



**UNIVERSIDAD DEL AZUAY**

**FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA**

**ESCUELA DE INGENIERÍA EN MECÁNICA**

**AUTOMOTRIZ**

**Propuesta de protocolo de ensayo para estimación de NO<sub>x</sub> de  
forma directa en fuentes móviles en el taller de Ingeniería en  
Mecánica Automotriz de la Universidad del Azuay**

**Trabajo de graduación previo a la obtención del título de:  
INGENIERO MECÁNICO AUTOMOTRIZ**

**Autor:**

**JUAN ANDRÉS IÑIGUEZ CARRIÓN**

**Director:**

**MATEO FERNANDO COELLO SALCEDO**

**CUENCA, ECUADOR**

**2017**

## **DEDICATORIA**

Este trabajo está dedicado con gran amor a mí madre que gracias a su apoyo y ejemplo he logrado que estos años de estudio me sirvan día a día para que pueda ejercer mi profesión con esmero y mucha dedicación, a mí familia que me ha apoyado cuando más lo necesitaba; también a mis amigos con quienes he compartido este camino de lucha para poder llegar a la meta trazada y, a mi padre que no está junto a mí pero yo sé que me apoya desde donde esté.

Juan Andrés Iñiguez Carrión

## **AGRADECIMIENTO**

Mi profundo agradecimiento a Dios por estar presente en cada momento de mi vida, a mis familiares quienes contribuyeron con su apoyo a la culminación de mi carrera, a todos quienes laboran en la Universidad del Azuay, al Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Automotriz, a las autoridades y profesores de la mencionada escuela y un agradecimiento especial al Ing. Mateo Fernando Coello Salcedo, Director de mi Tesis, quien con sus conocimientos supo guiarme y orientarme para la realización y culminación de mi trabajo de Tesis.

El Autor

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

DEDICATORIA .....	ii
AGRADECIMIENTO .....	iii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	viii
ÍNDICE DE TABLAS .....	viii
RESUMEN.....	x
ABSTRACT .....	xii
GLOSARIO .....	xiii
INTRODUCCIÓN .....	1
<b>1. Capítulo I: GENERALIDADES .....</b>	<b>3</b>
1.1. Problemática .....	3
1.2. Marco Teórico .....	3
1.3. Estado del Arte .....	5
1.4. Pregunta de investigación.....	6
1.5. Objetivo general .....	6
1.6. Objetivos específicos.....	7
1.7. Alcance .....	7

**2. Capítulo II: Análisis de las normativas y protocolos de ensayo existentes para evaluar los óxidos de Nitrógeno .....8**

2.1. Fundamentos Teóricos: ..... 8

    2.1.1. Óxidos de Nitrógeno:..... 8

2.2. Análisis de ensayos para medir NOx: ..... 12

    2.2.1. Ensayos de medición de NOx en Estados Unidos: ..... 13

    2.2.2. Ensayos de medición de NOx en Europa: ..... 18

    2.2.3. Ensayos de medición de NOx en Latinoamérica: ..... 22

2.3. Situación actual del Ecuador respecto a las emisiones vehiculares: ..... 39

    2.3.1. Método de medición de NOx Ecuador: ..... 40

    2.3.2. Normativas que se rigen en Ecuador: ..... 40

**3. Capítulo III: Instrumentación necesaria para llevar a cabo el protocolo de ensayo para la medición de Óxidos de Nitrógeno en el Taller de la Universidad del Azuay .....42**

3.1. Equipos y herramientas: ..... 42

    3.1.1. Analizador de Gases: ..... 42

    3.1.2. Bancos Dinamométricos: ..... 46

    3.1.3. Equipos de seguridad: ..... 48

3.2. Equipos existentes en la universidad: ..... 50

    3.2.1. Analizador de Gases MGT5 (MAHA): ..... 50

    3.2.2. Banco Dinamométrico de Chasis AutoDyn 30 (SuperFlow): ..... 52

3.3. Equipamientos normados por la EPA para el ensayo ASM, con los existentes en la universidad. .... 54

#### **4. Capítulo IV: Protocolo de ensayo para medir óxidos de nitrógeno en el taller de la Universidad del Azuay.....56**

4.1. Protocolo de Ensayo:.....	57
4.1.1. Preparación del equipo y del vehículo antes de la prueba: .....	58
4.1.2. Procedimiento de medición de gases: .....	59
4.2. Diagramas de flujo: .....	62
4.2.1. Prerrequisitos: .....	63
4.2.2. Preparación de los Equipos:.....	64
4.2.3. Preparación del Vehículo:.....	65
4.2.4. Modo 50/24:.....	66
4.2.5. Modo 25/40:.....	67

#### **5. Capítulo V: Propuestas de temas de investigación utilizando el protocolo de medición de NOx. ....68**

5.1. Investigaciones de óxidos de nitrógeno en fuentes móviles en Ecuador y estudios propuestos a partir de ellas: .....	68
5.1.1. Determinación de la Influencia de la Altura en Emisiones Contaminantes de un Vehículo con Motor de Ciclo Otto, de Inyección Electrónica de Gasolina:.....	68
5.1.2 Estudio de las emisiones de gases contaminantes de un motor de ciclo diésel, usando combustible micro emulsionado con agua: .....	69
5.1.3. Metodología de pruebas y su aplicación, para el diagnóstico de convertidores catalíticos, mediante ciclo ASM, en vehículos con motores de encendido provocado: .....	71
5.1.4. Implementación de un sistema dual fuel, hidrógeno / gasolina en un vehículo de motor de combustión interna: .....	72

5.2. Estudios de Óxidos de Nitrógeno en fuentes Móviles Realizados a Nivel Internacional:.....	74
5.2.1. Ordenamiento de emisiones de gasolina por el método Electre: .....	75
5.2.2. Modelo para el control de NO <sub>x</sub> de motores diésel ciclo a ciclo. ....	76
5.2.3. Alta reducción de NO <sub>x</sub> de escape del motor diésel a través de un sistema electroquímico: .....	77
5.2.4. Estudio comparativo de emisiones de NO <sub>x</sub> y NO <sub>2</sub> de la normativa Euro 6 entre el sistema COPERT (homologación vehicular) y el Sistema portátil de medición de emisiones (PEMS).....	78
5.2.5. Análisis teórico y la confirmación experimental de control de la temperatura de escape para la reducción de las emisiones de NO <sub>x</sub> vehículo diésel: .....	79
5.2.6. Gestión óptima de la energía para un vehículo eléctrico híbrido diésel teniendo en cuenta las emisiones transitorias de MP y emisiones cuantitativas de NO <sub>x</sub> . .....	80
5.3. Estudios adicionales de óxidos de nitrógeno en fuentes móviles que se podrían realizar en el taller de Ingeniería Automotriz de la Universidad del Azuay: .....	80
<b>6. Capítulo VI: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES. ....</b>	<b>82</b>
<b>6.1. Conclusiones: .....</b>	<b>82</b>
<b>6.2. Recomendaciones: .....</b>	<b>83</b>
<b>BIBLIOGRAFIA.....</b>	<b>85</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>91</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1: Grafica del impacto de la mezcla aire/combustible en las emisiones vehiculares.....	12
Figura 2.2: Grafica Velocidad-Tiempo Ciclo de Conducción CICLO URBANO FTP75 Urban Dynamometer Driving Schedule (UDDS) .....	14
Figura 2.3: Grafica Velocidad-Tiempo Ciclo de Conducción NEDC .....	20
Figura 2.4: Grafica Velocidad-Tiempo Ciclo de Conducción EUDC .....	21
Figura 2.5: Grafica Velocidad-Tiempo Ciclo de Conducción EUDC para vehículos de baja potencia.....	21
Figura 2.6: Grafica Velocidad-Tiempo Ciclo de Conducción IM240. ....	24
Figura 2.7: Medición de Gases en un Banco Dinamométrico .....	26
Figura 3.1: Esquema principio de funcionamiento analizador de gases .....	44
Figura 3.2: Banco Dinamométrico de Rodillos .....	46
Figura 3.3: Correas de Sujeción .....	49
Figura 3.4: Ventiladores.....	49
Figura 3.5: Analizador de Gases MGT5 de MAHA .....	51
Figura 3.6: Banco Dinamométrico de Chasis AutoDyn 30 de SuperFlow .....	53
Figura 4.1: Esquema de Protocolo de Ensayo.....	56
Figura 4.2: Analizador de Gases MAHA MGT5 .....	58
Figura 4.3: Sujeción del vehículo con correas de Seguridad .....	59
Figura 4.4: Sonda para medición de gases en el tubo de escape de un Vehículo .....	60
Figura 4.5: Prerrequisitos del Protocolo.....	63
Figura 4.6: Preparación de los Equipos.....	64
Figura 4.7: Preparación del Vehículo.....	65
Figura 4.8: Modo 50/24 .....	66
Figura 4.9: Modo 25/40 .....	67

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2-1: LEV II normas de emisión para vehículos de pasajeros, FTP-75, g / ml. ....	17
Tabla 2-2: Límites de Emisiones Vehiculares NOx revisar ANEXO 3.....	18
Tabla 2-3: Límites de Emisión Europa .....	22
Tabla 2-4: Límite de emisiones de gases contaminantes .....	25
Tabla 2-5: Potencia de Ensayo según la cilindrada del Motor.....	27
Tabla 2-6: Potencia de Ensayo según la cilindrada del Motor.....	28
Tabla 2-7: Límites de Emisiones Vehiculares en Chile .....	31
Tabla 2-8: Carga de camino: Potencia (BHP) que se debe aplicar al vehículo en las pruebas visual de humo y en la Fase 5024.....	34
Tabla 2-9: Carga de camino: Potencia que debe aplicarse en la FASE 2540. ....	37
Tabla 2-10: Límites de Emisiones Vehiculares en México .....	39
Tabla 3-1: Especificaciones Técnicas Banco Dinamométrico de Chasis. ....	52
Tabla 3-2: Cumplimiento de requerimientos del analizador de gases existente en la universidad.....	54
Tabla 3-3: Cumplimiento de requerimientos del banco dinamométrico existente en la universidad.....	55
Tabla 4-1: Potencia de Ensayo según la cilindrada del Motor.....	60
Tabla 4-2: Límites de Emisiones Vehiculares NOx en Ecuador.....	61
Tabla 4-3: Potencia de Ensayo según la cilindrada del Motor.....	62

**ÍNDICE DE ANEXOS**

ANEXO 1: .....91

ANEXO 2: .....91

ANEXO 3: Tabla de Valores Prueba (5015 & 2525) ASM .....96

ANEXO 4: .....97

ANEXO 5: .....99

ANEXO 6: .....100

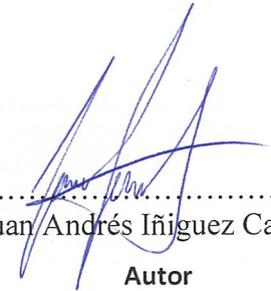
## RESUMEN

A través de este estudio se pretende proponer un protocolo de medición de Óxidos de Nitrógeno (NOx), para automóviles livianos en el taller de mecánica automotriz de la Universidad del Azuay, dado que las Normas INEN estipulan límites de emisiones provenientes de vehículos, pero no se plantea un procedimiento de ensayo para su estimación. Para desarrollar la propuesta se analizaron normativas y métodos usados internacionalmente, posteriormente se estableció la instrumentación necesaria y factible para su aplicación. El protocolo fue planteado en función del equipamiento y condiciones del taller; finalmente se definieron estudios que podrían realizarse a partir del procedimiento.

**Palabras Clave:** protocolo de ensayo, óxidos de nitrógeno, ASM, fuentes móviles, medición emisiones forma directa, EPA.

  
.....  
Ing. Mateo Fernando Coello Salcedo  
**Director de Tesis**

  
.....  
Ing. Mateo Fernando Coello Salcedo  
**Director de Escuela**

  
.....  
Juan Andrés Iñiguez Carrión  
**Autor**

## ABSTRACT

The aim of this study was to propose a protocol for the measurement of light vehicles Nitrogen Oxides (NO<sub>x</sub>), for the auto-mechanics workshop of *Universidad del Azuay*, since the INEN standards stipulate vehicles emissions limits, but not a test procedure for its estimation. In order to develop the proposal, regulations and methods used internationally were analyzed; and subsequently, the necessary and feasible instrumentation for its application was established. The protocol was presented based on the equipment and conditions of the workshop. Finally, procedure-based studies that could be carried out, were defined.

**Keywords:** test protocol, nitrogen oxides, ASM, mobile sources, direct emissions measurement, EPA.



Ing. Mateo Fernando Coello Salcedo  
Salcedo

**Thesis Director**

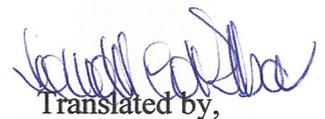


Ing. Mateo Fernando Coello

**School Director**



Juan Andres Iñiguez Carrión  
**Author**



Translated by,  
Lic. Lourdes Crespo

**GLOSARIO**

<b>NOx:</b>	Óxidos de Nitrógeno
<b>ASM:</b>	Acceleration Simulation Mode (Modo de Simulación de Aceleración).
<b>CEE:</b>	Comunidad Económica Europea
<b>CFR:</b>	Code of Federal Regulations (Código de Regulaciones Federales)
<b>Ciclo ECE-15 + EUDC:</b>	Es el ciclo de prueba dinámico establecido por la Unión Europea para los vehículos livianos y medianos, de gasolina o diésel, definidos en la directiva 93/59/EEC.
<b>Ciclo ECE-49:</b>	Es el ciclo de prueba estacionario establecido por la Unión Europea para los vehículos pesados de diésel.
<b>Ciclo FTP-75:</b>	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 diésel
<b>CO:</b>	Monóxido de carbono
<b>CO<sub>2</sub>:</b>	Dióxido de carbono
<b>DINAMOMETRO</b>	Instrumento para medir fuerzas, basado en la capacidad de deformación de los cuerpos elásticos.
<b>UDC :</b>	Ciclo urbano de conducción en un dinamómetro.
<b>EPA:</b>	Agencia de protección ambiental de los Estados Unidos
<b>EUDC:</b>	Ciclo Extra Urbano de conducción
<b>EURO:</b>	Es una norma europea que contiene un conjunto de requisitos que regulan los límites aceptables para las emisiones de gases de combustión de los vehículos nuevos vendidos en los Estados Miembros de la Unión Europea
<b>HC:</b>	Hidrocarburos
<b>HP:</b>	Horse Power (Caballos de Fuerza)
<b>km/h:</b>	Kilómetros por hora
<b>Mill/h:</b>	Millas por hora
<b>INEN:</b>	Servicio Ecuatoriano de Normalización

<b>LEV:</b>	Low Emission Vehicles (Vehículos de Bajas Emisiones.)
<b>NEDC:</b>	Nuevo Ciclo de Conducción Europeo.
<b>NOM-EM-167-SEMARNAT:</b>	Norma oficial mexicana de emergencia
<b>NO:</b>	Monóxido de nitrógeno u óxido nítrico
<b>N2O:</b>	Óxido nitroso
<b>N2O3:</b>	Trióxido de dinitrógeno
<b>N2O5:</b>	Pentóxido de dinitrógeno
<b>O2:</b>	Oxígeno
<b>PM:</b>	Material particulado
<b>RPM:</b>	Revolución por minuto
<b>RTV:</b>	Revisión Técnica Vehicular
<b>SULEV:</b>	Super Ultra Low Emission Vehicles (Vehículos Con Súper Ultra Bajas Emisiones)
<b>TLEV:</b>	Transitional Low Emission Vehicles (Transición de Bajas Emisiones Vehiculares).
<b>UDDS:</b>	Ciclo de conducción urbana en el dinamómetro (Urban Dynamometer Driving Schedule)
<b>ULEV:</b>	Ultra Low Emission Vehicles (Vehículos con Ultra Bajas Emisiones)

Iñiguez Carrión Juan Andrés

Ing. Mateo Fernando Coello Salcedo

Septiembre, 2017

**Propuesta de protocolo de ensayo para estimación de NOx de forma directa en fuentes móviles en el taller de Ingeniería Mecánica Automotriz de la Universidad del Azuay**

**INTRODUCCIÓN**

La calidad de aire y la salud de los seres humanos puede verse afectada por las emisiones de gases contaminantes producidos por fuentes móviles. Es por ello que a nivel mundial se implementan normativas y procesos de inspección y mantenimiento, para controlar y tratar de mitigar dichas emisiones. Sin embargo, en los centros de revisión técnica vehicular, según la norma ecuatoriana **INEN 2203:2000**, se miden varios gases, como el CO y HC en el caso de los motores a gasolina y, en el caso de los motores a diésel, se mide la opacidad según la norma ecuatoriana **INEN 2202:2000**; donde se observa que no se miden óxidos de nitrógeno (NOx), sin embargo, se cuenta con una normativa donde se establecen límites máximos permisibles de todos los gases nombrados anteriormente, esta norma es la **INEN 2204:2002**.

Este estudio se centrará en las emisiones vehiculares de los NOx, que son un grupo de gases compuestos por oxígeno y nitrógeno, son producidos por la alta temperatura y presión en cilindro, que se originan durante la combustión. Aunque se producen varios subproductos de este compuesto, el óxido nítrico (NO) constituye la mayor parte, alrededor del 98% de las emisiones de NOx producidas por el motor. El principal impacto ambiental es la lluvia ácida y, en los seres humanos, la irritación de los ojos, la nariz, la garganta, los pulmones y, posiblemente causar tos y una sensación de falta de aliento, cansancio y náusea. (Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades, 2016).

Es por esto que se pretende dar un soporte técnico, conceptual y normativo, a cerca de la medición de óxidos de nitrógeno, emitido, por fuentes móviles.

En este estudio se propone plantear un procedimiento para realizar las pruebas de medición en vehículos livianos, siguiendo una de las normativas internacionales escogida como guía. A partir de ello se establecen los requerimientos y los costos que, el taller de Ingeniería en Mecánica Automotriz de la Universidad del Azuay, necesita para que se puedan realizar estudios investigativos relacionados con el NOx.

## 1. Capítulo I: GENERALIDADES

En este capítulo se analizará la problemática, la conceptualización de la inexistencia de un protocolo de ensayo para la revisión de NOx y a partir de esto, se plantean los pasos a seguir para evaluar este contaminante, utilizando la infraestructura y el equipamiento de la Universidad del Azuay.

### 1.1.Problemática

Actualmente el servicio ecuatoriano de normalización INEN, no cuenta con un protocolo de ensayo para la evaluación de NOx en fuentes móviles de manera directa, a diferencia de otros países que además de contar con un protocolo dentro de sus normas, los manejan dentro de los centros de revisión técnica vehicular.

### 1.2.Marco Teórico

**Óxidos de nitrógeno (NOx):** Los óxidos de nitrógeno son un grupo de gases compuestos por óxido nítrico (NO) y dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>). El término NOx se refiere a la combinación de ambas sustancias. (PRTR España, 2007)

**Control de emisiones en automóviles:** Son las tecnologías que se utilizan para controlar y reducir la contaminación del aire producida por los automóviles. (Schwartz, 2003)

**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:

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

**Ciclo ECE-49:** Es el ciclo de prueba estacionario establecido por la Unión Europea para los vehículos pesados de diésel. (Ministerio de Transporte y Telecomunicaciones, 2015)

**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 diésel, y publicado en el Código Federal de Regulaciones. (Behrentz & Bogotá, 2005)

**Modo de simulación de aceleración - Acceleration Simulation Mode (ASM):** Con la prueba de ASM, Los hidrocarburos (HC), Monóxido de carbono (CO) y los óxidos de nitrógeno (NOx) se miden bajo dos condiciones: a condición carga alta al motor (50% de potencia) y velocidad baja (24km/h = 15 millas/hora) (Prueba 50/15) y una condición de carga moderada (25% de potencia) y velocidad moderada (40 km/h = 15 milla/h) (Prueba 25/25). (EPA, 2004)

**Estimación de Emisiones:** A través de los años se han desarrollado diferentes metodologías para la estimación de inventarios de emisiones de fuentes móviles, las cuales se pueden clasificar en metodologías de estimación directa y metodologías de estimación indirecta.

**Estimaciones Directas:** Las metodologías de estimación directa son aquellas que realizan mediciones de emisiones directamente en la fuente. Son metodologías muy precisas pero que necesitan una inversión de capital considerable para obtener resultados representativos.

**Estimaciones indirectas:** Las metodologías de estimación indirecta, como su nombre lo indica, son aquellas que permiten estimar las emisiones de contaminantes provenientes de una fuente a partir de diversas variables relacionadas con estas. (IDEAM, 2006)

**EURO:** Es una norma europea que contiene un conjunto de requisitos que regulan los límites aceptables para las emisiones de gases de combustión de los vehículos nuevos vendidos en los Estados Miembros de la Unión Europea. (EURO, 2000)

### **1.3.Estado del Arte**

El Óxido de Nitrógeno es una sustancia gaseosa agresiva para la piel que provoca enrojecimiento y quemaduras cutáneas graves, también afecta al tracto respiratorio causando daños irreversibles en el tejido pulmonar. La inhalación de este gas, en un periodo corto de tiempo y en altas concentraciones, puede originar edemas pulmonares que se agravan con el esfuerzo físico, ya que los síntomas empiezan horas después del contacto directo. Una exposición prolongada puede afectar además al sistema inmunológico, ocasionando resistencia a infecciones. (EINECS, 2015)

La Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2203:99 “Gestión Ambiental, Aire, Vehículos Automotores, especifica que la determinación de la Concentración de Emisiones de Escape, se deben ejecutar en Condiciones de Marcha Mínima o “Ralentí”, que puede definirse como una “Prueba estática”, publicada en el Suplemento al Registro Oficial número 115 de 7 de julio del 2000. Sin embargo, para realizar un ensayo para el control de los NOx, es necesario tener en cuenta que las emisiones de este contaminante en un test sin carga son despreciables y presentan una alta variabilidad debido a la inestabilidad del motor en estas condiciones, siendo necesario que la medición de NOx se realice aplicando una carga al motor durante el ensayo, que además permite la medición de otros gases en condiciones óptimas y reales de operación (CO y HC). (Soto & Durán, 2014) (INEN, 2002)

A nivel internacional se han definido tres tipos de emisión para fuentes móviles, las emisiones por el tubo de escape, las emisiones de gases por el cárter y las emisiones evaporativas. Para reglamentar estas emisiones, las fuentes móviles se han clasificado de acuerdo a la clase, el uso, el año modelo y el combustible utilizado, entre otros. Adicionalmente, dependiendo del tipo de vehículo, se han definido los gases contaminantes a reglamentar y el tipo de ciclo o prueba utilizado para la medición de los contaminantes. (IDEAM, 2006)

Actualmente la Agencia de protección ambiental (EPA) recomienda el uso de pruebas en carga y no las actuales mediciones en vacío, para los vehículos catalíticos (California Air Resource Board, Mobil Source División, 1996) (Soto & Durán, 2014).

En Norteamérica, se usan dos métodos dinámicos de medición de gases, el ASM y la evaluación de contaminantes a través del ciclo FTP-75, ambos normados por la EPA. En Latinoamérica se utilizan, en su mayoría, normativas de la EPA para medir gases en los RTV, tal es el caso de México y Chile, que utiliza el Acceleration Simulation Mode (ASM); y en el caso de Argentina se utiliza el ciclo de prueba IM-240. En los países que conforman la unión europea (EU) se utilizan: el Ciclo ECE-15 + EUDC (NEDC) y el Ciclo ECE-49, cumpliendo con las normativas de la EURO. (INEN, 2002)

#### **1.4.Pregunta de investigación**

¿Cuál será el protocolo de ensayo y el equipamiento necesario para medir emisiones de NOx en fuentes móviles de manera directa?

#### **1.5.Objetivo general**

Establecer un protocolo de ensayo que permita estimar los óxidos de nitrógeno de fuentes móviles de manera directa en el taller de ingeniería Automotriz de la Universidad del Azuay.

### **1.6.Objetivos específicos**

- Analizar las normativas y protocolos de ensayo existentes para estimar los óxidos de nitrógeno en fuentes móviles de manera directa.
- Establecer la instrumentación necesaria para llevar a cabo el protocolo de ensayo para la medición de óxidos de nitrógeno en el taller de la Universidad del Azuay.
- Proponer un protocolo de ensayo a seguir para medir óxidos de nitrógeno en el taller de la universidad.
- Definir estudios que se puedan realizar a partir de la estructuración e implementación del protocolo de ensayo para el taller de la Universidad del Azuay.

### **1.7.Alcance**

El proyecto será de carácter descriptivo, se indagará y analizará sobre normativas y protocolos de ensayo, con los que se trabajen a nivel mundial, en vehículos *livianos*; que puedan ser adaptados al taller de Ingeniería Mecánica Automotriz de la Universidad del Azuay. Se definirá cual es el equipamiento y el costo necesario para la implementación y por último se analizarán posibles trabajos que se puedan desarrollar posteriormente, en lo referente.

## **2. Capítulo II: Análisis de las normativas y protocolos de ensayo existentes para evaluar los óxidos de Nitrógeno**

En este capítulo se exponen los fundamentos universales del NO<sub>x</sub>, normativas y protocolos para vehículos livianos utilizados en países de primer mundo como son: Estados Unidos y los Países de la Unión Europea. (Normas EPA y EURO) y en algunos países latinoamericanos: Argentina Chile y México. (Normativas nacionales basadas en protocolos de la EPA y EURO).

Además, se menciona la situación actual del Ecuador en lo que se refiere a la medición de gases en los centros de revisión técnica vehicular. En el Ecuador a pesar de que no se miden NO<sub>x</sub>, existen límites máximos permisibles.

### **2.1.Fundamentos Teóricos:**

#### **2.1.1. Óxidos de Nitrógeno:**

##### **2.1.1.1. Definición:**

Los óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>) son varios compuestos químicos binarios gaseosos formados por la combinación de oxígeno y nitrógeno. El proceso de formación más habitual de estos compuestos inorgánicos es la combustión a altas temperaturas, proceso en el cual el oxígeno del aire es el comburente. Los gases más importantes dentro de los grupos de los NO<sub>x</sub>, son el óxido nítrico (NO) y el dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>). Ambos, están considerados contaminantes del aire.

El monóxido de nitrógeno u óxido nítrico (NO) es un gas incoloro y poco soluble en agua presente en pequeñas cantidades en los mamíferos.

En cuanto al dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>), se trata de un agente tóxico, no inflamable, soluble en agua y de color pardo-rojizo. Su estructura molecular está constituida por un átomo de nitrógeno y dos átomos de oxígeno.

Otros óxidos de nitrógeno presentes habitualmente en la atmósfera son  $N_2O$  (óxido nitroso),  $N_2O_3$  (trióxido de dinitrógeno) y  $N_2O_5$  (pentóxido de dinitrógeno). (Cadiz, 2007)

### **2.1.1.2.Propiedades:**

El estado de oxidación que el nitrógeno adquiere en los diferentes óxidos les confiere propiedades químicas particulares.

El óxido nitroso ( $N_2O$ ), conocido como gas de la risa (hilarante), tiene propiedades narcóticas, por lo que encuentra aplicaciones en odontología. En la industria alimenticia se utiliza para hacer los alimentos (natas, yogures etc.) más espumosos. Otra aplicación consiste en inyectar dicho gas en los motores convencionales o en algunos cohetes para lograr un incremento de la potencia de los mismos.

El dióxido de nitrógeno ( $NO_2$ ) es un potente agente oxidante y actúa como comburente frente a materiales combustibles. Se disuelve en muchos compuestos orgánicos (sulfuro de carbono, hidrocarburos halogenados, etc.) y reacciona con el agua dando una mezcla de ácidos nítrico y nitroso. A elevadas temperaturas se descompone en  $NO$  y oxígeno, pudiendo reaccionar de forma violenta con riesgo de inflamación y/o explosión con compuestos tales como: boro, óxido de cloro, hidrocarburos, fosfina, olefinas, nitrobenzeno, amoníaco, sulfuro de carbono, hidrocarburos halogenados, etc.

En cuanto al monóxido de nitrógeno ( $NO$ ), además de su papel contaminante en la atmósfera, presenta propiedades muy importantes desde un punto de vista biológico. En 1987 se descubrió que el cuerpo humano produce pequeñas cantidades de  $NO$  a partir del aminoácido arginina. Actualmente se sabe que el  $NO$  participa en procesos que permiten la supervivencia de los organismos, tales como la regulación de la presión sanguínea, el desarrollo del sistema nervioso central, la transmisión nerviosa en los procesos de aprendizaje y memoria, y la activación de la respuesta inmune. Finalmente, el  $NO$  también sirve como conservante. Es liberado del nitrito que se utiliza en la conservación de la carne; de hecho, algunos virus y microorganismos liberan  $NO$  para matar células. (Augeri, 2011)

### **2.1.1.3.Fuentes de emisión:**

Los óxidos de nitrógeno se producen de forma natural, durante la descomposición bacteriana de nitratos orgánicos, la combustión vegetal (incendios forestales y quema de rastrojeras), las tormentas eléctricas, las erupciones volcánicas, etc.

Las actividades humanas contribuyen a la emisión de óxidos de nitrógeno mediante el escape de vehículos motorizados, sobre todo de tipo diésel, la combustión del carbón, petróleo o gas natural, procesos tales como la soldadura al arco, galvanoplastia, grabado de metales y la detonación de dinamita. También son producidos comercialmente al hacer reaccionar el ácido nítrico con metales o con celulosa. Del conjunto de óxidos de nitrógeno emitidos a la atmósfera, el más abundante es el óxido nítrico (NO) y, en menor proporción, el dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>). (Bash, 2015)

### **2.1.1.4.Impacto Ambiental:**

Los óxidos de nitrógeno en general son poco solubles en agua, pero forman ácido nitroso o ácido nítrico cuando entran en contacto con ella, lo que le convierte en un agente contaminante.

El dióxido de nitrógeno puede convertirse, en el aire, en ácido nítrico, lo que provoca que el agua que cae de las nubes se vuelva tóxica, un fenómeno conocido comúnmente como "lluvia ácida" y que provoca graves daños en la naturaleza. Asimismo, los óxidos de nitrógeno pueden reaccionar con compuestos orgánicos volátiles y producir el denominado ozono terrestre o troposférico, por situarse en esta capa más baja de la atmósfera. Mientras que la capa de ozono situada en las zonas altas de la atmósfera nos protege de los letales rayos ultravioleta, el ozono troposférico es un peligroso agente tóxico que destruye vegetales, irrita vías respiratorias y se convierte en un gas de efecto invernadero. En verano se produce el mayor incremento en la concentración de este tipo de ozono, por el aumento de la intensidad de la luz solar y las reacciones con los hidrocarburos volátiles que provienen de los gases de escape de los vehículos. Además, recientemente se ha conocido gracias a un estudio realizado por un equipo de

investigadores europeos que los óxidos de nitrógeno son los causantes de la reducción del ozono "bueno".(Van der Spoel., 2015)

#### **2.1.1.5.Impacto a los seres humanos:**

Los niveles bajos de óxidos de nitrógeno en el aire pueden irritar los ojos, la nariz, la garganta, los pulmones, y posiblemente causar tos y una sensación de falta de aliento, cansancio y náusea. La exposición a bajos niveles también puede producir acumulación de líquido en los pulmones 1 o 2 días luego de la exposición. Respirar altos niveles de óxidos de nitrógeno puede rápidamente producir quemaduras, espasmos y dilatación de los tejidos en la garganta y las vías respiratorias superiores, reduciendo la oxigenación de los tejidos del cuerpo, produciendo acumulación de líquido en los pulmones y la muerte.

Si la piel u ojos entraran en contacto con altas concentraciones de monóxido de nitrógeno gaseoso, o dióxido de nitrógeno líquido probablemente sufrirían quemaduras graves.

No se sabe si la exposición a los óxidos de nitrógeno puede afectar la reproducción en seres humanos. (ASTDR, 2002)

#### **2.1.1.6.Formación de óxidos de nitrógeno en motores de vehículos:**

La alta temperatura y presión en cilindro, que se originan durante la combustión, generan Óxidos de Nitrógeno (NOx). Aunque se producen varios subproductos de este compuesto, el óxido nítrico (NO) constituye la mayor parte, alrededor del 98% de las emisiones de NOx producidas por el motor.

La mayor cantidad de NOx se produce durante condiciones de alta presión de combustión y temperaturas elevadas. Sin embargo, pequeñas cantidades de NOx también se pueden producir, a bajos niveles de aceleración. Las causas más comunes del exceso de NOx incluyen un funcionamiento defectuoso del sistema EGR (Recirculación

de Gases de Escape), mezcla pobre de aire / combustible, alta temperatura del aire de entrada, motor sobrecalentado y excesivo avance del encendido, entre otras.

Impacto de la mezcla Aire / combustible en las emisiones de escape: La producción de NOx es muy alta con tan solo un pequeño cambio en la mezcla (mezcla ligeramente pobre). Esta relación es inversa para los HC y CO. Por ello se puede entender la complejidad en la reducción de las emisiones de los tres contaminantes al mismo tiempo.(Chávez, 2006)

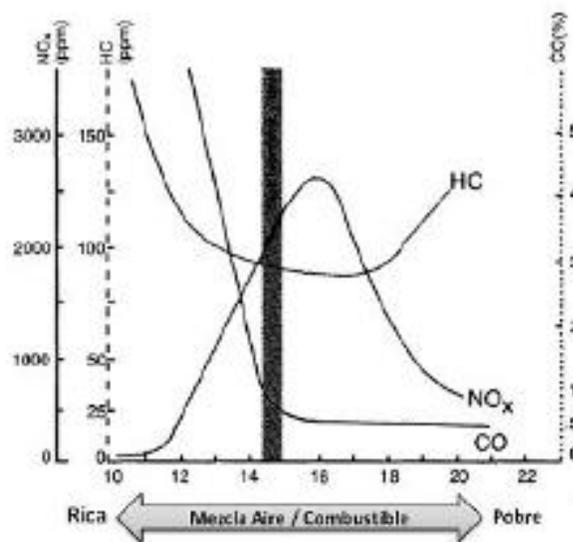


Figura 2.1: Grafica del impacto de la mezcla aire/combustible en las emisiones vehiculares.

Fuente: (Chávez, 2006)

## 2.2. Análisis de ensayos para medir NOx:

Existen diversos protocolos de ensayo para la estimación de NOx en todo el mundo, donde los procesos de medición de dichos gases son similares, pero cada uno acoplado a las distintas condiciones de cada región. A continuación, se presentan algunos ejemplos de países donde se estiman NOx con sus respectivos requerimientos y límites máximos permisibles.

### **2.2.1. Ensayos de medición de NOx en Estados Unidos:**

En los Estados Unidos existen varios tipos de ensayo para la medición de gases, entre los más conocidos se encuentran: Los ciclos FTP-75, el ASM (Acceleration Simulation Mode), y en el caso de vehículos pesados se utiliza el USA-13; estas pruebas varían de estado a estado, en Texas por ejemplo, se utiliza el ASM.

#### **2.2.1.1.Requerimientos:**

La CFR (Code of Federal Regulations) especifica los requerimientos para realizar el ensayo FTP-75; en términos generales es indispensable contar con un banco dinamométrico, así como también con un analizador de gases, ambos que cumplan con las especificaciones dadas por la EPA por medio de la CFR “Titulo 40: Protección del Medio Ambiente, Parte 86”, donde también se especifica la necesidad de contar con un laboratorio capaz de tener una temperatura ambiente controlada para la obtención correcta de las muestras de NOx; de ser posible se recomienda el uso de ventiladores para evitar recalentamientos del motor del vehículo al que se le someta a la prueba. (ANEXO 1) (CFR, 2016)

En cuanto al ensayo ASM es necesario contar con los siguientes equipos:

**Dinamómetro:** El dinamómetro ASM incluye una masa de inercia fija, una unidad de absorción de energía, un sistema de medición de par, un sensor de velocidad, rodillos Impulsores, un motor de calentamiento, y una plataforma elevadora.

**El analizador de gases:** mide las emisiones de 5 gases; los Hidrocarburos (HC), monóxido de carbono (CO), óxido nítrico (NO), Dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) y oxígeno (O<sub>2</sub>). Para analizar los diversos gases, una celda de NO mide óxido nítrico. La celda debe ser reemplazada periódicamente. (EPA, 2004)

### 2.2.1.2.Procedimientos:

- **Procedimiento FTP-75:**

Como se mencionó anteriormente, el ciclo de conducción FTP-75, esta normado por la EPA, mediante la CFR, en su Título 40 (parte 86) llamado el ciclo de FTP-75 consta de los siguientes segmentos como se puede apreciar en la Figura 2.2:

- Fase transitoria de arranque en frío (temperatura ambiente 20-30 ° C), 0-505 s,
- Fase estabilizada, 506-1372 s,
- Parada en caliente (mínimo 540 s, máximo 660 s),
- Fase transitoria de arranque en caliente, 0-505 s.

Las emisiones de cada fase se recogen en una bolsa de teflón independiente, se analizan y se expresan en g / milla (g / km). (CFR, 2016)

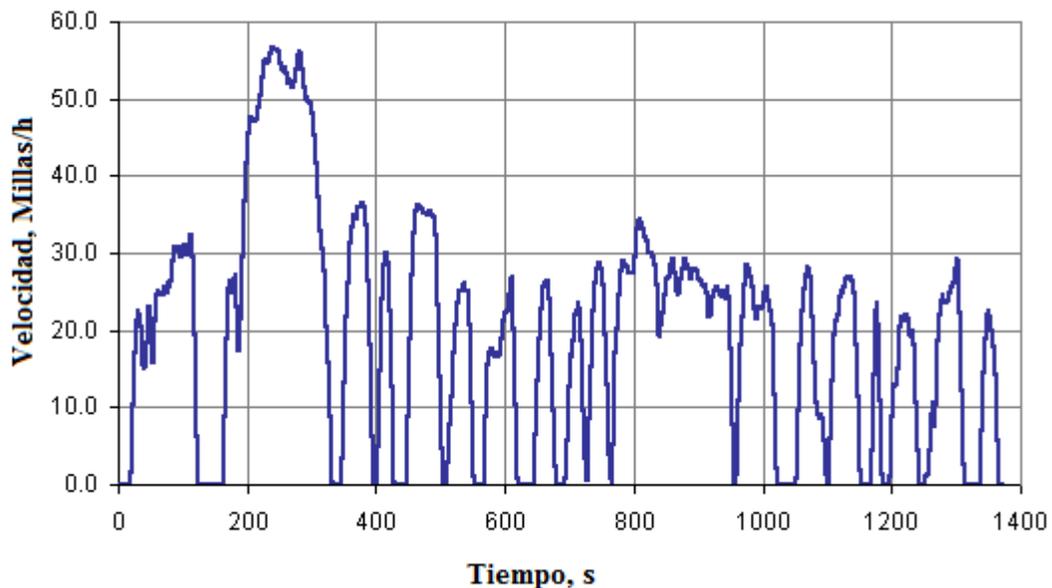


Figura 2.2: Grafica Velocidad-Tiempo Ciclo de Conducción CICLO URBANO FTP75 Urban Dynamometer Driving Schedule (UDDS)  
Fuente: (CFR, 2016)

- **Procedimiento ASM (Acceleration Simulation Mode):**

El procedimiento ASM, está normado por la EPA en un documento llamado “Acceleration Simulation Mode Test Procedures, Emisión Standard, Quality Control Requirements, and Equipment Specifications”, Technical Guidance, (EPA, 2004)

- **Pre acondicionamiento de equipo y vehículo:** Para la medición de gases durante este proceso es necesario un pre-acondicionamiento del vehículo y una correcta calibración de los equipos, para que exista una medida exacta al momento que se finalice la prueba, cabe recalcar que los vehículos denominados por los fabricantes como no aptos para pruebas en un dinamómetro, deben estar exentos de realizar estas pruebas.

- **Procedimiento de Prueba:** Cuando la secuencia de acondicionamiento se ha completado con éxito, se inicia el modo ASM 50/15. El cronómetro de pruebas ASM se iniciará ( $t = 0$ ) cuando: la velocidad del vehículo, las RPM del motor y la carga de banco de pruebas se encuentren dentro de los parámetros especificados para cada tipo de vehículo, descritos en el capítulo IV tabla 4-1, tomados del documento de la EPA “Acceleration Simulation Mode Test Procedures, Emisión Standard, Quality Control Requirements, and Equipment Specifications”, Technical Guidance, (EPA, 1996)”.

- **ASM Modo de prueba 50/15:**

Para el modo 50/15 (*Carga externa al motor equivalente al 50% de la potencia requerida para acelerar al vehículo a una tasa de aceleración de  $1.47 \text{ m/s}^2$ /velocidad baja de 15 mill/h*) el conductor debe acelerar el vehículo progresivamente hasta alcanzar una velocidad de 15 mill/h (24 km/h)  $\pm$  1 mill/h y mantenerla hasta un tiempo máximo de 90 segundos; la carga que el dinamómetro genera al motor, no debe diferir más de 0,25 hp o 2% durante más de dos segundos consecutivos. Los límites de velocidad, el tiempo de prueba, RPM del motor y otra información acerca de la prueba se visualizan en el monitor de la computadora comandado por un software.

El vehículo pasará la prueba del modo ASM 50/15 si, en cualquier punto entre un tiempo transcurrido de 15 segundos y 90 segundos, los valores medidos (10 segundos promedio) para cada contaminante son al mismo tiempo menor o igual a las normas de prueba aplicables. Una vez completado el análisis de gases, el modo 50/15 terminará y se procederá a la siguiente fase de la prueba, el modo de prueba 25/25. (EPA, 2004)

➤ **ASM Modo de prueba 25/25:**

Los procedimientos de modo de prueba 25/25 (*Carga externa al motor equivalente al 25% de la potencia requerida para acelerar al vehículo a una tasa de aceleración de 1.47 m/s<sup>2</sup>/velocidad moderada de 25 mill/h*) son similares al modo de prueba de 50/15, la diferencia radica en que la velocidad en este caso debe incrementar a 25 mill/h (40 km/h)  $\pm$  1 mill/h, así como también el par del dinamómetro cambia automáticamente a la carga requerida para el modo 25/25.

El vehículo pasará el modo de prueba 25/25 si a los 10 segundos de lecturas medias de HC, CO y NO<sub>x</sub> son todos iguales o inferiores a las normas aplicables para el vehículo descritas en el documento de la EPA: “Acceleration Simulation Mode Test Procedures, Emission Standard, Quality Control Requirements, and Equipment Specifications”, Technical Guidance, (EPA, 1996).

Una vez que las lecturas se han logrado para todos los gases, el modo 25/25 finalizara y se dará por concluido el ensayo.(EPA, 2004)

### **2.2.1.3.Límites de emisiones de NO<sub>x</sub> en Estados Unidos, para vehículos livianos:**

- **Límites de acuerdo al ciclo de conducción FTP-75:**

En la Tabla 2-1 se muestra los límites de emisión para el protocolo de prueba normado por la EPA, denominado FTP-75. En noviembre de 1998, el ARB California adoptó normas de emisión Low Emission Vehicle II (LEV II) que fueron implementados a partir de 2004 hasta 2010. Los fabricantes pueden certificar los vehículos a las normas de emisión LEV II hasta el modelo 2019.

Tabla 2-1: LEV II normas de emisión para vehículos de pasajeros, FTP-75, g / mill.

Categoría	50.000 millas / 5 años	120.000 millas / 11 años
	NO <sub>x</sub>	NO <sub>x</sub>
LEV	0.05	0.07
ULEV	0.05	0.07
SULEV	-	0.02

- Transitional Low Emission Vehicles (TLEV): Transición de Bajas Emisiones Vehiculares.
- Low Emission Vehicles (LEV): Vehículos de Bajas Emisiones.
- Ultra Low Emission Vehicles (ULEV): Vehículos con Ultra Bajas Emisiones.
- Super Ultra Low Emission Vehicles (SULEV): Vehículos Con Súper Ultra Bajas Emisiones

Fuente:(Abraczinskas, Jones, Chandler, & Bello, 2016)

- **Límites del procedimiento ASM:**

A continuación se muestran los límites de emisión de NO<sub>x</sub>, descritos en el documento de la EPA llamado “Acceleration Simulation Mode Test Procedures, Emisión Standard, Quality Control Requirements, and Equipment Specifications”, Technical Guidance. Donde se especifica; según el año de fabricación de los vehículos livianos, los distintos límites de emisión del NO<sub>x</sub>, los límites están expresados en porcentaje; una vez identificado, el año del vehículo, en la Tabla 2-2, se procede a localizar, según el peso vehicular, los diferentes límites de NO<sub>x</sub> tanto en el modo 50/15, como en el modo 25/25, en el ANEXO 3.

Tabla 2-2: Límites de Emisiones Vehiculares NOx revisar ANEXO 3

<b>Año Modelo</b>	<b>Óxidos de Nitrógeno ANEXO 3 (iii)</b>
1994+ Actualidad	41
1991-1995	42
1983-1990	43
1981-1982	43
1980	48
1977-1979	48
1975-1976	50
1973-1974	50
1968-1972	51

Fuente: (EPA, 2004)

### **2.2.2. Ensayos de medición de NOx en Europa:**

La unión europea utiliza las normativas EURO para controlar las emisiones vehiculares, tanto para homologación, como para el control en los centros de revisión técnica Vehicular, actualmente está en vigencia la normativa EURO 6 cuyo objetivo principal es disminuir las emisiones de NOx de 180 mg/km (límite de emisión EURO 5) a 80 mg/km y material particulado (PM) de 5 mg/km (límite de emisión EURO 5) a 4,5 mg/km, en los vehículos a Diésel. En cambio, en los vehículos a gasolina, desde la vigencia de la EURO 5, los límites de emisión de óxidos de nitrógeno iguales a 60 mg/km no han sido modificados en la actual normativa EURO 6. (Álvarez, 2015)

### **2.2.2.1.Requerimientos:**

Los equipos necesarios para realizar las pruebas de medición de gases en Europa están especificados en la “*Directiva 70/220/CEE del Consejo, de 20 de marzo de 1970, relativa a la aproximación de las legislaciones de los Estados Miembros en materia de medidas que deben adoptarse contra la contaminación del aire causada por los gases procedentes de los motores de explosión con los que están equipados los vehículos a motor*” estos son: un dinamómetro de chasis, No se prescribe un modelo determinado . Sin embargo, su regulación no se verá afectada por el paso del tiempo. No deberá producir vibraciones perceptibles en el vehículo capaces de perjudicar su funcionamiento normal. Llevará obligatoriamente un adaptador de inercias que permita reproducir el funcionamiento del vehículo en carretera; un analizador de gases, este será del tipo infrarrojo no dispersivo. El analizador de hidrocarburos será sensibilizado al n-hexano, así como también con un software para el control de los equipos y del vehículo al que se le realiza la prueba de medición de gases, es importante tener un laboratorio en el que se pueda manipular la temperatura ambiente para la correcta obtención de las mediciones. (EUR - Lex, 2015) (ANEXO 2)

### **2.2.2.2.Procedimientos:**

En la Unión Europea se evalúan los NOx de acuerdo a ciclos estandarizados por la EURO, estos ciclos son:

- ✓ Procedimiento NEDC (Nuevo Ciclo de Conducción Europeo).
- ✓ Procedimiento UDC (Ciclo urbano de conducción en un dinamómetro).
- ✓ Procedimiento EUDC (Ciclo Extra Urbano de conducción).

- **Procedimiento NEDC (Nuevo Ciclo de Conducción Europeo):**

Antes de la prueba, se deja el vehículo durante al menos seis horas a una temperatura de ensayo de 20 a 30 ° C.

A partir del año 2000, se elimina el tiempo en el que el vehículo permanece en ralentí, es decir, el motor comienza a 0 s y el muestreo de emisión comienza en el mismo tiempo. Este procedimiento de arranque en frío modificado se conoce como él (NEDC)

o como el ciclo de prueba MVEG-B, en la Figura 2.3 se puede observar la gráfica Velocidad-Tiempo del ciclo NEDC. (DieselNet, 2015)

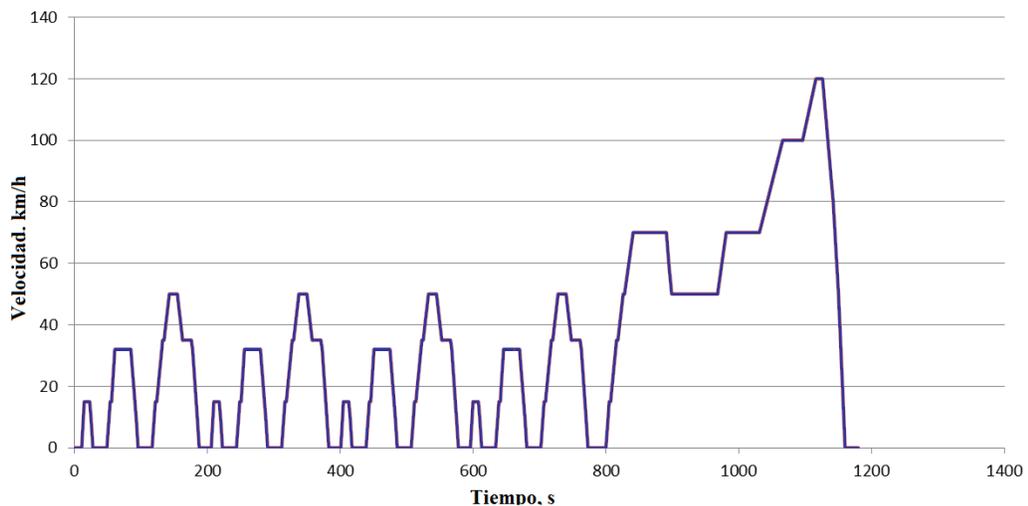


Figura 2.3: Grafica Velocidad-Tiempo Ciclo de Conducción NEDC

Fuente: (EPA, 2016)

- **Procedimiento ECE o UDC (Ciclo urbano de conducción en un dinamómetro):**

El ECE es un ciclo de conducción urbano, también conocido como UDC. Fue ideado para representar las condiciones de conducción de la ciudad, por ejemplo, en París o Roma. Se caracteriza por la baja velocidad del vehículo, la carga baja del motor, y la baja temperatura de los gases de escape; en la Figura 2.3 se muestra la gráfica de velocidad tiempo del ciclo simulado en un banco dinamométrico, al igual que la Figura 2.4 donde se muestra la gráfica velocidad tiempo, para vehículos de baja potencia. (DieselNet, 2015)

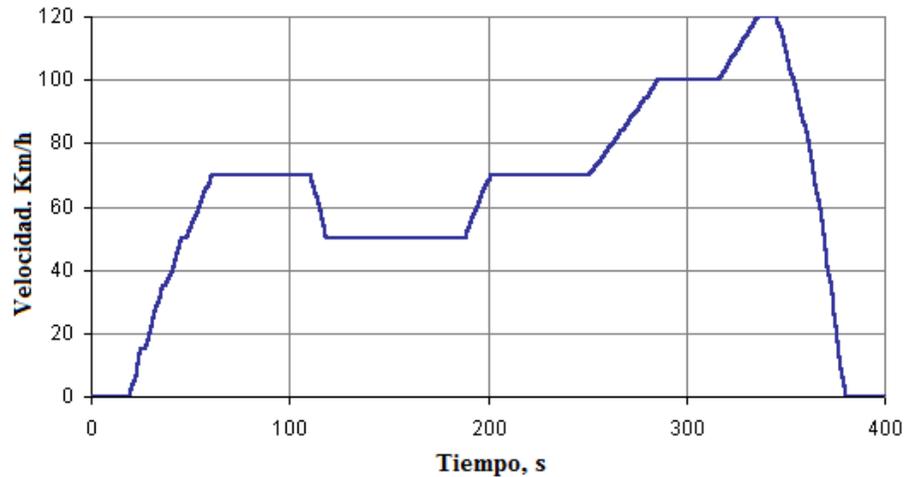


Figura 2.4: Grafica Velocidad-Tiempo Ciclo de Conducción EUDC

Fuente: (EPA, 2016)

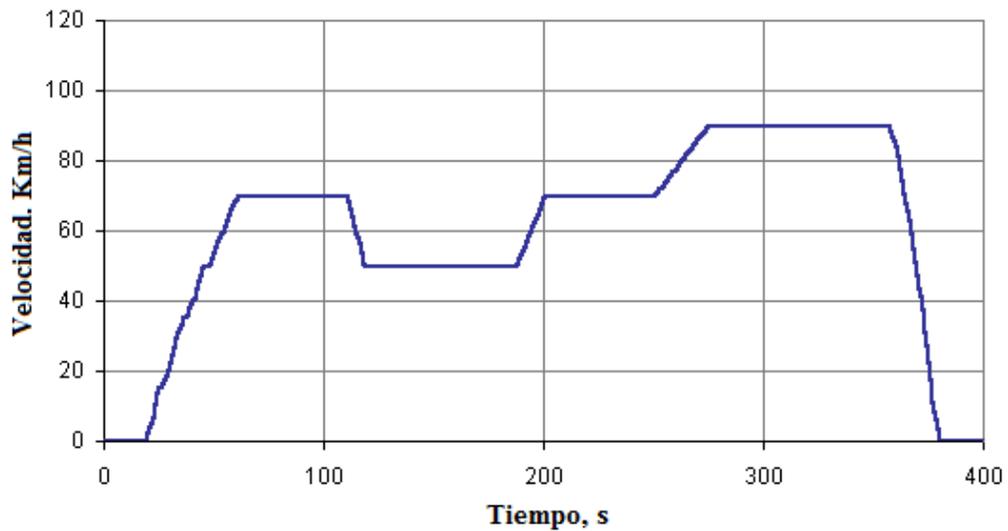


Figura 2.5: Grafica Velocidad-Tiempo Ciclo de Conducción EUDC para vehículos de baja potencia

Fuente: (EPA, 2016)

- **Procedimiento EUDC (Ciclo Extra Urbano de conducción):**

El segmento EUDC se ha añadido después del cuarto ciclo ECE para dar cuenta de los modos de conducción más agresiva, de alta velocidad. La velocidad máxima del ciclo EUDC es de 120 km / h. Un ciclo EUDC alternativo para los vehículos de baja potencia también se ha definido con una velocidad máxima de 90 km / h.

### 2.2.2.2.Límites de emisiones de NOx en Europa, para vehículos livianos:

Las Normas EURO, a lo largo del tiempo se han utilizado para estandarizar los límites permisibles de emisiones vehiculares; en la Tabla 2-3 se exhiben dichas concentraciones, expresados en g/km desde la EURO 1 hasta la actual EURO 6.

Tabla 2-3: Límites de Emisión Europa

g/km	EURO 1	EURO 2	EURO 3	EURO 4	EURO 5	EURO 6
CO	3,16	1	0,64	0,5	0,5	0,5
HC	-	0,15	0,06	0,05	0,05	0,05
NOx	-	0,55	0,5	0,25	0,18	008
PM	0,14	0,08	0,05	0,009	0,005	0,005

Fuente: (Comision Europea, 2007)

### 2.2.3. Ensayos de medición de NOx en Latinoamérica:

Algunos países de Latinoamérica, han tomado medidas con respecto a la contaminación producida por los NOx, guiándose de naciones, en las cuales estas mediciones se las realizaba desde años posteriores, adaptándolas a las condiciones de cada región, así como también se han establecido límites de cada contaminante; a continuación, se presentan algunos de los países que cuentan con protocolos de ensayo vigentes, establecidos en sus normativas.

#### 2.2.3.1.Ensayos de medición de NOx en Argentina:

La ley 24449 en el decreto reglamentario 779/95 dictamina los procedimientos, requerimientos y los valores límites para la medición de gases producidos por fuentes móviles, esta normativa utiliza el ciclo denominado IM240, es un condensado de 240 segundos (4 min) de los primeros 505 segundos del ciclo US FTP, regulado por la EPA a través de la CFR título 40 en su Parte 86. (Secretaría del ambiente y desarrollo sustentable, 2000)

- **Procedimiento de Ensayo:**

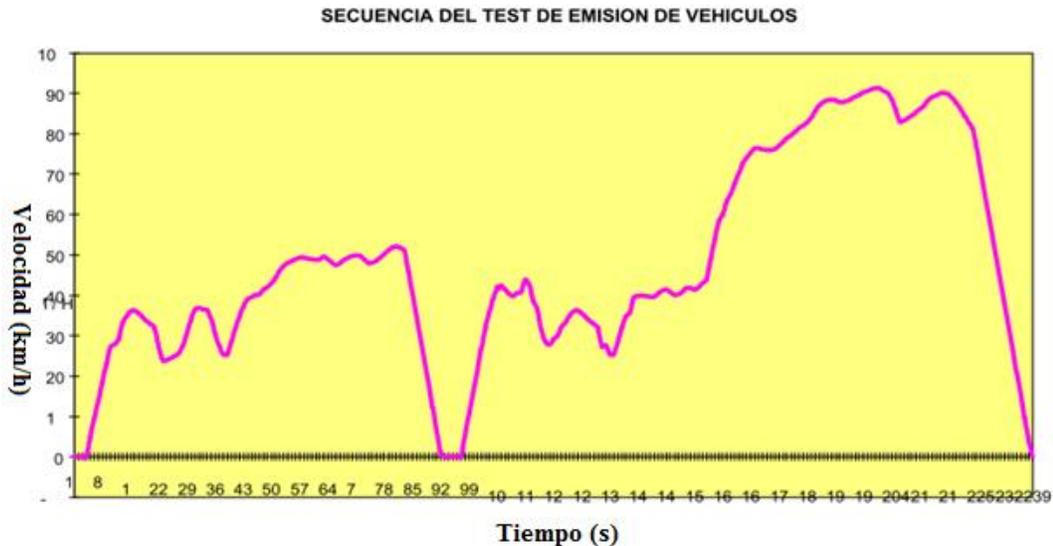
Este ensayo tiene por objeto determinar la emisión en masa de hidrocarburos, monóxido de carbono y óxidos de nitrógeno, en tanto el vehículo simula un recorrido urbano de aproximadamente TRES KILÓMETROS (3 Km.). El ensayo consiste en el arranque del

motor y operación del vehículo en un banco dinamométrico a través de un ciclo de manejo especificado.

El ensayo se compone de DOS (2) ciclos de TRES KILÓMETROS CON DOS DÉCIMAS DE KILÓMETRO (3,2 km.) siendo ambos con partida en caliente (temperatura de régimen del motor), el resultado es la medida ponderada entre los mismos que representa un viaje promedio de TRES KILÓMETROS CON DOS DÉCIMAS DE KILÓMETRO (3,2 km.)

El vehículo se mantiene posicionado en el dinamómetro de ensayo DIEZ MINUTOS (10') entre ambos ensayos. Ambos ciclos con partida en caliente representan un condensado de 240 segundos de los primeros 505 segundos (período transitorio) del ciclo de manejo US FTP.

Los gases recogidos del vehículo son diluidos con aire de modo de obtener un caudal total constante (o sea una dilución variable). El caudal total de gases de escape diluido en aire es continuamente monitoreado (segundo a segundo) a través de la diferencia de presión que se produce en el sistema Venturi del muestreador a volumen constante y determinado másicamente a través de cálculos normalizados (CFR Título 40 Parte 51 y 86) con las lecturas continuas de la presión total y temperatura. Una parte de esta mezcla es muestreada a caudal constante y su concentración de contaminantes analizada en forma continua (segundo a segundo). La masa de las emisiones son determinadas a través de un cálculo matemático normalizado (CFR Título 40 Parte 51 y 86) que lleva a cabo una computadora central que recibe y almacena los datos de concentraciones y caudales másicos instantáneos brindados por el banco de análisis y el muestreador a volumen constante respectivamente.(Secretaria del ambiente y desarrollo sustentable, 2000)



Distancia recorrida: 3,2 km

Duración del test: 240s

Velocidad Media: 30 km/h

Velocidad Máxima: 92 km/h

Tiempo de ralentí: 11s (4,58 % del test)

Figura 2.6: Grafica Velocidad-Tiempo Ciclo de Conducción IM240.

Fuente: (Secretaria del ambiente y desarrollo sustentable, 2000)

- **Equipamiento:**

- a) Analizador de gases:

Determina la masa total de cada uno de los contaminantes (CO, HC y NO<sub>x</sub>) emitida por el escape del vehículo durante el ensayo. El sistema de muestreo trabaja con una dilución variable en aire ambiental, obteniendo así un caudal de gases de escape diluidos aproximadamente constante, que puede ser continuamente medido con precisión en el banco de analizadores o muestreado proporcionalmente a bolsas de volumen conocido cuya concentración final identifica la masa emitida en cada fase.

- b) Dinamómetro de chasis:

Tiene a cargo la simulación de las condiciones reales de marcha del vehículo, su función primordial consiste en fijar la carga instantánea del ciclo UDDS (Urban

Dynamometer Driving Schedule) a través de un torque que se opone continuamente al giro de las ruedas teniendo en cuenta el rodamiento, la resistencia aerodinámica y la inercia del vehículo ensayado. Por otra parte, mide en forma continua las variables de funcionamiento (Velocidad, distancia recorrida y potencia resistiva) que establecen la condición de marcha.

c) Software:

La computadora central encargada de establecer y controlar en forma continua las condiciones del ensayo (velocidad, carga, marchas, etc.). Su interacción con el vehículo se produce a través del conductor que debe seguir, la traza visual velocidad vs tiempo que aparece conjuntamente con la condición de marcha correspondiente en la pantalla.

d) Laboratorio:

Para obtener una buena repetitividad del ensayo, el acondicionamiento de la temperatura, la humedad de la sala de ensayo, y la adecuación de condiciones térmicas del motor; simulando a través de un ventilador dirigido, el efecto de enfriamiento producido por el aire, deben ser las adecuadas. Cada uno de los detalles y características técnicas de estos instrumentos han sido normalizadas en el US CFR título 40 parte 86. (Secretaria del ambiente y desarrollo sustentable, 2000)

• **Límites de emisiones en Argentina:**

Los valores límites de emisión por el tubo de escape de vehículos livianos bajo ensayos US FTP que fueron fijados por la ley 24449 en el decreto reglamentario 779/95, son presentados en el siguiente cuadro que contempla una restricción progresivamente creciente a partir del año de aplicación (1995).

Tabla 2-4: Límite de emisiones de gases contaminantes

CONTAMINANTE	VALOR LIMITE EN GRAMOS POR KILÓMETRO				
	1994**	1995	1997***	1998	1999
ÓXIDOS DE NITRÓGENO	2,0	1,4	0,6	1,43	0,6

*Aplicado a nuevos modelos a partir de 1997*

Fuente: (Secretaria del ambiente y desarrollo sustentable, 2000)

\* Contempla Hidrocarburos totales

\*\*La ley fijó valores orientativos para los vehículos previos a su aplicación

\*\*\* Solo es exigido para nuevos modelos producidos a partir de 1997.

### 2.2.3.2. Ensayos de medición de NOx en Chile:

El Decreto 211 establece los límites de emisión, procedimientos de ensayo, especificaciones de los equipos para realizar las pruebas de medición de gases en los centros de revisión técnica vehicular, a continuación se presentan cada uno de ellos: (Ministerio de Transporte y Telecomunicaciones, 2012)

- **Procedimiento de ensayo:**

- **Preparación del vehículo:**

Verificar que todos los neumáticos que se subirán a los rodillos sean del mismo ancho y diámetro y que éstos a simple vista no se encuentren con bajos niveles de inflado o con grandes diferencias de inflado.

Se debe asegurar que accesorios como aire acondicionado, defroster y ahogador, radio, estén desconectados o apagados.

Colocar el eje que posee la tracción sobre los rodillos del dinamómetro de chasis. En el caso de vehículos en que el freno de emergencia se accione, exclusivamente en el eje que no tiene tracción, éste debe mantenerse accionado durante la prueba.

Colocar los elementos de sujeción provistos por el proveedor del equipo. (Ministerio de Transporte y Telecomunicaciones, 2015)



Figura 2.7: Medición de Gases en un Banco Dinamométrico.

Fuente: (Motorroll, 2016)

**Modo 50/15:**

\* La potencia de ensayo, en Horse Power (HP), se calculará a partir de la Inercia Equivalente (IE) del vehículo como:

$$- \text{HP5015} = \text{IE} / 113,4$$

Tabla 2-5: Potencia de Ensayo según la cilindrada del Motor.

	Cilindrada del Motor (cc)		
	<= 1000	1001 a 2000	> 2000
HP5015	7,0	8,5	11,5
HP2525	5,8	7,1	9,6

Fuente: (Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones, 2006)

\* La unidad de tiempo empleada es el segundo (s). Ejemplo: (t=0; Tiempo igual a cero segundos)

Se comienza con la etapa de estabilización para lo cual se debe alcanzar la velocidad de 24 [km/h]. Cuando dicha velocidad se mantenga constante dentro de un rango de  $\pm 2$  [km/h] durante 5 segundos continuos y el torque permanezca constante dentro de un rango de  $\pm 5\%$  del valor requerido para la potencia ingresada, el equipo automáticamente deberá dar inicio al modo, marcándose el tiempo del mismo como t=0. El tiempo para lograr la estabilización debe ser de al menos 60 segundos.

El vehículo deberá permanecer por los próximos 20 segundos (hasta t=20), estabilizado a la potencia y velocidad correspondientes al modo y dentro de los rangos indicados en el punto anterior. Durante los primeros 20 segundos se deberá observar la presencia de humos visibles (negro o azul).

Paralelamente después de los primeros 10 segundos (t=10) si no se ha observado la presencia de humos visibles, se deberá insertar la sonda de toma de muestra por el tubo de escape del vehículo. Si entre t=0 y t=20 se constatará la presencia de humos visibles,

esta situación dará motivo a la detención de la prueba y el resultado de rechazo por humos visibles.

En caso de no constatarse la presencia de humos visibles, a partir de  $t = 20$  comenzará el registro cada un segundo de las concentraciones de HC, CO, NO, CO<sub>2</sub> y Oxígeno (O<sub>2</sub>).

A partir de  $t = 30$  se calculará el promedio móvil de los últimos 10 segundos registrados a partir de  $t = 20$ , para los contaminantes HC, CO y NO.

El resultado del primer promedio móvil, calculado en  $t = 30$ , deberá compararse instantáneamente con los valores límites correspondientes.

Si en  $t = 30$  el promedio móvil calculado para cada uno de los contaminantes, fuera menor o igual a los límites señalado en la Tabla 2-7, concluirá el modo con resultado de aprobación. Si esta condición no se cumple se continuará con el cálculo del siguiente promedio móvil, hasta que se cumpla la condición de aprobación o  $t$  sea igual a 100 segundos ( $t = 100$ ). Si para  $t = 100$  aún no se ha cumplido la condición de aprobación el vehículo será rechazado. Se registrará como resultado del modo el promedio móvil de aprobación o el valor del último registro de rechazo, obtenido durante el modo. (Ministerio de Transporte y Telecomunicaciones, 2015)

➤ **Modo 25/25:**

\* La potencia de ensayo, en HP, se calculará a partir de la Inercia Equivalente del vehículo como:

$$HP_{25/25} = IE / 136,1$$

Tabla 2-6: Potencia de Ensayo según la cilindrada del Motor.

	Cilindrada del Motor (cc)		
	$\leq 1000$	1001 a 2000	$> 2000$
HP5015	7,0	8,5	11,5
HP2525	5,8	7,1	9,6

Fuente: (Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones, 2006)

1. Inmediatamente terminado el modo 50/15, y sin detener el vehículo, independiente de su resultado de aprobación o rechazo, se deberá alcanzar la velocidad de 40 [km/h]. Cuando dicha velocidad se mantenga constante dentro de un rango de  $\pm 2$  [km/h] durante 5 segundos continuos y el torque permanezca constante dentro de un rango de  $\pm 5\%$  del valor requerido para la potencia ingresada, el equipo automáticamente deberá dar inicio al modo, marcándose el tiempo del mismo como  $t=0$ .
2. A partir de  $t=10$  se calculará el promedio móvil de los últimos 10 segundos registrados a partir de  $t=0$ , para los contaminantes HC, CO y NO.
3. El resultado del primer promedio móvil, calculado en  $t=10$ , deberá compararse instantáneamente con los valores límites correspondientes en la Tabla 2-7.
4. Si en  $t= 10$  el promedio móvil calculado para cada uno de los contaminantes, fuera menor o igual a los límites señalados en las tablas indicadas precedentemente, concluirá el modo con resultado de aprobación. Si esta condición no se cumple se continuará con el cálculo del siguiente promedio móvil, hasta que se cumpla la condición de aprobación o  $t$  sea igual a 40 segundos ( $t=40$ ). Si para  $t=40$  aún no se ha cumplido la condición de aprobación el vehículo será rechazado. Se registrará como resultado del modo el promedio móvil de aprobación o el valor del último registro de rechazo, obtenido durante el modo.
5. Retirar la sonda del escape y sacar el vehículo de la estación de emisiones

- **Equipamiento:**

- a) Analizador de gases:

El analizador de gases debe contar al menos con analizador infrarrojo no dispersivo (NDIR), para el HC, CO y CO<sub>2</sub> y contar con un analizador para el NO. Adicionalmente el equipo debe ser capaz de registrar, antes de cada prueba, las condiciones ambientales de humedad relativa, temperatura y presión barométrica, para así calcular el Kh (factor de corrección de NO).

b) Dinamómetro de chasis:

La estructura del dinamómetro (rodamientos, rodillos, etc.) debe ser capaz de soportar los vehículos livianos y medianos hasta un peso bruto vehicular de 3.860 Kg. La potencia en HP para los dos modos del equipo (5015 y 2525), debe ser seleccionada automáticamente a partir de las características del vehículo y debe ser suficiente para simular la carga en el Modo 25/25 y en el Modo 50/15, en todos los vehículos de hasta 3.860 Kg. de peso bruto vehicular.

c) Software:

El proceso de ensayo y recolección de datos deberá ser automático. El software deberá seleccionar automáticamente el estándar de emisión y la potencia de ensayo del vehículo, así como realizar los algoritmos para el cálculo de las emisiones y del factor de corrección del NO, todo ello, según las indicaciones que define la normativa chilena del Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones “norma de emisión de NO, HC y CO para el control del NOx en vehículos en uso, de encendido por chispa (ciclo Otto), que cumplen con las normas de emisión establecidas en el ds. n° 211 de 1991 y ds. n° 54, de 1994” (Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones, 2006)

• **Límites de emisiones en Chile:**

A continuación, se muestra la tabla con los límites de emisión de Óxidos de Nitrógeno, así como también para diversos gases.

Tabla 2-7: Límites de Emisiones Vehiculares en Chile

			Cilindrada del Motor (cc)		
			<= 1000	1001 a 2000	>2000
<b>Automóvil y Station Wagon o similares, con Sello Verde o Sello Amarillo.</b>	Modo 5015	HC (PPM)	291	246	187
		CO (%)	1,64	1,39	1,05
		NO (PPM)	2272	1944	1438
	Modo 2525	HC (PPM)	282	239	181
		CO (%)	1,83	1,54	1,16
		NO (PPM)	2114	1774	1313
<b>Furgón, Camioneta, Todo Terreno, Jeep o similares con revisión técnica tipo B. Vehículos año 1999 y posteriores con Sello Verde</b>	Modo 5015	HC (PPM)	324	274	207
		CO (%)	2,78	2,35	1,76
		NO (PPM)	2272	1944	1438
	Modo 2525	HC (PPM)	315	267	201
		CO (%)	3,64	3,06	2,29
		NO (PPM)	2114	1774	1313
<b>Furgón, Camioneta, Todo Terreno, Jeep o similares con revisión técnica tipo B. i) Vehículos Año 1998 y anteriores con Sello Verde. ii) Vehículos con Sello Amarillo.</b>	Modo 5015	HC (PPM)	390	329	247
		CO (%)	3,54	2,99	2,23
		NO (PPM)	4990	4578	3669
	Modo 2525	HC (PPM)	381	321	241
		CO (%)	4,85	4,08	3,03
		NO (PPM)	4960	4349	3417
<b>Furgón, Camioneta, Todo Terreno, Jeep o similares con revisión técnica tipo A. Vehículos Año 1999 o posteriores con Sello Verde.</b>	Modo 5015	HC (PPM)	324	274	207
		CO (%)	2,78	2,35	1,76
		NO (PPM)	3631	3192	2350
	Modo 2525	HC (PPM)	315	267	201
		CO (%)	3,64	3,06	2,29
		NO (PPM)	3532	2955	2175
<b>Furgón, Camioneta, Todo Terreno, Jeep o similares con revisión técnica tipo A. i) Vehículos Año 1998 anteriores con Sello Verde. ii) Vehículos con Sello Amarillo.</b>	Modo 5015	HC (PPM)	390	329	247
		CO (%)	3,54	2,99	2,23
		NO (PPM)	4990	4578	3669
	Modo 2525	HC (PPM)	381	321	241
		CO (%)	4,85	4,08	3,03
		NO (PPM)	4960	4349	3417

Fuente: (Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones, 2006)

### **2.2.3.3. Ensayos de medición de NOx en México:**

La norma oficial mexicana de emergencia NOM-EM-167-SEMARNAT-2016 dictamina los métodos y equipos para medir las emisiones provenientes de los vehículos automotores en circulación que usan gasolina, gas licuado de petróleo, gas natural u otros combustibles alternos, son los que a continuación se especifican: (Secretaria de Gobernacion Mexico, 2016)

- **Procedimiento de ensayo:**

En los Centros de Verificación se deberá aplicar el método dinámico a todos los vehículos automotores, salvo aquellos que por sus características técnicas operativas estén imposibilitados de ser revisados bajo condiciones de carga y/o velocidad, en cuyo caso se les aplicará el método estático especificado en las Normas Mexicanas.

- **Preparación para las pruebas:**

Se debe llevar a cabo una preparación del equipo de prueba antes de iniciar el método de medición. Referente al equipo, se deberá:

Mantener el equipo siempre en las condiciones óptimas de funcionamiento que permitan realizar las mediciones.

Operar de acuerdo con las indicaciones del manual del fabricante.

Eliminar de los filtros y sondas cualquier partícula extraña, agua o humedad que se acumule.

Revisar que ningún componente de control de emisiones del automóvil haya sido desconectado o alterado.

#### **Método Dinámico:**

Consiste en tres etapas:

Revisión visual de humo a 24 kilómetros por hora (km/h), prueba a 24 km/h y prueba a 40 km/h

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

Previo al inicio de la primera etapa, es necesario posicionar al vehículo de manera correcta en el dinamómetro, tomando en cuenta que: la posición de los neumáticos motrices del vehículo en los rodillos del dinamómetro de chasis deben garantizar que las llantas del vehículo giren en condiciones de seguridad y opcionalmente puede colocarse un ventilador enfrente del radiador del vehículo, cuando éste sea necesario para asegurar que el vehículo no se sobrecaliente durante el desarrollo de la secuencia de pruebas.

➤ **Fase de revisión visual de humo.**

El equipo de verificación de emisiones deberá fijar automáticamente la carga de camino, potencia que se aplicará al vehículo automotor utilizando información de la Tabla 2-8.

Tabla 2-8: Carga de camino: Potencia (BHP) que se debe aplicar al vehículo en las pruebas visual de humo y en la Fase 5024.

Clasificación del vehículo automotor	Tipo de carrocería	Número de cilindros del motor				
		1 a 3	4	5 a 6	7 a 8	9 o más
		Potencia (bhp)*				
Vehículo de pasajeros	Sedán	7.9	11.4	13.8	16.4	16.0
Vehículo de pasajeros	Guayín	8.1	11.7	13.8	16.1	16.1
Camión ligero (CL1)	Pick up (carrocería abierta)	9.6	13.1	16.4	19.2	21.1
CL1, CL2, CL3, CL4 y vehículos de uso múltiple o utilitario	Carrocería cerrada	10.1	13.4	15.5	19.4	21.1
Vehículo de pasajeros, CL1 y vehículo de uso múltiple o utilitario	Minivan	10.2	14.1	15.8	17.9	18.2
CL1 y camión mediano o pesado	Plataforma, panel, van o estaquitas	10.3	13.9	17.7	19.6	20.5

\*bhp= Caballo de potencia al freno (brake horse power).

Fuente: (Secretaria de Gobernacion Mexico, 2014)

Aplicando la carga de camino correspondiente, con una tolerancia de  $\pm 5\%$  cuando se apliquen cargas superiores a 10 caballos de potencia al freno o de  $\pm 1/2$  caballo de potencia al freno al aplicar cargas menores, se acelera el vehículo automotor hasta alcanzar  $24 \text{ km/h} \pm 2.4 \text{ km/h}$ . Mantener esta velocidad por 60 segundos.

La aceleración debe hacerse, en el caso de transmisión manual, en segunda o tercera marcha (seleccionar aquel que permita una operación del motor en condiciones estables y sin forzarse), en el caso de transmisiones automáticas la aceleración se efectúa en segunda marcha.

En los últimos 30 segundos, en el dinamómetro, durante esta etapa, observar si se emite humo negro o azul y si se presenta de manera constante por más de 10 segundos, no se continuará con el método de medición y deberá de considerarse que la prueba ha concluido emitiéndose el certificado de rechazo, explicitando en el mismo la causa.

La emisión de humo azul es indicativa de la presencia de aceite en el sistema de combustión y la emisión de humo negro es indicativa de exceso de combustible no quemado y, por lo tanto, cualquiera de las dos indica altos niveles de emisiones de hidrocarburos entre otros contaminantes.

En esta etapa de prueba y hasta en tres excursiones de velocidad, si no se alcanza la estabilidad del funcionamiento del motor, también se podrá dar por concluida la prueba y el vehículo será rechazado ya que se encuentra fuera de especificaciones del fabricante, por lo que se deberá emitir un resultado de rechazo. (Secretaria de Gobernacion Mexico, 2014)

➤ **Modo 50/24 (50/15):**

En caso de haberse superado la prueba visual de humo, en el vehículo se deberá introducir la sonda de muestreo al escape del mismo a una profundidad mínima de 25 cm (centímetros). Si el diseño del escape del vehículo no permite que sea instalado a esta profundidad, se requerirá el uso de una extensión al escape. Tratándose de escapes múltiples, usar sondas para el muestreo simultáneo de todos los escapes. La potencia que debe aplicarse al vehículo automotor durante el modo 50/24 será la misma que se aplique en la fase de revisión visual de humo (Tabla 2-8).

Con la carga correspondiente se deberá acelerar el vehículo hasta alcanzar 24 km/h. Cuando dicha velocidad se mantenga constante dentro de un intervalo de  $\pm 2.4$  km/h durante 5 segundos consecutivos y la carga permanezca en un intervalo de  $\pm 5\%$  de la carga establecida cuando se apliquen cargas superiores a 10 caballos de potencia al freno, o de  $\pm 1/2$  caballo de potencia al freno al aplicar cargas menores, el equipo deberá dar inicio a la prueba, marcándose este momento como tiempo inicial ( $t = 0$ ).

En una transmisión manual la aceleración debe hacerse, en segunda o tercera marcha (seleccionar aquella que permita una operación del motor en condiciones estables y sin forzarse), en el caso de transmisiones automáticas la aceleración se efectúa en segunda marcha manual.

El vehículo deberá permanecer dentro de los intervalos de velocidad y carga correspondiente por un máximo de 60 segundos. Para cada segundo a partir de  $t = 0$  se deberá registrar el valor de los gases de escape corregidos por dilución y por humedad cuando esto aplique; así como el valor del coeficiente de aire (Factor Lambda) y del factor de dilución.

El resultado de la media calculada en  $t = 30$  deberá compararse con los límites establecidos, en el caso de cumplir con todos los requisitos, concluirá el modo 50/24, debiendo iniciar la aplicación de la fase 25/40. (Secretaria de Gobernacion Mexico, 2014)

➤ **Modo 25/40 (25/25):**

Inmediatamente terminada la fase 50/24 y sin detener el vehículo automotor, independientemente del resultado de la fase 50/24, el vehículo automotor debe acelerarse hasta alcanzar una velocidad de  $40 \text{ km/h} \pm 4 \text{ km/h}$ .

El equipo de verificación de emisiones deberá ajustar de forma inmediata la carga de camino, potencia de la prueba utilizando la Tabla 2-9 y los datos del número de cilindros del motor.

Tabla 2-9: Carga de camino: Potencia que debe aplicarse en la FASE 2540.

Número de cilindros	Potencia aplicada. (Caballos de Potencia al Freno)
4 o menos	3.5
5 a 6	7.6
7 o más	9.6

Fuente: (Secretaria de Gobernacion Mexico, 2014)

Acelerar el vehículo en tercera o cuarta marcha, seleccionando aquel que permita una operación del motor en condiciones estables y sin forzarse, hasta que el vehículo alcance la velocidad de  $40 \text{ km/h} \pm 4 \text{ km/h}$ .

Cuando dicha velocidad se mantenga constante dentro de un intervalo de  $\pm 4 \text{ km/h}$  durante 5 segundos consecutivos y la carga permanezca en un intervalo de  $\pm 1/2$  caballo de potencia al freno, el equipo deberá dar inicio a la fase 2540 marcándose este momento como tiempo inicial ( $t = 0$ ).

El vehículo deberá permanecer dentro de los intervalos de velocidad y carga correspondiente por un máximo de 60 segundos. Para cada segundo a partir de  $t = 0$  se deberá registrar el valor de los gases de escape corregidos por dilución y por humedad cuando esto aplique; así como el valor del coeficiente de aire o factor Lambda y del factor de dilución.

A partir de 30 segundos, el equipo arroja la media de las concentraciones de los gases evaluados, el valor del coeficiente de aire (factor Lambda) y del factor de dilución de los últimos 10 segundos.

El resultado del promedio aritmético calculado en  $t = 30$ , deberá compararse con los límites máximos permisibles. Si el promedio aritmético para cada uno de los gases evaluados, del valor del coeficiente de aire o factor Lambda y del factor de dilución, cumplen con lo establecido, concluirá satisfactoriamente la fase 2540. (Secretaria de Gobernacion Mexico, 2014)

- **Equipamiento:**

- a) Analizador de gases:

El analizador utilizado debe determinar la concentración de HC (base hexano), CO, CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub> y NO<sub>x</sub> medidos como NO, en los gases provenientes del escape del vehículo.

El principio de medición para HC, CO y CO<sub>2</sub> debe ser mediante luz de rayos infrarrojos no dispersivos, el NO<sub>x</sub> mediante celda electroquímica o luz ultravioleta no dispersiva y el O<sub>2</sub> mediante celda electroquímica.

- b) Dinamómetro de chasis:

Tendrá los rodillos necesarios para soportar las ruedas motrices de los vehículos que serán examinados y permitir su rotación continua. La potencia generada por el motor del vehículo que pasa a los rodillos a través de las llantas, deberá ser transmitida a un aparato de absorción de energía. Las características físicas del diseño de la unidad de absorción de energía deben permitir variar y controlar la carga aplicada al motor.

El marco y los conjuntos de rodillos deberán estar controlados al nivel del piso, de forma tal que permitan que los vehículos de cualquier marca sean colocados fácilmente y los frenos de los rodillos permitan una entrada y salida rápida de los vehículos al dinamómetro. El diseño del dinamómetro debe permitir la prueba segura de todos los vehículos.

- Capacidades del dinamómetro:

- La capacidad de carga de los rodillos debe soportar un peso mínimo de 3 500 kilogramos en el eje durante la prueba funcional de verificación.

- Cada rodillo debe tener un diámetro de 21.082 centímetros (8.3 pulgadas),  $\pm 0.762$  centímetros (0.3 pulgadas).
- La distancia entre los ejes de un par de rodillos debe conformarse con la siguiente expresión:

$$\text{Distancia entre ejes} = (61.913 + D) * \text{Sen (función Seno)} 31.62^\circ.$$

Dónde: D = Diámetro del rodillo en centímetros. (Secretaria de Gobernacion Mexico, 2014)

- **Límites de emisiones en México:**

En las presentes tablas se indica los límites máximos permisibles de emisión de gases contaminantes provenientes del escape de los vehículos automotores en circulación que usan gasolina como combustible.

Tabla 2-10: Límites de Emisiones Vehiculares en México

Año-Modelo del Vehículo	Hidrocarburos	Monóxido de Carbono	Oxígeno	Oxido de Nitrógeno	Dilución		Lambda
					Mín.	Máx.	
	(HC) (ppm)	(CO) (% Vol)	(O <sub>2</sub> ) (% Vol)	(NO) (ppm)	(CO + CO <sub>2</sub> ) (% Vol)		
1993 y anteriores	350	2.5	3.0	2,500	13	16.5	1.1
1994 y posteriores	100	1.0	3.0	1,500	13	16.5	1.05
2006 y posterior	80	0.4	0.4	250	13 7*	16.5 14.3*	1.03

Fuente: (Secretaria de Gobernacion Mexico, 2014)

### 2.3.Situación actual del Ecuador respecto a las emisiones vehiculares:

La Constitución de la República del Ecuador establece que el Estado protegerá el derecho de la población a vivir en un medio ambiente sano y ecológicamente equilibrado, que garantice un desarrollo sustentable, además velará para que este derecho no sea afectado y garantizará la preservación de la naturaleza y alcanzar las metas establecidas en el Plan Nacional para el Buen Vivir 2009-2013, es por esto que

surge el Plan Nacional de Calidad del Aire, y a partir de esto en cada ciudad del Ecuador se han creado centros de revisión técnica vehicular, para garantizar el cumplimiento de las normas establecidas por la INEN.

(Ministerio del Ambiente, 2010)

### **2.3.1. Método de medición de NOx Ecuador:**

En los centros de revisión técnica vehicular se miden los gases en condición de marcha mínima o "ralentí" con el motor a temperatura normal de operación, y no se realiza sobre un banco dinamométrico de chasis, siendo así una prueba de medición de gases estática; esto quiere decir que en los RTV, no se realizan mediciones de NOx, ya que, como se mencionó anteriormente, para la obtención de los valores reales es necesario que el motor tenga una cierta carga.(INEN, 2002a)

### **2.3.2. Normativas que se rigen en Ecuador:**

En el Ecuador existen varias normativas en cuanto a la medición de gases en los centros de revisión técnica vehicular; algunas de ellas describen procedimientos a seguir para el control de emisiones de fuentes móviles, que funcionan con motores de encendido por chispa o motores de encendido por compresión.

Una de las normativas que se rige en el Ecuador, en cuanto se refiere al control de emisión de gases de escape de fuentes móviles, es la norma **INEN 2203:2002**, DETERMINACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE EMISIONES DE ESCAPE EN CONDICIONES DE MARCHA MÍNIMA O "RALENTI". PRUEBA ESTÁTICA, cuyo objetivo es establecer un método de ensayo para determinar la concentración de las emisiones provenientes del sistema de escape de vehículos equipados con motor de encendido por chispa. (INEN, 2002a)

Otra de las normativas que se rigen en Ecuador para el control de emisiones vehiculares es la normativa **INEN 2204:2002**, LÍMITES PERMITIDOS DE EMISIONES PRODUCIDAS POR FUENTES MÓVILES TERRESTRES DE GASOLINA. MÉTODO DE ACELERACIÓN LIBRE, esta norma establece los límites permitidos de

emisiones de contaminantes producidas por fuentes móviles terrestres (vehículos automotores) de gasolina. (INEN, 2002b)

La normativa **INEN 2202:2000**, DETERMINACIÓN DE LA OPACIDAD DE EMISIONES DE ESCAPE DE MOTORES DE DIESEL MEDIANTE LA PRUEBA ESTÁTICA. MÉTODO DE ACELERACIÓN LIBRE, cuyo objetivo es establecer el método de ensayo para determinar el porcentaje de opacidad de las emisiones de escape de las fuentes móviles con motor de diésel mediante el método de aceleración libre. (INEN, 2000)

La normativa **INEN 2207:2002**, LÍMITES PERMITIDOS DE EMISIONES PRODUCIDAS POR FUENTES MÓVILES TERRESTRES DE DIESEL, esta norma establece los límites permitidos de emisiones de contaminantes producidas por fuentes móviles terrestres (vehículos automotores) de diésel. (INEN, 2002c)

### **3. Capítulo III: Instrumentación necesaria para llevar a cabo el protocolo de ensayo para la medición de Óxidos de Nitrógeno en el Taller de la Universidad del Azuay**

De acuerdo a las metodologías analizadas en el Capítulo II se obtuvo como conclusión que el método más apto para tomarlo de guía es el método ASM, ya que es muy efectivo y sencillo de aplicar. En el documento de la EPA llamado “Acceleration Simulation Mode Test Procedures, Emisión Standard, Quality Control Requirements, and Equipment Specifications”, Technical Guidance, se especifican los requerimientos para el uso de los equipos para realizar las pruebas de evaluación de los NO<sub>x</sub>, es por esto que el presente capítulo se detallan el equipamiento, su funcionamiento, tipos, especificaciones de los mismos, así como también los equipos con los que se cuenta en la Universidad del Azuay.

#### **3.1. Equipos y herramientas:**

El equipamiento es esencial para la correcta medición de los NO<sub>x</sub> que son emanados por los vehículos, es por esta razón que a continuación se presentara, el principio de funcionamiento, los tipos y la respectiva calibración de cada uno de los equipos usados para esta prueba, que cumplan con los requisitos que dicta la EPA en la guía del método de análisis de gases Acceleration Simulation Mode.

##### **3.1.1. Analizador de Gases:**

La EPA no especifica un tipo determinado de Analizador de gases, sin embargo recomienda uno que sea capaz de medir 4 gases: HC, CO, NO, y CO<sub>2</sub> y un gas opcional O<sub>2</sub>, así como también, en cuanto a la exactitud del equipo para medir gases, se garantizará que el sistema analítico proporcione una contabilidad exacta de las emisiones reales de escape producidas durante la prueba, teniendo en cuenta las exactitudes de los canales individuales, las repeticiones, los efectos de interferencia, los tiempos de transporte de la muestra y los tiempos de respuesta del analizador. (EPA, 2004)

### **3.1.1.1.Tipos:**

- Analizador de gases de combustión portátil.
- Analizador de gases permanente.
- Analizador de gases de combustión infrarrojo.
- Analizador de gases de combustión Bacharach.
- Analizador de gases de combustión electroquímico.
- Analizador de gases de combustión multisensor.

### **3.1.1.2.Analizador de gases de combustión infrarrojo:**

En el caso de este estudio se utilizará un analizador de gases de combustión infrarrojo, los analizadores de gases de combustión infrarrojos utilizan tecnología infrarroja para rastrear las cantidades de ciertos tipos de gases en los gases de combustión de un sistema de combustión. Trabajan en la idea de que diferentes tipos de gases absorben diferentes longitudes de onda de la radiación infrarroja. Estos analizadores suelen ser portátiles y son los mejores en la medición de monóxido de carbono y dióxido de azufre.(Mitchell & Cabrera, 2016)

### **3.1.1.3.Principio de Funcionamiento:**

El analizador de gases utilizado para realizar la prueba por el método ASM, es de tipo infrarrojo no dispersivo (HC, CO y CO<sub>2</sub>), con una celda electroquímica (NO<sub>x</sub>, O<sub>2</sub>), a continuación se indica su principio de funcionamiento:

Es posible detectar la presencia de determinado compuesto, por la medición del equivalente de la luz infrarroja absorbida en una onda particular de energía que pasa a través de las células contenidas en la mezcla de un gas.

Si un gas absorbe un espectro de luz infrarroja, y este espectro es característico y específico de dicho gas, entonces la indicación de esta absorción puede ser usada como la concentración existente del gas medido.

El método frecuentemente usado en analizadores de gases de escape para poder medir la concentración de los gases presentes en la mezcla, consiste en hacer pasar luz infrarroja por una celda que contiene el gas, y detectar la energía absorbida por cada uno de los

gases con detectores apropiados. Estos detectores consisten en un filtro óptico formando por un lente que permite solo pasar las longitudes de onda del espectro infrarrojo correspondientes al gas cuya concentración se quiere medir. Luego de este filtro, la luz es censada por un sensor óptico electrónico (fotodiodo o fototransistor).

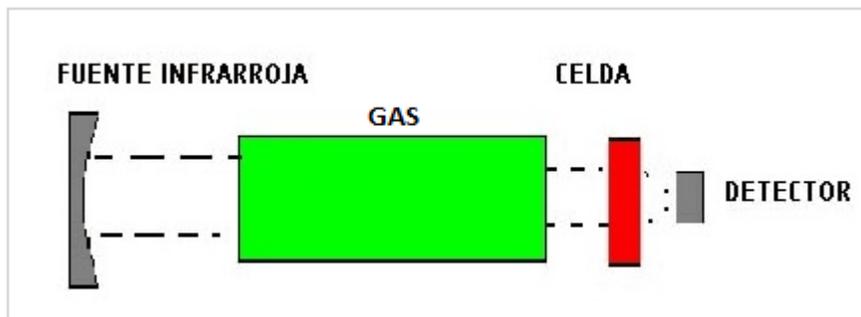


Figura 3.1: Esquema principio de funcionamiento analizador de gases

Fuente: (Augeri, 2011)

#### 3.1.1.4. Especificaciones técnicas:

El analizador de gases debe contar al menos con analizador infrarrojo no dispersivo (NDIR), para el HC, CO y CO<sub>2</sub> y contar con una celda electroquímica o luz ultravioleta no dispersiva para los NO<sub>x</sub>. Adicionalmente el equipo debe ser capaz de registrar, antes de cada prueba, las condiciones ambientales de humedad relativa, temperatura y presión barométrica. (Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones, 2006)

El analizador deberá cubrir al menos el rango de 0 ppm de NO a 5000 ppm de NO, en ppm de NO es partes por millón de óxido nítrico. La precisión del instrumento entre 0 y 4000 ppm será de al menos  $\pm 4\%$  o 25 ppm de NO, lo que sea mayor. La precisión del instrumento entre 4.001 y 5.000 ppm será de al menos  $\pm 8\%$ . El instrumento deberá cumplir con las especificaciones de control de calidad, descritas en el ANEXO 5. (EPA, 2004)

### 3.1.1.5. Calibraciones del Equipo:

Es importante recalcar que el analizador de gases esta calibrado de fábrica, pero pierde precisión al pasar del tiempo, o por el uso que se le da, es por eso que es importante una re-calibración del equipo; la EPA recomienda realizar esta operación cada 3 meses, si no existe una elevada utilización del analizador, se recomienda realizarla cada 6 meses, estas calibraciones se las deben realizar en un laboratorio certificado.

Para realizar la calibración del equipo, es necesario un gas de calibración que este certificado, el mismo que viene en un cilindro metálico presurizado (“calibration gas bottle”). El procedimiento es:

- 1) Iniciar el menú de calibración en el modo: DEVICE DIAGNOSIS (diagnóstico del dispositivo), luego acceder a “Service – Calibration” (servicio – calibración).
- 2) Ingresar la composición química del gas de calibración impreso en la etiqueta.
- 3) Conectar la boquilla del regulador del cilindro a la manguera de la conexión (racor) situada en la cubierta izquierda (aflojando el tornillo sujetador), manteniendo cerrada la válvula del cilindro.
- 4) Efectuar el enceramamiento del aparato mediante el “Zero-point adjustment” (ajuste del punto cero). Toma normalmente 40 segundos y sirve además para verificar la eficacia del filtro de carbón activo. Este ajuste de cero es automático, cada media hora cuando el equipo analiza una jornada larga.
- 5) Ajustar la presión del gas de calibración, en la pantalla asoma: “Press: -359” (Presión: valor). Luego se conecta una válvula reductora de presión al cilindro y se abre la línea de ingreso de gas de calibración. Surge: “Test gas flows into MGT 5” (Prueba de flujo de gas dentro del MGT 5) “OK” (éxito).
- 6) Inicio de: “Calibration” (Calibración). La prueba toma 40 segundos, si el sensor de oxígeno está en mal estado la prueba no se completa correctamente, en este caso sustituirlo y comenzar de nuevo desde el paso.

7). Finalmente aparece en la pantalla “Calibration OK o Calibration Not ok” (calibración sin éxito), por algún problema que requiere una revisión completa o no ceñirse al procedimiento. (Yanzapanta, Guillermo, & Palacios, 2013)

### **3.1.2. Bancos Dinamométricos:**

#### **3.1.2.1. Tipos de Bancos Dinamométricos:**

##### **➤ Frenos de bancos Dinamométricos de Chasis:**

- Banco dinamométrico con Frenos de fricción.
- Banco dinamométrico con frenos hidráulicos:
- Banco dinamométrico con frenos eléctricos.
- Banco dinamométrico con frenos de corriente continua.

##### **➤ Banco Dinamométrico de Chasis:**

Como se mencionó en el apartado del analizador de gases, en el método ASM no se especifica un determinado banco dinamométrico, a continuación se exponen algunos de los bancos dinamométricos más conocidos:

- Bancos de rodillos estacionarios.
- Bancos de rodillos inerciales.



Figura 3.2: Banco Dinamométrico de Rodillos

Fuente: (Lasheras, 2012)

### **3.1.2.2.Principio de Funcionamiento:**

El principio de funcionamiento se basa en evaluar en tiempo real, la energía que entrega el motor para acelerar una masa de inercia. Este procedimiento, no permite ensayos estacionarios, porque solo funciona en fases de aceleración o deceleración.

### **3.1.2.3.Especificaciones Técnicas:**

La estructura del dinamómetro (rodamientos, rodillos, etc.) debe ser capaz de soportar los vehículos livianos y medianos hasta un peso bruto vehicular de 3.860 Kg. La potencia en HP para los dos modos del equipo (50/15 y 25/25), debe ser seleccionada automáticamente a partir de las características del vehículo y debe ser suficiente para simular la carga en el Modo 25/25 y en el Modo 50/15, en todos los vehículos de hasta 3.860 Kg. de peso bruto vehicular. (Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones, 2006)

El dinamómetro deberá estar diseñado para funcionar en una temperatura ambiente de 35° (1,67 ° C) a 110 ° F (43,33 ° C), así como también debe trabajar correctamente con humedad representativa del medio en el que se empleara, además para reflejar condiciones reales de prueba es factible utilizar una gama de temperatura de mayor amplitud

Todos los dinamómetros deberán tener una placa de identificación permanente en donde como mínimo figuren, el nombre del fabricante del dinamómetro, nombre del dinamómetro, fecha de producción, número de modelo, número de serie, tipo de dinamómetro, peso máximo por eje, el máximo de HP absorbida, diámetro del rodillo del proveedor del sistema, ancho del rodillo, el peso de inercia de base, y los requisitos eléctricos. (EPA, 2004). ANEXO 6

### **3.1.2.4.Calibración:**

Existen dos calibraciones que se le puede efectuar a un Dinamómetro de chasis, ambos deben ser realizadas por un técnico o por un laboratorio certificado.

➤ **Calibración estática:**

El dinamómetro debe requerir automáticamente una calibración estática para ello se utilizarán pesas de 68.1 kg (150 libras), auditadas cada año por un laboratorio aprobado y acreditado.

Sin un resultado satisfactorio en la calibración estática, el dinamómetro no podrá ser utilizado para verificar las emisiones en los vehículos automotores.

➤ **Calibración dinámica:**

El dinamómetro debe requerir automáticamente una calibración dinámica cada 30 días, o cuando no se apruebe la calibración estática. La cual debe realizarse conforme a las especificaciones del fabricante del dinámetro. Sin un resultado satisfactorio en la calibración dinámica el dinamómetro no podrá ser utilizado para verificar las emisiones de los vehículos automotores.

El instrumento deberá ser auditado cada seis meses por un laboratorio aprobado y acreditado conforme a la Ley Federal sobre Metrología y Normalización. Los valores de aprobación de la calibración estática y dinámica deben quedar registrados en la bitácora del instrumento. (EPA, 2004)

**3.1.3. Equipos de seguridad:**

**3.1.3.1. Correas de sujeción:**

En las pruebas ASM se incluyen tres tipos de retenedores de vehículos: correas de sujeción de trinquete, cuñas en las ruedas, las ruedas y las restricciones laterales.

La EPA recomienda que no se haga funcionar un vehículo sin restricciones (Correas de sujeción), en el dinamómetro de chasis, ya que habitualmente se mueven lateralmente (de lado a lado); en especial los de tracción a las ruedas delanteras, estos deben estar sujetos de manera que se evite su desplazamiento.



Figura 3.3: Correas de Sujeción

Fuente: (MAHA, 2015)

### 3.1.3.2. Ventiladores:

El documento de la EPA que norma al método de ensayo ASM, recomienda el uso del ventilador, pero este es opcional, es utilizado para evitar el recalentamiento de los vehículos, ya que se los somete a pruebas de aceleración y desaceleración brusca durante un determinado tiempo, donde se producen altas temperaturas, que pueden ocasionar daños al motor.



Figura 3.4: Ventiladores

Fuente: (Lasheras, 2012)

### 3.2. Equipos existentes en la universidad:

En el taller de ingeniería mecánica de la Universidad del Azuay existen algunos equipos con los que se realizan las pruebas de medición de óxidos de nitrógeno en diferentes partes del mundo

#### 3.2.1. Analizador de Gases MGT5 (MAHA):

- ✓ Equipo compacto e independiente apto para el empleo estacionario o móvil. Es posible la combinación multifuncional para realizar el análisis de los gases de escape de motores de gasolina así como de motores diésel.
- ✓ 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 o CNG.
- ✓ Un software inteligente facilita el uso adecuado, proporcionando a la vez todas las informaciones necesarias.
- ✓ Introducción de módulos de función, p.e. medición de las R.P.M., conexión de módulo E-OBD.
- ✓ Módulos interface 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).
- ✓ Alcance de medición de NOx 0 - 5000 ppm Vol.
- ✓ Exactitud de medición NOx 32 – 120 ppm Vol. (Error de medición del 5% del valor medido)
- ✓ Principio de medición Infrarrojo (CO, CO<sub>2</sub>, HC); Electroquímico (O<sub>2</sub>, NO).
- ✓ Pre calentamiento mínimo 30 s, máximo 10 min, media 2,5 mín • termoregulado
- ✓ Caudal - gas de medición máx. 2,5 l/min • bomba de membrana
- ✓ Separación - condensado sistema separador de agua con plaviómetro

- ✓ Presión de servicio 750 – 1100 mbar
- ✓ 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. (MAHA, 2000)



Figura 3.5: Analizador de Gases MGT5 de MAHA

Fuente: (MAHA, 2016)

**3.2.2. Banco Dinamométrico de Chasis AutoDyn 30 (SuperFlow):**

Tabla 3-1: Especificaciones Técnicas Banco Dinamométrico de Chasis.

<b>Especificaciones del dinamómetro de chasis AUTODYN 30</b>	
Diámetro del Rodillo	30 "(76,2 cm)
Potencia Máxima	2.500 HP (1.864 kW)
Máxima velocidad	225 mill/h (362 km/h)
Ancho de vía	26 " interior - 100" exterior (66 cm - 254 cm)
Dimensiones	120 X 40,5 X 35 pulg. (305 x 103 x 89 cm)
Potencia pico absorbida	1100 (SEC) / 2.200 HP (DEC) - (820 kW / 1.641 kW)
Inercia del sistema base	1.200 lbs. (544 kg)
Peso del eje	8.000 lbs por eje (3.629 kg)
Requisitos de aire	50 - 100 psi (345 - 690 kPa)
Requerimientos de energía	110 VAC / 15A o 250 VAC / 8A y 208-250 VAC / 20 <sup>a</sup>

Fuente: (SuperFlow, 2016)



Figura 3.6: Banco Dinamométrico de Chasis AutoDyn 30 de SuperFlow

Fuente: (SuperFlow, 2016)

**3.3.Equipamientos normados por la EPA para el ensayo ASM, con los existentes en la universidad.**

Tabla 3-2: Cumplimiento de requerimientos del analizador de gases existente en la universidad.

<b>Equipo</b>	<b>Requerimientos del Equipo para medición de NOx según el método ASM</b>	<b>Cumple ✓ No Cumple ✗</b>	<b>Observaciones y Costo de Accesorios Faltantes</b>	<b>ANEXOS</b>
<b>Analizador de Gases MGT5</b>	Debe contar con una celda para medición de NO.	✗	No se cuenta con un módulo de NOx sin embargo permite una conexión del mismo. Costo módulo NOx: <i>1,100.00 USD</i>	<i>REVISAR ANEXO 4</i>
	El analizador de gases debe obtener las mediciones y expresarlas en ppm.	✓		
	Debe ser capaz de medir por lo menos 5 gases.	✓		

Fuente: (Autor, 2016)

Tabla 3-3: Cumplimiento de requerimientos del banco dinamométrico existente en la universidad.

<b>Equipo</b>	<b>Requerimientos del Equipo para medición de NOx según el método ASM</b>	<b>Cumple</b> ✓ <b>No Cumple</b> ✗	<b>Observaciones y Costo de Accesorios Faltantes</b>
<b>Banco Dinamométrico de Chasis</b>	La estructura del dinamómetro (rodamientos, rodillos, etc.) debe ser capaz de soportar los vehículos livianos y medianos hasta un peso bruto vehicular de 3.860 Kg.	✓	
	La potencia en HP para los dos modos del equipo (50/15 y 25/25), debe ser seleccionada automáticamente a partir de las características del vehículo y debe ser suficiente para simular la carga en el Modo 25/25 y en el Modo 50/15.	✓	

Fuente: (Autor, 2016)

**4. Capítulo IV: Protocolo de ensayo para medir óxidos de nitrógeno en el taller de la Universidad del Azuay.**

Después de analizar el equipamiento necesario para la prueba ASM, así como también sus calibraciones, especificaciones, y comparar con los equipos existentes en la Universidad del Azuay, se establecerán, en este capítulo, los procedimientos para la toma de muestras de gases, mediante el método ASM, utilizado principalmente en EEUU, así como también en países de Latinoamérica, tal es el caso de Chile y México que usan este método en algunos de los centros de revisión técnica Vehicular.

Este método de prueba se lo realiza como se describe en el Capítulo II.

A continuación se presenta un esquema del protocolo de ensayo que se explicará posteriormente en el presente capítulo:

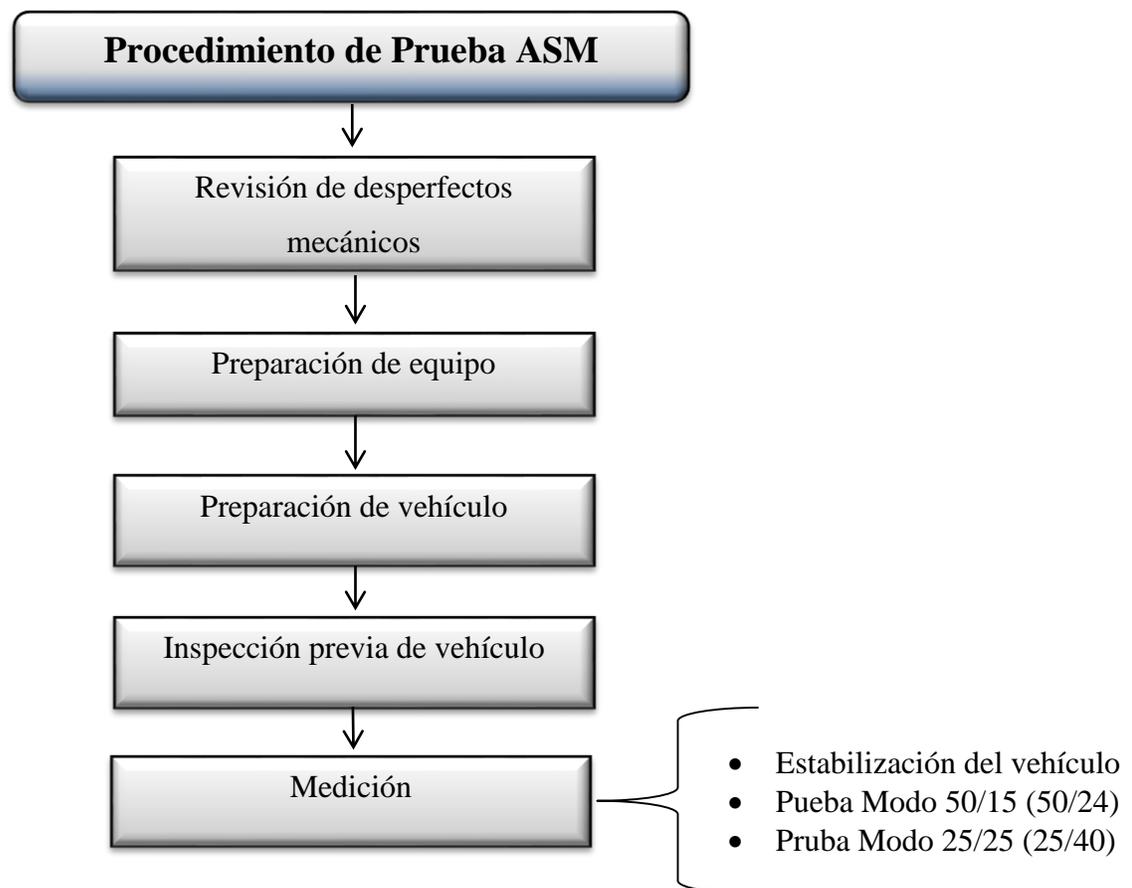


Figura 4.1: Esquema de Protocolo de Ensayo.

#### 4.1. Protocolo de Ensayo:

##### **IMPORTANTE:**

Antes de realizar la prueba se debe de tener en cuenta varios aspectos para la correcta realización de la misma.

En caso de existir a simple vista desperfectos mecánicos la prueba no se efectúa. Por desperfectos se entenderá:

- Estado deficiente de los neumáticos (telas a la vista o protuberancias) que serán puestos sobre el rodillo.
- Falta de algún perno o tuerca de sujeción (cuando esto se pueda verificar) de alguna de las ruedas que será puesta sobre los rodillos del dinamómetro.
- No existencia de la tapa del radiador.
- Temperatura del vehículo indicada en el tablero se encuentra en un nivel elevado.
- Presencia de vapor en el motor.
- Mal funcionamiento del sistema de refrigeración.

Si alguna de las fallas se presenta durante la prueba, ésta se suspende.

- Si el sistema de escape presenta fugas no puede efectuarse la prueba; para comprobar esto, se tapa, por breves periodos de tiempo, la salida del tubo de escape, existir fugas de gases.
- En caso de que el vehículo no llegue a la potencia necesaria para efectuar la prueba, ésta no se efectúa.
- Si la luz del tablero de instrumentos del vehículo indica bajo nivel de aceite la prueba no se efectúa.

Nota: Los desperfectos de los sistemas o componentes, aquí observados, tienen por objeto supervisar que la eventual falla de alguno de ellos, pueda poner en riesgo la integridad de las personas, el funcionamiento del equipo y el vehículo en prueba, durante el procedimiento de medición de emisiones contaminantes. Por tanto, de observarse alguno de los desperfectos descrito, sólo significará que la medición de emisiones contaminantes, no se efectúe o se suspenda.

#### 4.1.1. Preparación del equipo y del vehículo antes de la prueba:

##### 4.1.1.1. Preparación del equipo de medición:

- 1) Encender e inicializar el equipo, de acuerdo a las instrucciones contenidas en el manual de operación del instrumento, asegurándose del correcto estado de mantención y calibración del mismo, descrito en Capítulo II parte donde se especifica la calibración de los equipos, esta calibración al inicio de la jornada se describe con mayor detalle en el punto 85.4 letra b de la guía EPA "Acceleration Simulation Mode Test Procedures, Emission Standards, Quality Control Requirements, and Equipment Specifications".
- 2) Antes de cada prueba el dinamómetro deberá estar en condiciones normales de operación. (Secretaría de Gobernación México, 2014)



Figura 4.2: Analizador de Gases MAHA MGT5

Fuente: (MAHA, 2016)

##### 4.1.1.2. Preparación del vehículo:

- 1) Verificar que todos los neumáticos que se subirán a los rodillos sean del mismo ancho y diámetro y que éstos a simple vista no se encuentren con bajos niveles de inflado o con grandes diferencias de inflado.
- 2) Se debe asegurar que accesorios como aire acondicionado, radio, etc. estén desconectados.

- 3) Colocar el eje que posee la tracción sobre los rodillos del dinamómetro de chasis. En el caso de vehículos en que el freno de emergencia se accione exclusivamente en el eje que no tiene tracción éste debe mantenerse accionado durante la prueba.
- 4) Colocar los elementos de sujeción.



Figura 4.3: Sujeción del vehículo con correas de Seguridad

Fuente: (Safety, 2002)

#### **4.1.2. Procedimiento de medición de gases:**

##### **4.1.2.1. MODO 50/15 (50/24):**

Una vez terminado los procedimientos de preparación del equipo y el vehículo se procede con la prueba en el dinamómetro, empezando con el modo 50/15.

- 1) El primer paso, es la etapa de estabilización para lo cual se debe alcanzar la velocidad de 24 km/h (15 mill/h); cuando dicha velocidad se mantenga constante dentro de un rango de variación de  $\pm 2$  km/h durante 5 segundos continuos y la potencia permanezca constante dentro de un rango de 5% del valor requerido (Tabla 4-1), el equipo automáticamente deberá dar inicio al modo, marcándose el tiempo del mismo como  $t=0$ . Se debe tener en cuenta que el tiempo para lograr la estabilización debe ser de al menos 60 segundos.

\* La potencia de ensayo, en HP, se calculará a partir de la Inercia Equivalente del vehículo como:

$$HP_{50/15} = IE / 113,4$$

Ecuación 4.1: Ecuación potencia de ensayo para el modo 50/15.  
 Fuente: (Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones, 2006)

Tabla 4-1: Potencia de Ensayo según la cilindrada del motor modo 50/15.

	Cilindrada del Motor (cc)		
	<= 1000	1001 a 2000	> 2000
HP <sub>50/15 (50/24)</sub>	7,0	8,5	11,5

Fuente: (Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones, 2006)

- 2) El vehículo deberá permanecer por los próximos 20 segundos (hasta t=20), estabilizado a la potencia y velocidad constante.

Durante los primeros 20 segundos se deberá observar la presencia de humos visibles (negro o azul), paralelamente después de los primeros 10 segundos (t=10) si no se ha observado la presencia de humos visibles, se deberá insertar la sonda de toma de muestra por el tubo de escape del vehículo. Si entre t=0 y t=20 se constatará la presencia de humos visibles, se debe detener la prueba y se obtendrá como resultado el rechazo por humos visibles.



Figura 4.4: Sonda para medición de gases en el tubo de escape de un Vehículo.

Fuente: (Alejandro Serrano, 2011)(EPA, 2004)

- 3) En caso de no constatarse la presencia de humos visibles, a partir de  $t = 20$  comenzará el registro de las concentraciones de NOx.
- 4) Si en  $t = 30$  el valor de los datos obtenidos con el analizador de gases, fuera menor o igual a los límites señalado en las Tabla 2-2 y ANEXO 3, concluirá el modo con resultado de aprobación.
- 5) Si esta condición no se cumple hasta que  $t$  sea igual a 100 segundos ( $t=100$ ), el vehículo será rechazado.

En la presente Tabla 4-2 se muestran los límites de emisión de NOx permisibles en el Ecuador descritos en la normativa **INEN 2204:2002**, cabe recalcar que los límites de NOx están expresados en g/km, obtenidos del método dinámico FTP-75, y los límites ASM están expresados en ppm, así que no es posible una comparación entre ambos. Sin embargo en la Tabla 2-2, junto con el ANEXO 3, se puede apreciar los límites usados por la EPA para el método de ensayo ASM.

Tabla 4-2: Límites de Emisiones Vehiculares NOx en Ecuador.

<b>Categoría</b>	<b>Peso Bruto del Vehículo</b>	<b>Peso del vehículo cargado kg</b>	<b>NOx g/km</b>	<b>CICLOS DE PRUEBA</b>
Vehículos Livianos	Todos	Todos	0,62	FTP-75
Vehículos Medianos	= $\leq$ 3860	= $\leq$ 1700	0,75	
		1700 - 3860	1,1	

Fuente: (INEN, 2002b)

#### **4.1.2.2. Modo 25/25 (25/40):**

- 1) Inmediatamente terminado el modo 50/15, y sin detener el vehículo, independiente de su resultado de aprobación o rechazo, se deberá alcanzar la velocidad de 40 km/h (25 mill/h). Cuando dicha velocidad se mantenga constante dentro de un rango de 2 (km/h) durante 5 segundos continuos y el torque permanezca constante dentro de un rango de 5% del valor requerido para la

potencia ingresada, el equipo automáticamente deberá dar inicio al modo, marcándose el tiempo del mismo como t=0.

$$HP_{25/25} = IE / 136,1$$

Ecuación 4.2: Ecuación potencia de ensayo para el modo 50/15.

Fuente: (Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones, 2006)

Tabla 4-3: Potencia de ensayo según la cilindrada del motor modo 25/25.

	<b>Cilindrada del Motor (cc)</b>		
	<b>&lt;= 1000</b>	<b>1001 a 2000</b>	<b>&gt; 2000</b>
<b>HP<sub>25/25 (25/40)</sub></b>	5,8	7,1	9,6

Fuente: (Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones, 2006)

- 2) Si en t= 10 el valor de los datos obtenidos fuera menor o igual a los límites señalados en las Tabla 2-2 y ANEXO 3 indicadas precedentemente, concluirá el modo con resultado de aprobación.
- 3) Si para t=40 aún no se ha cumplido la condición de aprobación el vehículo será rechazado.
- 4) Retirar la sonda del escape y sacar el vehículo de la estación de emisiones.

#### 4.2.Diagramas de flujo:

Se establecieron en total 5 procesos, para la ejecución total de la prueba, estos consisten en: Prerrequisitos, Preparación de los equipos, Preparación del vehículo, Modo 50/24, Modo25/40.

### 4.2.1. Prerrequisitos:

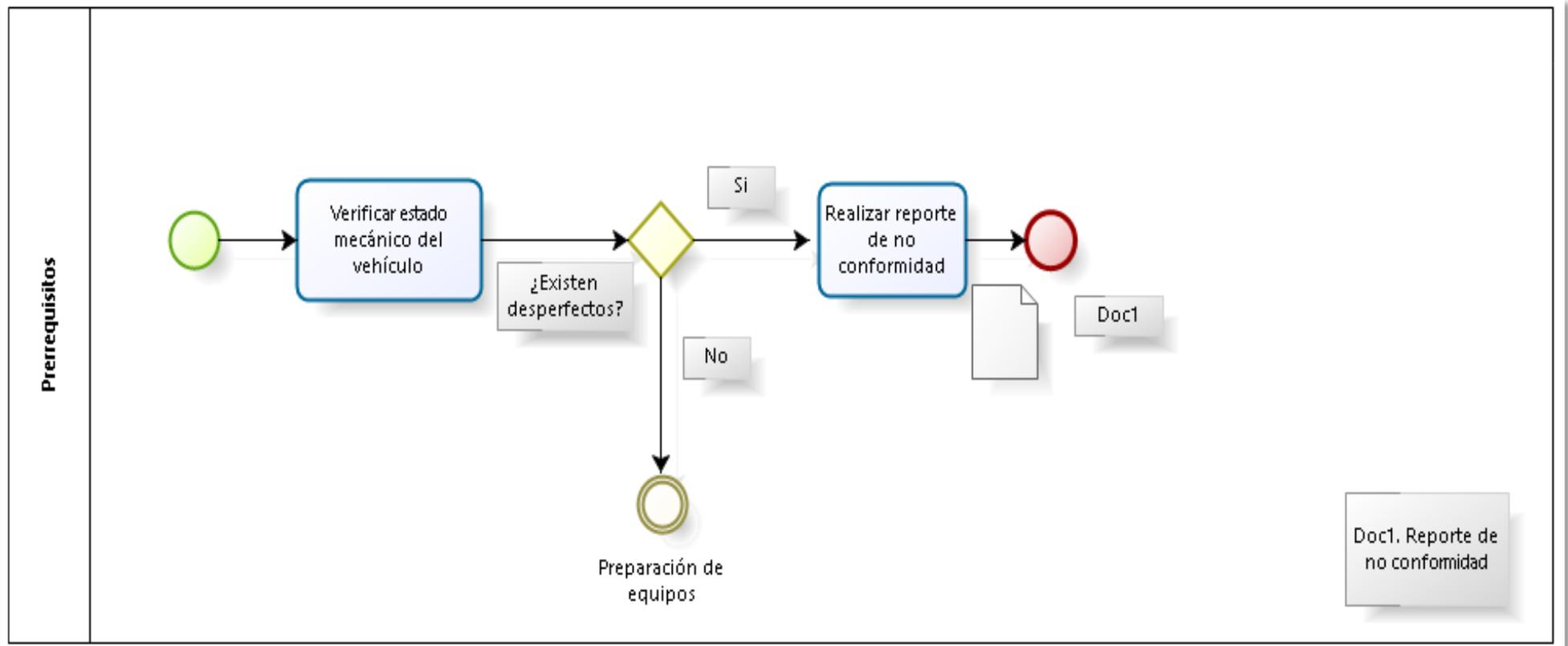


Figura 4.5: Prerrequisitos del Protocolo

4.2.2. Preparación de los Equipos:

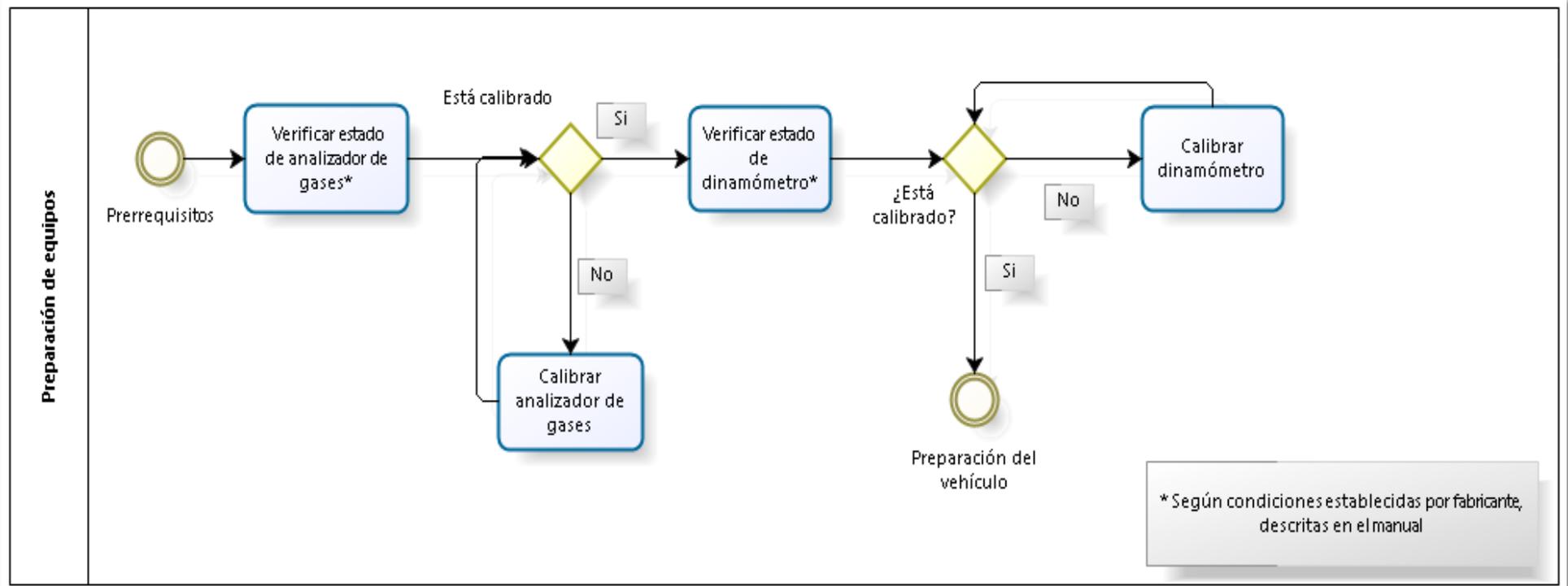


Figura 4.6: Preparación de los Equipos

### 4.2.3. Preparación del Vehículo:

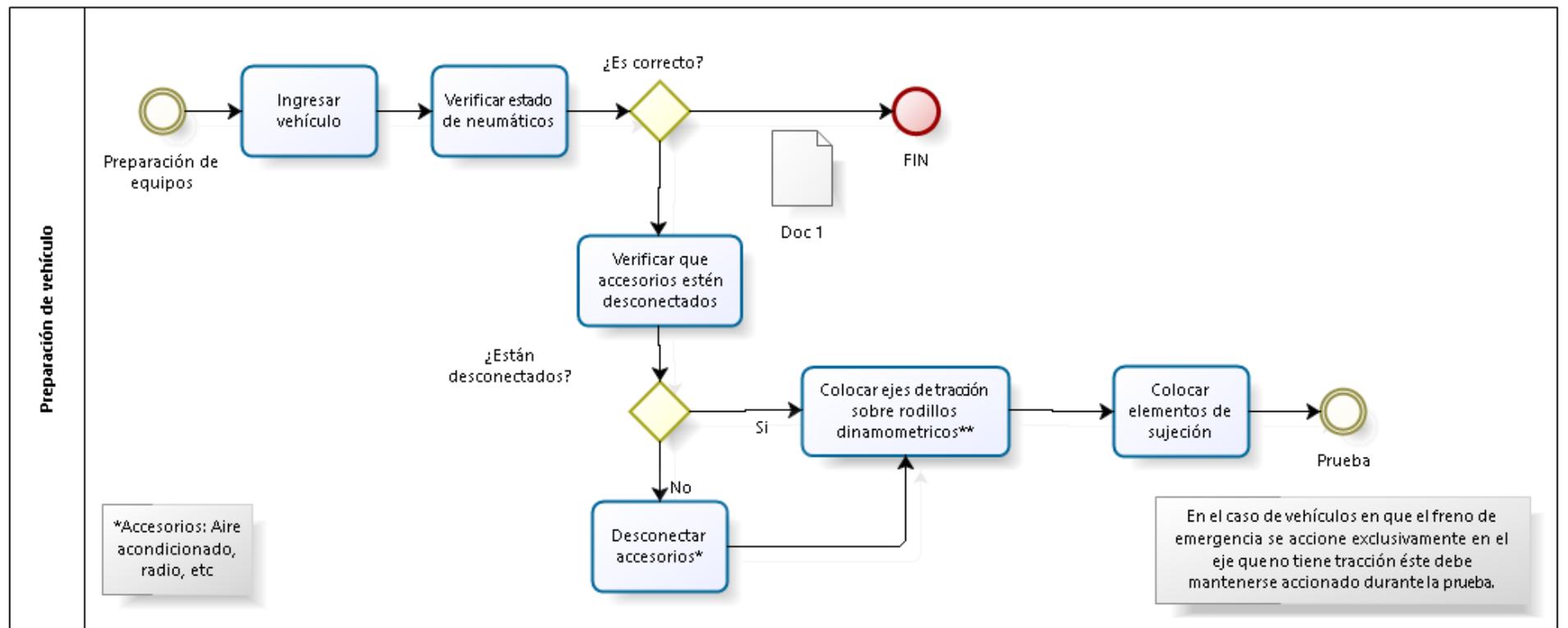


Figura 4.7: Preparación del Vehículo

4.2.4. Modo 50/24:

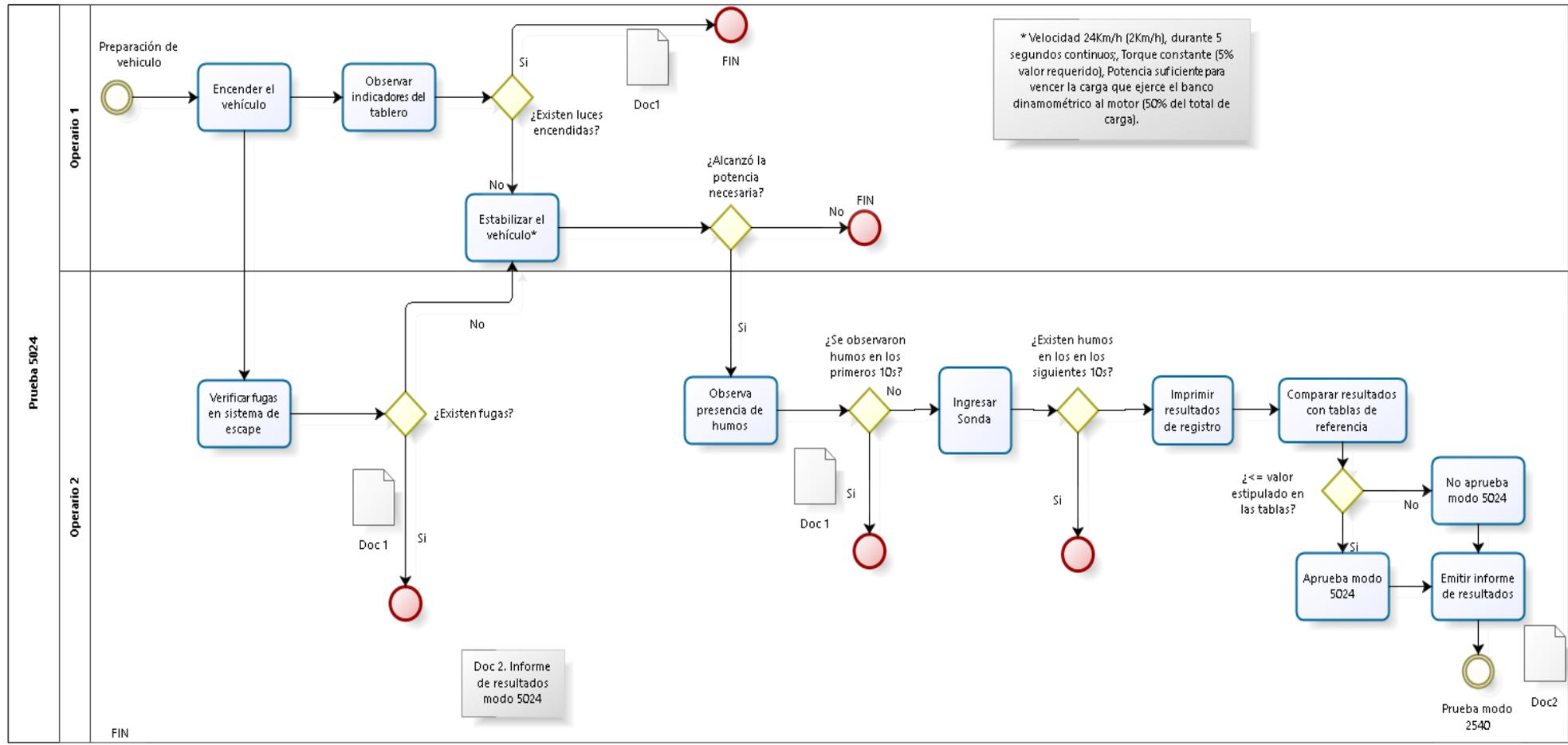


Figura 4.8: Modo 50/24

### 4.2.5. Modo 25/40:

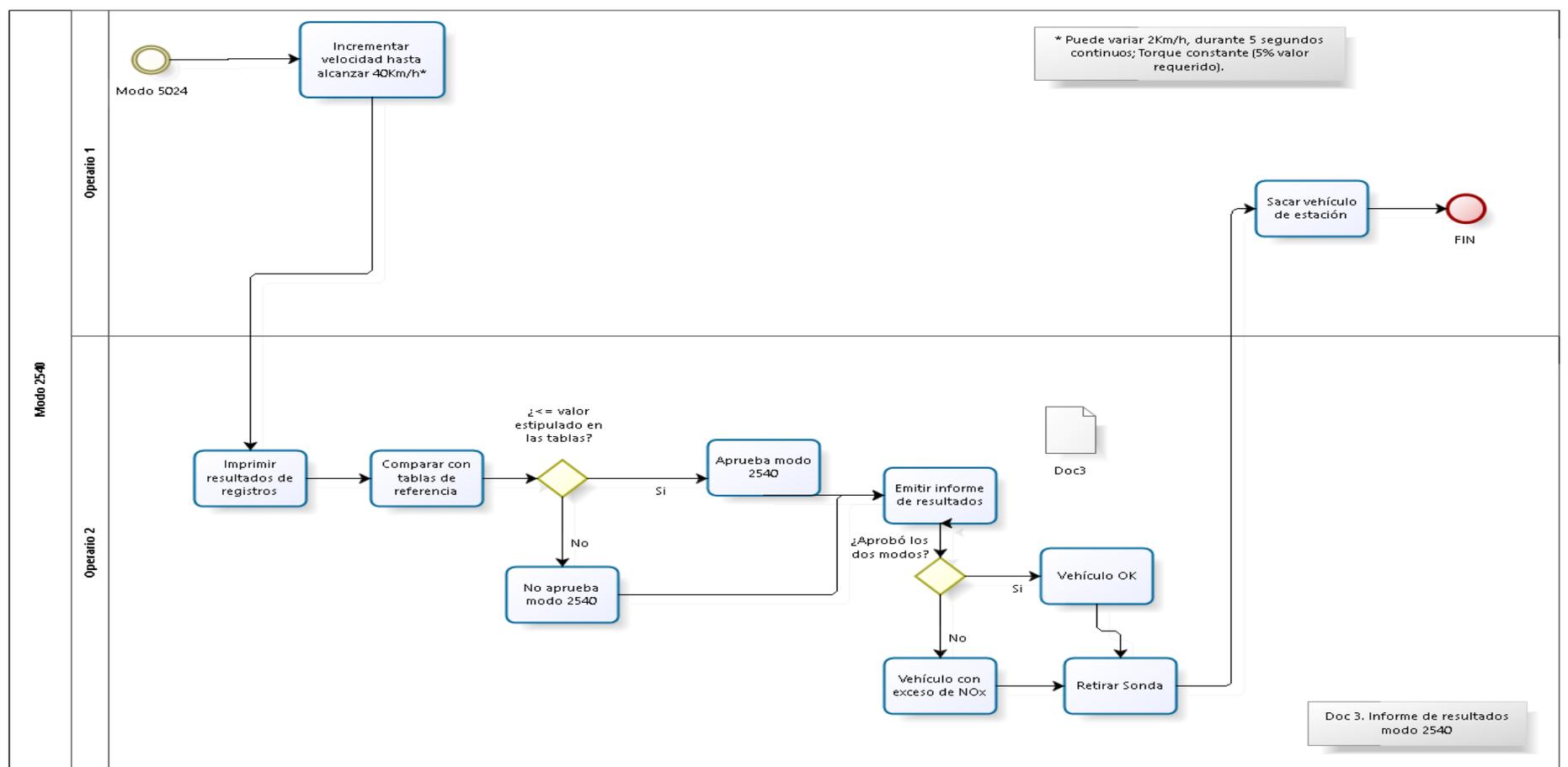


Figura 4.9: Modo 25/40

## **5. Capítulo V: Propuestas de temas de investigación utilizando el protocolo de medición de NOx.**

En países de la Unión Europea y en Estados Unidos los límites permitidos de emisiones de NOx en vehículos son altamente exigentes en comparación a los manejados en países de Latinoamérica incluido Ecuador. Por lo que el alcance investigativo nacional se enfoca principalmente en la descripción de emisiones de gases en diferentes condiciones, mientras que en países desarrollados incluso se ha llegado a un nivel experimental de creación de dispositivos y modificaciones vehiculares para disminuir la emisión de estos gases. En este capítulo se analizará la información relevante disponible para proponer temas de investigación viables a partir de la implementación del ASM en el Taller Automotriz de la Universidad.

### **5.1. Investigaciones de óxidos de nitrógeno en fuentes móviles en Ecuador y estudios propuestos a partir de ellas:**

En esta sección se analizarán las metodologías empleadas en Ecuador para la estimación del NOx producidos por fuentes móviles y se realizarán pequeñas comparaciones argumentativas con el protocolo propuesto con el fin de plantear estudios factibles para que puedan ser desarrollados en la carrera de Ingeniería Mecánica en Automotriz.

#### **5.1.1. Determinación de la Influencia de la Altura en Emisiones Contaminantes de un Vehículo con Motor de Ciclo Otto, de Inyección Electrónica de Gasolina:**

**Autores:** Ing. Pablo Geovanny Caiza Jacome, Ing. Ángel Adalberto Portilla Aguilar

**Año:** 2010.

En el estudio se analiza el comportamiento de las emisiones contaminantes provenientes de un vehículo con motor a gasolina, de inyección electrónica, en función de la altura. Se realizaron dos pruebas: la una estacionaria denominada prueba TIS (Two Idle Speed) en base a la Norma Técnica Ecuatoriana "NTE INEN 2203" y la otra en ruta siguiendo el Ciclo de Conducción dado por la "Norma SAEJ082", para lo cual se seleccionaron siete sitios del Ecuador. Se realizó el ajuste de los factores de emisión en ruta con la altura,

encontrándose el porcentaje de variación cada 500 msnm, para el CO, HC y NOx. (Caiza & Portilla, 2010)

**Comentario:**

Los valores promedio de emisión de gases un vehículo a gasolina en diferentes ciudades, se obtuvieron utilizando dos métodos: un estático, tomado de la norma ecuatoriana NTE INEN 2203, que corresponde a una prueba sin carga y un método dinámico, mediante un ciclo de conducción en ruta dado por la norma SAEJ082.

A pesar de que en el estudio no se utiliza el ASM para medir los NOX, ni se menciona detalladamente el procedimiento empleado en la prueba de ciclo en ruta, fue un método apropiado para la medición ya que cumple con el requerimiento de permanecer en las condiciones reales de operación a diferencia de la prueba estática realizada, la cual no permite estimar correctamente la emisión de gases, principio que fue corroborado por los autores quienes determinaron que: la medición de NOx “No representa el valor verdadero de emisión, ya que se deben medir con carga mediante pruebas dinámicas”. Los resultados revelaron que: la cantidad de NOx crece 35% por cada 500 msnm, hasta los 1500 msnm, y a partir de esta altura decrecen en 23% por cada 500 msnm.

Se propone imitar la metodología empleada en el estudio para **determinar la influencia del tipo de combustible en emisiones contaminantes**, remplazando la prueba estática por la prueba ASM con la que se establecerían los factores de emisión y los resultados se compararían con la prueba de ciclo en ruta.

**5.1.2. Estudio de las emisiones de gases contaminantes de un motor de ciclo diésel, usando combustible micro emulsionado con agua:**

**Autores:** Alex Guzmán, Mario Peralvo.

**Año:** 2011.

El proyecto investiga sobre la eficiencia y la disminución de los gases contaminantes y de material particulado emitido por el motor ciclo diésel de una Toyota Hilux. En este

estudio se plantearon diferentes alternativas de medición de emisiones de gases originadas por fuentes móviles y se seleccionaron los procedimientos que se adaptaban a las condiciones ambientales y geográficas de la ciudad de Quito. Posteriormente se escogieron las vías (ruta) de circulación del vehículo de pruebas dentro del perímetro urbano; se establecieron además los equipos para la ejecución de las pruebas de medición de: emisiones en ruta, potencia, torque, opacidad y consumo de combustible. Se indica el procedimiento de preparación del diésel microemulsionado con 3%, 5% y 8% de volumen de agua. (Guzmán & Peralvo, 2011)

Los procedimientos usados en este estudio fueron: medición de opacidad, prueba estacionaria de aceleración libre, medición de potencia, torque, emisión de gases en dinamómetro de rodillos y medición de emisiones de gases contaminantes con equipo a bordo, en las dos últimas pruebas se midieron: CO, CO<sub>2</sub>, HC, NO<sub>x</sub>, para establecer si las mediciones con ambos métodos se podrían considerar las mismas.

#### **Comentario:**

En el estudio realizado en Quito se determinó que: El diésel microemulsionado con agua puede ser utilizado en motores diésel con sistemas de inyección de combustible de alta presión, sin la necesidad de modificar el motor. Para poder concluir aquello se realizaron: una prueba en ruta, una en un banco dinamométrico y una estática; la medición de la eficiencia de los combustibles se considera adecuada debido a que: la prueba estática se utilizó para determinar únicamente la opacidad y las pruebas dinámicas para la medición de emisión de gases. Tomando una decisión adecuada ajustándose a las normativas internacionales de medición y condiciones óptimas.

Se encontró que: al incrementar la cantidad de agua de la microemulsión, la eficiencia de reducción de óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>) generado por el motor aumenta, con una mejora promedio del 14%; este estudio se lo considera válido ya que en las mediciones de gases de los dos modos (en ruta y en banco dinamométrico) no se reflejaron diferencias significativas.

Se considera que se puede imitar el estudio en el taller de la Universidad del Azuay utilizando el procedimiento planteado (ASM), y además una prueba en ruta, con el fin de **determinar una alternativa de un combustible amigable con el medio ambiente.**

### **5.1.3. Metodología de pruebas y su aplicación, para el diagnóstico de convertidores catalíticos, mediante ciclo ASM, en vehículos con motores de encendido provocado:**

**Autores:** Diana Carolina Miranda Vizuete.

**Año:** 2016.

Esta investigación tuvo como objetivo desarrollar una metodología de pruebas que permita comprobar la eficiencia de convertidores catalíticos de vehículos en uso, mediante pruebas en ciclo ASM. Los resultados de estas pruebas estaban destinados para: comprobar la eficiencia de los convertidores catalíticos, establecer el estado de los vehículos (en comparación con los límites permitidos) y diagnosticar a los convertidores catalíticos para establecer su tiempo de vida útil.

Se estableció el procedimiento de pruebas ASM, basado en la guía técnica emitida por EPA y para interpretar los resultados se tomaron en cuenta los límites estipulados por la norma chilena D.S. No. 149 de 2006: *“Norma de emisión de NO, HC y CO para el control de NOx en vehículos en uso, de encendido por chispa (ciclo Otto)”*

El método ASM aplicado se dividió en tres etapas: estabilización, el modo de prueba (50/15) y el modo de prueba (25/25) y los equipos que se utilizaron fueron: analizador de gases, ventilador de flujo axial y un dinamómetro de Chasis; adicionalmente, para establecer el estado de los vehículos se determinó que para que la medición antes y después del catalizador sea representativa eran necesarias un mínimo de 5 por vehículo. (Miranda, 2016)

#### **Comentario:**

Para la medición de la eficiencia del convertidor catalítico se realizaron los ciclos de pruebas ASM en vehículos livianos, se menciona que la prueba se la realiza en tres

etapas: estabilización, modo (50/15) y modo (25/25), cuando en realidad son dos, ya que la estabilización se encuentra dentro del modo (50/15), sin embargo la decisión del método de medición de NOx se considera acertada, además se empleó el equipamiento recomendado por la ASM por lo que las condiciones se ajustan a las necesarias para obtener valores de emisiones cercanos a los reales.

Entre las recomendaciones propuestas por Diana Miranda se plantea repetir el estudio con pruebas estáticas lo que sería cometer un error al eliminar las cargas en el motor, un requisito indispensable para una medición de acercada a la realidad NOx.

En el estudio se confirma que el convertidor catalítico reduce las emisiones de NOx, sin embargo, se debe tener presente que el tiempo de vida útil del mismo, depende de: la calidad del combustible, la cantidad de recorrido, etc.

Se propone reproducir la investigación de la **eficiencia de los convertidores catalíticos en vehículos de encendido por compresión**, teniendo en cuenta que al igual que en este estudio se deben realizar las 5 mediciones (repeticiones) mínimas en cada prueba (antes y después del catalizador) y utilizando el mismo equipamiento para garantizar la igualdad de condiciones de medición. También se podría realizar estudios de la eficiencia de los filtros de partículas, incorporados en los vehículos a diésel.

Al no existir valores referenciales (mínimos permitidos) de NOx se propone también utilizar la norma chilena D.S.No. 149 de 2006.

#### **5.1.4. Implementación de un sistema dual fuel, hidrógeno / gasolina en un vehículo de motor de combustión interna:**

**Autores:** Álvaro Benítez, Marco Ramos.

**Año:** 2013.

Esta investigación describe: la construcción, ensamblaje, instalación y resultados de un sistema generador de hidrógeno, el cual se obtiene a partir del proceso de electrólisis, en

el que el agua se descompone, mediante corriente eléctrica, en sus átomos constitutivos; el sistema estuvo compuesto por: celdas generadoras, depósito, material eléctrico, tuberías y reactivos. Se llevaron a cabo: pruebas mecánicas, análisis de gases y consumo de combustible y sus valores fueron comparados con las Normas de Gestión Ambiental del Aire (INEN 2204: 2002) vigentes en el Ecuador. (Benítez & Ramos, 2013)

El procedimiento ejecutado para la medición de los gases se realizó mediante una prueba estática y una dinámica. La prueba estática consistió en: inicialmente con marcha en vacío (ralentí), los rangos de tolerancia para la medición, fueron de 400 a 1500 RPM a una temperatura de aceite entre 60°C y 110 °C; posteriormente se realizó la medición con marcha en vacío acelerada, los rangos de tolerancia para la medición fueron de 2500 a 3000 RPM a la misma temperatura que en marcha ralentí. Para la prueba dinámica se realizó mediante el ciclo IM240 que es una simulación de conducción típica en la ciudad, pero realizada en un banco dinamométrico de chasis, La prueba fue aplicada antes y después de la instalación del sistema generador de HIDROXI para comparar las concentraciones de gases contaminantes. (Benítez & Ramos, 2013)

Los resultados de los análisis comparativos antes y después del sistema, resolvieron que: existía un ahorro de combustible del 23.5%, una reducción de: hidrocarburos no combustionados del 51%, óxidos de nitrógeno del 46%, monóxido de carbono del 2% y un incremento de potencia y torque de 0.8 Hp y 3.04 Nm respectivamente. (Benítez & Ramos, 2013).

#### **Comentario:**

Utilizar un sistema dual fuel, hidrógeno / gasolina en un vehículo de motor de combustión interna, mejora el consumo de combustible y a su vez disminuye las emisiones de gases contaminantes.

Para confirmar la información, se realizaron pruebas antes y después de colocar el sistema Hidroxi (HHO); las mediciones se las obtuvieron mediante dos pruebas, una estática y una dinámica; la prueba estática se empleó para medir contaminantes, como

CO y HC; el procedimiento empleado fue el estipulado por la INEN; el cual indica una prueba en ralentí (1000 RPM) y otro a media carga (2500 RPM). El método utilizado fue el correcto ya que la medición de esos gases no requiere necesariamente condiciones reales de operación del motor.

Por otra parte para la prueba dinámica se utilizó una simulación de conducción típica en ciudad, realizada en un dinamómetro de chasis, denominada IM240, la cual dura 240 segundos, que representa una ruta de 3.1 km con una velocidad media de 47.3 km/h y una velocidad máxima de 91.2 km/h; a pesar de que existen diferencias con la ASM, esta prueba mantiene las condiciones ideales para medir NOx por sus aceleraciones y desaceleraciones parecidas a un ciclo de conducción normal.

Mientras que la ASM se realiza en dos etapas (modo 50/15 y modo 25/25), la prueba IM240 se realiza en base a segmentos tomados del ciclo de conducción FTP-75. El tiempo que toma realizar las mediciones con el ASM dependerá de las condiciones del vehículo y el tiempo que tome para su estabilización; mientras que en la prueba IM240 se realiza en un tiempo total de 240 segundos.

Al comprobarse que la emisión de óxidos de nitrógeno disminuyó en este caso un 46%, sería recomendable reproducir la investigación con el método ASM como prueba dinámica, para: **Determinar el impacto de la implementación de un sistema dual fuel, hidrógeno / gasolina en un vehículo de motor de combustión interna.**

## **5.2. Estudios de Óxidos de Nitrógeno en fuentes Móviles Realizados a Nivel Internacional:**

A nivel internacional las investigaciones sobre emisiones de NOx tienen un alto alcance, ya que además de: determinar y controlar la cantidad de emisiones, utilizan nuevas tecnologías para disminuir el nivel de contaminantes al mínimo, incluso manejan normativas sumamente exigentes como la EURO 6, a continuación se describen brevemente avances internacionales en el campo investigativo a los que se podrían llegar en un futuro.

### **5.2.1. Ordenamiento de emisiones de gasolina por el método Electre:**

**Autores:** J. Luis Jaimes Lopez, Julio Sandoval Fernández, Emmanuel González Ortiz, Ángel Zambrano García, Martín Llanos Plata, Uriel González Macías.

**Año:** 2013.

Mediante la reformulación de las gasolinas se han podido disminuir contaminantes atmosféricos como el plomo y el azufre en la Zona Metropolitana de la Ciudad de México (ZMCM), por lo que la reformulación continúa siendo una alternativa práctica para abatir otros importantes contaminantes locales, dado que la gasolina es una mezcla compleja de componentes químicos, el número de mezclas alternativas a valorar antes de introducir una nueva gasolina en el mercado es muy alto, planteando la necesidad de contar con métodos inmediatos y económicos para evaluar las alternativas.

Se ha reportado la aplicación de una técnica de jerarquización (método Electre) para preseleccionar un grupo de gasolinas reformuladas con bajo potencial de formación de compuestos gaseosos tóxicos y de precursores de ozono en las emisiones vehiculares de escape.

Se evaluaron diez gasolinas preparadas con diferentes cantidades de azufre, compuestos aromáticos, olefinas y compuestos oxigenados. Para ello se utilizaron dos vehículos con diferente tecnología: un Tier 1, que actualmente es la tecnología dominante en la ZMCM, y un Euro 4, que pronto entrará al mercado local. Las pruebas vehiculares se hicieron en un dinamómetro de chasis utilizando la prueba de manejo estandarizada conocida como Mex Urban, que simula las condiciones de manejo lento. Las muestras de emisiones de escape se obtuvieron con un muestreador a volumen constante (CVS). Las comparaciones entre combustibles y vehículos se basaron en los contenidos de contaminantes gaseosos regulados (hidrocarburos totales, THC; monóxido de carbono, CO; bióxido de carbono, CO<sub>2</sub>, y óxidos de nitrógeno, NO<sub>x</sub>); metano, CH<sub>4</sub> y compuestos orgánicos volátiles (COV, HC y aldehídos) presentes en las emisiones de escape.

Como referencia experimental se utilizó la gasolina sin plomo, con resultados de emisiones más altas de la mayoría de los contaminantes que emite el tier 1 en comparación con el Euro 4. Para seleccionar los combustibles con las emisiones más bajas de compuestos tóxicos y precursores de ozono, los datos de la emisión fueron normalizados (0–100) y ponderados por dos factores externos ( $w_1$ , para el potencial de formación de ozono y  $w_2$  para la toxicidad de cada componente) y posteriormente analizados mediante el método Electre. Las mejores opciones de gasolina reformulada (F, fuel) se escogieron con los resultados obtenidos de las emisiones promedio de los dos tipos de vehículo, sin embargo aún se requieren estudios detallados de las mezclas realizadas. (Jaimes Lopez et al., 2007)

### **5.2.2. Modelo para el control de NOx de motores diésel ciclo a ciclo.**

**Autores:** C. Guardiola, J. Martín, B. Pla, P. Bares.

**Año:** 2017.

Se creó un modelo para la estimación de NOx en línea y fue validado en un motor de encendido con EGR de alta presión en condiciones permanentes y transitorias que muestran errores por debajo del 10%.

El método utiliza como indicador la presión en el cilindro, mediante señales que son detectadas por componentes de baja y alta frecuencia. Aprovecha la resonancia y presión dentro del cilindro para estimar la masa atrapada, y en base a esta medida, se estima las emisiones de NOx en un ciclo, además el procedimiento sólo requiere de  $\lambda$  y el flujo de masa de aire, por lo que puede dar una estimación directa de NOx o mejorar la respuesta transitoria y el declive de los sensores de NOx actuales. (Guardiola, Martín, Pla, & Bares, 2017)

### **5.2.3. Alta reducción de NO<sub>x</sub> de escape del motor diésel a través de un sistema electroquímico:**

**Autores:** Jing Shao, Youkun Tao, Kent Kammer Hansen

**Año:** 2016.

El efecto de inhibición de excesivo oxígeno en el escape de motores diésel convierte en un reto la reducción de NO<sub>x</sub>. Por lo que se desarrolló un sistema electroquímico de reducción de NO<sub>x</sub>, que no requiere materiales reductores adicionales o sistemas sofisticados de control. El sistema consistió en una celda electroquímica modificada con absorbentes de NO<sub>x</sub> y un catalizador de oxidación diésel colocado encima de la celda. El sistema ofrece una alta reducción de NO<sub>x</sub> y una fuerte resistencia a la interferencia de oxígeno con casi cero emisiones de contaminantes secundarios.

Se investigaron las propiedades del sistema electroquímico, para: diversos voltajes, temperaturas y atmósferas de gas, que normalmente estaba representada por la conversión de NO<sub>x</sub>, la eficiencia de corriente, y la selectividad N<sub>2</sub>.

El sistema electroquímico exhibió una fuerte resistencia a la interferencia de oxígeno y el mantenimiento de un rendimiento de corriente de aproximadamente 60%, además una conversión de NO<sub>x</sub> del 70% y un 95% de selectividad N<sub>2</sub> con la concentración de O<sub>2</sub>, aumentando a 12% en 1000 ppm de NO a 400 ° C y 2,5 V. Se determinó que el rendimiento superior debe ser atribuido al catalizador de oxidación diésel (DOC); la eliminación de la NO<sub>x</sub> y la selectividad de N<sub>2</sub>, al proceso electroquímico. (Shao, Tao, & Kammer Hansen, 2016)

#### **5.2.4. Estudio comparativo de emisiones de NO<sub>x</sub> y NO<sub>2</sub> de la normativa Euro 6 entre el sistema COPERT (homologación vehicular) y el Sistema portátil de medición de emisiones (PEMS)**

**Autores:** Rosalind O'Driscoll, Helen M. ApSimon, Tim Oxley, Nick Molden, Marc E.J. Stettler, Aravinth Thiyagarajah.

**Año:** 2017.

Las emisiones reales de NO<sub>x</sub> con frecuencia exceden a las concentraciones registradas en el proceso de homologación realizado en laboratorios.

En este estudio se determinaron las emisiones reales a partir de una muestra de vehículos a diésel bajo la normativa Euro 6 que se presentan con un enfoque de NO<sub>x</sub> y NO<sub>2</sub>. Las emisiones del Sistema de Medición de datos portátil (PEMS) se analizaron desde 39 autos a diésel, en una ruta de prueba compuesta de secciones urbanas y autopistas. La muestra incluyó vehículos instalados con recirculación de gases de escape (EGR), Trampa de NO<sub>x</sub> (LNT), o la reducción catalítica selectiva (SCR).

Los resultados mostraron una alta variabilidad de NO<sub>x</sub>. Las emisiones de 1 a 22 veces el límite de la homologación. El promedio de NO<sub>x</sub> de emisión fue de 0,36 g/km, que representó 4,5 veces el límite Euro 6. La fracción promedio de NO<sub>2</sub> fue del 44%. Las altas emisiones durante el tramo urbano de la ruta se atribuyen a un mayor número de eventos de aceleración.

Las comparaciones entre las mediciones PEMS y factores de emisión dependientes de la velocidad COPERT muestran mediciones PEMS, por término medio 1,6 veces superior a la estimada para COPERT NO<sub>x</sub> y 2,5 veces para el NO<sub>2</sub>, por lo que se determinó que las condiciones reales de emisiones no se reflejan en las pruebas COPERT. Sin embargo, mediante la eliminación de los 5 vehículos más contaminantes, las emisiones medias se redujeron considerablemente. (O'Driscoll et al., 2016)

### **5.2.5. Análisis teórico y la confirmación experimental de control de la temperatura de escape para la reducción de las emisiones de NOx vehículo diésel.**

**Autores:** Jibing Jiang, Dinggen Li

**Año:** 2016.

La reducción catalítica selectiva (SCR) se ha demostrado como una tecnología eficiente para la reducción de las emisiones de NOx de los vehículos diésel. Sin embargo, se ha vuelto más y más difícil de cumplir con los estándares estrictos de emisiones de vehículos debido a la fluctuación de temperaturas de escape causadas por la regeneración de filtros de partículas diésel (DPFs). Por lo tanto, un diseño novedoso para el control de temperatura de escape, basado en tubos de calor controlable y almacenamiento de energía térmica latente, se propone a darse cuenta de la reducción de las emisiones de NOx más duradera y eficiente. Al adoptar el concepto de desplazamiento de la carga máxima, el exceso de energía térmica de los gases de escape se puede almacenar en materiales de cambio de fase (PCMs), y se libera para mantener una temperatura relativamente estable si existe una diferencia de temperatura entre el fluido de trabajo dentro de las tuberías de calor y el PCM. Con el fin de investigar la viabilidad del diseño, se combinaron análisis teórico y simulaciones numéricas para describir completamente el comportamiento dinámico de control de temperatura. Los efectos de la temperatura de escape sobre la reducción de las emisiones de NOx fueron evaluados mediante un modelo SCR precisa que será validada por los experimentos correspondientes. Los resultados indican que la fluctuación de la temperatura de escape se limita a 30 K después de terminar el proceso de precalentamiento durante el ciclo europeo de transición (ETC) prueba con una temperatura objetivo de 563 K. Sin embargo, las temperaturas de escape estables requieren 400 s adicionales para que los PCM se preparen para un suministro adecuado de energía térmica. En los ensayo ETC, se puede obtener una eficiencia superior al 90% en la eliminación de NOx en comparación a las emisiones naturales. Además satisfacen las altas exigencias de regulación de emisiones y es eficiente con el medio ambiente. (Jiang & Li, 2016)

### **5.2.6. Gestión óptima de la energía para un vehículo eléctrico híbrido diésel teniendo en cuenta las emisiones transitorias de MP y emisiones cuantitativas de NOx.**

**Autores:** Tobias Nüesch, Mu Wang, Pascal Isenegger, Christopher H. Onder, Rüdiger Steiner, Pedro Macri-Lassus, Lino Guzzella.

**Año:** 2014.

En este trabajo, las estrategias de gestión óptima de la energía se derivan de equilibrar el consumo de combustible, las emisiones de material particulado (MP), y las emisiones de óxido de nitrógeno en bruto (NOx) para un vehículo eléctrico híbrido diésel. Se compararon dos métodos para la derivación de estas estrategias. Un método se basa en la programación dinámica y sólo mapas de estado estacionario del motor. El segundo método se basa en la programación dinámica, mapas de estado estacionario del motor, y un modelo de emisión transitoria validada de MP. Como resultado, sólo el segundo método permite la generación de un punto de ajuste suave del motor para reducir las emisiones transitorias de MP, sin comprometer el consumo de combustible y las emisiones de NOx. (Nüesch et al., 2014)

### **5.3. Estudios adicionales de óxidos de nitrógeno en fuentes móviles que se podrían realizar en el taller de Ingeniería Automotriz de la Universidad del Azuay:**

Considerando los resultados obtenidos en los estudios internacionales y los alcances nacionales a partir de la medición de los NOx se plantearán adicionalmente propuestas de investigación realizables.

- Relación entre: los componentes químicos del combustible de un vehículo liviano y sus efectos en las emisiones de gases.

Lo que se buscaría sería determinar cómo y en qué medida los componentes de los combustibles pueden influir en la emisión de gases; la metodología a emplearse para la

medición de NOx sería mediante sistema ASM, empleando el protocolo establecido y los equipos disponibles en el taller.

- Estudio comparativo de emisiones de NOx entre el sistema ASM y el Sistema de medición portátil en carretera.

En este estudio se buscaría determinar si en la ciudad de Cuenca, existen diferencias significativas entre las mediciones de NOx obtenidas por el método ASM y un sistema de medición portátil en diferentes vehículos livianos: con 8 asientos o menos.

- Modelo para pronóstico de NOx de motores diésel ciclo a ciclo, utilizando la presión del cilindro.

Inicialmente lo que se pretende es encontrar una relación entre las mediciones de: la presión del cilindro y NOx; en el caso de existir se plantearía, establecer un modelo que permita pronosticar las emisiones en los vehículos. Se propone medir la presión de los cilindros con un manómetro de presión para vehículos de encendido por compresión y los NOx con el protocolo expuesto. Además se podría establecer si las emisiones emitidas se encuentran dentro de la norma.

- Crear una propuesta de implementación de evaluación de NOx en los centros de revisión técnica vehicular.

Para realizar la propuesta se plantea que se tome de una muestra del parque automotor de vehículos livianos que circulan en la Zona Urbana de la ciudad de Cuenca y establecer los niveles de emisiones de NOx, (siguiendo el proceso de medición expuesto) y con esos resultados realizar una propuesta para que se evalúen también estos gases en los centros de revisión técnica vehicular, incluyendo los límites que se estipulan por la EPA en su guía técnica de la ASM.

## 6. Capítulo VI: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

### 6.1. Conclusiones:

En países de primer mundo se utilizan normativas más exigentes de evaluación y límites permisibles de NO<sub>x</sub>, Incluso la EURO 6 ha establecido límites y normativas más estrictas para todos los gases, pero en especial para NO y NO<sub>2</sub>. La EPA mediante el código federal de regulaciones ha establecido los lineamientos y procesos a seguir para la medición de contaminantes emitidos por fuentes móviles sin embargo en todos los casos se emplean bancos dinamométricos y analizadores de gases. Además cada país, establece sus propios límites y ciclos de medición. En Ecuador, el NO<sub>x</sub> no es considerado en los centros de revisión, aunque existen límites estipulados en las normas INEN.

Considerando ventajas, desventajas de los instrumentos, métodos existentes y disponibles en el medio. Se utilizará como guía el ASM, siendo el más accesible y efectivo a ser utilizado en el taller de la Universidad del Azuay. Existen varios equipos para la realización de las pruebas, entre los más importantes, con los que se cuenta en la Universidad, son: un analizador de gases MGT5 de la marca MAHA y un banco dinamométrico de chasis AUTODYN 30 de la marca Super Flow. Debido a que no se tiene un módulo de NO<sub>x</sub>, se propone aprovechar la condición de adaptabilidad del analizador de gases para que sea posible la determinación de la concentración del contaminante, con una inversión aproximada de \$1100.

El procedimiento propuesto, consta de dos fases, la primera denominada, modo 50/15, con la que una vez aprobada, se puede realizar el modo 25/25. El protocolo se planteó con base en los procesos y exigencias provenientes de la EPA, en un documento denominado: “Acceleration Simulation Mode Test Procedures, Emisión Standard, Quality Control Requirements, and Equipment Specifications”, Technical Guidance. En el capítulo se establecieron los recursos físicos y humanos necesarios para realizar el proceso, además se determinó la necesidad de creación de registros e historiales de los

vehículos, para llevar a cabo el control de los procesos y posibles investigaciones. Para la medición de las emisiones son necesarios, por lo menos: dos operarios, un equipo de Medición de NOx, el banco dinamométrico de chasis y herramientas de seguridad. Se realizaron diagramas de flujo claros y simples para que puedan ser usados continuamente disminuyendo el riesgo de equivocación en la toma de valores.

En el Ecuador las investigaciones de NOx son bastante limitadas, sin embargo, se han realizado aportes importantes en el planteamiento de soluciones para reducir la emisión de contaminantes de fuentes móviles, especialmente en motores diésel, entre los aportes más importantes se destacaron: experimentos con mezclas de combustible, comparaciones entre varios tipos de vehículos y mediciones en ruta, procurando obtener datos reales. Por su parte los estudios internacionales han creado modelos de estimación de NOx e incluso han creado y comprobado la efectividad de sistemas precisos de medición que simplifican el trabajo y eliminan riesgos de error. Existen pruebas realizadas en el campo y en laboratorio por lo que sería conveniente reproducir ciertos estudios e incluso crear propuestas de aporte para revisiones técnicas vehiculares.

Se tomaron en cuenta estudios realizados a nivel nacional e internacional para sugerir temas investigativos, amplios, flexibles, que impliquen un trabajo teórico/práctico factibles de realizar en el taller de Ingeniería Automotriz; considerando: la disponibilidad de equipos, recursos y aporte a la investigación de la Universidad, enriqueciendo la participación estudiantil en la vinculación con la sociedad con conciencia ambiental y económica.

## **6.2.Recomendaciones:**

Se recomienda analizar constantemente los distintos protocolos de estimación y medición de NOx utilizados en países de Latinoamérica, ya que mantienen condiciones geográficas, económicas y climáticas parecidas a las del Ecuador, ya que estos ensayos son modificaciones de los utilizados en países de la Unión Europea y de Estados Unidos.

Se recomienda utilizar el método ASM, el propuesto en este trabajo de titulación, ya que es el más adecuado, considerando el equipamiento disponible en la Universidad que cumple con las especificaciones de la guía de la EPA, y es apreciado como un método muy amigable, eficaz y sencillo, sin embargo, el analizador de gases MAHA MGT5, disponible en la Universidad, no cuenta con un módulo de NOx por lo que es recomendable su adquisición, instalación y uso constante.

La INEN establece límites máximos de emisión de NOx expresados en g/km, tomados de la prueba FTP-75, por otro lado, los límites utilizados en las pruebas ASM están expresados en ppm, por lo que se recomienda una conversión de unidades a las utilizadas en el país, para cumplir con los reglamentos estipulados por la INEN, caso contrario se sugiere proponer la implementación de límites en la norma expresados en ppm para los NOx.

Se recomienda utilizar como guías, los temas propuestos en el Capítulo 5, para futuros proyectos cumpliendo con el protocolo ASM, siendo estos los procedimientos que más se adaptan al taller de la Universidad.

## BIBLIOGRAFIA

- Abraczinskas, M., Jones, P., Chandler, V., & Bello, P. (2016). Emissions and Air Quality Analysis of the California Low Emission Vehicle II.
- Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades. (2016). Óxidos de nitrógeno. Retrieved from [http://www.atsdr.cdc.gov/es/toxfaqs/es\\_tfacts175.html](http://www.atsdr.cdc.gov/es/toxfaqs/es_tfacts175.html)
- Alejandro Serrano. (2011). Las emisiones, prioridad para la ITV. Retrieved from <http://www.autobild.es/noticias/las-revisiones-sobre-emisiones-como-prioridad-para-la-itv-154269>
- Álvarez, S. (2015). La normativa Euro6 en 6 claves: qué tienes que saber y cómo te afecta. Retrieved from <http://www.diariomotor.com/2015/09/14/normativa-euro6/>
- Augeri, F. (2011). Análisis de los gases de escape de los motores de combustión interna. <http://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Bash, E. (2015). No Title No Title. <http://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Benítez, Á., & Ramos, M. (2013). Implementación de un sistema dual fuel, hidrógeno / gasolina en un vehículo de motor de combustión interna.
- Caiza, P. G., & Portilla, A. A. (2010). Determinación De La Influencia De La Altura En Emisiones Contaminantes De Un Vehículo Con Motor De Ciclo Otto, De Inyección Electrónica De Gasolina.
- CFR. (2016). TITLE 40—Protection of Environment. Retrieved from [http://www.ecfr.gov/cgi-bin/text-idx?tpl=/ecfrbrowse/Title40/40cfr86\\_main\\_02.tpl](http://www.ecfr.gov/cgi-bin/text-idx?tpl=/ecfrbrowse/Title40/40cfr86_main_02.tpl)

Chávez, O. C. E. Z. (2006). ESTUDIO DE RIESGO EN EMISIONES DE MOTORES A GASOLINA, 1–20.

Comision Europea. (2007). REGLAMENTO DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO relativo a la homologación de los vehículos de motor y los motores en lo concerniente a las emisiones de los vehículos pesados (Euro VI) y al acceso a la información sobre reparación y mantenimiento de vehíc. Retrieved from [http://ec.europa.eu/geninfo/query/index.do?queryText=emisiones+vehiculares+euro&summary=summary&more\\_options\\_source=global&more\\_options\\_date=\\*&more\\_options\\_date\\_from=&more\\_options\\_date\\_to=&more\\_options\\_language=es&more\\_options\\_f\\_formats=\\*&swlang=es](http://ec.europa.eu/geninfo/query/index.do?queryText=emisiones+vehiculares+euro&summary=summary&more_options_source=global&more_options_date=*&more_options_date_from=&more_options_date_to=&more_options_language=es&more_options_f_formats=*&swlang=es)

DieselNet. (2015). Emission Test Cycles - FTP-75. Retrieved from <https://www.dieselnet.com/standards/cycles/ftp75.php>

EINECS. (2015). NOX (ÓXIDOS DE NITRÓGENO). Retrieved from <http://www.prtr-es.es/NOx-oxidos-de-nitrogeno,15595,11,2007.html>

EPA. (2004). Acceleration Simulation Mode Test Procedures, Emission Standards, Quality Control Requirements, and Equipment Specifications. Retrieved from <http://www.epa.gov/otaq/regs/im/420b04011.pdf>

EPA. (2016). Dynamometer Drive Schedules. Retrieved from <https://www.epa.gov/vehicle-and-fuel-emissions-testing/dynamometer-drive-schedules>

EUR - Lex. (2015). Relativa a la aproximación de las legislaciones de los Estados Miembros en materia de medidas que deben adoptarse contra la contaminación del aire causada por los gases procedentes de los motores de explosión con los que están equipados los vehículos a mo.

<http://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>

Guardiola, C., Martín, J., Pla, B., & Bares, P. (2017). Cycle by cycle NO<sub>x</sub> model for diesel engine control. *Applied Thermal Engineering*, *110*, 1011–1020. <http://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2016.08.170>

Guzmán, A., & Peralvo, M. (2011). Estudio de las emisiones de gases contaminantes de un motor de ciclo diesel, usando combustible microemulsionado con agua.

INEN. (2000). NORMA TÉCNICA ECUATORIANA NTE INEN 2 202:2000, 2202.

INEN. (2002a). NORMA TÉCNICA ECUATORIANA NTE INEN 2 203:2000, 2–7.

INEN. (2002b). NORMA TÉCNICA ECUATORIANA NTE INEN 2 204:2002, 2–7.

INEN. (2002c). NORMA TÉCNICA ECUATORIANA NTE INEN 2 207:2000.

Jaimes Lopez, J. L., Sandoval Fernandez, J., González Ortíz, E., Zambrano García, Á., Llanos Plata, M., & González Macías, U. (2007). RANKING TAIL-PIPE VEHICLE EMISSIONS FROM REFORMULATED GASOLINES BY ELECTRE METHOD, *23*(2), 59–67.

Jiang, J., & Li, D. (2016). Theoretical analysis and experimental confirmation of exhaust temperature control for diesel vehicle NO<sub>x</sub> emissions reduction. *APPLIED ENERGY*, *174*, 232–244. <http://doi.org/10.1016/j.apenergy.2016.04.096>

Lasheras. (2012). BANCOS DE POTENCIA, UNA APROXIMACIÓN TEÓRICA. Retrieved from <http://8000vueltas.com/2012/11/12/bancos-de-potencia>

MAHA. (2000). Analizadores de gases para motores a diésel , gasolina y gas, 1–12.

MAHA. (2015). Bancos de potencia , funciones y prueba de gases.

MAHA. (2016). Analizador de Emisiones MGT5. Retrieved from <http://www.maha.de/analizador-de-emisiones-mgt-5-con-terminal-de-mano.htm?rdeLocaleAttr=es>

Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones. (2006). Establece Norma de Emision de NO, HC y CO para el control del NOx en vehiculos en uso, de encendido por chispa (Ciclo Otto), que cumplen con las normas de emision establecidas en el DS. N° 211 de 1991 Y DS. N° 54, DE 1994, 1–11.

Ministerio de Transporte y Telecomunicaciones. (2012). Decreto 211.

Ministerio de Transporte y Telecomunicaciones. (2015). Revisiones tecnicas tipo b manual de procedimientos e interpretacion de resultados.

Ministerio del Ambiente. (2010). Plan Nacional de la Calidad del Aire.

Miranda, D. C. (2016). Metodología de pruebas y su aplicación, para el diagnóstico de convertidores catalíticos, mediante ciclo ASM, en vehículos con motores de encendido provocado:

Mitchell, J., & Cabrera, M. (2016). Tipos de analizadores de gases de combustión. Retrieved from [http://www.ehowenespanol.com/tipos-analizadores-gases-combustion-lista\\_447319/](http://www.ehowenespanol.com/tipos-analizadores-gases-combustion-lista_447319/)

Motorroll. (2016). Bancos de Rodillos. Retrieved from <http://www.motorroll.com/banco-de-motores-interfaces-frenos-hidraulicos-accesorios.html>

- Nüesch, T., Wang, M., Isenegger, P., Onder, C. H., Steiner, R., Macri-lassus, P., & Guzzella, L. (2014). Control Engineering Practice Optimal energy management for a diesel hybrid electric vehicle considering transient PM and quasi-static NOx emissions. *Control Engineering Practice*, (2012), 1–11. <http://doi.org/10.1016/j.conengprac.2014.01.020>
- O’Driscoll, R., Apsimon, H. M., Oxley, T., Molden, N., Stettler, M. E. J., & Thiyagarajah, A. (2016). A Portable Emissions Measurement System ( PEMS ) study of NO x and primary NO 2 emissions from Euro 6 diesel passenger cars and comparison with COPERT emission factors. *Atmospheric Environment*, 145(2), 81–91. <http://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2016.09.021>
- PRTR España. (2007). NOx. Retrieved from <http://www.prtr-es.es/NOx-oxidos-de-nitrogeno,15595,11,2007.html>
- Safety, P. (2002). ACCELERATION SIMULATION MODE ( ASM ) TEST INSPECTORS ’ GUIDE Table of Contents, (September).
- Secretaria de Gobernacion Mexico. (2014). Norma Oficial Mexicana NOM-047-SEMARNAT-2014. <http://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Secretaria de Gobernacion Mexico. (2016). NORMA Oficial Mexicana de Emergencia NOM-EM-167-SEMARNAT-2016. Retrieved from [http://www.dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=5440157&fecha=07/06/2016](http://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5440157&fecha=07/06/2016)
- Secretaria del ambiente y desarrollo sustentable. (2000). MEDICIÓN DE EMISIONES EN VEHÍCULOS LIVIANOS EQUIPADOS CON MOTORES CICLO OTTO.
- Shao, J., Tao, Y., & Kammer Hansen, K. (2016). Highly selective NOx reduction for diesel engine exhaust via an electrochemical system. *Electrochemistry*

*Communications*, (x). <http://doi.org/10.1016/j.elecom.2016.08.020>

Soto, A. C., & Durán, A. R. PRUEBAS DE EMISION EN CARGA PARA EL CONTROL EN LAS REVISIONES TECNICAS, IGARSS 2014 1–5 (2014). <http://doi.org/10.1007/s13398-014-0173-7.2>

SuperFlow. (2016). AutoDyn 30. Retrieved from [http://www.superflow.com/Dynamometers/Chassis/auto\\_dyn30.php#](http://www.superflow.com/Dynamometers/Chassis/auto_dyn30.php#)

Van der Spoel, E., Rozing, M. P., Houwing-Duistermaat, J. J., Eline Slagboom, P., Beekman, M., de Craen, A. J. M., ... van Heemst, D. (2015). Association analysis of insulin-like growth factor-1 axis parameters with survival and functional status in nonagenarians of the Leiden Longevity Study. <http://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>

Yanzapanta, M., Guillermo, Á., & Palacios, J. V. (2013). Estudio Técnico de un Sistema Integral de Revisión Vehicular para la Provincia de Chimborazo en la ESPOCH. Retrieved from <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/2260>

## ANEXOS

### ANEXO 1:

Norma de la EPA CFR “Titulo 40: Protección del Medio Ambiente, Parte 86” se encuentra en el siguiente link: [http://www.ecfr.gov/cgi-bin/text-idx?tpl=/ecfrbrowse/Title40/40cfr86\\_main\\_02.tpl](http://www.ecfr.gov/cgi-bin/text-idx?tpl=/ecfrbrowse/Title40/40cfr86_main_02.tpl) Ya que esta norma es totalmente electrónica.

### ANEXO 2:

- 3.3. **Material de análisis**
  - 3.3.1. La sonda podrá consistir en un tubo de toma que vaya al dispositivo de recogida o en un tubo de vaciado de la bolsa. También puede ser independiente, pero en ningún caso tendrá su orificio en el fondo de la bolsa.
  - 3.3.2. Los analizadores serán del tipo no dispersivo de absorción en el infrarrojo. El analizador de hidrocarburos será sensibilizado al n-hexano.
- 3.4. **Material de medición del volumen**
  - 3.4.1. Se utilizará un contador volumétrico.
  - 3.4.2. Las mediciones de la presión y de la temperatura que permitan considerar el volumen en condiciones normales se efectuarán en puntos elegidos en función del tipo de contador utilizado. El laboratorio indicará cuales deben ser esos puntos.
  - 3.4.3. El dispositivo de extracción de gases podrá estar constituido por una bomba u otro sistema que mantenga constante la presión medida en el contador.
- 3.5. **Precisión de los aparatos**
  - 3.5.1. No se indicará la precisión del dinamómetro, al ser el freno calibrado en una prueba complementaria. La inercia total de las masas en rotación, comprendida la de los rodillos y la del rotor del freno (véase número 4.2), se dará con tolerancia de  $\pm 20$  kg.
  - 3.5.2. La velocidad del vehículo deberá medirse a partir de la velocidad de rotación de los rodillos unidos a los volantes de inercia del freno, admitiéndose una tolerancia de  $\pm 2$  km/h en la gama de 0 a 10 km/h y de  $\pm 1$  km/h por encima de 10 km/h.
  - 3.5.3. Las temperaturas consideradas en los números 5.1.1 y 6.3.3 se medirán con una tolerancia de  $\pm 2$  °C.
  - 3.5.4. La presión atmosférica se medirá con una tolerancia de  $\pm 1$  mm de columna de mercurio.
  - 3.5.5. La depresión en el sistema de admisión del vehículo deberá medirse con una tolerancia de  $\pm 5$  mm de columna de mercurio. Las demás presiones (contrapresión an del dispositivo de toma de muestra, presión para la corrección del volumen, etc.) deberán medirse con una tolerancia de  $\pm 5$  mm de columna de agua.
  - 3.5.6. La dimensión y la precisión del contador deberán estar en relación con el volumen del gas que debe medirse de forma que la precisión de la medida del volumen sea de  $\pm 2$  %.
  - 3.5.7. Los analizadores deberán tener una amplitud de medida compatible con la precisión requerida para la medición de los contenidos de los diversos elementos integrantes, que será de  $\pm 3$  %, sin tener en cuenta la precisión de los gases-patrón. La respuesta global del circuito de análisis deberá ser inferior a un minuto.
  - 3.5.8. El contenido de los gases-patrón no se diferenciará en más de  $\pm 2$  % del valor de referencia de cada uno de ellos. El gas diluyente será el nitrógeno.
- 4. **PREPARACIÓN DE LA PRUEBA**
  - 4.1. **Regulación del freno**
    - 4.1.1. El freno se regulará de modo que permita reproducir el funcionamiento del vehículo en llano a la velocidad constante de 50 km/h.
    - 4.1.2. Para ello, se medirá la depresión en la admisión del motor en una prueba en carretera y a 50 km/h, en tercera o utilizando las marchas indicadas en el número 1.3, con el vehículo cargado con su peso de referencia y con la presión de los neumáticos indicada por el constructor. La depresión se medirá cuando la velocidad se haya estabilizado en llano durante quince segundos como mínimo. Para tener en cuenta la influencia del viento se tomará la media de las mediciones efectuados dos veces en cada sentido.
    - 4.1.3. A continuación se instalará el vehículo sobre el banco dinamométrico con el freno regulado de manera que se obtenga la misma depresión en la admisión que la determinada en la prueba en carretera, definida en el número 4.1.2. Esta regulación del freno se mantendrá durante toda la prueba.

4.1.4. Dicha regulación es válida para los frenos de tipo hidráulico. Para otros tipos, podrá ser necesario comprobar que la regulación así obtenida es válida para otras condiciones intermedias comprendidas entre el ralenti y la velocidad máxima del ciclo. Si fuese necesario, se adoptará una regulación media.

4.2. **Adaptación de las inercias equivalentes a las de traslación del vehículo**

Se utilizará un volante de inercia que permita obtener una inercia total de las masas en rotación, proporcional al peso de referencia, dentro de los límites siguientes:

<i>Peso de referencia del vehículo Pr en kg</i>	<i>Inercias equivalentes en kg</i>
Pr ≤ 750	680
750 < Pr ≤ 850	800
850 < Pr ≤ 1 020	910
1 020 < Pr ≤ 1 250	1 130
1 250 < Pr ≤ 1 470	1 360
1 470 < Pr ≤ 1 700	1 590
1 700 < Pr ≤ 1 930	1 810
1 930 < Pr ≤ 2 150	2 040
2 150 < Pr	2 270

4.3. **Acondicionamiento del vehículo**

4.3.1. Antes de la prueba, el vehículo se mantendrá, durante seis horas como mínimo, a una temperatura comprendida entre 20° y 30 °C. Además se comprobará si las temperaturas del agua de refrigeración y del aceite del motor están comprendidas entre 20° y 30 °C.

4.3.2. La presión de los neumáticos será la indicada por el constructor, como en la ejecución de la prueba preliminar en carretera para la regulación del freno. Sin embargo, si el diámetro de los rodillos es inferior a 50 cms se aumentará la presión de los neumáticos de un 30% a un 50%, para evitar su deterioro.

4.4. **Control de la contrapresión**

En el curso de las pruebas preliminares se comprobará que la contrapresión creada por el dispositivo de recogida no pase de 75 mm de columna de agua, efectuándose la medición a las diferentes velocidades constantes previstas en el ciclo.

4.5. **Acondicionamiento de las bolsas**

4.5.1. En lo que se refiere a los hidrocarburos en particular, las bolsas se acondicionarán de manera que las pérdidas de hidrocarburos sean inferiores al 2% de su contenido de origen, durante un periodo de almacenamiento de 20 minutos. Este acondicionamiento se llevará a cabo en pruebas preliminares realizadas en condiciones de temperatura próximas a las temperaturas extremas registradas en las distintas pruebas.

4.5.2. Para la medición de las pérdidas se utilizará el siguiente procedimiento: cuando el motor gire a velocidad constante, se medirá permanentemente el contenido de hidrocarburos de los gases que entren en la bolsa, hasta que ésta se llene. El contenido al final del llenado será el contenido medio obtenido durante la medición. Se vaciará la bolsa por medio de las bombas de los analizadores y se registrará el contenido en forma continua o a intervalos de tiempo dados. Si al cabo de 20 minutos el contenido ha variado más del 2% se procederá al vaciado y llenado de la bolsa para una segunda medición. Esto se realizará tantas veces como sea necesario para que las paredes queden saturadas.

4.6. **Regulación de los apartatos de análisis**

4.6.1. **Calibrado de los analizadores**

Por medio del medidor de caudal y del descompresor montado en cada botella, se inyectará en el analizador la cantidad de gas a la presión indicada compatible con el buen funcionamiento de los aparatos. Se regulará el aparato para que indique, en valor estable, el valor inscrito sobre la botella-patrón. Partiendo de la regulación obtenida con la botella de contenido máximo, se trazará la curva de las desviaciones del analizador en función del contenido de las diversas botellas de gases-patrón utilizadas.

4.6.2. **Respuesta global de los aparatos**

En el extremo de la sonda se inyectará el gas de la botella de contenido máximo. Se comprobará que el valor indicado correspondiente a la desviación máxima se alcanza en menos de un minuto. Si este valor no se alcanzara, se buscarán las posibles fugas en el circuito de análisis procediendo punto por punto.

**4.7. Regulación del dispositivo de medición del volumen**

Se llenará la bolsa en el curso de las pruebas preliminares, y se comprobará que la medición del volumen puede efectuarse con la precisión indicada. Si fuese necesario, se elegirá un contador adecuado para cada caso.

**5. FORMA DE REALIZAR LAS PRUEBAS EN EL BLANCO****5.1. Condiciones particulares para la ejecución del ciclo**

5.1.1. La temperatura del local donde se encuentre el banco de rodillos estará comprendida, durante toda la prueba, entre 20° y 30 °C y será lo más aproximada posible a la del lugar donde se preparó el vehículo para la prueba.

5.1.2. El vehículo deberá estar más o menos horizontal en el curso de la prueba para evitar cualquier distribución anormal del carburante.

5.1.3. La prueba deberá efectuarse con el capot levantado. Podrá instalarse, si fuese necesario, un dispositivo auxiliar de ventilación que actúe sobre el radiador (refrigeración por agua) o a la entrada del aire (refrigeración por aire), para mantener normal la temperatura del motor.

5.1.4. Para la ejecución del ciclo, se considerará la velocidad de los rodillos unidos al volante de inercia del freno. Durante la prueba se registrará la velocidad en función del tiempo para determinar la validez de los ciclos efectuados.

5.1.5. El registro de la depresión será facultativo; sin embargo, si se efectúa al mismo tiempo que el de la velocidad, se podrá juzgar si la ejecución de las aceleraciones ha sido correcta.

5.1.6. Asimismo, podrán registrarse, si se desea, las temperaturas del agua de refrigeración y del aceite del cárter del motor.

**5.2. Puesta en marcha del motor**

5.2.1. El motor se pondrá en marcha, siguiendo las instrucciones de constructor, utilizando los medios previstos para este fin: «starter», estrangulador de arranque, etc.

5.2.2. El motor se mantendrá al ralentí con el «starter» durante 40 segundos. El primer ciclo de la prueba se iniciará cuando se accione la válvula del dispositivo de recogida de gases al terminar el período de 40 segundos antes indicado.

**5.3. Utilización del «starter» manual**

El «starter» quedará fuera de acción lo más pronto posible y en principio antes de la aceleración de 0 a 50 km/h. Si esta prescripción no pudiera cumplirse, se indicará el momento efectivo del cierre. El método de regulación del «starter» será el indicado por el constructor.

**5.4. Ralentí****5.4.1. Caja de cambios manual:**

5.4.1. Los períodos de ralentí se efectuarán con motor embragado y caja de cambios en punto muerto.

5.4.1.2. Para efectuar las aceleraciones siguiendo el ciclo normal, se meterá la primera marcha, con el motor desembragado, cinco segundos antes de la aceleración que sigue al período de ralentí considerado.

5.4.1.3. El primer ralentí del comienzo del ciclo comprenderá seis segundos, con la caja en punto muerto y el motor embragado, y cinco segundos en primera y el motor desembragado.

5.4.1.4. Para los períodos de ralentí dentro de cada ciclo, los tiempos correspondientes serán, respectivamente, de 16 segundos en punto muerto y de 5 segundos en primera, con el motor desembragado.

5.4.1.5. El último ralentí del ciclo durará siete segundos, en punto muerto y con el motor embragado.

**5.4.2. Caja de cambios semiautomática:**

Se aplicarán las indicaciones del constructor para la conducción en ciudad, o en su defecto, las prescripciones relativas a las cajas de cambios de mando manual.

- 5.4.3. **Caja de cambios automática:**  
El selector no deberá manejarse en ningún momento de la prueba, salvo indicaciones contrarias del constructor, en cuyo caso, se aplicará el proceso previsto para las cajas de cambios manuales.
- 5.5. **Aceleraciones**
- 5.5.1. Las aceleraciones se efectuarán de manera que su valor sea lo más constante posible mientras dure la secuencia.
- 5.5.3. Si no pudiera efectuarse una aceleración en el tiempo prescrito, el exceso de tiempo empleado se descontará, si fuese posible, de la duración del cambio de marcha y, en todo caso, del periodo de velocidad constante siguiente.
- 5.6. **Deceleraciones**
- 5.6.1. Todas las deceleraciones se efectuarán levantando del todo el pie del acelerador, quedando embragado el motor. El desembragado del motor se efectuará sin tocar la palanca de cambios, a la velocidad de 10 km/h.
- 5.6.2. Si la deceleración durara más de lo previsto en la operación correspondiente, se utilizarán los frenos del vehículo para ajustarse al ciclo.
- 5.6.3. Si la deceleración durara menos de lo previsto en la operación correspondiente, se restablecerá la concordancia con el ciclo teórico mediante un periodo de ralentí que se una con la siguiente secuencia de ralentí.
- 5.6.4. Al final del periodo de deceleración (parada del vehículo sobre los rodillos) la caja de cambios se pondrá en punto muerto y el motor quedará embragado.
- 5.7. **Velocidades constantes**
- 5.7.1. Se evitará el «bombeo» o el cierre de la mariposa de los gases al pasar de la aceleración a la velocidad constante siguiente.
- 5.7.2. Los periodos de velocidad constante se efectuarán manteniendo fija la posición del acelerador.
6. **FORMA DE EFECTUAR LA TOMA DE MUESTRAS Y EL ANÁLISIS**
- 6.1. **Toma de muestra**
- 6.1.1. La toma de muestra comenzará al abrirse la válvula, como se indica en el número 5.2.2.
- 6.1.2. Si se utilizan varias bolsas se pasará de una a otra al principio del primer período de ralentí de un ciclo.
- 6.1.3. La bolsa se cerrará herméticamente tan pronto como esté llena.
- 6.1.4. Al final del último ciclo, se accionará la válvula para evacuar a la atmósfera los gases producidos por el motor.
- 6.2. **Análisis**
- 6.2.1. El análisis de los gases contenidos en cada bolsa se efectuará tan pronto como sea posible y, en todo caso, antes de los veinte minutos siguientes al comienzo de su llenado.
- 6.2.2. Si la sonda no quedase fija en la bolsa, convendrá evitar entradas de aire en el momento de su introducción y fugas de gas en el momento de su extracción.
- 6.2.3. El analizador quedará estabilizado un minuto después de haber sido conectado con la bolsa.
- 6.2.4. El valor del contenido de los gases en cada una de las emanaciones medidas que se tendrá en cuenta será el valor leído después de la estabilización del aparato de medición.
- 6.3. **Medición del volumen**
- 6.3.1. Para evitar variaciones importantes de la temperatura, se procederá a la medición del volumen del o de las bolsas desde el momento en que los gases hayan alcanzado la temperatura ambiente.
- 6.3.2. Se procederá al vaciado de las bolsas haciendo pasar los gases por el contador.
- 6.3.3. La temperatura que se considerará en los cálculos ( $t_m$ ), será la media aritmética de las temperaturas obtenidas al principio y al final del vaciado, con una desviación máxima tolerada entre los dos valores inferior a 5 °C.
- 6.3.4. La presión que se considerará en los cálculos ( $P_m$ ) será la media aritmética de las presiones absolutas registradas al principio y al final del vaciado, con desviación máxima tolerada entre los dos valores inferior a 4 mm de mercurio.
- 6.3.5. Al volumen medido por el contador se sumará el de los gases tomados para el análisis, si éste excediera del 1% del volumen medido. El resultado se designará por  $V_m$ .

**7. DETERMINACIÓN DE LA CANTIDAD DE GASES CONTAMINANTES EMITIDOS****7.1. Corrección de los volúmenes de gas medidos**

El volumen de los gases contenidos en cada bolsa deberá referirse a las condiciones normales de temperatura y de presión mediante la fórmula:

$$V = V_m \frac{273}{273 + t_m} \times \frac{P_m - P_H}{760}$$

donde las cantidades  $V_m$ ,  $t_m$ ,  $P_m$  y  $P_H$  se definen como sigue:

$V_m$ : volumen medido, expresado en litros, como se indica en el número 6.3.5;

$t_m$ : media aritmética de las temperaturas extremas registradas, como se indica en el número 6.3.3, expresada en grados Celsius;

$P_m$ : media aritmética de las presiones absolutas extremas registrada, como se indica en el número 6.3.4, expresada en milímetros de mercurio;

**7.2. Masa de gases contaminantes contenida en cada bolsa**

La masa de gases contaminantes contenida en cada bolsa se determinará por el producto  $dCV$ , donde  $C$  es el contenido en volumen y  $d$  la masa volúmica del gas contaminante considerado, que será:

— para el monóxido de carbono:  $d = 11,250$

— para los hidrocarburos:  $d = 3,844$  (n-hexano).

**7.3. Masa total de gases contaminantes emitidos**

La masa  $M$  de cada gas contaminante emitido por el vehículo en el curso de la prueba se obtendrá sumando las masas de gases contaminantes contenidas en cada saco, calculada como se indica en el número 7.2.

*Nota:* Se recomienda a los laboratorios comprobar la validez de los análisis midiendo igualmente la cantidad de gas carbónico producido.

**ANEXO 3: Tabla de Valores Prueba (5015 & 2525) ASM**

(iii) ASM2525 and ASM5015 Nitric Oxide (ppm NO) Table

Column #	41	41	42	42	43	43	44	44	45	45	46	46	47	47	48	48	49	49	50	50	51	51
	5015	2525	5015	2525	5015	2525	5015	2525	5015	2525	5015	2525	5015	2525	5015	2525	5015	2525	5015	2525	5015	2525
ETW																						
1750	1212	1095	1819	1642	2272	2114	2725	2587	3178	3060	3631	3532	4084	4005	4990	4950	4990	4960	4990	4980	4990	4990
1875	1142	1031	1713	1547	2181	1991	2649	2435	3117	2879	3586	3323	4054	3767	4990	4655	4990	4738	4990	4906	4990	4990
2000	1077	973	1616	1460	2058	1877	2499	2295	2941	2713	3383	3131	3824	3548	4707	4384	4778	4535	4919	4838	4990	4990
2125	1018	920	1527	1380	1944	1774	2360	2167	2776	2561	3192	2955	3609	3348	4441	4136	4578	4349	4853	4776	4990	4990
2250	964	871	1446	1307	1839	1678	2232	2050	2625	2422	3018	2794	3411	3165	4197	3909	4395	4179	4792	4720	4990	4990
2375	915	827	1372	1240	1744	1592	2115	1943	2487	2295	2859	2646	3231	2998	3974	3701	4228	4024	4736	4668	4990	4990
2500	869	786	1304	1179	1657	1512	2009	1845	2361	2179	2714	2512	3066	2845	3771	3512	4076	3881	4685	4620	4990	4990
2625	828	749	1242	1123	1577	1440	1912	1756	2246	2073	2581	2389	2916	2706	3585	3339	3936	3752	4639	4577	4990	4990
2750	791	715	1186	1072	1504	1374	1823	1675	2142	1976	2460	2277	2779	2579	3416	3181	3809	3579	4596	4374	4990	4772
2875	756	684	1134	1026	1438	1313	1742	1601	2046	1888	2350	2175	2654	2463	3261	3037	3669	3417	4484	4176	4892	4556
3000	725	656	1088	984	1378	1258	1668	1533	1959	1808	2249	2082	2539	2357	3120	2906	3510	3270	4290	3996	4680	4359
3125	696	630	1045	945	1323	1208	1601	1471	1879	1734	2157	1997	2435	2260	2992	2787	3366	3135	4114	3832	4488	4180
3250	670	607	1006	910	1273	1163	1539	1415	1806	1667	2073	1920	2340	2172	2874	2677	3234	3012	3952	3681	4311	4016
3375	647	585	970	878	1227	1121	1483	1363	1740	1606	1997	1849	2253	2092	2767	2577	3113	2899	3804	3544	4150	3866
3500	625	566	937	848	1184	1082	1432	1316	1679	1550	1926	1784	2174	2018	2668	2486	3002	2796	3669	3418	4002	3728
3625	605	547	907	821	1146	1047	1384	1273	1623	1498	1862	1724	2100	1950	2578	2401	2900	2701	3544	3302	3867	3602
3750	586	531	879	796	1110	1014	1340	1233	1571	1451	1802	1669	2033	1887	2494	2323	2806	2614	3429	3195	3741	3485
3875	569	515	853	773	1077	984	1300	1195	1523	1407	1747	1618	1970	1829	2417	2251	2719	2533	3323	3096	3625	3377
4000	553	501	829	751	1046	956	1262	1161	1479	1365	1695	1570	1912	1775	2345	2184	2638	2457	3224	3003	3517	3276
4125	538	487	807	731	1017	930	1227	1128	1437	1327	1647	1526	1857	1724	2277	2122	2562	2387	3131	2917	3416	3182
4250	524	475	786	712	990	905	1194	1098	1398	1291	1602	1484	1806	1677	2214	2063	2490	2320	3044	2836	3321	3094
4375	510	463	766	694	964	882	1162	1069	1360	1257	1559	1444	1757	1632	2154	2007	2423	2258	2961	2759	3230	3010
4500	498	451	747	677	939	859	1132	1042	1325	1224	1518	1406	1711	1589	2096	1953	2359	2198	2883	2686	3145	2930
4625	486	440	728	661	916	838	1104	1015	1291	1193	1479	1370	1666	1548	2042	1903	2297	2140	2807	2616	3063	2854
4750	474	430	711	645	893	818	1076	990	1259	1163	1441	1336	1624	1508	1989	1854	2238	2085	2735	2549	2983	2780
4875	463	420	694	630	872	798	1049	966	1227	1134	1405	1302	1583	1470	1938	1806	2180	2032	2665	2483	2907	2709
5000	452	410	677	615	850	778	1023	942	1196	1106	1369	1269	1542	1433	1889	1760	2125	1980	2597	2420	2833	2640
5125	441	400	661	600	830	760	998	919	1167	1078	1335	1237	1503	1397	1840	1715	2070	1930	2530	2359	2760	2573
5250	431	391	646	586	810	741	974	896	1138	1051	1301	1206	1465	1362	1793	1672	2017	1881	2466	2298	2690	2507
5375	420	382	631	573	790	723	950	874	1109	1025	1269	1176	1428	1327	1747	1629	1966	1833	2403	2240	2621	2443
5500	410	373	616	559	771	706	926	853	1082	1000	1237	1147	1392	1294	1703	1587	1916	1786	2341	2183	2554	2381
5625	401	364	601	546	752	689	904	832	1055	975	1206	1118	1357	1261	1659	1547	1867	1740	2282	2127	2489	2321
5750	391	356	587	534	734	673	882	812	1029	951	1176	1090	1323	1230	1617	1508	1820	1697	2224	2074	2426	2262
5875	383	348	574	522	717	657	860	793	1004	928	1147	1064	1290	1199	1577	1471	1774	1654	2168	2022	2366	2206
6000	374	340	561	510	701	642	840	774	980	906	1120	1039	1259	1171	1539	1435	1731	1614	2116	1973	2308	2152
6125	366	333	549	499	685	628	822	757	958	886	1094	1015	1230	1144	1503	1401	1690	1577	2066	1927	2254	2102
6250	359	326	538	489	671	615	804	741	937	867	1070	993	1203	1119	1469	1371	1653	1542	2020	1884	2204	2056
6375	352	320	528	480	658	604	788	727	919	850	1049	973	1179	1096	1439	1343	1619	1510	1979	1846	2159	2014
6500	346	315	519	473	647	593	775	714	902	835	1030	956	1158	1077	1413	1318	1590	1483	1943	1813	2119	1977
6625	341	311	512	466	638	585	763	704	889	823	1014	941	1140	1060	1391	1298	1565	1460	1913	1785	2087	1947
6750	338	307	507	461	631	578	755	696	879	813	1003	931	1127	1048	1374	1283	1546	1443	1890	1764	2062	1924
6875	335	305	503	458	626	574	749	691	872	807	995	924	1118	1040	1364	1273	1534	1432	1875	1750	2046	1909
7000	335	305	502	457	624	573	747	689	870	805	992	921	1115	1037	1360	1269	1530	1428	1870	1745	2040	1904
7125	335	305	502	457	625	573	747	689	870	805	992	921	1115	1037	1360	1269	1531	1428	1874	1745	2045	1904
7250	335	305	502	457	625	573	747	689	870	805	992	921	1115	1037	1360	1269	1531	1428	1874	1745	2045	1904
7375	335	305	502	457	625	573	747	689	870	805	992	921	1115	1037	1360	1269	1531	1428	1874	1745	2045	1904
7500	335	305	502	457	625	573	747	689	870	805	992	921	1115	1037	1360	1269	1531	1428	1874	1745	2045	1904

## ANEXO 4:

	<b>PROFORMA DE EQUIPOS N° 115</b>	Código: COM-P01-R05
		Revisión: 01

Quito, 07 de marzo de 2016

Ingeniero  
**Andrés Iñiguez**  
**Universidad del Azuay**  
 Ciudad

Estimado Ing. Iñiguez,

Por medio de la presente ponemos a su consideración la cotización correspondiente a un *Analizador de Gases mod. MGT5*, de nuestra representada la compañía MAHA de Alemania.

Cabe señalar que el equipo cotizado es el mismo que está funcionando y realizando las pruebas a todos los vehículos en los Centros de Revisión y Control Vehicular de Quito, Cuenca y Guayaquil.

Los equipos aquí ofertados incluyen los accesorios que se describen en esta oferta ya sea como estándares (dentro de la descripción del equipo) y los que se cotizan por separado. Esta oferta no incluye ningún accesorio que no esté aquí descrito aun cuando eventualmente puede aparecer en los manuales o catálogos del equipo.

- **Analizador de Gases MAHA Modelo MGT5 tipo "Stand Alone" para PC sin impresora.**

**Precio Analizador: USD 6,600.00 + IVA**

*El equipo incluye:*

- Sonda de medición
- Filtros de papel y de sonda
- Manual de operación en Español

**Accesorios Opcionales.-**

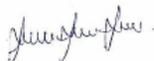
- Módulo para medir RPMs y pinzas Trigger:	USD	1,300.00
- Sensor de Temperatura	USD	800.00
- Pantalla de indicadores tipo LED:	USD	1,000.00
- Módulo del 5to. Gas: NOX (Nitrógeno)	USD	1,100.00



	<b>PROFORMA DE EQUIPOS N° 115</b>	Código: COM-P01-R05
		Revisión: 01

- *Servicio Post-Venta:* Instalación, capacitación y asistencia técnica durante el año de garantía sin Ningún costo adicional.
- *Garantía:* UN AÑO contra cualquier defecto de fabricación, no implica cambios de partes por mala utilización o mala manipulación del equipo, tampoco por cortocircuitos electrónicos o inundaciones que afectan al funcionamiento del mismo. Esta garantía entrará en vigencia a partir de la fecha de puesta en funcionamiento de los equipos y tendrá una duración de 12 meses.
- *Forma de Pago:*
  - \*\* 60% de anticipo contra-entrega
  - \*\* 20% contra entrega del equipo
  - \*\* 20% hasta 30 días de entregado el equipo
- *Tiempo de entrega:* 8 semanas
- *Validez de la oferta:* 30 Días.

Agradecemos su interés en los equipos MAHA y no dude en comunicarnos cualquier inquietud lo antes posible.



Patricia Sánchez  
**LEAL Importaciones**  
**Representantes MAHA**  
 Quito-Ecuador



**ANEXO 5:**

- (d) Analytic Instruments.
- (1) General Requirements. The analyzer shall, to the extent possible, maintain accuracy between gas calibrations taking into account all errors, including noise, repeatability, drift, linearity, temperature, and barometric pressure.
  - (2) Two-Point Gas Calibration and Low-Range Audit.
    - (i) Analyzers shall automatically require a zero gas calibration and a high-range gas calibration for HC, CO, NO, and CO<sub>2</sub>. The system shall also use a low-range gas to check the calibration in the range of vehicle emission standards. In high volume stations (4000 or more tests per year), analyzers shall be calibrated within four hours before each test. In low volume stations (below 4000 tests per year), analyzers shall be calibrated within 72 hours before each test. If the system does not calibrate or is not calibrated, the analyzer shall lock out from testing until corrective action is taken.
    - (ii) Gas Calibration and Check Procedure. Gas calibration shall be accomplished by introducing span gases that meet the requirements of 85.4(d)(2)(iii) into the calibration port. The pressure in the sample cell shall be the same with the calibration gas flowing as with the sample flowing during testing. The analyzer channels shall be adjusted to the center of the allowable tolerance range as a result of the calibration. The system shall record the gas reading data from before the adjustment and other data pertinent to control charting analyzer performance.
      - (A) Zero the analyzer and perform a leak check.
      - (B) Calibrate the analyzer using the high-range calibration gas specified in §85.4(d)(2)(iii).
      - (C) Introduce the low-range check gas specified in §85.4(d)(2)(iii). If the low-range check gas readings differ from the label value by more than  $\pm 2\%$ , the analyzer shall be locked out from testing.

**ANEXO 6:**

§85.3

§85.3

**§85.3 Test Equipment Specifications**

- (a) Dynamometer Specifications.
  - (1) General Requirements
    - (i) Only one diameter of dynamometer shall be used in a program.
    - (ii) The dynamometer structure (e.g., bearings, rollers, pit plates, etc.) shall accommodate all light-duty vehicles and light-duty trucks up to 8500 pounds GVWR.
    - (iii) Dynamometer ASM load horsepower (HP5015 or HP2525) shall be automatically selected based on the vehicle parameters in the test record.
    - (iv) All dynamometers shall have an identification plate permanently affixed showing at a minimum, the dynamometer manufacturers name, the system provider's name, production date, model number, serial number, dynamometer type, maximum axle weight, maximum HP absorbed, roll diameter, roll width, base inertia weight, and electrical requirements.
    - (v) Alternative dynamometer specifications or designs may be allowed if proposed by a state and upon a determination by the Administrator that, for the purpose of properly conducting an approved short test, the evidence supporting such deviations show that proper vehicle loading will be applied.

**ANEXO 7:**

§85.3

§85.3

**§85.3 Test Equipment Specifications**

- (a) **Dynamometer Specifications\***
- (1) General Requirements
- (i) While dynamometer roll diameters may range from 8.5" to 21", it is preferable that only one diameter of dynamometer roll be used throughout each program whenever possible.
  - (ii) The dynamometer structure (e.g., bearings, rollers, pit plates, etc.) shall accommodate all light-duty vehicles and light-duty trucks up to 8500 pounds GVWR and axle weights up to 6,000 lbs.
  - (iii) Dynamometer ASM load horsepower (HP5015 or HP2525) shall be automatically selected based on the vehicle parameters in the test record.
  - (iv) All dynamometers shall have an identification plate permanently affixed showing at a minimum, the dynamometer manufacturers name, the system provider's name, production date, model number, serial number, dynamometer type, maximum axle weight, maximum HP absorbed, roll diameter, roll width, base inertia weight, and electrical requirements.
  - (v) The dynamometer shall be designed to meet specifications at an ambient temperature range of 35° to 110°F, and at absolute humidity values representative of the testing location. A wider range of operating temperatures shall be used to reflect local operating conditions if applicable.
  - (vi) Dynamometers shall be equipped with both torque and speed test points to be used during audits. Test points shall be easily accessed with test clips. The torque signal shall be a DC voltage free of electrical noise. Maximum absorbed torque shall produce between +5 and +10 volts of signal. Maximum motored torque shall produce between -5.0 and -10.0 volts. The speed signal shall consist of a 5 volt pulse signal that can be counted by an external pulse counter. Alternative designs will be considered on a case-by-case basis.
  - (vii) Alternative dynamometer specifications, designs or error checking may be allowed if proposed by a state and upon a determination by the Administrator that, for the purpose of properly conducting an approved short test, the evidence supporting such deviations show that proper vehicle loading will be applied.