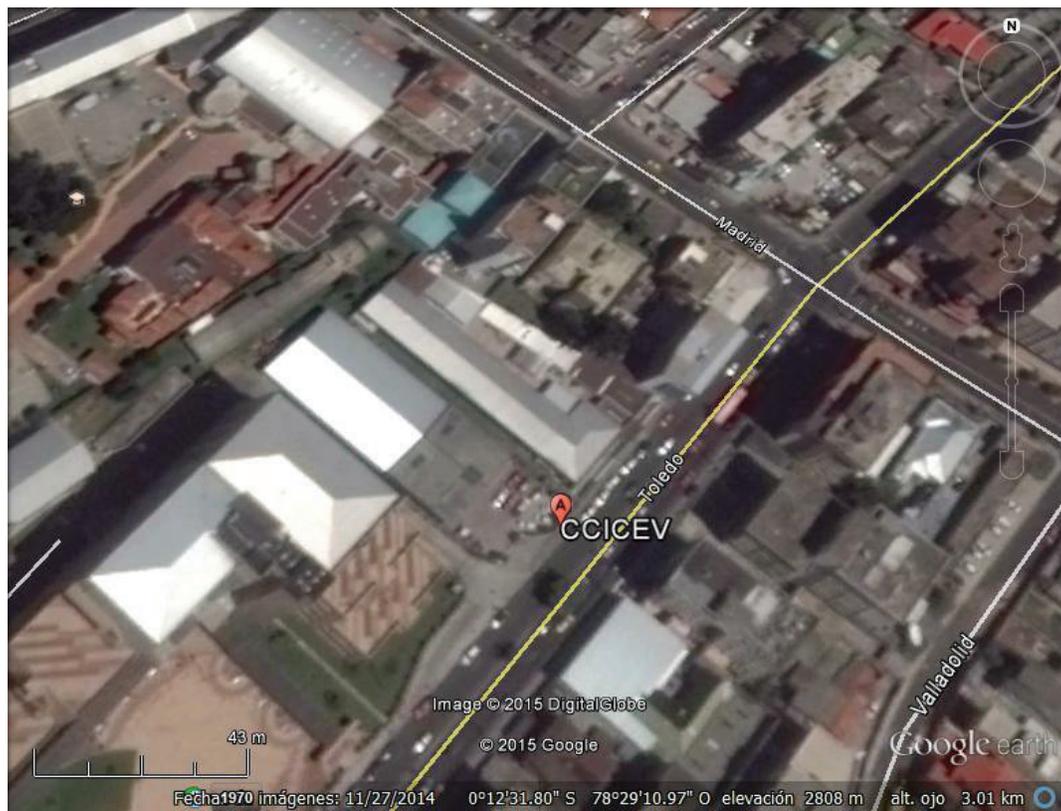


Figura A1 Ubicación CCICEV⁷⁴

⁷⁴Google Earth

ANEXO A2: ESPECIFICACIONES TECNICAS DE EQUIPOS E INSTRUMENTOS UTILIZADOS

ANEXO A2.1: EQUIPO DE MEDICION DE GASES CONTAMINANTES MAHA MGT 5

Analizador de gases para vehículos a gasolina y gas Modelo: MGT 5

- ▶ Equipo compacto e independiente apto para el empleo estacionario o móvil. Basado en la concepción del opacímetro MDO2 LON, es posible la combinación multifuncional para realizar el análisis de los gases de escape de motores de gasolina así como de motores Diesel.
- ▶ Amplio campo de aplicación: desde un sencillo e independiente aparato móvil con LED y terminal de mano, a un equipo conectado a un PC y equipado con un programa de fácil manejo.
- ▶ Equipo para la medición de vehículos con Gas GLP ó CNG
- ▶ Manejo fácil y cómodo, así como indicaciones de pantalla claras y estructuradas
- ▶ Un software inteligente facilita el uso adecuado, proporcionando a la vez todas las informaciones necesarias
- ▶ Concepto con visión de futuro, mediante la introducción de módulos de función, p.e. medición de las R.P.M., conexión de módulo E-OBD
- ▶ Módulos interfase con diversas posibilidades de conexión al PC y a la línea de pruebas
- ▶ Preparado para ASA /Eurosystem, Citrix
- ▶ Posibilidad de medición del NOx
- ▶ Aparato universal útil para la medición de los gases de escape de motores a gasolina
- ▶ Posibilidad de conexión a base de datos de vehículos (Opción)



Filtro de carbón activo y sensores electroquímicos de oxígeno y NOx (Opción) Módulo de RPM. Todos los componentes son de fácil acceso



Nuevo filtro con separador de agua. La condensación se elimina automáticamente.



Módulo de comunicación E-OBD

Accesorios



Diversas posibilidades de captación de RPM y temperatura de aceite para diversos tipos de autos



Terminal de mano



Transcurso del ensayo. Toda la información en una pantalla



Kit para OBD

Campo de Aplicación



Medición en automóviles

ANEXO A2.2: DATOS TECNICOS MAHA MGT 5

Datos técnicos					
MGT 5					
Campo de aplicación	Medición de gases de escape móvil o fija en procedimiento de corriente parcial con carga parcial en motores Otto de gasolina o gas				
Gases analizables	CO	CO ₂	HC	O ₂	NO Opción
Alcance de medición	0 – 15,0 Vol %	0 – 20,0 Vol %	0 – 2000 ppm Vol (Hexano) 0 – 4000 ppm Vol (Propano)	0 – 25,0 Vol %	0 – 5000 ppm Vol
Exactitud de medición *	0,03 Vol %	0,5 Vol %	10 ppm Vol	0,1 Vol %	32 – 120 ppm Vol **
Resolución de datos (máx.)	0,001 Vol %	0,01 Vol %	0,1 ppm Vol	0,01 Vol %	1 ppm Vol
Principio de medición	Infrarrojos	Infrarrojos	Infrarrojos	Electroquím.	Electroquím.
Deriva del margen de medición	inferior a ±0,6 % del valor final del alcance				
Valor Lambda	margen indicador: 0,500 – 9,999 • resolución: 0,001 • calculado según Brettschneider				
Pre calentamiento	mín. 30 sec, máx.10 minutos, media 2,5 min • termoregulado				
Cantidad total de flujo	máx. 3,5 l/min • mín. 1,5 l/min				
Caudal - gas de medición	máx. 2,5 l/min • bomba de membrana				
Caudal - condensado	máx. 1 l/min • derivación permanente y automática mediante bomba separada				
Separación - condensado	sistema separador de agua con plaviómetro				
Presión de servicio	750 – 1100 mbar				
Fluctuación de la presión	máx. errores 0,2 % con fluctuaciones de 5 kPa				
Alimentación	85 – 280 V • 50 Hz • 65 W /12 – 24 V DC				
Temperatura de servicio	+5 ° – +45 °C • tolerancia ± 2 °C				
Temperatura de almacenaje	-10 ° – +60 °C • tolerancia ± 2 °C				
Comprobación hermeticidad	mediante menú • diaria				
Test de residuos HC	automático				
Balance de cero	automático • por filtro de carbón activado				
Calibración	mediante PC • gas especial de calibración imprescindible				
Intervalo de calibración	según normas vigentes en cada país				
Interfases (opción)	LON • OBD • USB				
Dimensiones	560 x 240 x 300 mm				
Peso	aprox. 10 kg				
Cuentarrevoluciones (opción)	100 – 10 000 rpm • resolución ww. 1, 5, 10, 50 rpm • sensores diversos				
Termómetro de aceite (opción)	+0 ° – +150 °C • resolución 1 °C				
Tipo de precisión	PTB: clase 1 • OIML: clase 0				
* absoluto, o 5% del valor medido, cuenta el valor superior ** dependiendo del campo de medición					

ANEXO A2.3: DINAMOMETRO DE CHASIS LPS 3000



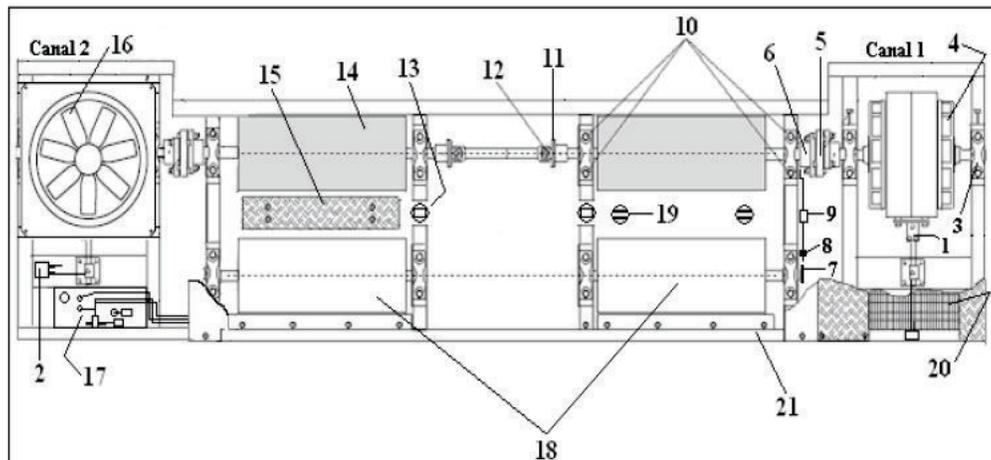
Juegos de rodillos de la serie R200

Los juegos de rodillos del LPS 3000 se componen de un bastidor autoportante con recubrimiento de polvo y rodillos metalizados con la llama.

El juego de rodillos para el LPS 3000 está disponible en diferentes versiones:

Juego de rodillos	Vehículos de ensayo	Comentario
R200/1	Coches/Camiones/Furgonetas/Buses	Juego de rodillos cerrado
R200/1	Coches/Camiones/Furgonetas/Buses	Juego de rodillos cerrado con frenos reforzados
R200/2	Coches/Camiones/Furgonetas/Buses	Juego de rodillos dividido
R200/2	Coches/Camiones/Furgonetas/Buses	Juego de rodillos dividido con frenos reforzados

Juego de rodillos	R200/1	R200/1 reforzado	R200/2	R200/2 reforzado
Carga sobre el eje	15 t	15 t	15 t	15 t
Longitud [mm]	4550	4550	2260 por rodillo	2260 por rodillo
Ancho [mm]	1100	1100	1100	1100
Altura [mm]	625	625	865	865
Peso	aprox. 2350 kg	aprox. 2410 kg	aprox. 1250 kg por rodillo	aprox. 1310 kg por rodillo
Longitud de rodillo	900 mm	900 mm	900 mm	900 mm
Vía min.	820 mm	820 mm	1000 mm	1000 mm
Vía max.	2620 mm	2620 mm	2800 mm	2800 mm
Diámetro mínimo de rueda para ensayar	12"	12"	12"	12"
Diámetro rodillo	318 mm	318 mm	318 mm	318 mm
Distancia entre rodillos	565 mm	565 mm	565 mm	565 mm
Sobreelevación rodillo	45 mm	45 mm	--	--
Sistema de elevación con bloqueo de rodillos				
Neumática				
Hidráulica	x	x	x	x
Datos eléctricos				
Datos corr. parásita	2 x 200 kW	2 x 330 kW	2 x 200 kW	2 x 330 kW
Alimentación	400 V / 50 Hz			
Protección por fusible	35 A lento	63 A lento	35 A lento	63 A lento
Campo de indicación				
Velocidad de ensayo	max. 200 km/h	max. 200 km/h	max. 200 km/h	max. 200 km/h
Potencia rueda	30 - max. 400 kW	30 - max. 660 kW	30 - max. 400 kW	30 - max. 660 kW
Fuerza de tracción	max. 15 kN	max. 25 kN	max. 15 kN	max. 25 kN
Núm. de revoluciones	10 - 10 000 rpm			
Presición de medición	± 2 % del valor de medición	± 2 % del valor de medición	± 2 % del valor de medición	± 2 % del valor de medición



Gases analizables	CO	CO ₂	HC	O ₂	NO _x
Rango de medición	0 - 15,00 Vol %	0 - 20,0 Vol %	0 - 2000 ppm (Hexano) 0 - 4000 ppm Propano	0 - 25,00 Vol %	0 - 5000 ppm Vol
Precisión de medida	0,06 Vol %	0,5 Vol %	12 ppm vol	0,1 Vol %	32 - 120 ppm vol según rango de medición
Principio de medida	infrarrojo	infrarrojo	infrarrojo	electro- químico	electro- químico
Resolución valores de med.	0,001 Vol %	0,01 Vol %	0,1 ppm vol	0,01 Vol %	1 ppm vol
Deriva del rango de med.	inferior a ± 0,6 % del valor final del rango de medición				
Fase de precalentamiento	min. 30 minutos, máx. 10 minutos • regulado por temperatura				
Nivel de electricidad para mediciones de gas	3 l/min				
Nivel de electricidad	automática, continuada •aprox.1 l/min				
Presión de servicio	750 - 1100 mbar				
Variación de la presión	máx. Error 0,2% para variaciones de 5 kPascal				
Alimentación d. corriente	85 V - 280 V • 50 Hz • 65 W o Cable de alimentación con conexión a 10 - 42 V CC con Pinzas de apriete y diodo como protección contra polarización inversa 5 m; (batería vehículo, opcional)				
Cuentarrevoluciones p. inducción	0 - 10000 /min-1 •Resolución 1,5,10,o 50 RPM				
Temperatura de servicio	+5°C - +45°C • Desviación ±2°C				
Temperatura de almacenaje	-10°C - +60°C • Desviación±2°C				
Termómetro del aceite	+0° - +150°C •Resolución 1				
Prueba de hermeticidad	guiada por menú, 1x al día				
Prueba de HC residuales	automático				
Ajuste a cero	automático				
Calibración	Semestralmente (se necesita gas de prueba específico)				



ANEXO A2.4: EQUIPO DE MEDICION DE CONSUMO DE COMBUSTIBLE

JetClean^{PLUS}

Description

1. Generalidades

El aparato *JetClean* se ha desarrollado para la limpieza de sistemas de inyección en motores de gasolina y motores Diesel. Mediante un cambio de los tubos flexibles de empalme es posible acoplar el aparato *JetClean* a todos los sistemas de inyección. Para el empleo del aparato, es absolutamente necesario observar los apartados 4. Indicaciones sobre seguridad y 5. Puesta en servicio.

2. Datos técnicos, equipo

2.1 Datos técnicos

Cantidad de llenado máxima:	5 litros
Contenido total del depósito:	7 litros
Sobrepresión admisible de servicio:	7 bares
Peso de la unidad de embalaje:	4,5 kg

Dispositivos de seguridad: válvula de seguridad
manómetro
válvula de descarga de presión
protección contra retorno de llamas

3. Montaje

El aparato está preparado para el servicio, exceptuando el montaje del cable de puesta a tierra y del correspondiente tubo flexible de empalme (véase el apartado 5 Puesta en servicio).

4. Indicaciones sobre seguridad

El combustible de gasolineras y los líquidos detergentes son muy inflamables y perjudiciales para la salud. En el uso del aparato se deben observar las indicaciones sobre riesgos y los consejos de seguridad referentes a los correspondientes líquidos detergentes.

Guardar el aparato en un lugar bien ventilado, mantenerlo alejado de fuentes de encendido – no fumar, mantenerlo alejado de sustancias combustibles. El contenido no se debe enviar al alcantarillado.

Evitar las cargas electrostáticas efectuando una puesta a tierra (véase el apartado 5 Puesta en servicio).

En caso de incendio, emplear productos de extinción de la clase B (polvo, halón, espuma, CO₂, lightwater); no utilizar agua.

Observar las ordenanzas sobre líquidos inflamables (VbF), apéndice 2, "Recipientes desplazables" así como directivas para eyectores de líquidos (ZH 1/406).

¡Atención! Si el aparato *JetClean* se somete a presión a través del empalme para compresor externo, la presión de carga del compresor no debe exceder de 7 bares. Observar la identificación en nuestros productos.

Es preciso asegurar que fuera del servicio las tuberías flexibles y sus empalmes no se ensucien.

Observación de la presión en el manómetro

Al someter a presión el aparato *JetClean*, se debe observar la indicación del manómetro. Presión máx. 7 bares.

Funcionamiento de la válvula de seguridad

En caso de un exceso de presión > 7 bares, se abre automáticamente la válvula de seguridad que se encuentra por debajo de la cubierta.

Objeto y efecto de la protección contra retorno de llamas

Cuando el aparato está abierto salen del depósito gases fácilmente inflamables. Si se da el caso de que estos gases se encienden, la protección contra retorno de llamas impide que éstas vuelvan al depósito. Esta protección debe cerrar automáticamente la abertura del depósito cuando se retira la bomba. Antes de cada puesta en servicio, se debe comprobar el aparato, incluyendo la válvula de seguridad.

5. Puesta en servicio

5.1 Conectar a tierra el aparato

Conectar a tierra el aparato con el cable que se adjunta o con un cable de puesta a tierra corriente en el comercio. Para ello, unir firmemente el extremo del cable con la lengüeta de latón situada en la salida del tubo flexible.

5.2 Llenar el aparato *JetClean*

Desenroscar la bomba de mano con su empuñadura en posición introducida, girando a la izquierda.

Cerrar las válvulas de cierre en los tubos flexibles de empalme

- Llenar el depósito con Benzin-System-Intensiv-Reiniger (detergente intensivo para sistemas de gasolina), No. Art. 5151 (bidón, 5 l), o bien
- llenar el depósito con Benzin-System-Intensiv-Konzentrat (concentrado intensivo para sistemas de gasolina), No. Art. 5152 (500 ml) y 4,5 l de combustible sin plomo.
- Llenar el depósito con, máximo, 5 l de Diesel-System-Reiniger (detergente para sistemas Diesel), No. Art. 5154, o bien
- llenar el depósito con, máximo, 5 l de Diesel-Spülung (producto de lavado para Diesel), No. Art. 5170.

Atención: Antes de cambiar de detergente para gasolina a detergente para Diesel, o viceversa, el depósito se debe limpiar como se indica en el apartado 5.2.1.

Colocar la bomba de mano y enroscarla.

En vehículos con motor de gasolina, ir accionando la bomba hasta que se haya alcanzado la presión requerida del sistema. Encastrar luego la empuñadura de la bomba.

Si se utiliza el empalme para compresor, se deberá observar lo siguiente:

- Presión de carga del compresor o abastecimiento de aire comprimido: máx. 7 bares.
- Antes de llenar con aire comprimido, prestar atención a que la empuñadura de la bomba esté en posición encastrada.
- El inserto de la válvula de retención en el empalme para compresor no se debe quitar al llenar con aire comprimido.

5.2.1 Limpieza del depósito

Si después de la limpieza de un vehículo con motor de gasolina se quiere limpiar un vehículo con motor Diesel, o viceversa, será preciso previamente limpiar el depósito del aparato *JetClean* con Liqui Moly "*JetClean-Geräte-Reiniger*" (detergente para aparatos *JetClean*), No. Art. 5117.

Para ello se procede como sigue:

- Para vaciar los restos de detergente que eventualmente hayan quedado en el depósito se precisa una presión en el depósito de aprox. 0,5 bares.

- Unir el tubo flexible de empalme 7870 con la tubería flexible inferior 7865 del aparato *JetClean*. Introducir este tubo flexible en un recipiente apropiado (bidón) y abrir con cuidado la llave de bola 7860. Una vez vaciado el depósito, se debe volver a cerrar la válvula de bola.
- Limpiar el depósito. Para ello, evacuar la presión residual del depósito accionando brevemente la válvula de venteo 7859. Desenroscar la bomba con cuidado girando a la izquierda y retirarla. Llenar después 0,5 l de Liqui Moly "*JetClean-Reiniger*" (detergente para *JetClean*) en el depósito y volver a enroscar la bomba.

Remover el aparato *JetClean* y volver luego a vaciar el depósito.

5.3 Empalme a sistemas de inyección de gasolina

Desconectar eléctricamente la bomba de combustible (fusible, relé o conexión eléctrica).

Retirar la tubería de afluencia de combustible por un lugar apropiado, como p. ej. distribuidor de caudal, tubo de distribución o unidad de inyección centralizada (véanse ejemplos de empalmes A, figuras 1, 2, 3, 4).

Seleccionar el tubo flexible de empalme conforme al sistema de inyección y unirlo en el punto de separación A con el componente correspondiente (según el sistema de inyección).

Desempalmar la tubería de retorno y cerrarla (véase ejemplo de empalme B, figuras 1, 2, 3, 4).

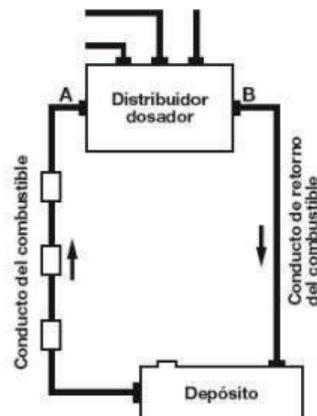
Indicación:

En algunos modelos de vehículos, al desconectar eléctricamente la bomba de combustible la corriente de encendido se corta.

En tales sistemas, no desconectar la bomba de combustible, sino unir entre sí la tubería de afluencia de combustible proveniente del depósito de combustible con la tubería de retorno al depósito (establecer un circuito de combustible).

Empalme a sistemas de inyección de gasolina

Aplicación K-Jetronic



ANEXO A3: ESPECIFICACIONES DE LA GASOLINA EXTRA

REQUISITOS DE LA GASOLINA DE 87 OCTANOS (RON)				
REQUISITOS	UNIDAD	Mínimo	Máximo	Método de ensayo
Número de octano Research	RON ¹	87	-	NTE INEN 2102
Destilación	°C	--	70	NTE INEN 926
10%	°C	77	121	
50%	°C	--	189	
90%	°C	--	215	
Punto final ²	%	--	2	
Residuo de destilación	--	--	2	
Relación vapor líquida a 60°C, V/L		--	20	NTE INEN 932 ASTM D5 188
Presión de vapor	kPa ^A	--	60 ^B	NTE INEN 928 ^C ASTM D5 4953 ASTM D5 5191 ^D
Corrosión a la lámina de cobre (3h a 50°C)	--	--	1	NTE INEN 927
Contenido de gomas	mg/100cm ³	--	3.0	NTE INEN 933
Contenido de azufre	Ppm	--	650	NTE INEN 929 ASTM D4 294 ^D
Contenido de aromáticos	%	--	30	NTE INEN 2252 ^E ASTM D6730
Contenido de benceno	%	--	1.0	ASTM D 3606 ^F ASTM D 5580 ^D ASTM D 6277 ASTM D 6730
Contenido de olefinas	%	--	18.0	NTE INEN 2252 ^E ASTM D 6730
Estabilidad a la oxidación	Min	240	--	NTE INEN 934 ^D ASTM D7525
Contenido de oxígeno. Wa2	%	--	2,7 ^G	ASTM D 4815 ^D ASTM D 5845 ASTM D 6730
Contenido de plomo	mg/l	--	No detectado ^{H,I}	ASTM D 3237 ASTM D 5185
Contenido de manganeso	mg/l	--	No detectado ^{H,I}	ASTM D 3831 ASTM D 5185
Contenido de hierro	mg/l	--	No detectado ^{H,I}	ASTM D 5185

^A 1kPa=0,01kgf/cm²=0,1N/cm²=0,145kgf/cm²

^B En el caso que las gasolinas contengan etanol anhidro la presión de vapor puede llegar hasta 62kPa

^C Método de ensayo utilizado para combustible gasolina sin etanol.

^D Este método es considerado el método dirimente para los casos de arbitraje o peritación

^E Este método es considerado el método dirimente para los casos de arbitraje o peritación

^F Es equivalente en masa de etanol anhidro agregado a la mezcla

^G Sin adición intencional

^H No detectable de acuerdo al método de ensayo ASTM D 3237

^I No detectable de acuerdo al método de ensayo ASTM D 3831

^J No detectable de acuerdo al método de ensayo ASTM D 3237

□ Porcentaje en volumen

W Porcentaje en masa

ANEXO A4: EJEMPLO DE CÁLCULO DE FACTORES DE EMISIÓN

Las fórmulas utilizadas para la determinación de los factores de emisión de CO, HC y NO son las descritas en el capítulo 2. A manera de ejemplo se realizará el cálculo del factor de emisión en el ciclo estático y dinámico IM-240 para el CO del Chevrolet Sail:

$$EF_{CO} = \frac{g_{CO}}{Km} = \frac{28 \frac{\%CO}{\%CO_2}}{\frac{\%CO}{\%CO_2} + \left(3 \frac{\%HC}{\%CO_2}\right) + 1} * \frac{\delta_{Fuel} * FC}{0.01425}$$

Datos:

- Densidad combustible (δ_{Fuel}): 748 Kg/m³
- Consumo combustible (FC): 14.74 Km/L = 0.0678 L/Km = 0.0679 x 10⁻³ m³/Km
- %CO: 0.020 (estático ralentí) ; 0.06 (dinámico IM-240)
- ppm HC: 2.67 (estático ralentí) ; 6.08 (dinámico IM-240)
- %CO₂: 14.57 (estático ralentí) ; 13.96 (dinámico IM-240)

Estático ralentí:

$$EF_{CO} = \frac{g_{CO}}{Km} = \frac{28 \frac{0.02}{14.57}}{\frac{0.02}{14.57} + \left(3 \frac{2.67/10000}{14.57}\right) + 1} * \frac{748 * 0.0679 \times 10^{-3}}{0.01425}$$

$$EF_{CO} = \frac{g_{CO}}{Km} = \frac{0.03844}{0.001373 + (1.000055)} * 3.5642$$

$$EF_{CO} = \frac{g_{CO}}{Km} = 0.136$$

Dinámico IM-240:

$$EF_{CO} = \frac{g_{CO}}{Km} = \frac{28 \frac{0.06}{13.96}}{\frac{0.06}{13.96} + \left(3 \frac{6.08/10000}{13.96}\right) + 1} * \frac{748 * 0.0678 \times 10^{-3}}{0.01425}$$

$$EF_{CO} = \frac{g_{CO}}{Km} = \frac{0.127}{0.004297 + (1.00013)} * 3.5642$$

$$EF_{CO} = \frac{g_{CO}}{Km} = 0.455$$

ANEXO A5: DATOS DE EMISIONES OBTENIDOS DE LAS PRUEBAS PRÁCTICAS

ANEXO A5.1: PRUEBAS ESTATICAS A RALENTI

No.	Vehículo	Cilindraje (L)	Año	RPM	Toil (°C)	CO (% Vol)	CO ₂ (% Vol)	HC (ppm)	O ₂ (% Vol)	NO _x (ppm)	Lambda
1	Spark_1	1.0	2015	800	95	0.06	15.00	9.00	0.03	0	0.999
				790	94	0.08	14.90	23.00	0.01	1	0.997
				800	94	0.09	14.90	24.00	0.01	2	0.996
2	Spark_2	1.0	2012	810	95	0.19	15.00	8.00	0.05	0	0.996
				790	95	0.48	15.00	7.00	0.00	1	0.986
				770	95	0.70	14.60	26.00	0.00	2	0.952
3	Sail	1.4	2013	800	95	0.00	14.60	2.00	0.70	1	1.033
				810	94	0.04	14.50	2.00	0.70	1	1.032
				800	95	0.02	14.60	4.00	0.68	1	1.031
4	Aveo	1.6	2011	820	94	0.00	14.80	2.00	0.19	3	1.008
				820	94	0.00	14.80	2.00	0.20	3	1.009
				850	95	0.01	14.80	3.00	0.16	3	1.007
5	Toyota	1.8	2006	850	95	0.00	14.70	11.00	0.44	5	1.020
				850	95	0.00	14.30	13.00	1.24	41	1.060
				990	97	0.00	14.80	11.00	0.39	13	1.018

ANEXO A5.2: PRUEBAS ESTATICAS A 2,500 RPM

No.	Vehículo	Cilindraje (L)	Año	RPM	Toil (°C)	CO (% Vol)	CO ₂ (% Vol)	HC (ppm)	O ₂ (% Vol)	NO _x (ppm)	Lambda
1	Spark_1	1.0	2015	2470	95	0.03	14.80	11.00	0.05	0	1.000
				2500	95	0.03	14.90	26.00	0.01	1	0.998
				2470	95	0.04	14.90	28.00	0.01	2	0.998
2	Spark_2	1.0	2012	2460	95	0.06	14.70	2.00	0.17	1	1.006
				2540	95	0.02	15.00	3.00	0.00	1	0.999
				2420	95	0.03	14.80	4.00	0.00	2	0.999
3	Sail	1.4	2013	2540	95	0.00	14.90	6.00	0.24	3	1.010
				2470	95	0.00	15.00	2.00	0.10	1	1.004
				2500	95	0.00	15.00	6.00	0.17	3	1.007
4	Aveo	1.6	2011	2360	95	0.00	15.00	4.00	0.02	1	1.000
				2450	95	0.00	14.90	1.00	0.15	3	1.006
				2420	97	0.00	14.90	5.00	0.08	4	1.003
5	Toyota	1.8	2006	2530	95	0.00	14.80	12.00	0.27	35	1.012
				2480	95	0.00	14.70	15.00	0.32	52	1.014
				2470	95	0.00	14.80	14.00	0.19	43	1.008

ANEXO A5.3: GRAFICOS PRUEBAS DINAMICAS CHEVROLET SPARK_1

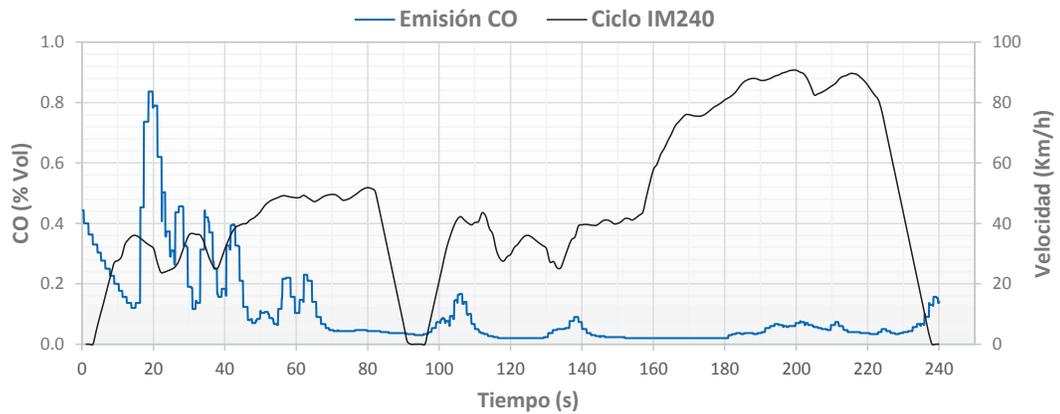


Figura No. A5.1 Emisiones de CO_Spark1 en ciclo dinámico IM-240

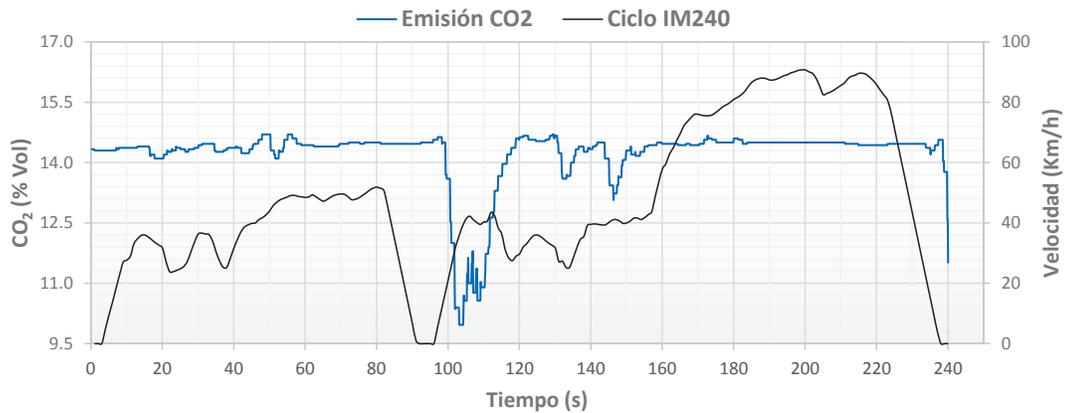


Figura No. A5.2 Emisiones de CO₂_Spark1 en ciclo dinámico IM-240

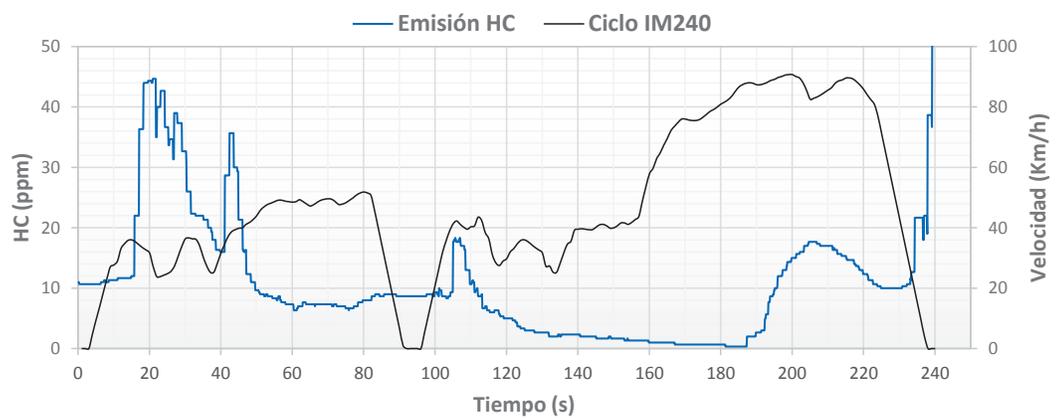


Figura No. A5.3 Emisiones de HC_Spark1 en ciclo dinámico IM-240

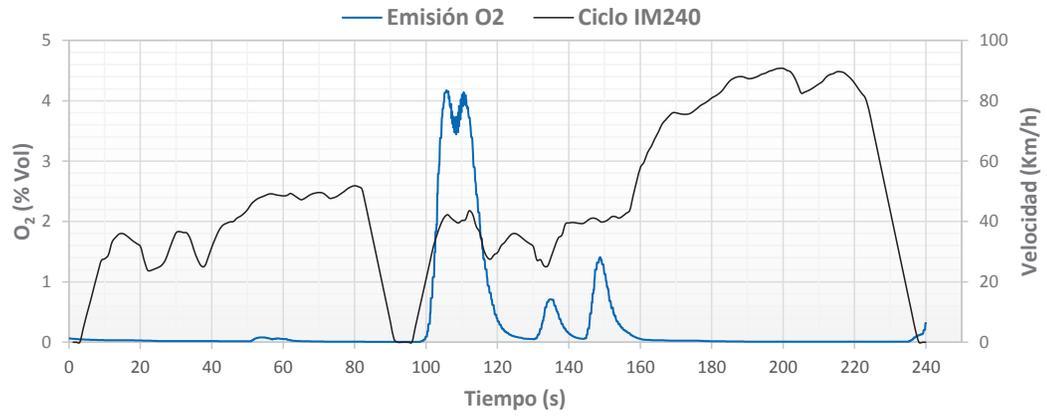


Figura No. A5.4 Emisiones de O₂_Spark1 en ciclo dinámico IM-240

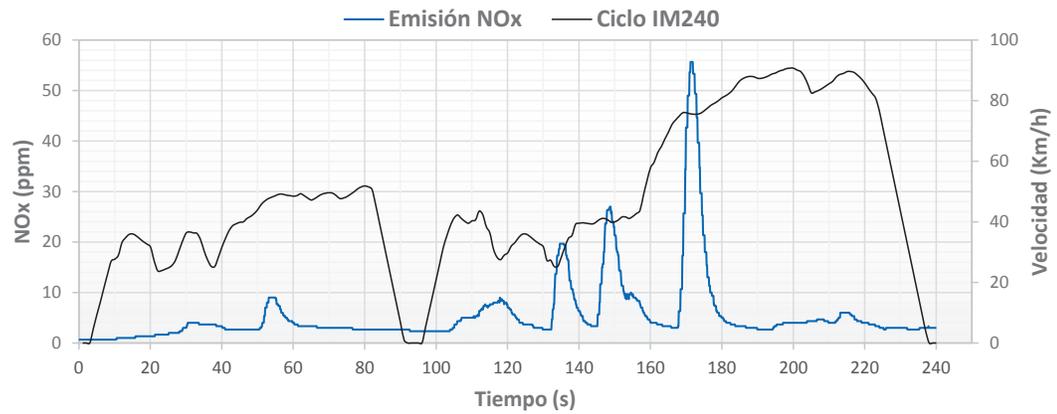


Figura No. A5.5 Emisiones de NO_x_Spark1 en ciclo dinámico IM-240

ANEXO A5.4: GRAFICOS PRUEBAS DINAMICAS CHEVROLET SPARK_2

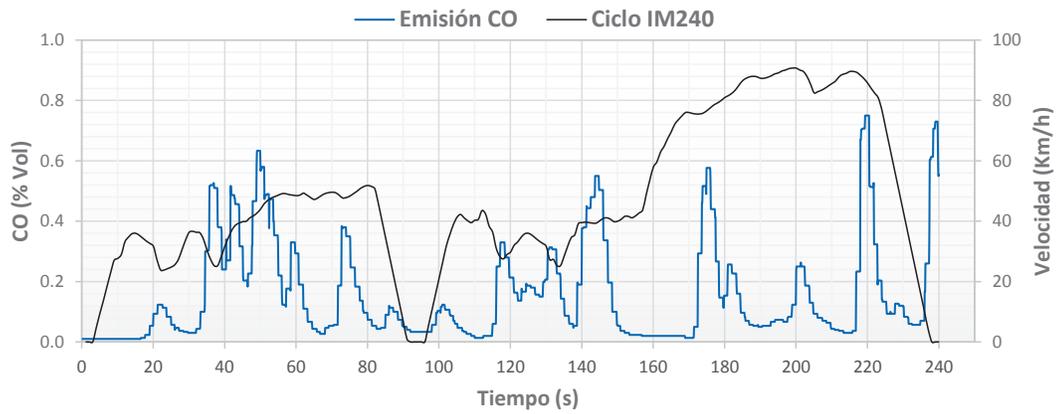


Figura No. A5.6 Emisiones de CO_Spark2 en ciclo dinámico IM-240

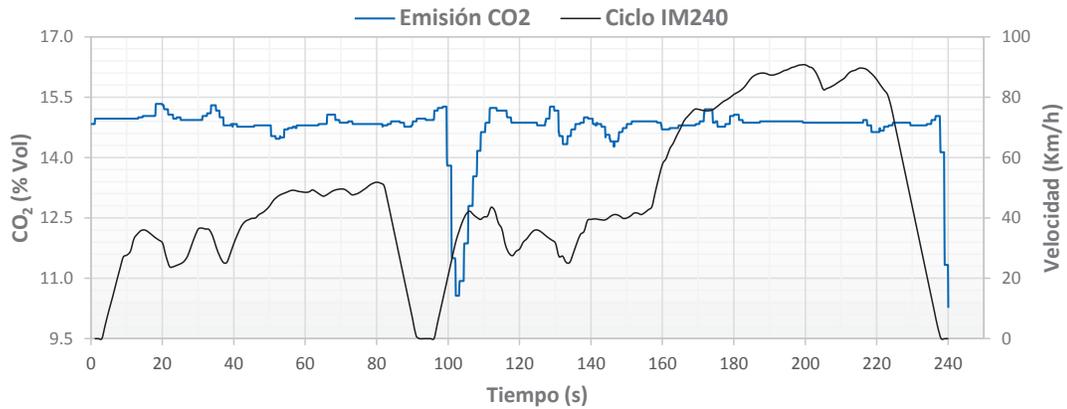


Figura No. A5.7 Emisiones de CO₂_Spark2 en ciclo dinámico IM-240

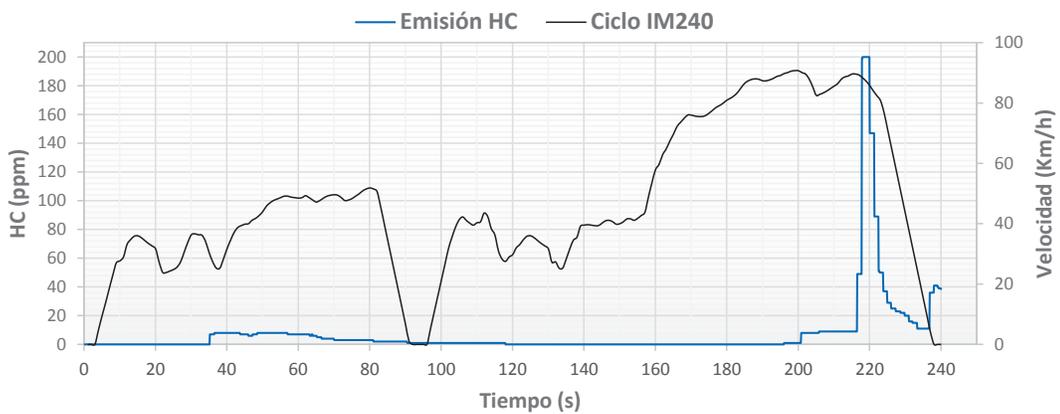


Figura No. A5.8 Emisiones de HC_Spark2 en ciclo dinámico IM-240

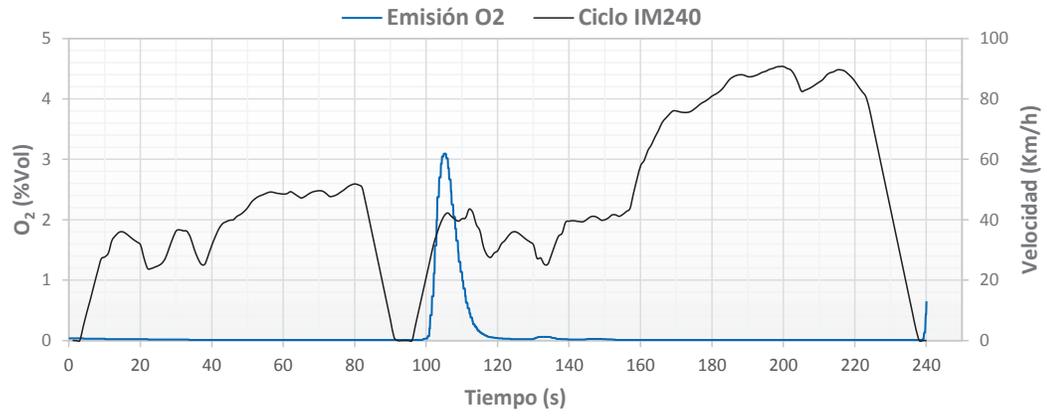


Figura No. A5.9 Emisiones de O₂_Spark2 en ciclo dinámico IM-240

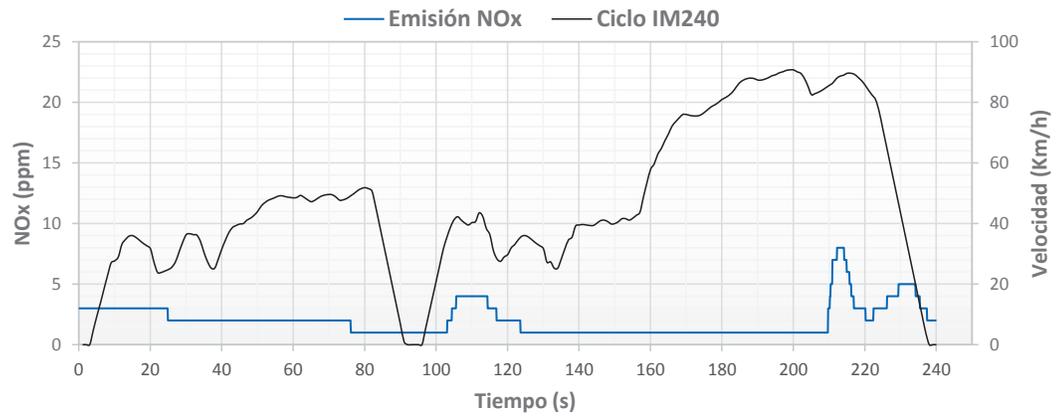


Figura No. A5.10 Emisiones de NO_x_Spark2 en ciclo dinámico IM-240

ANEXO A5.5: GRAFICOS PRUEBAS DINAMICAS CHEVROLET SAIL

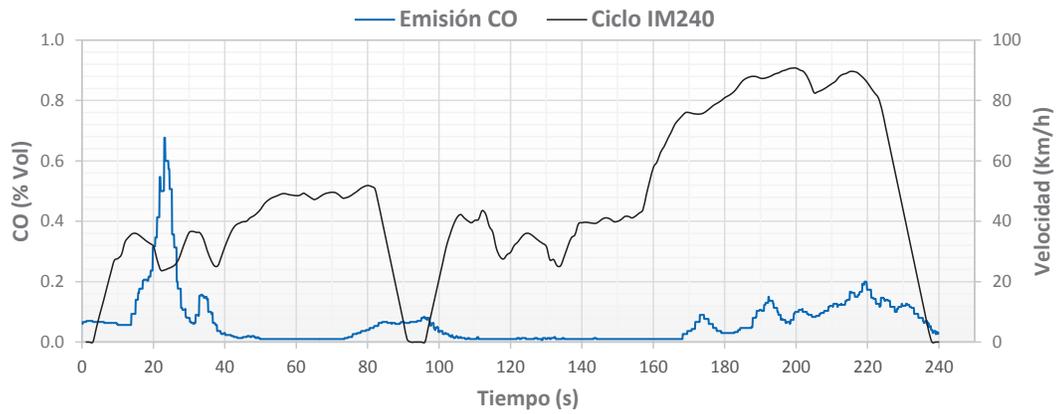


Figura No. A5.11 Emisiones de CO_Sail en ciclo dinámico IM-240

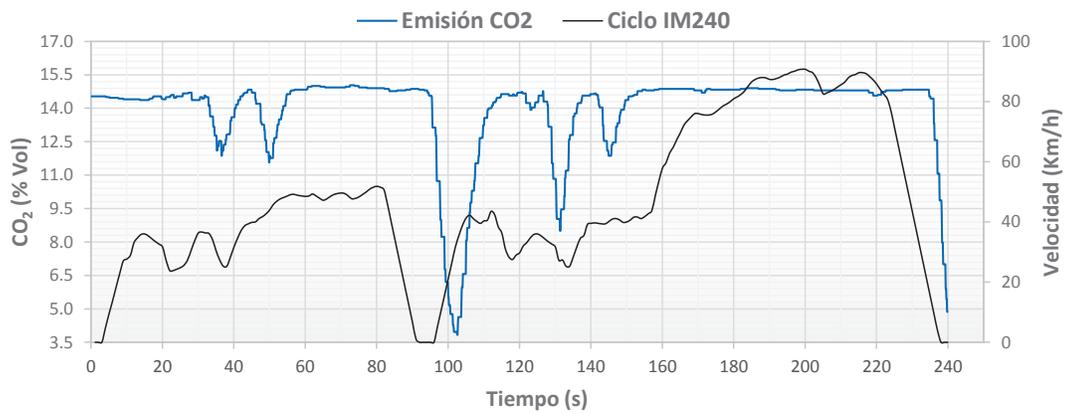


Figura No. A5.12 Emisiones de CO₂_Sail en ciclo dinámico IM-240

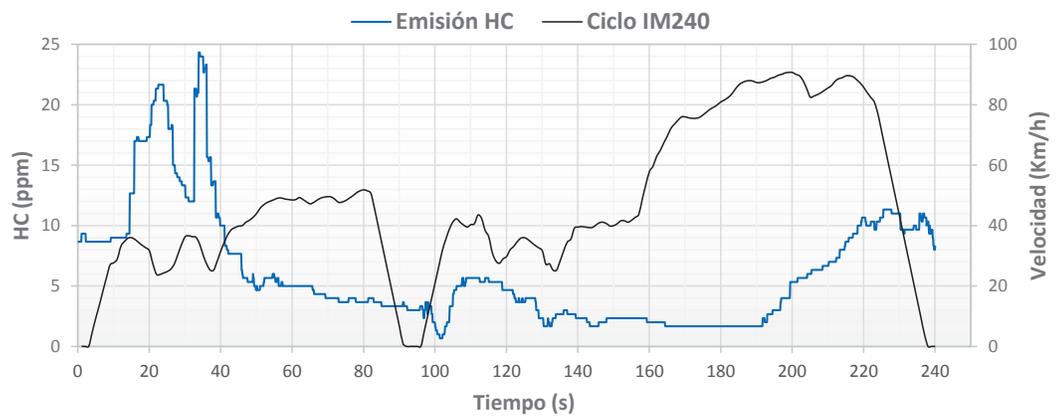


Figura No. A5.13 Emisiones de HC_Sail en ciclo dinámico IM-240

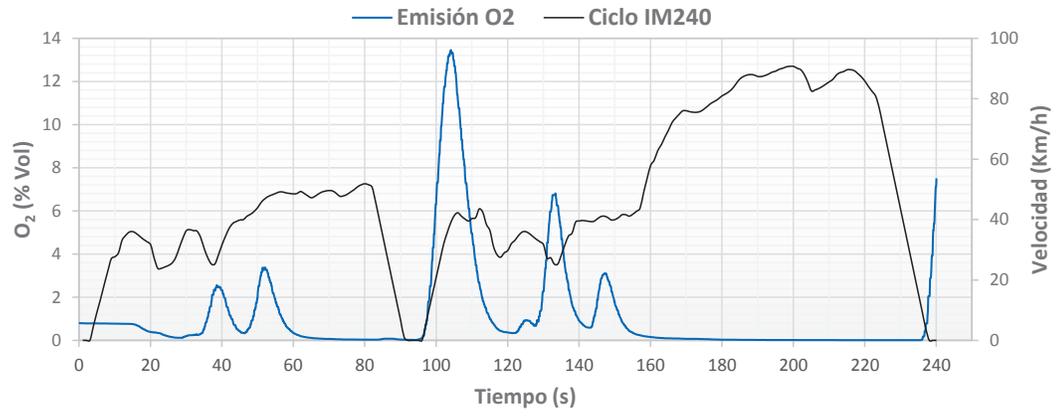


Figura No. A5.14 Emisiones de O₂_Sail en ciclo dinámico IM-240

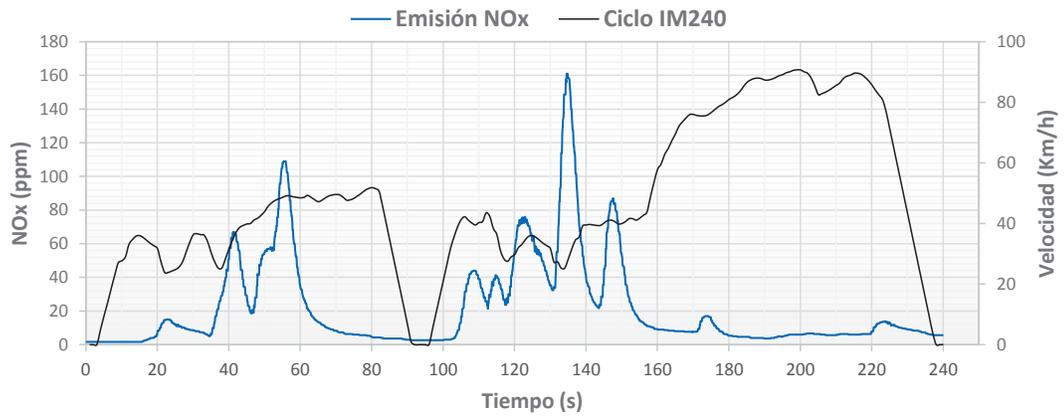


Figura No. A5.15 Emisiones de NO_x_Sail en ciclo dinámico IM-240

ANEXO A5.6: GRAFICOS PRUEBAS DINAMICAS CHEVROLET AVEO

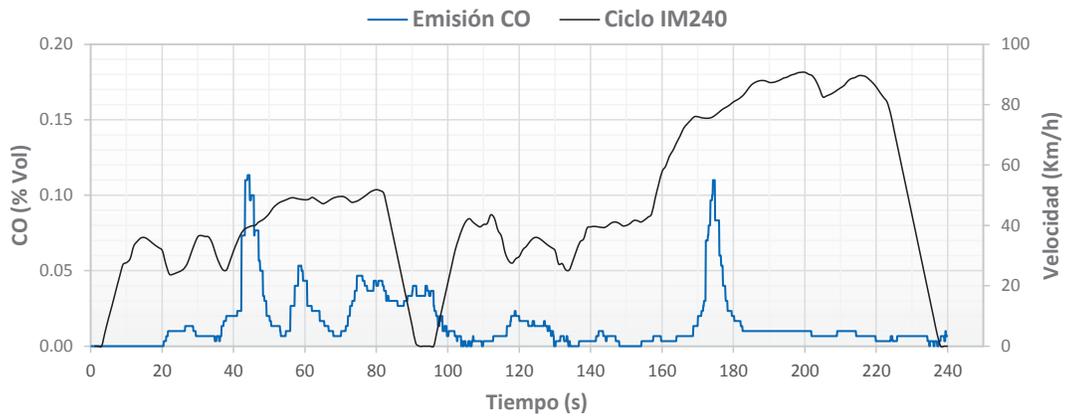


Figura No. A5.16 Emisiones de CO_Aveo en ciclo dinámico IM-240

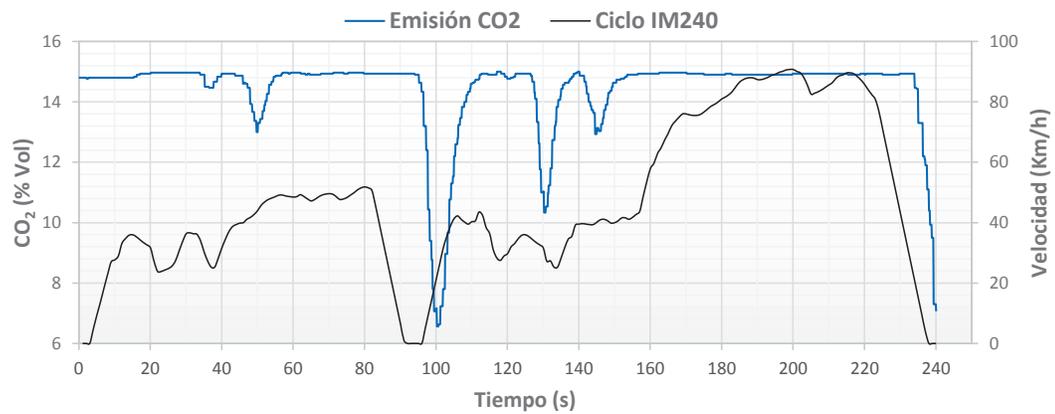


Figura No. A5.17 Emisiones de CO₂_Aveo en ciclo dinámico IM-240

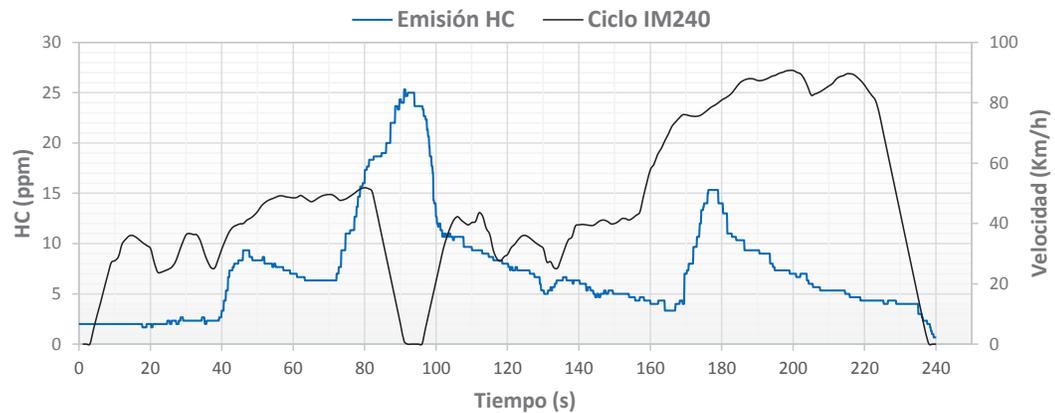


Figura No. A5.18 Emisiones de HC_Aveo en ciclo dinámico IM-240

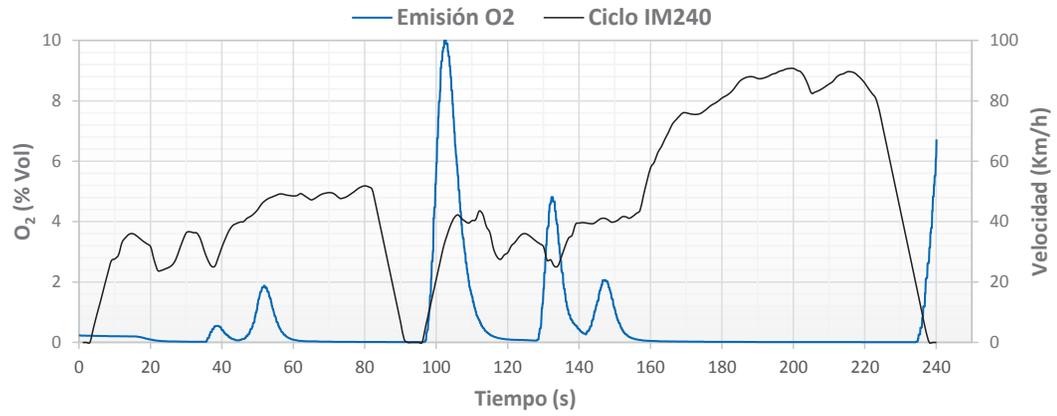


Figura No. A5.19 Emisiones de O₂_Aveo en ciclo dinámico IM-240

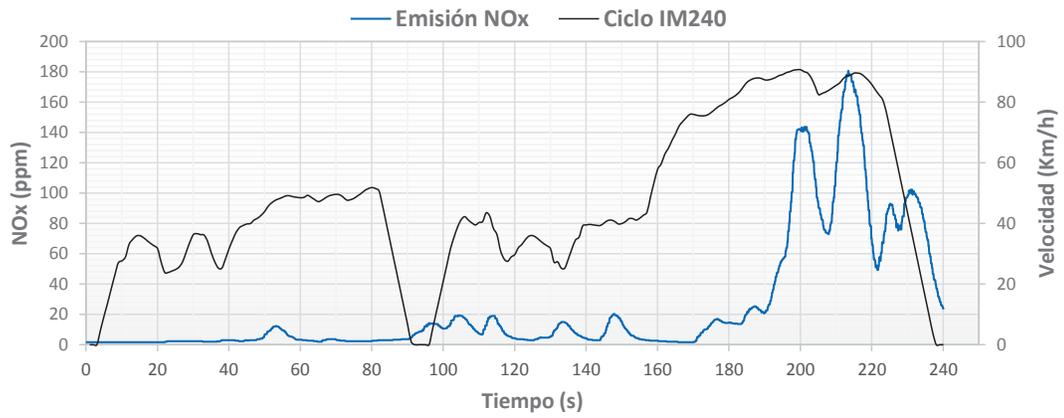


Figura No. A5.20 Emisiones de NO_x_Aveo en ciclo dinámico IM-240

ANEXO A5.7: GRAFICOS PRUEBAS DINAMICAS TOYOTA COROLLA

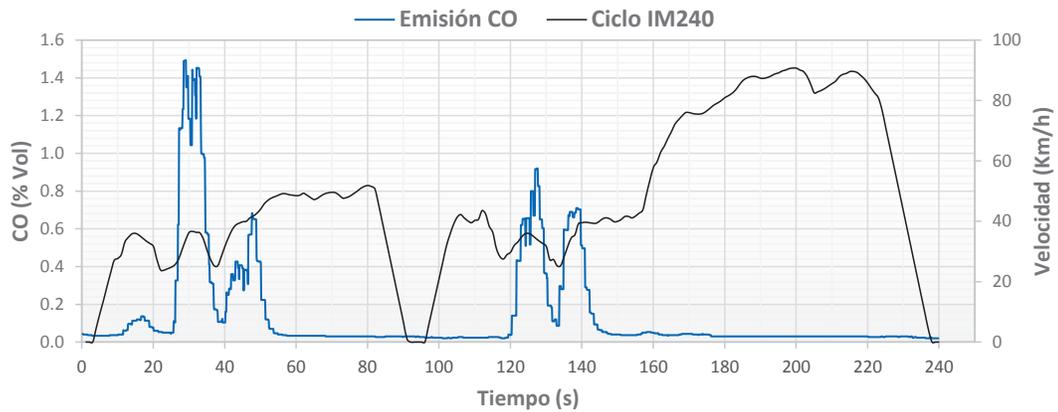


Figura No. A5.21 Emisiones de CO_Toyota en ciclo dinámico IM-240

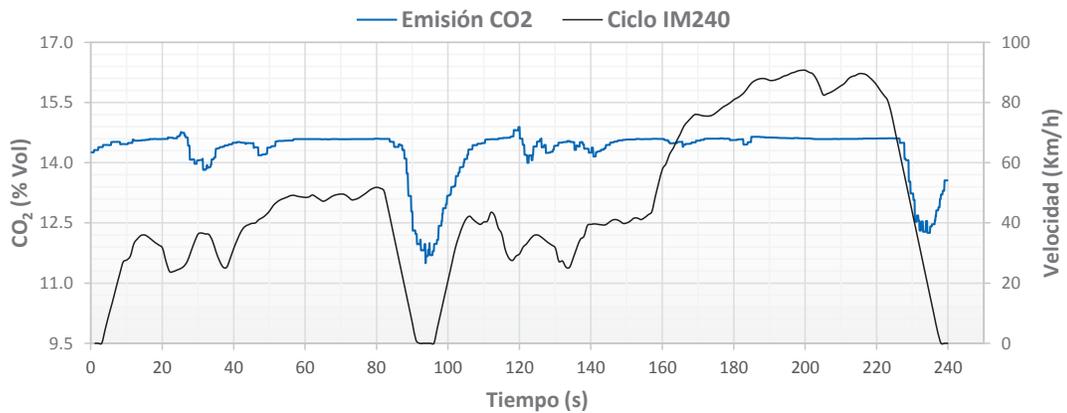


Figura No. A5.22 Emisiones de CO₂_Toyota en ciclo dinámico IM-240

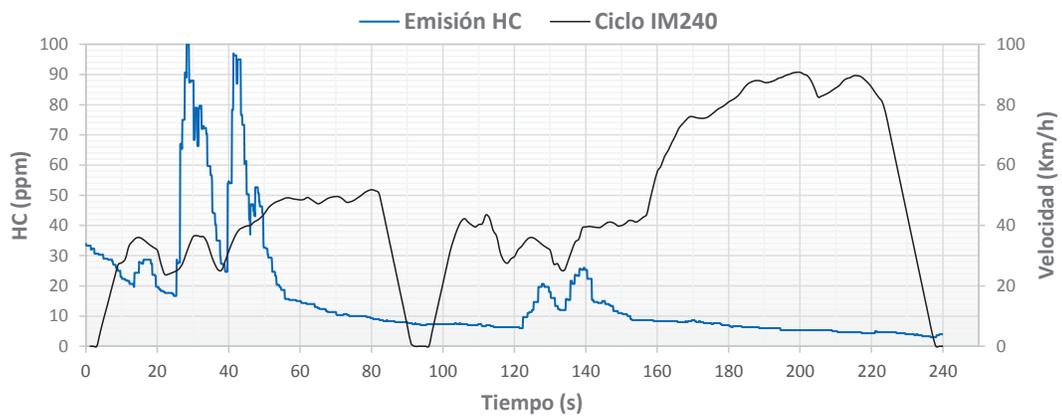


Figura No. A5.23 Emisiones de HC_Toyota en ciclo dinámico IM-240

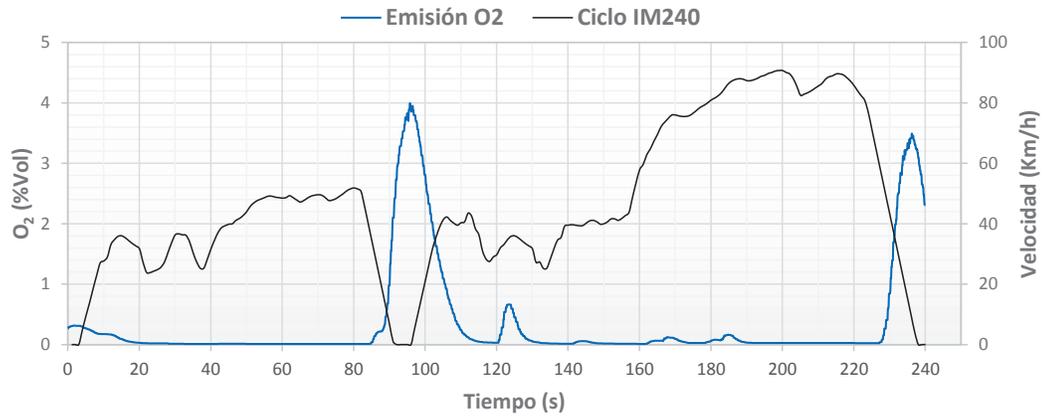


Figura No. A5.24 Emisiones de O₂_Toyota en ciclo dinámico IM-240

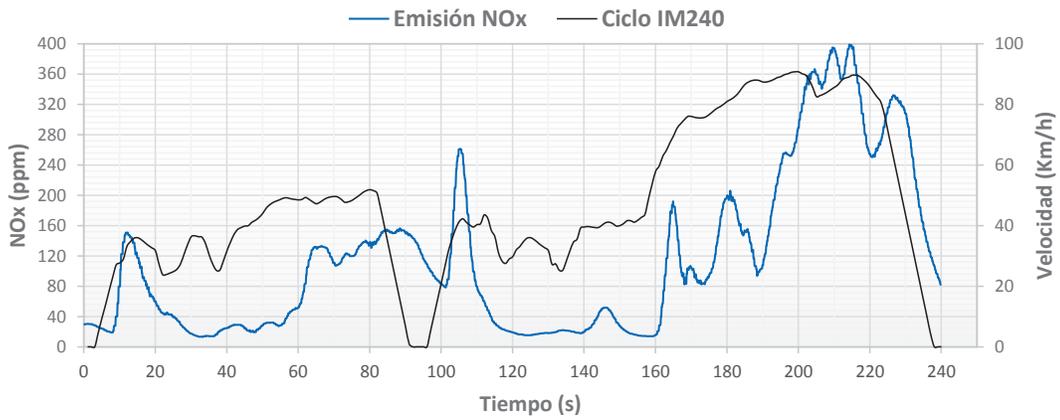


Figura No. A5.25 Emisiones de NO_x_Toyota en ciclo dinámico IM-240

ANEXO A5.8: CONSUMO DE COMBUSTIBLE

	LABORATORIO DE PRUEBAS		Código: CCICEVLP/RCC	
	REGISTRO DE DATOS DE CONSUMO COMBUSTIBLE EN RUTA		Rev. 1/1 Página 1 de 2	

Solicitud	N°
Fecha:	30/10/2015

Nombre de Solicitante / Empresa	RODRIGUEZ PEVELO / MANUEL RECALDE
Técnico Responsable CCICEV	

DATOS GENERALES DEL VEHICULO		
MARCA	CHEVROLET	
MODELO	AUSEO ACTIVO 1.6L 4P AC.	
Chasis (VIN) / PLACA N°	PEI 4229	
Motor N°	F16033961571	
Año	2011	
Motor (Datos del fabricante)	Posición	
	Cilindrada - N° Cilindros	1600cc
	Max. Potencia (HP/rpm)	
	Max Torque (N.m/rpm)	
	Combustible	Gasolina
Transmisión (manual/automática) [N°]	Manual	
Kilometraje inicio - final	11998 / 12028	12028 / 11039
Neumáticos (marca, denominación, presión)		

Hora inicio	10:00	11:25	Hora final	11:10	12:45
Altura inicio (CCICEV)	2793	2793	Altura final (Guápulo)	2604	2580

TRAMOS	INICIO	FINAL	CONSUMO DE COMBUSTIBLE (litros)		DISTANCIA (km)	VELOCIDAD (km/h)	VELOCIDAD (km/h)	TIEMPO (min)	
			INICIO	FINAL				TOTAL	MÁXIMA
A	CCICEV	Subida a Guápulo	5		16,4	89,2	53,8	17,40	0,40
B	Subida a Guápulo	CCICEV		2,660	14,1	46,8	16,0	40,04	12,43
C	CCICEV	Subida a Guápulo	5		16,4	88,6	52,0	18,08	0,50
D	Subida a Guápulo	CCICEV		2,400	14,1	60	14,1	38,54	22,28

Observaciones: *Se adjunta copia matricula y especificaciones técnicas*

TECNICO 1	TECNICO 2	REV. JEFE LAB.
Nombre: <i>R. Vayo</i>	Nombre:	Nombre: <i>Amador Vayo</i>
f) <i>[Signature]</i>	f)	f)

LABORATORIO DE PRUEBAS

	LABORATORIO DE PRUEBAS	CCICEV	Código: CCICEV/LP/RCC
	REGISTRO DE DATOS DE CONSUMO COMBUSTIBLE EN RUTA		Rev. 1/1
			Página 1 de 2

Solicitud	Nº
Fecha:	29/01/2015

Nombre de Solicitante / Empresa	ROMEL REVELO / MAURICIO RECALDE
Técnico Responsable CCICEV	KIEBER VEGA

DATOS GENERALES DEL VEHICULO		
MARCA	CHRYSLER	
MODELO	SPARK	
Chasis (VIN) / PLACA Nº	PCN 5948	
Motor Nº		
Año	2015	
Motor (Datos del fabricante)	Posición	
	Cilindrada - Nº Cilindros	1000
	Max. Potencia (HP/rpm)	
	Max Torque (N.m/rpm)	
Combustible	Gasolina	
Transmisión (manual/automática) [Nº]	Manual	
Kilometraje inicio - final	112075 / 112105 112105 / 112135	
Neumáticos (marca, denominación, presión)		

Hora inicio		Hora final							
Altura inicio (CCICEV)		Altura final (Guápulo)							
10:23	11:57	11:37	13:00						
2801	2801	2574	2581						
TRAMOS	INICIO	FINAL	CONSUMO DE COMBUSTIBLE (l/g)		DISTANCIA (km)	VELOCIDAD (km/h)	VELOCIDAD (km/h)	TIEMPO (min)	
			INICIO	FINAL				TOTAL	MÁXIMA
A	CCICEV	Subida a Guápulo	5	3,020	16,4	91,7	50	18,19	1,20
B	Subida a Guápulo	CCICEV			14,1	48,9	15,6	38,40	15,30
C	CCICEV	Subida a Guápulo	5	3,180	16,4	87,0	50,4	18,08	1,30
D	Subida a Guápulo	CCICEV			14,1	49,90	19,50	34,22	9,12

Observaciones: *Se adjunta copia matricula y especificaciones técnicas*

TECNICO 1	TECNICO 2	REV. JEFE LAB.
Nombre: <i>K. Vega</i>	Nombre:	Nombre: <i>[Firma]</i>
f) <i>[Firma]</i>	f)	f) <i>[Firma]</i>

LABORATORIO DE PRUEBAS

	LABORATORIO DE PRUEBAS	Código: CCICEV/LP/RCC
	REGISTRO DE DATOS DE CONSUMO COMBUSTIBLE EN RUTA	

Solicitud	N°
Fecha:	28/01/2015

Nombre de Solicitante / Empresa	RUBÉN RECALDE / NAURICO RECALDE
Técnico Responsable CCICEV	K. BOB VEGA

DATOS GENERALES DEL VEHICULO		
MARCA	CHEVROLET	
MODELO	SPARK	
Chasis (VIN) / PLACA N°		
Motor N°		
Año		
Motor (Datos del fabricante)	Posición	
	Cilindrada - N° Cilindros	1000cc
	Max. Potencia (HP/rpm)	
	Max Torque (N.m/rpm)	
	Combustible	Gasolina
Transmisión (manual/automática) [N°]	Manual	
Kilometraje inicio - final	48828 48858	
Neumáticos (marca, denominación, presión)		

Hora inicio		Hora final								
Altura inicio (CCICEV)		Altura final (Guápulo)								
10:12	11:41	11:16	12:48							
2744	2744	2538	2595							
TRAMOS	INICIO	FINAL	CONSUMO DE COMBUSTIBLE (lit)		DISTANCIA (km)	VELOCIDAD (km/h)	VELOCIDAD (km/h)		TIEMPO (min)	
			INICIO	FINAL			TOTAL	MÁXIMA	MEDIA	EN MOV.
A	CCICEV	Subida a Guápulo	5		16,4	68,7	55,7	17,04	12,42	
B	Subida a Guápulo	CCICEV		3,110	14,1	53,8	17,9	34,12	12,53	
C	CCICEV	Subida a Guápulo	5		16,3	70,9	48,4	19,35	9,45	
D	Subida a Guápulo	CCICEV		3,080	14,1	53,1	18,4	34,43	11,14	

Observaciones: *Se adjunta copia matricula y especificaciones técnicas*

TECNICO 1	TECNICO 2	REV. JEFE LAB.
Nombre: <i>K. Vega</i>	Nombre:	Nombre: <i>Aurora Vega</i>
f) <i>[Signature]</i>	f)	f) <i>[Signature]</i>

LABORATORIO DE PRUEBAS

	LABORATORIO DE PRUEBAS	CCICEV	Código: CCICEV/LP/RCC	
	REGISTRO DE DATOS DE CONSUMO COMBUSTIBLE EN RUTA		Rev. 1/1 Página 1 de 2	

Solicitud N°	
Fecha:	27-01-2015

Nombre de Solicitante / Empresa	RONEL REVELO / HENRIQUE BECALDE
Técnico Responsable CCICEV	K. Vega

DATOS GENERALES DEL VEHICULO		
MARCA	CHEVROLET	
MODELO	SAIL STD 1.4 SP 4x2	
Chasis (VIN) / PLACA N°	P.D 8090	
Motor N°	LLV120350436	
Año	2013	
Motor (Datos del fabricante)	Posición	
	Cilindrada - N° Cilindros	1400 cc
	Max. Potencia (HP/rpm)	
	Max Torque (N.m/rpm)	
Combustible	Dieselina	
Transmisión (manual/automática) [N°]		
Kilometraje inicio - final		
20684 / 20715 20715 / 20745		
Neumáticos (marca, denominación, presión)		

Hora inicio	12:00	14:20	Hora final	13:07	15:34
Altura inicio (CCICEV)	2777	2777	Altura final (Guápulo)	2581	2581

TRAMOS	INICIO	FINAL	CONSUMO DE COMBUSTIBLE (lit)		DISTANCIA (km)	VELOCIDAD (km/h)	VELOCIDAD (km/h)	TIEMPO (min)	
			INICIO	FINAL				TOTAL	MAXIMA
A	CCICEV	Subida a Guápulo	5	.	16,1	88,60	57,4	18,44	0,18
B	Subida a Guápulo	CCICEV		2,950	14,14	48,2	18,4	36,32	7,50
C	CCICEV	Subida a Guápulo	5		16,4	84,8	48,7	18,38	0,36
D	Subida a Guápulo	CCICEV		2,910	14,1	48,5	16,00	39,34	13,07

Observaciones: Se adjunta copia matricula y especificaciones técnicas

TECNICO 1	TECNICO 2	REV. JEFE LAB.
Nombre: K. Vega	Nombre:	Nombre: Anicia Usman
f) 	f)	f) 

	LABORATORIO DE PRUEBAS	CCICEV	Código: CCICEV/LP/RCC
	REGISTRO DE DATOS DE CONSUMO COMBUSTIBLE EN RUTA		Rev. 1/1
			Página 1 de 2

Solicitud	N°
Fecha:	26/01/2015

Nombre de Solicitante / Empresa	ROHEL REVELLO / HADIVIA RECALDE
Técnico Responsable CCICEV	K. Vega

DATOS GENERALES DEL VEHICULO		
MARCA	TOYOTA	
MODELO	COLOLA	
Chasis (VIN) / PLACA N°	POL-0647	
Motor N°	4466970	
Año	2006	
Motor (Datos del fabricante)	Posición	
	Cilindrada - N° Cilindros	1800 cc
	Max. Potencia (HP/rpm)	
	Max Torque (N.m/rpm)	
	Combustible	GASOLINA
Transmisión (manual/automática) [N°]		MANUAL
Kilometraje inicio - final		115376 115406
Neumáticos (marca, denominación, presión)		

Hora inicio		Hora final	
Altura inicio (CCICEV)		Altura final (Guápulo)	
12:22	2:18	1:32	3:30
2822	2822	2574	2574

TRAMO	INICIO	FINAL	CONSUMO DE COMBUSTIBLE [l]		DISTANCIA (km)	VELOCIDAD (km/h)		TIEMPO (min)	
			INICIO	FINAL		TOTAL	MÁXIMA	MEDIA	EN NOV.
A	CCICEV	Subida a Guápulo	5		16,4	88,5	53,8	17,27	0,50
B	Subida a Guápulo	CCICEV		2,455	14,1	54,7	17,1	38,20	11,26
C	CCICEV	Subida a Guápulo	5		16,4	94,0	53,6	17,50	0,55
D	Subida a Guápulo	CCICEV		2,8	14,1	56,5	15,8	40,37	13,40

Observaciones: *Se adjunta copia matricula y especificaciones técnicas*

TECNICO 1	TECNICO 2	REV. JEFE LAB.
Nombre: K. Vega	Nombre:	Nombre: Aníbal Urbán
f)	f)	f)

ANEXO A6: NORMAS DE GESTION AMBIENTAL VIGENTES EN EL ECUADOR

ANEXO A6.1: NTE INEN 2204:2002



INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN

Quito - Ecuador

NORMA TÉCNICA ECUATORIANA

NTE INEN 2 204:2002
(Primera Revisión)

GESTIÓN AMBIENTAL. AIRE. VEHÍCULOS AUTOMOTORES. LÍMITES PERMITIDOS DE EMISIONES PRODUCIDAS POR FUENTES MÓVILES TERRESTRES DE GASOLINA.

Primera Edición

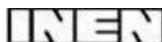
ENVIRONMENTAL MANAGEMENT. AIR. MOTOR VEHICLES. EMISSIONS PERMITTED LEVELS. PRODUCED BY GASOLINE. ROAD MOVABLE SOURCES.

First Edition

DESCRIPTORES: Protección ambiental y sanitaria, seguridad, calidad del aire, emisiones de escapes de transportes, requisitos.

MC 08.06-401
CDU: 621.43.068.4
CIU: 3530
ICS: 13.040.50

CDU: 621.43.068.4
ICS: 13.040.50



CIIU: 3530
MC 08.06-401

Norma Técnica Ecuatoriana Obligatoria	GESTIÓN AMBIENTAL. AIRE. VEHÍCULOS AUTOMOTORES. LÍMITES PERMITIDOS DE EMISIONES PRODUCIDAS POR FUENTES MÓVILES TERRESTRES DE GASOLINA.	NTE INEN 2 204:2002 Primera revisión 2002-09
---	--	---

1. OBJETO

1.1 Esta norma establece los límites permitidos de emisiones de contaminantes producidas por fuentes móviles terrestres (vehículos automotores) de gasolina.

2. ALCANCE

2.1 Esta norma se aplica a las fuentes móviles terrestres de más de tres ruedas o a sus motores, según lo definido en los numerales 3.24 y 3.25.

2.2 Esta norma no se aplica a las fuentes móviles que utilicen combustible diferentes a gasolina.

2.3 Esta norma no se aplica a motores de pistón libre, motores fijos, motores náuticos, motores para tracción sobre rieles, motores para aeronaves, motores para tractores agrícolas, maquinarias y equipos para uso en construcciones y aplicaciones industriales.

3. DEFINICIONES

Para los efectos de esta norma se adoptan las siguientes definiciones:

3.1 **Año modelo.** Año que identifica el de producción del modelo de la fuente móvil.

3.2 **Área frontal.** Área determinada por la proyección geométrica de las distancias básicas del vehículo sobre su eje longitudinal el cual incluye llantas pero excluye espejos y deflectores de aire a un plano perpendicular al eje longitudinal del vehículo.

3.3 **Certificación de la casa fabricante.** Documento expedido por la casa fabricante de un vehículo automotor en el cual se consignan los resultados de la medición de las emisiones de contaminantes del aire (por el escape y evaporativas) provenientes de los vehículos prototipo seleccionados como representativos de los modelos nuevos que saldrán al mercado.

3.4 **Ciclo.** Es el tiempo necesario para que el vehículo alcance la temperatura normal de operación en condiciones de marcha mínima o ralentí. Para las fuentes móviles equipadas con electroventilador, es el período que transcurre entre el encendido del ventilador del sistema de enfriamiento y el momento en que el ventilador se detiene.

3.5 **Ciclos de prueba.** Un ciclo de prueba es una secuencia de operaciones estándar a las que es sometido un vehículo automotor o un motor, para determinar el nivel de emisiones que produce. Para los propósitos de esta norma, los ciclos que se aplican son los siguientes:

3.5.1 **Ciclo ECE-15 + EUDC.** Es el ciclo de prueba dinámico establecido por la Unión Europea para los vehículos livianos y medianos, de diesel o gasolina, definidos en la directiva 93/59/EEC.

3.5.2 **Ciclo FTP-75.** Es el ciclo de prueba dinámico establecido por la Agencia de Protección del Medio Ambiente de los Estados Unidos (EPA), para los vehículos livianos y medianos, de gasolina o diesel, y publicado en el Código Federal de Regulaciones, partes 86 a 99.

(Continúa)

DESCRIPTORES. Protección ambiental y sanitaria, seguridad, calidad del aire, emisiones de escapes de transportes, requisitos

3.5.3 Ciclo transiente pesado). Es el ciclo de prueba de estado transitorio establecido por la Agencia de Protección del Medio Ambiente de los Estados Unidos (EPA), para la medición de emisiones de motores diesel y gasolina utilizados en vehículos pesados y el cual se encuentra especificados en el Código Federal de Regulaciones de ese país, CFR, título 40, partes 86 a 99, subparte N.

3.6 Dinamómetro. Aparato utilizado para medir la potencia generada por un vehículo automotor o motor solo, a través de aplicaciones de velocidad y torque.

3.7 Emisión de escape. Es la descarga al aire de una o más sustancias en estado sólido, líquido o gaseoso o, de alguna combinación de estos, proveniente del sistema de escape de una fuente móvil.

3.8 Emisiones evaporativas. Es la descarga al aire de una o más sustancias gaseosas, producto del funcionamiento normal del vehículo o de la volatilidad del combustible. Las emisiones evaporativas se desprenden desde varios puntos a lo largo del sistema de combustible de un vehículo automotor.

3.9 Equipo de medición. Es el conjunto completo de dispositivos, incluyendo todos los accesorios, para la operación normal de medición de las emisiones.

3.10 Fuente móvil. Es la fuente de emisión que por razón de su uso o propósito es susceptible de desplazarse propulsado por su propia fuente motriz. Para propósitos de esta norma, son fuentes móviles todos los vehículos automotores.

3.11 Homologación. Es el reconocimiento de la autoridad ambiental competente a los procedimientos de evaluación de emisiones o a los equipos o sistemas de medición o de inspección de emisiones, que dan resultados comparables o equivalentes a los procedimientos, equipos o sistemas definidos en esta norma.

3.12 Informe técnico. Documento que contiene los resultados de la medición de las emisiones del motor, operando en las condiciones contempladas en esta norma.

3.13 Marcha mínima o ralentí. Es la especificación de velocidad del motor establecidas por el fabricante o ensamblador del vehículo, requeridas para mantenerlo funcionando sin carga y en neutro (para cajas manuales) y en parqueo (para cajas automáticas). Cuando no se disponga de la especificación del fabricante o ensamblador del vehículo, la condición de marcha mínima o ralentí se establecerá en un máximo de 1 100 r.p.m.

3.14 Masa máxima. Es la masa equivalente al peso bruto del vehículo.

3.15 Método SHED. Procedimiento aprobado por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA) para determinar las emisiones evaporativas en vehículos de gasolina mediante la recolección de estas en una cabina sellada en la que se ubica el vehículo sometido a prueba. SHED son las siglas correspondientes al nombre de dicho método (Sealed Housing for Evaporative Determination). Los procedimientos, equipos y métodos de medición utilizados se encuentran consignados en el Código Federal de Regulaciones en los Estados Unidos, partes 86 y 99; o en las directivas 91/441 EEC y 93/59 EEC.

3.16 Motor. Es la principal fuente de poder de un vehículo automotor que convierte la energía de un combustible líquido o gaseoso en energía cinética.

3.17 Peso bruto del vehículo. Es el peso neto del vehículo más la capacidad de carga útil o de pasajeros, definida en kilogramos.

3.18 Peso neto del vehículo. Es el peso real solo del vehículo en condiciones de operación normal con todo el equipo estándar de fábrica, más el combustible a la capacidad nominal del tanque.

3.19 Peso de referencia. Es el peso neto del vehículo más 100 kg.

3.20 Peso del vehículo cargado. Es el peso neto del vehículo más 136,08 kg (300 lb).

(Continúa)

3.21 Prueba estática. Es la medición de emisiones que se realiza con el vehículo a temperatura normal de operación, en marcha mínima (ralenti), sin carga, en neutro (para cajas manuales) y en parqueo (para cajas automáticas).

3.22 Prueba dinámica. Es la medición de emisiones que se realiza con el vehículo o motor sobre un dinamómetro, aplicando los ciclos de prueba descritos en la presente norma.

3.23 Temperatura normal de operación. Es aquella que alcanza el motor después de operar un mínimo de 10 minutos en marcha mínima (ralenti), o cuando en estas mismas condiciones la temperatura del aceite en el cárter del motor alcance 75°C o más. En las fuentes móviles equipadas con electroventilador esta condición es confirmada después de operar un ciclo.

3.24 Vehículo automotor. Vehículo de transporte terrestre, de carga o de pasajeros, que se utiliza en la vía pública, propulsado por su propia fuente motriz.

3.25 Vehículo o motor prototipo o de certificación. Vehículo o motor de desarrollo o nuevo, representativo de la producción de un nuevo modelo.

4. CLASIFICACIÓN

Para los propósitos de esta norma, se establece la siguiente clasificación de los vehículos automotores:

4.1 Según la agencia de protección ambiental de los Estados Unidos (EPA), la siguiente clasificación se aplica únicamente para los ciclos de prueba FTP-75 y ciclo transiente pesado:

4.1.1 Vehículo liviano. Es aquel vehículo automotor tipo automóvil o derivado de éste, diseñado para transportar hasta 12 pasajeros.

4.1.2 Vehículo mediano. Es aquel vehículo automotor cuyo peso bruto vehicular es menor o igual a 3 860 kg, cuyo peso neto vehicular es menor o igual a 2 724 kg y cuya área frontal no exceda de 4,18 m². Este vehículo debe estar diseñado para:

4.1.2.1 Transportar carga o para convertirse en un derivado de vehículos de este tipo

4.1.2.2 Transportar más de 12 pasajeros

4.1.2.3 Ser utilizado u operado fuera de carreteras o autopistas y contar para ello con características especiales.

4.1.3 Vehículo pesado. Es aquel vehículo automotor cuyo peso bruto del vehículo sea superior a 3 860 kg, o cuyo peso neto del vehículo sea superior a 2 724 kg, o cuya área frontal excede de 4,18 m².

4.2 Según La Unión Europea, la siguiente clasificación se aplica únicamente para el ciclo de prueba ECE-15 + EUDC.

4.2.1 Categoría M. Vehículos automotores destinados al transporte de personas y que tengan por lo menos cuatro ruedas.

4.2.1.1 Categoría M1. Vehículos automotores destinados al transporte de hasta 8 personas más el conductor.

4.2.2 Categoría N. Vehículos automotores destinados al transporte de carga, que tengan por lo menos cuatro ruedas.

4.2.2.1 Categoría N1. Vehículos automotores destinados al transporte de carga con una masa máxima no superior a 3,5 toneladas.

(Continúa)

5. DISPOSICIONES GENERALES

5.1 Los importadores y ensambladores de vehículos deben obtener la certificación de emisiones expedida por la casa fabricante o propietaria del diseño del vehículo y avalada por la autoridad competente del país de origen, o de un laboratorio autorizado por ella. Los procedimientos de evaluación base para las certificaciones serán los establecidos para los ciclos FTP 75, ciclo transiente pesado ECE 15 + EUDC, SHED (EEC 91/441 y 93/59 EEC); según las características del vehículo.

5.2 Los importadores y ensambladores están obligados a suministrar copia de la certificación de emisiones a quienes adquieran los vehículos.

5.3 La autoridad competente podrá en cualquier momento verificar la legalidad de las certificaciones presentadas por los importadores y ensambladores sobre el cumplimiento de los requisitos establecidos en esta norma, así como las características de funcionamiento de los equipos y procedimientos utilizados para la medición de las emisiones de escape, en condición de marcha mínima o ralenti.

6. REQUISITOS

6.1 Límites máximos de emisiones permitidos para fuentes móviles con motor de gasolina. Marcha mínima o ralenti (prueba estática).

6.1.1 Toda fuente móvil con motor de gasolina, durante su funcionamiento en condición de marcha mínima o ralenti y a temperatura normal de operación, no debe emitir al aire monóxido de carbono (CO) e hidrocarburos (HC) en cantidades superiores a las señaladas en la tabla 1.

TABLA 1. Límites máximos de emisiones permitidos para fuentes móviles con motor de gasolina. Marcha mínima o ralenti (prueba estática).

Año modelo	% CO*		ppm HC*	
	0 - 1 500 **	1 500 - 3 000 **	0 - 1 500 **	1 500 - 3 000 **
2000 y posteriores	1,0	1,0	200	200
1990 a 1999	3,5	4,5	650	750
1989 y anteriores	5,5	6,5	1 000	1 200

* Volumen
**Altitud = metros sobre el nivel del mar (msnm)

6.2 Límites máximos de emisiones para fuentes móviles de gasolina. Ciclos FTP-75 y ciclo transiente pesado (prueba dinámica).

6.2.1 Toda fuente móvil de gasolina que se importe o se ensamble en el país no podrá emitir al aire monóxido de carbono (CO), hidrocarburos (HC), óxidos de nitrógeno (NOx) y emisiones evaporativas, en cantidades superiores a las indicadas en la tabla 2.

(Continúa)

TABLA 2. Límites máximos de emisiones para fuentes móviles con motor de gasolina (prueba dinámica)* a partir del año modelo 2000 (ciclos americanos).

Categoría	Peso bruto del vehículo kg	Peso del vehículo cargado kg	CO g/km	HC g/km	NOx g/km	CICLOS DE PRUEBA	Evaporativas g/ensayo SHED
Vehículos Livianos			2,10	0,25	0,62	FTP - 75	2
Vehículos Medianos	=< 3 860	=< 1 700	6,2	0,5	0,75		2
		1 700 - 3 860	6,2	0,5	1,1		2
Vehículos Pesados**	> 3 860 =		14,4	1,1	5,0	Transiente pesado	3
	< 6 350						
	> 6 350		37,1	1,9	5,0		4

* prueba realizada a nivel del mar
 ** en g/bHP-h (gramos/brake Horse Power-hora)

6.3 Límites máximos de emisiones para fuentes móviles de gasolina. Ciclo ECE-15+ EUDC (prueba dinámica).

6.3.1 Toda fuente móvil con motor de gasolina no podrá emitir al aire monóxido de carbono (CO), hidrocarburos (HC), óxidos de nitrógeno (NOx) y emisiones evaporativas, en cantidades superiores a las indicadas en la tabla 3.

TABLA 3. Límites máximos de emisiones para fuentes móviles con motor de gasolina (prueba dinámica) * a partir del año modelo 2000 (ciclos europeos)

Categoría	Peso bruto del vehículo kg	Peso de Referencia (kg)	CO g/km	HC + NOx g/km	CICLOS DE PRUEBA	Evaporativas g/ensayo SHED
M1 ⁽¹⁾	=< 3 500		2,72	0,97	ECE 15 + EUDC	2
M1 ⁽²⁾ , N1		< 1 250	2,72	0,97		2
		> 1 250 <1 700	5,17	1,4		2
		> 1 700	6,9	1,7		2

* Prueba realizada a nivel del mar
⁽¹⁾ Vehículos que transportan hasta 5 pasajeros más el conductor y con un peso bruto del vehículo menor o igual a 2,5 toneladas
⁽²⁾ Vehículos que transportan más de 5 pasajeros más el conductor o cuyo peso bruto del vehículo exceda de 2,5 toneladas

7. MÉTODO DE ENSAYO

7.1 Determinación de la concentración de emisiones del tubo de escape en condiciones de marcha mínima o ralentí.

7.1.1 Seguir el procedimiento descrito en la NTE INEN 2 203.

(Continúa)

APÉNDICE Z

Z.1 DOCUMENTOS NORMATIVOS A CONSULTAR

Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2 203:1998 *Gestión ambiental. Aire. Vehículos automotores. Determinación de la concentración de emisiones del escape, en condiciones de marcha mínima o ralenti.*

Z.2 BASES DE ESTUDIO

Norma técnica ecuatoriana NTE INEN 2 056. *Metrología. Vocabulario internacional de términos fundamentales y generales.* Quito, 1998.

Norma técnica colombiana ICONTEC 4230. *Gestión ambiental. Aire. Determinación de la concentración de emisiones de escape, en condiciones de marcha mínima o ralenti.* Instituto Colombiano de Normas Técnicas, Bogotá, 1997.

EPA 94: *Code of Federal Regulations Protection of Environment 40. Part 86 (Revised as of July 1, 1996) Control of air pollution from new and in-use motor vehicles and new and in-use motor vehicle engines: certification and test procedures: 86.090-8 Emission standards for 1990 and later model year light - duty vehicles (Diesel and gasoline): 86.091.9 Emission standards for 1991 and later model year light - duty trucks (diesel and gasoline): 86-091-10. Emission standards for 1991 and later model year otto - cycle heavy - duty engines and vehicles (gasoline).* U.S Environmental Protection Agency, EPA, Washington D.C., 1996.

EURO II: *Community Directive (Directive 88/77/EEC). Regulación 49, gaseous pollutants. Truck and buses > 3,5 Ton. EEC regulation for small utilite records. Enforcement date: 01.10.1993 new models, 01.10.1994 new vehicles.* European Economic Community, Brussels, 1996.

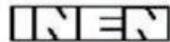
Normas para la protección y el control de la calidad del aire: *Resolución 005 de 1995-01-09, Resolución 1619 de 1995-12-21, Resolución 1351 de 1995-11-14, Resolución 898 de 1995-08-23 - Adicionada por la Resolución 125 de 1996-03-19, Decreto 948 de 1995-06-05 - Modificado por el Decreto 2107 de 1995-11-30.* Ministerio del Medio Ambiente de la República de Colombia, Bogotá, 1996.

Decreto 2673: *Normas sobre Emisiones de fuentes móviles.* Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales Renovables, República de Venezuela, Caracas, 1998.

Proyecto de reglamentación para control de emisiones para vehículos automotores en el Distrito Metropolitano de Quito. Cámara de la Industria Automotriz Ecuatoriana, CINAIE - Asociación Ecuatoriana Automotriz del Interior, AEADI, Quito, 1998.

Exhaust Emissions, Standards, Regulations and Measurement of Exhaust emissions and Calculation of fuel consumption based on the Exhaust emission test - Passenger cars: Mercedes Benz. Alemania, 1997.

Vehicle Emissions Study, Kiyoshi Yuki - Overseas Regulation & Compliance Department, Engineering Administration Division, Toyota Motor Corporation. Tokyo, 1995.

ANEXO A6.2: NORMA TECNICA ECUATORIANA NTE INEN 2203:2000**INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN**

Quito - Ecuador

NORMA TÉCNICA ECUATORIANA**NTE INEN 2 203:2000**

**GESTIÓN AMBIENTAL. AIRE. VEHÍCULOS
AUTOMOTORES. DETERMINACIÓN DE LA
CONCENTRACIÓN DE EMISIONES DE ESCAPE EN
CONDICIONES DE MARCHA MÍNIMA O "RALENTI".
PRUEBA ESTÁTICA.**

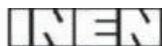
Primera Edición

ENVIRONMENTAL MANAGEMENT AIR MOTOR VEHICLES DETERMINATION OF CONCENTRATION OF EXHAUST
EMISSIONS IN MINIMUM SPEED CONDITIONS OR RALENTI STATIC TEST

First Edition

DESCRIPTORES: Emisión de gases, protección del medio ambiente, calidad del aire, método de ensayo
MC 08.06-302
CDU: 662.75
CIU: 3530
ICS: 13.040.50

CDU: 662.75
ICS: 13.040.50



CIU: 3530
MC 08 06-302

<p>Norma Técnica Ecuatoriana Obligatoria</p>	<p>GESTIÓN AMBIENTAL. AIRE. VEHÍCULOS AUTOMOTORES. DETERMINACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE EMISIONES DE ESCAPE, EN CONDICIONES DE MARCHA MÍNIMA O "RALENTI". PRUEBA ESTÁTICA.</p>	<p>NTE INEN 2 203:2000 2000-07</p>
<p style="text-align: center;">1. OBJETO</p> <p>1.1 Esta norma establece el método de ensayo para determinar la concentración de las emisiones provenientes del sistema de escape de vehículos equipados con motor de encendido por chispa, en condiciones de marcha mínima o "ralenti".</p> <p style="text-align: center;">2. ALCANCE</p> <p>2.1 Esta norma se aplica a los vehículos automotores cuyo combustible es gasolina.</p> <p style="text-align: center;">3. DEFINICIONES</p> <p>3.1 Para los efectos de esta norma se adoptan las definiciones contempladas en la NTE INEN 2204, y las que a continuación se detallan:</p> <p>3.1.1 <i>Aislamiento electromagnético.</i> Característica del equipo de medición que impide la alteración en sus lecturas por causa de radiaciones electromagnéticas externas.</p> <p>3.1.2 <i>Calibración de un equipo de medición.</i> Operación destinada a llevar un instrumento de medida al estado de funcionamiento especificado por el fabricante para su utilización.</p> <p>3.1.3 <i>Motor de encendido por chispa.</i> Es aquel en el cual la reacción de la mezcla aire/combustible se produce a partir de un punto caliente, generalmente una chispa eléctrica.</p> <p>3.1.4 <i>Gas patrón.</i> Gas o mezcla de gases de concentración conocida, certificada por el fabricante del mismo, y que se emplea para la calibración de equipos de medición de emisiones de escape.</p> <p>3.1.5 <i>Autocalibración.</i> Es la rutina en la cual el equipo verifica el funcionamiento óptimo de todos sus componentes instrumentales y realiza una comparación con los patrones internos incorporados por el fabricante del mismo.</p> <p>3.1.6 <i>Exactitud.</i> Grado de concordancia (la mayor o menor cercanía) entre el resultado de una medición y un valor verdadero del mensurando.</p> <p>3.1.7 <i>Repetibilidad.</i> Grado de concordancia de resultados de sucesivas mediciones de la misma variable, realizadas en iguales condiciones de medida.</p> <p>3.1.8 <i>Tiempo de calentamiento del equipo de ensayo.</i> Es el período en segundos entre el momento en que el equipo es energizado o encendido y el momento en que cumple con los requerimientos de estabilidad, para realizar la lectura de la variable.</p> <p>3.1.9 <i>Tiempo de respuesta del equipo de medición.</i> Es el periodo en segundos que el equipo requiere para medir y entregar los resultados de los ensayos realizados.</p> <p>3.1.10 <i>Sonda de prueba.</i> Tubo o manguera que se introduce a la salida del sistema de escape del vehículo automotor para tomar una muestra de las emisiones.</p> <p style="text-align: right;">(Continúa)</p> <hr/> <p>DESCRIPTORES: Emisión de gases. Protección del medio ambiente. Calidad del aire. Método de ensayo.</p>		

4. DISPOSICIONES GENERALES

4.1 Los importadores y distribuidores de equipos de medición de emisiones deben obtener una certificación de cumplimiento, expedida por la casa fabricante o propietaria del diseño del equipo o de un laboratorio autorizado por ella y avalada por la autoridad competente del país de origen. El procedimiento de evaluación base para certificar los equipos de medición a ser utilizados debe cumplir con la International Recommendation OIML R 99.

4.2 Los importadores y distribuidores están obligados a suministrar copia de la certificación establecida en el numeral 4.1, a quienes adquieran los equipos.

4.3 La autoridad competente, podrá en cualquier momento verificar la legalidad de las certificaciones presentadas por los importadores y distribuidores, sobre el cumplimiento de los requisitos establecidos en esta norma, así como las características de funcionamiento de los equipos y procedimientos utilizados para determinar la concentración de emisiones de escape en condiciones de marcha mínima o "ralenti", prueba estática.

5. MÉTODO DE ENSAYO

5.1 Fundamento.

5.1.1 El principio de operación se basa en la absorción de luz infrarroja no dispersa de gases para la determinación de hidrocarburos, monóxido y dióxido de carbono.

5.1.1.1 El oxígeno se mide utilizando una celda de combustible (fuel cell). Esto no excluye el uso de equipos con otro principio de operación, siempre y cuando sean homologados.

5.2 Equipos

5.2.1 Ver numeral 4, Disposiciones Generales.

5.2.2 Capacidad de autocalibración. Los equipos de medición deben tener incorporada la función propia de autocalibración, la cual se debe realizar automáticamente cada vez que el equipo es encendido, o manualmente cada vez que el usuario lo requiera.

5.2.3 Los equipos de medición deben contar con un dispositivo de impresión directa de los resultados y de la identificación del vehículo automotor medido.

5.2.4 Los equipos deben contar con un tacómetro para la medición de las revoluciones del motor.

5.2.5 El equipo debe disponer de características de seguridad que garanticen la protección del operador.

5.3 Calibración

5.3.1 La calibración del equipo se debe realizar siguiendo estrictamente las especificaciones de frecuencia del fabricante del equipo. En caso que éstas no estén disponibles, la calibración se debe realizar, como máximo, cada tres meses.

5.3.2 El equipo se debe calibrar luego de cada mantenimiento correctivo.

5.3.3 La calibración anterior es independiente de la autocalibración automática que realiza el equipo cada vez que es encendido.

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

(Continúa)

5.4 Procedimiento de medición

5.4.1 Antes de la prueba, realizar las verificaciones siguientes:

5.4.1.1 Someter al equipo a un período de calentamiento y estabilización, según las especificaciones del fabricante.

5.4.1.2 Retirar todo material en forma de partículas y eliminar toda sustancia extraña o agua, que se hayan acumulado en la sonda de prueba y que puedan alterar las lecturas de la muestra.

5.4.1.3 Revisar que la transmisión del vehículo esté en neutro (transmisión manual) o parqueo (transmisión automática).

5.4.1.4 Revisar que el control manual del ahogador (choque), no se encuentre en operación, y que los accesorios del vehículo (luces, aire acondicionado, etc.), estén apagados.

5.4.1.5 Revisar en el vehículo que el sistema de escape se encuentre en perfectas condiciones de funcionamiento y sin ninguna salida adicional a las del diseño que provoque dilución de los gases de escape o fugas de los mismos. Las salidas adicionales a las contempladas en el diseño original no deben ser aceptadas, aunque éstas se encuentren bloqueadas al momento de la prueba.

5.4.1.6 Si el vehículo no cumple con las condiciones establecidas en el numeral 5.4.1.5, la prueba no se debe realizar hasta que se corrijan aquellas.

5.4.1.7 Revisar que el nivel de aceite en el cárter esté entre el mínimo y máximo recomendado por el fabricante, con el motor apagado y el vehículo en posición horizontal.

5.4.1.8 Encender el motor del vehículo y verificar que se encuentre a la temperatura normal de operación.

5.4.2 Medición

5.4.2.1 Conectar el tacómetro del equipo de medición al sistema de encendido del motor y verificar las condiciones de marcha mínima o "ralenti".

5.4.2.2 Con el motor a temperatura normal de operación y en condición de marcha mínima o "ralenti", introducir la sonda de prueba en el punto de salida del sistema de escape del vehículo. Tener la seguridad de que la sonda permanezca fija dentro del sistema de escape mientras dure la prueba.

5.4.2.3 Esperar el tiempo de respuesta del equipo de medición dado por cada fabricante.

5.4.2.4 Imprimir las lecturas estabilizadas de las emisiones medidas.

5.4.2.5 Si, por diseño, el vehículo tiene doble sistema de escape, medir por separado cada salida. El valor del resultado final será la mayor lectura registrada.

5.5 Informe de resultados

5.5.1 El resultado final será la mayor lectura registrada de los valores de las lecturas obtenidas en el numeral 5.4.2.4.

5.5.2 La institución que realiza la prueba debe emitir un informe técnico con los resultados de la misma, adjuntado el documento de impresión directa del equipo de medición.

(Continúa)

APÉNDICE Z**Z.1 DOCUMENTOS NORMATIVOS A CONSULTAR**

- Norma Técnica Ecuatoriana INEN 2204:1998 *Gestión Ambiental. Aire. Vehículos Automotores. Límites permitidos de emisiones producidas por fuentes móviles terrestres de gasolina.*
- Norma ISO 6145-1:86 *Gas Analysis Preparation of Calibration Gas Mixtures. Dynamic Volumetric Methods - Part 1 - Methods of Calibration.*
- International Recommendation OIML R 99. *Instruments for measuring vehicle exhaust emissions. International Organization of Legal Metrology.*

Z.2 BASES DE ESTUDIO

- Norma técnica colombiana ICONTEC 4230. *Gestión ambiental. Aire. Determinación de la concentración de emisiones de escape, en condiciones de marcha mínima o "ralenti".* Instituto Colombiano de Normas Técnicas. Bogotá, 1997.