



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL



FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA

ANÁLISIS DE EMISIONES EN VEHÍCULOS A GASOLINA MEDIANTE CICLOS DE PRUEBA ESTÁTICO Y DINÁMICO EN PROCESOS DE REVISIÓN TÉCNICA VEHICULAR

TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERO MECANICO

JUAN CARLOS MARTÍNEZ CAICEDO
juan.martinez@epn.edu.ec

DIRECTOR: ING. ÁNGEL PORTILLA AGUILAR. MSc.
angel.portilla@epn.edu.ec

QUITO, MARZO 2020

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por **JUAN CARLOS MARTÍNEZ CAICEDO**, bajo mi supervisión.



Ing. Ángel Adalberto Portilla Aguilar MSc.

DIRECTOR

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Yo, **Juan Carlos Martínez Caicedo**, declaro bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentada para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

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



Juan Carlos Martínez Caicedo

DEDICATORIA

- A Dios, porque a él le debo todo lo que tengo y todo lo que soy.
- A mis padres Néstor y Bertha, por su esfuerzo cada día para ayudarme a ser una mejor persona, por su cariño y apoyo incondicional siempre.
- A mis hermanos Betty, Ligia y Néstor, quienes han sido mi gran ejemplo a seguir y son mi inspiración cada día para lograr mis objetivos.

AGRADECIMIENTO

- A Dios todopoderoso, por sus bendiciones cada día y porque sin él mi vida no tendría sentido.
- A toda mi familia, por su apoyo incondicional y por creer en mí.
- Al Ingeniero Ángel Portilla, un gran profesional y persona, gracias por su ayuda, constancia y paciencia a lo largo de la realización de este proyecto.
- Al personal del CCICEV, por la colaboración y facilidades que brindaron para poder hacer posible la ejecución de este proyecto.

ÍNDICE DE CONTENIDO

CERTIFICACIÓN.....	i
DECLARACIÓN DE AUTORÍA.....	ii
DEDICATORIA.....	iii
AGRADECIMIENTO.....	iv
ÍNDICE DE CONTENIDO.....	v
ÍNDICE DE FIGURAS.....	viii
ÍNDICE DE TABLAS.....	x
RESUMEN.....	xi
ABSTRACT.....	xii
INTRODUCCIÓN.....	1
Objetivo general.....	2
Objetivos específicos.....	2
1. MARCO TEÓRICO.....	3
1.1. Motores de combustión interna.....	3
1.1.1. Motores de encendido provocado.....	4
1.1.2. Ciclo de trabajo.....	4
1.1.3. Procesos del ciclo de trabajo teórico.....	4
1.1.4. Modificación del ciclo teórico para obtener un ciclo real.....	5
1.2. Combustión.....	7
1.2.1. Tipos de combustión.....	7
1.2.2. Factor lambda.....	9
1.3. Emisiones contaminantes.....	10
1.3.1. Emisiones de gases de escape.....	11
1.3.2. Emisiones contaminantes en función del factor lambda.....	13
1.3.3. Sistemas para controlar las emisiones de los gases de escape en MEP....	16
1.3.4. Normas de emisiones.....	19
1.4. Revisión técnica vehicular.....	23
1.4.1. Métodos para medir emisiones contaminantes.....	24

1.4.2	Revisión técnica vehicular en Latinoamérica.....	34
2.	METODOLOGÍA.....	40
2.1	Estudio de muestreo	40
2.1.1	Selección de vehículo	40
2.1.2	Número de ensayos a realizarse	40
2.2	Método estático.....	41
2.2.1	Equipos	41
2.2.2	Procedimiento de pruebas	44
2.3	Método Dinámico	47
2.3.1	Ciclo ASM	47
2.3.2	Ciclo IM240	52
3.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	59
3.1	Resultados de prueba estática.....	59
3.2	Resultados de prueba ASM	60
3.2.1	Comportamiento de los gases durante el ciclo ASM	60
3.2.2	Resultados de emisiones con el ciclo ASM	63
3.3	Resultados de prueba IM240	64
3.3.1	Comportamiento de los gases durante el ciclo IM240	65
3.3.2	Resultado de emisiones con el ciclo IM240.....	67
3.4	Análisis comparativo de emisiones mediante ciclos estático y dinámicos.....	68
3.4.1	Resultados promedio de emisiones para los diferentes ciclos de prueba...	68
3.4.2	Análisis comparativo de emisiones.....	69
3.5	Análisis de resultados de emisiones con normas	76
3.5.1	Límites de emisiones de la prueba estática.....	76
3.5.2	Límites de emisiones de la prueba ASM	76
3.5.3	Límites de emisiones de la prueba IM240	77
3.5.4	Análisis comparativo de gases con límites de normas	78
4.	CONCLUSIONES y RECOMENDACIONES.....	81
4.1	Conclusiones.....	81
4.2	Recomendaciones	82
	BIBLIOGRAFÍA.....	83

ANEXOS.....	88
ANEXO 1: Determinación de la concentración de emisiones de escape en condiciones de marcha mínima o ralentí prueba estática.	88
ANEXO 2: Preparación de equipos y preacondicionamiento de pruebas ASM según EPA	90
ANEXO 3: Configuración de equipos y preacondicionamiento para prueba IM-240 según EPA	94
ANEXO 4: Límites de emisiones de la prueba ASM según la norma general chilena	97
ANEXO 5: Límites de emisiones de la prueba IM-240 según la EPA	98
ANEXO 6: Comportamiento de los gases durante el ciclo ASM	99
ANEXO 7: Comportamiento de los gases durante el ciclo IM-240.....	108
ANEXO 8: Informe técnico de resultados por parte del CCICEV	116

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Motor de combustión interna.....	3
Figura 1.2 Esquema de motor de encendido por chispa de 4 tiempos.	5
Figura 1.3 Esquema de distribución de un motor de 4 tiempos.	6
Figura 1.4 Potencia y consumo en función de lambda.....	10
Figura 1.5 Composición de gases de escape.	11
Figura 1.6 Componentes tóxicos y no tóxicos de gases de escape.....	11
Figura 1.7 Emisión de gases en función de lambda.....	14
Figura 1.8 Sonda lambda.	16
Figura 1.9 Localización de la sonda lambda en el motor.	17
Figura 1.10 Convertidor catalítico.....	18
Figura 1.11 Esquema funcionamiento de la EGR.	19
Figura 1.12 Esquema de prueba estática.....	24
Figura 1.13 Prueba ralentí 900 rpm / ralentí elevado 2500 rpm.....	25
Figura 1.14 Comprobador de sonda lambda.....	26
Figura 1.15 Ciclo de prueba INCOLL/AUTONAT.....	27
Figura 1.16 Método dinámico.....	28
Figura 1.17 Prueba dinámica ASM.....	29
Figura 1.18 Esquema de modos ASM5015 y ASM2525.....	30
Figura 1.19 Ciclo de prueba USA-FTP 75.....	32
Figura 1.20 Esquema ciclo de prueba I/M240.....	33
Figura 1.21 Ciclo de prueba IM240.	34
Figura 1.22 Ciclos de prueba PAS5024 y PAS2540.	37
Figura 1.23 RTV en Quito.....	38
Figura 2.1 Analizador de gases MAHA MGT 5.	42
Figura 2.2 Pinza Trigger.....	43
Figura 2.3 Sonda de gases de combustión.....	43
Figura 2.4 Software con el ciclo ralentí- ralentí elevado.....	44
Figura 2.5 Selección del ciclo estático.	44
Figura 2.6 Sonda de gases de escape colocada.	45
Figura 2.7 Motor acelerado a 2500 rpm.	45
Figura 2.8 Motor en ralentí.	46
Figura 2.9 Resultados	46
Figura 2.10 Dinamómetro ASM.....	47

Figura 2.11 Consola de comando.	48
Figura 2.12 Ruedas motrices centradas sobre dinamómetro.....	49
Figura 2.13 Fase de estabilización ASM 5015.....	49
Figura 2.14 Fase de medición ASM 5015.....	50
Figura 2.15 Fase de estabilización 2525.....	51
Figura 2.16 Fase de medición ASM 2525.....	52
Figura 2.17 Dinamómetro LPS 3000.....	53
Figura 2.18 Consola de mando LPS 3000.....	54
Figura 2.19 Automóvil sobre rodillos del equipo LPS 3000.....	55
Figura 2.20 Correas de anclaje.....	55
Figura 2.21 Instalación de sonda de gases.....	56
Figura 2.22 Prueba de hermeticidad.....	56
Figura 2.23 Ciclo IM-240 cargado.....	57
Figura 2.24 Transcurso del ciclo IM-240.....	57
Figura 3.1 Comportamiento del CO en el ciclo ASM.....	60
Figura 3.2 Comportamiento de los HC en el ciclo ASM.....	61
Figura 3.3 Comportamiento del CO ₂ y O ₂ en el ciclo ASM.....	62
Figura 3.4 Comportamiento de los NO _x en el ciclo ASM.....	63
Figura 3.5 Comportamiento del CO durante el ciclo IM240.....	65
Figura 3.6 Comportamiento de los HC durante el ciclo IM240.....	66
Figura 3.7 Comportamiento del CO ₂ y O ₂ durante el ciclo IM240.....	66
Figura 3.8 Comportamiento de los NO _x durante el ciclo IM240.....	67
Figura 3.9 Concentración de CO según el ciclo de prueba.....	69
Figura 3.10 Concentración de HC según el ciclo de prueba.....	70
Figura 3.11 Concentración de O ₂ según el ciclo de prueba.....	72
Figura 3.12 Concentración de NO _x según los ciclos de prueba.....	73
Figura 3.13 Concentración de CO ₂ según el ciclo de prueba.....	75
Figura 3.14 Evaluación de concentración de CO según límites reglamentados.....	78
Figura 3.15 Evaluación de concentración de HC según límites reglamentados.....	79
Figura 3.16 Evaluación de concentración de NO _x según límites reglamentados.....	80

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1 Estándares de emisión LEV III.	21
Tabla 1.2 Estándares de emisión Unión Europea.	22
Tabla 1.3 Límites máximos de emisiones permitidos para fuentes móviles con motor de gasolina. Marcha mínima o ralentí (prueba estática).	23
Tabla 2.1 Características de analizador de gases MAHA MGT 5.	42
Tabla 2.2 Especificaciones técnicas de dinamómetro LPS 300.	53
Tabla 3.1 Resultados de concentración de emisiones (prueba ralentí).	59
Tabla 3.2 Resultados de concentración de emisiones (rpm elevada).	59
Tabla 3.3 Valores de emisiones de gases de escape en el ciclo ASM2525.	64
Tabla 3.4 Valores de emisiones de gases de escape en el ciclo ASM5015.	64
Tabla 3.5 Valores de emisiones de gases de escape en el ciclo IM240.	68
Tabla 3.6 Resultados promedio de emisiones para los diferentes ciclos de prueba.	68
Tabla 3.7 Diferencia de %CO entre ciclos estático y dinámicos.	69
Tabla 3.8 Diferencia de ppm HC entre ciclos estático y dinámicos.	71
Tabla 3.9 Diferencia de %O ₂ entre ciclos estático y dinámicos.	72
Tabla 3.10 Diferencia de ppm NO _x entre ciclos estático y dinámicos.	74
Tabla 3.11 Diferencia de %CO ₂ entre ciclos estático y dinámicos.	75
Tabla 3.12 Límites de concentración de emisiones para la prueba estática.	76
Tabla 3.13 Límites de concentración de emisiones para la prueba ASM.	76
Tabla 3.14 Límites de factores de emisiones para la prueba IM240.	77

RESUMEN

Esta tesis se enfoca en analizar las emisiones contaminantes de vehículos a gasolina mediante ciclos de prueba estáticos y dinámicos en procesos de revisión técnica vehicular. El propósito es determinar la diferencia de concentraciones de emisiones al evaluar un vehículo con tecnología de control moderna, mediante los ciclos de prueba estáticos y dinámicos, con el fin de demostrar que el método estático actualmente utilizado en la revisión técnica vehicular de nuestro país, es ineficiente para evaluar este tipo de vehículos que son los que conforman la mayoría del parque automotor.

Se realizaron tres ciclos de prueba en el vehículo: estático y dinámicos ASM e IM240, y se obtuvo mayores concentraciones de emisiones contaminantes con las pruebas dinámicas en relación a la prueba estática. La diferencia más significativa se da al comparar los resultados del método ASM con el método estático, obteniéndose una diferencia para el Monóxido de Carbono (CO) de 200%, para los Hidrocarburos (HC) de 294% y para los Óxidos de Nitrógeno (NO_x) de 1200%. El método estático no mide emisiones de NO_x de manera eficiente en vehículos con tecnologías de control modernas, ya que presenta valores que no reflejan la realidad.

Se concluye que el método dinámico es el más adecuado para medir emisiones contaminantes en la revisión técnica vehicular. Al final del trabajo se propone utilizar este estudio para que las autoridades ambientales analicen la posibilidad de implementar en la revisión técnica vehicular, un método de prueba dinámico que muestre valores de emisiones aproximados a la realidad.

Palabras clave: emisiones contaminantes, ciclos de prueba, estático, dinámico, revisión técnica vehicular, análisis.

ABSTRACT

This thesis focuses on analyzing the pollutant emissions of gasoline vehicles through static and dynamic test cycles in vehicle inspection processes. The purpose is to determine the difference in emission concentrations when evaluating a vehicle with modern control technology, by means of static and dynamic test cycles, in order to demonstrate that the static method currently used in the technical vehicle inspection in our country is inefficient to evaluate this type of vehicles, which are the ones that make up the majority of the vehicle fleet.

Three test cycles were performed on the vehicle: static and dynamic ASM and IM240, and higher concentrations of pollutant emissions were obtained with the dynamic tests in relation to the static test. The most significant difference occurs when comparing the results of the ASM method with the static method, obtaining a difference for Carbon Monoxide (CO) of 200%, for Hydrocarbons (HC) of 294% and for Nitrogen Oxides (NO_x) of 1200%. The static method does not measure NO_x emissions efficiently in vehicles with modern control technologies, since it presents values that do not reflect reality.

It is concluded that the dynamic method is the most suitable for measuring pollutant emissions in the technical vehicle inspection. At the end of the work, it is proposed to use this study so that the environmental authorities analyze the possibility of implementing a dynamic test method in the technical vehicle inspection that shows emission values that are close to reality.

Keywords: pollutant emissions, test cycles, static, dynamic, vehicle technical inspection, analysis.

ANÁLISIS DE EMISIONES EN VEHÍCULOS A GASOLINA MEDIANTE CICLOS DE PRUEBA ESTÁTICO Y DINÁMICO EN PROCESOS DE REVISIÓN TÉCNICA VEHICULAR

INTRODUCCIÓN

Los motores de combustión interna de los vehículos son considerados los mayores contaminantes del medio ambiente, ya que emiten varios gases a la atmósfera, los principales son: dióxido de carbono (CO₂), monóxido de carbono (CO), óxidos nitrosos (NO_x), óxidos de azufre (SO_x), hidrocarburos no quemados (HC) y material particulado (PM).

Existen leyes y normas que limitan los niveles de emisiones contaminantes, para cumplir con estas leyes los fabricantes de vehículos han desarrollado tecnologías pre-combustión y post-combustión para tratar de reducir al máximo la contaminación producida por los vehículos. Los fabricantes de vehículos han incorporado tecnologías avanzadas de control electrónico como son: inyección electrónica, sistema de encendido electrónico, distribución de válvulas variables, dispositivos pos-tratamiento, turbocompresores entre otros que han sido claves para la reducción de emisiones contaminantes y para poder cumplir con las exigencias de las leyes y normas.

Los métodos más conocidos en el mundo para el análisis de gases contaminantes en la revisión técnica vehicular son el estático y dinámico: la diferencia principal radica en que el método estático analiza los gases sin aplicar carga al motor en cambio el método dinámico analiza los gases con carga mediante el uso de un dinamómetro.

La prueba estática permite cuantificar el impacto del nivel de contaminación en vehículos a carburador y en los primeros vehículos de inyección, sin embargo en vehículos con tecnologías de control electrónico avanzadas esta prueba no refleja la realidad ya que sin carga en el motor la emisión de gases contaminantes en este tipo de automóviles es baja, la prueba dinámica es la más adecuada para este tipo de automóviles porque refleja el comportamiento de todo el sistema a condiciones reales y permite medir el verdadero nivel de emisiones. (Samaras, 1995)

En la ciudad de Quito se estima que aproximadamente el 32% de vehículos tienen más de 12 años (INEC, 2018). El sistema a inyección reemplazo al carburador hace aproximadamente 20 años, esto significa que actualmente el parque automotor está conformado en su gran mayoría por automóviles con sistema de inyección electrónica, sistema de encendido electrónico, distribución de válvulas variables y dispositivos post-tratamiento. Sin embargo, la revisión técnica vehicular en nuestro país sigue bajo la norma NTE INEN 2 203:2000 la cual describe el procedimiento para la determinación de concentración de emisiones en condición de ralentí (prueba estática). En América varios países cuentan con pruebas dinámicas para la medición de emisiones, por ejemplo, México y Chile utilizan el ciclo de prueba dinámico ASM. (Galván, 2014)

La realización de este estudio va enfocado al análisis de gases en vehículos con menos de 5 años de antigüedad, mediante los ciclos de prueba estático y dinámico, para verificar la confiabilidad de la prueba estática en los vehículos con tecnologías avanzadas de control. Según los resultados obtenidos en las pruebas estática y dinámica se podrá recomendar la implementación de una prueba que este más acorde con la tecnología automotriz actual en la revisión técnica vehicular.

Objetivo general

Analizar las emisiones en vehículos a gasolina mediante ciclos de prueba estático y dinámico en procesos de revisión técnica vehicular.

Objetivos específicos

- Determinar el número de pruebas a realizar mediante un análisis estadístico.
- Realizar el análisis de emisiones mediante el ciclo de prueba estático.
- Realizar el análisis de emisiones mediante los ciclos de prueba dinámicos ASM y IM-240. Comparar los resultados de los ciclos de pruebas realizados.
- Determinar cuál es el ciclo de prueba más adecuado para los vehículos con tecnologías avanzadas de control.

1. MARCO TEÓRICO

En este apartado se describen los conceptos fundamentales para el desarrollo de este trabajo de investigación, se define motores de combustión interna, la combustión y emisiones contaminantes.

1.1. Motores de combustión interna

El motor es una máquina que permite transformar cualquier tipo de energía en energía mecánica ya sea energía térmica, solar, geotérmica o química. Un motor de combustión interna transforma la energía química en energía térmica, mediante el proceso de combustión de la mezcla aire combustible, la misma que produce como resultado una explosión dentro de la cámara de combustión y consecuentemente el movimiento del elemento mecánico llamado pistón.

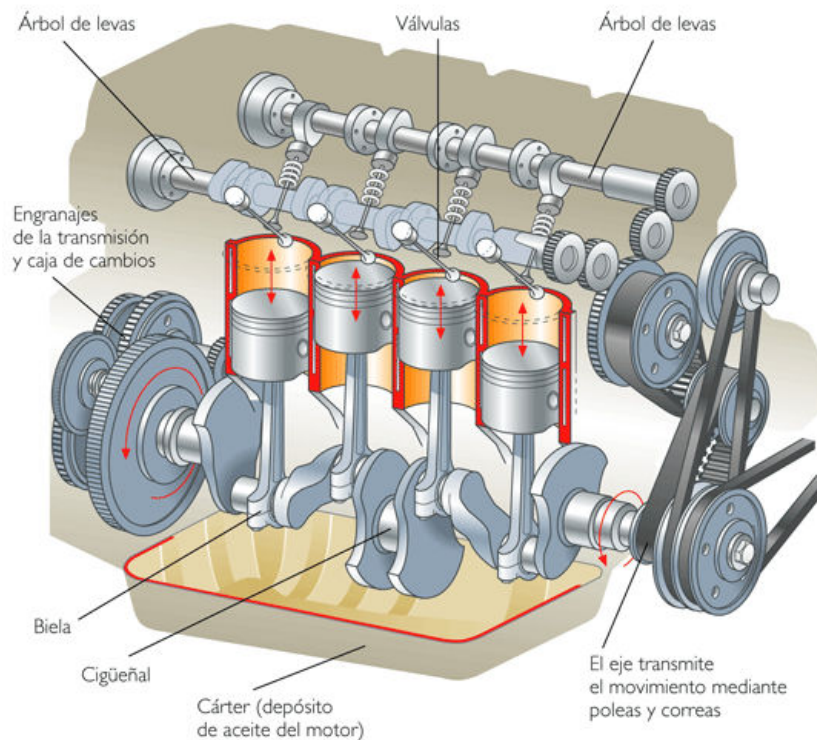


Figura 1.1 Motor de combustión interna.

(Rubio, 2014)

1.1.1. Motores de encendido provocado

Necesita un aporte de energía externa para producir la combustión, para esto se hace saltar una chispa entre dos electrodos que conforman una bujía. La mezcla de aire y combustible puede realizarse fuera del cilindro durante la admisión, o se puede inyectar combustible al momento de la compresión, esto dependiendo del tipo de motor que se tenga.

1.1.2. Ciclo de trabajo

El ciclo ideal de trabajo para los motores de encendido provocado es el ciclo Otto. En este tipo de máquinas el embolo ejecuta 4 carreras completas dentro del cilindro y el cigüeñal completa dos vueltas.

1.1.3. Procesos del ciclo de trabajo teórico

Los procesos de un motor de encendido por chispa de cuatro tiempos son:

- **Admisión:** se abren las válvulas de admisión y se cierran las válvulas de escape el émbolo realiza la carrera desde el punto muerto superior (PMS) hasta el punto muerto inferior (PMI) y a través de las válvulas de admisión se introduce la mezcla de aire combustible al cilindro una vez que el embolo llega al punto muerto inferior se cierran las válvulas de admisión.
- **Compresión:** Una vez que están cerradas las válvulas de admisión y escape el embolo realiza la carrera desde el punto muerto inferior (PMI) al punto muerto superior (PMS) comprimiendo la mezcla aire combustible, un instante antes de que el embolo llegue al punto muerto superior se hace saltar una chispa entre dos electrodos de una bujía produciendo la combustión.
- **Expansión:** La combustión aumenta la presión de los gases dentro del cilindro los cuales empujan el émbolo que realiza la carrera desde el punto muerto superior (PMS) hasta el punto muerto inferior (PMI), de este desplazamiento se obtiene el trabajo.
- **Escape:** Una vez que el émbolo llega al punto muerto inferior (PMI) se abren las válvulas de escape y el émbolo se desplaza hacia el punto muerto superior (PMS)

expulsando los gases producidos por la combustión al exterior, una vez que los gases son expulsados se cierran las válvulas de escape y se inicia de nuevo el ciclo.

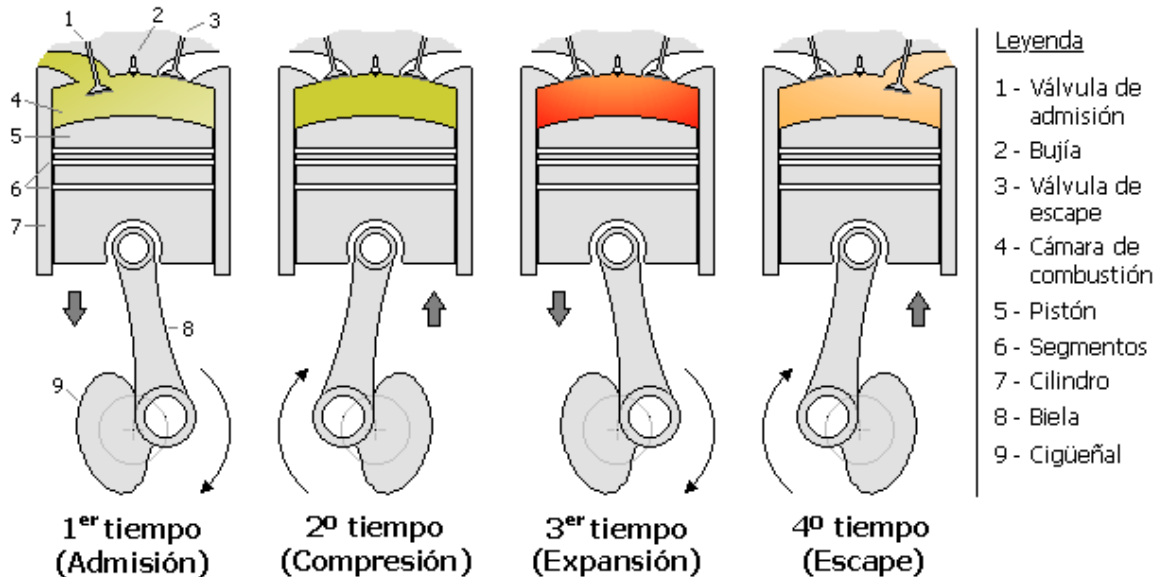


Figura 1.2 Esquema de motor de encendido por chispa de 4 tiempos.

(Fuente: https://es.wikipedia.org/wiki/Ciclo_de_cuatro_tiempos)

1.1.4. Modificación del ciclo teórico para obtener un ciclo real

En teoría el momento para abrir y cerrar las válvulas es justo cuando el pistón llega al PMS y al PMI, en la realidad esto no sucede, el cierre de válvulas se adelanta y retrasa para elevar la velocidad de vaciado de los gases de combustión en el cilindro y aumentar la cantidad de mezcla aire/combustible que ingresa al cilindro, esto aumenta significativamente el rendimiento del motor (Hardenberg & Committee, 1999).

Los avances y retrocesos de aperturas y cierres de las válvulas están definidos como:

- **Avance en la apertura de admisión (AAA):** el cigüeñal gira un ángulo que va desde el comienzo de la apertura de la válvula de admisión hasta el PMS. Al abrir la válvula de admisión antes que el pistón llegue al PMS, esta permite que la mezcla ingrese por más tiempo al cilindro, obteniendo un llenado mas óptimo.
- **Retraso en el cierre de admisión (RCA):** el cigüeñal gira desde el PMI hasta que la válvula de admisión se cierra. Si se mantiene la válvula de admisión abierta un

tiempo después que el pistón alcanzó el PMI, incluso cuando el pistón ya está subiendo, la mezcla sigue entrando, esto permite que el cilindro siga llenándose consecuentemente, aumenta del rendimiento del motor.

- **Avance al encendido (AE):** el cigüeñal gira desde que salta la chispa de la bujía hasta que el pistón se encuentra en el PMS.
- **Avance en la apertura de escape (AAE):** el cigüeñal gira desde que se abre la válvula de escape hasta el PMI. Los gases de la combustión hacen presión sobre el pistón menos tiempo por lo que existe pérdida de potencia, pero esta pérdida es insignificante y es compensada al incrementar la velocidad de vaciado del cilindro.
- **Retraso en el cierre de escape (RCE):** el cigüeñal gira desde el PMS hasta que se cierra la válvula de escape. A causa de la inercia de los gases de escape, los mismos siguen saliendo por su válvula correspondiente, inclusive cuando el pistón ya pasó el PMS y empezó la carrera descendiente.

La suma de los ángulos AAA y RCE se denomina ángulo de cruce de válvulas, es el ángulo durante el cual permanecen abiertas las válvulas de admisión y escape, un cruce de válvulas amplio permite alcanzar RPM más altas (Hardenberg & Committee, 1999). A continuación, se muestra un esquema de todos los ángulos mencionados anteriormente:

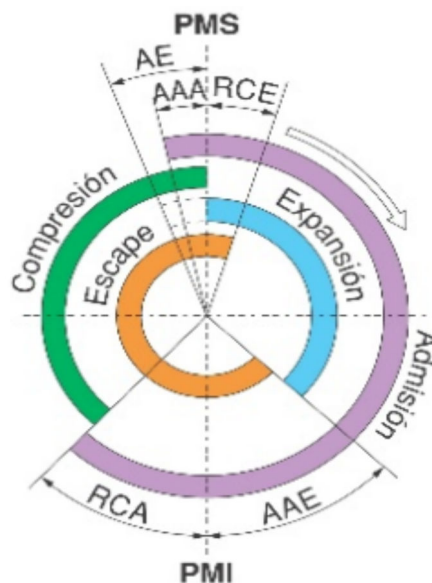
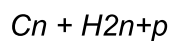


Figura 1.3 Esquema de distribución de un motor de 4 tiempos.
(Fuente: <https://es.slideshare.net/nicolascalado/el-motor-otto-de-4-tiempos>)

1.2. Combustión

La combustión es una reacción química de oxidación que desprende energía en forma de luz y calor, para llevar a cabo este proceso se necesita la presencia de un combustible que puede ser líquido sólido o gaseoso y de un comburente (oxígeno). Esta reacción de oxidación produce sustancias gaseosas las más comunes son: CO, CO₂, O₂, H₂O, N₂, SO₂.

Los combustibles que se utilizan en la industria se pueden clasificar como:



Los valores de n que caracterizan el tamaño de la molécula, van desde 1 hasta alrededor de 80, y desde los valores de p, que representan a la familia de los hidrocarburos, están entre -20 y 2. En esta clasificación se incluye desde el combustible más liviano que es el metano, hasta el fuel oil que es el más pesado (Caiza & Portilla, 2011).

1.2.1. Tipos de combustión

a) Combustión completa

Es la reacción química de oxidación total de todos los componentes que constituyen el combustible. En este caso para los hidrocarburos se obtiene:

Carbono → CO₂

Nitrógeno → N₂

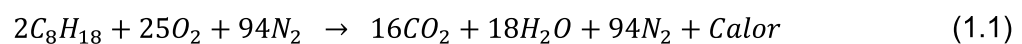
Hidrógeno → H₂O

Azufre → SO₂

Oxígeno → Oxidante

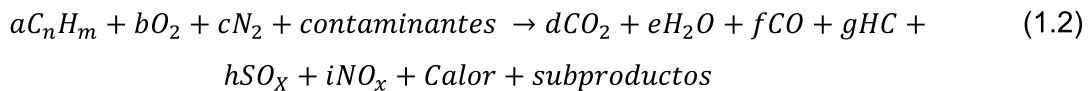
El nitrógeno es inerte, se puede formar óxidos de nitrógeno por oxidación a altas temperaturas.

La reacción completa del octano se observa a continuación:



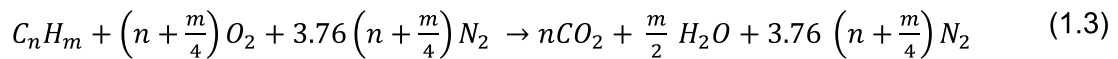
b) Combustión incompleta

Se produce cuando los elementos del combustible no se oxidan por completo, y se crean elementos inquemados en los gases de combustión como son CO, O₂, HC, etc. Una ecuación que representa la combustión incompleta de un hidrocarburo se presenta a continuación:



c) Combustión estequiométrica

Es un proceso de combustión ideal en el cual se emplea la cantidad justa de oxígeno para que se dé la oxidación de todos los elementos del combustible sin que exista elementos sin oxidar en los gases de reacción, este proceso solo se puede dar en un laboratorio.



La relación estequiometria se da cuando el aire y el combustible se encuentran mezclados en una proporción determinada. Para un motor a gasolina la relación ideal es de 14,7 a 1; significa que se necesita de 14,7 gramos de aire por un gramo de combustible para una combustión ideal perfecta. El valor del aire en la realidad puede variar en un rango de 12 a 16, en el cual la mezcla sería demasiado pobre o rica. Con 12 gramos de aire y un gramo de combustible la mezcla es rica en combustible, mientras que con 16 gramos de aire y un gramo de combustible la mezcla sería pobre por el exceso de aire.

Existen tres tipos de mezclas de aire-combustible las cuales son:

a) Mezcla pobre

Se produce debido al exceso de aire en la mezcla. En esta condición la temperatura de combustión se eleva en el motor y produce óxidos de nitrógeno (NO_x). Cuando la

mezcla es demasiado pobre el combustible no puede inflamarse y se apaga o no enciende.

b) Mezcla ideal

Se produce cuando se emplea la cantidad exacta de aire correspondiente a la teórica para producir una combustión perfecta, la relación ideal para la mezcla de aire combustible es de 14.7 a 1.

c) Mezcla rica

Se produce por el exceso de combustible en la mezcla. En esta condición el exceso de combustible no se combina completamente con el aire, consecuentemente, una parte del combustible es expulsado por el escape en forma de hollín y monóxido de carbono.

1.2.2. Factor lambda

Factor lambda o relación "lambda" es la relación entre la cantidad de aire necesaria para producir una combustión completa, en relación estequiométrica y la cantidad de aire real que aspira el motor.

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

El factor lambda debe estar dentro de unos límites máximo y mínimos establecidos ya que el motor no puede estar alimentado constantemente con una mezcla en relación estequiométrica teórica, (esto es lambda = 1), debido que el motor en estas condiciones no proporcionará ni el máximo rendimiento térmico ni su potencia máxima.

El factor "lambda" mide la riqueza o pobreza de una mezcla, así se dice que:

- Con una relación "lambda = 1", se produce una combustión perfecta, el aire aspirado coincide con el teórico (el aire aspirado es el 100 % del teórico necesario).
- Con una relación "lambda < 1", por ejemplo 0,8 se produce una escasez de aire por lo que la mezcla resulta rica de combustible (el aire aspirado es solo el 80 % del necesario).

- Con una relación " $\lambda > 1$ ", por ejemplo 1,20 se produce un exceso de aire, por consiguiente, una mezcla pobre (el aire aspirado es un 120 % del teórico, es decir un 20 % más del necesario)(Vallencillos, n.d.).

Como se observa en la figura 1.4 con una mezcla ligeramente rica se obtiene una potencia máxima, y con una mezcla ligeramente pobre se consigue un bajo consumo de combustible.

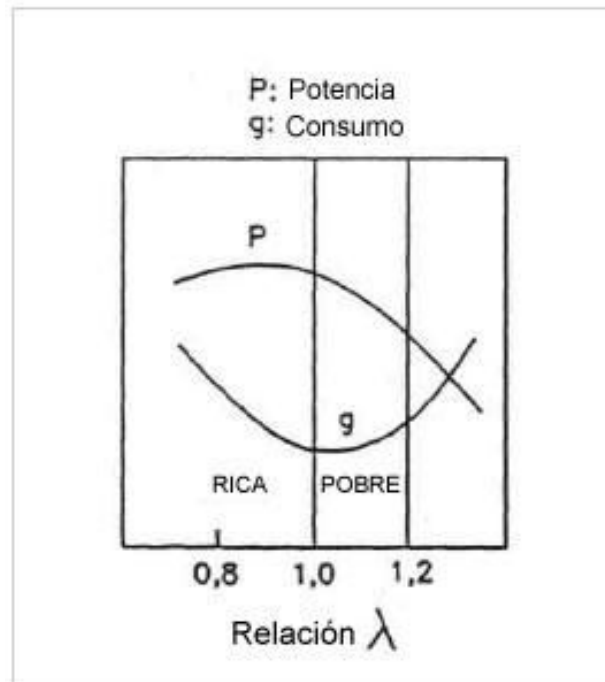


Figura 1.4 Potencia y consumo en función de lambda.

(Fuente: <http://www.aficionadosalamecanica.net/sonda-lambda.htm>)

1.3. Emisiones contaminantes

La mayor parte de la energía del mundo les corresponde a los motores de combustión interna. Estos permiten obtener varios productos y servicios imprescindibles para el ser humano sin embargo el proceso de combustión provoca la emisión de gases contaminantes. La emisión de gases contaminantes a la atmósfera contribuye al efecto invernadero y consecuentemente al calentamiento global.

1.3.1 Emisiones de gases de escape

Los gases de escape principales de un automóvil son: monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono (CO₂), óxidos de nitrógeno (NO_x) e hidrocarburos (HC). En la figura 1.5 se indica el porcentaje de cada uno de ellos:

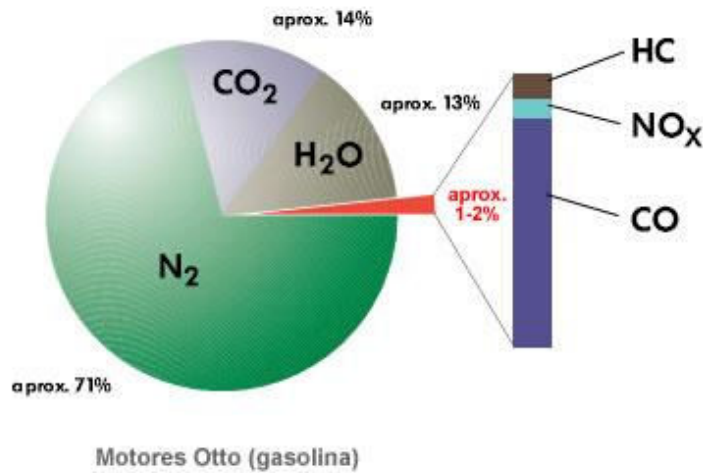


Figura 1.5 Composición de gases de escape.

(Fuente: <http://www.aficionadosalamecanica.net/emision-gases-escape.htm>)

Los gases de escape tienen componentes tóxicos y no tóxicos los cuales se observan en la figura 1.6 a continuación:

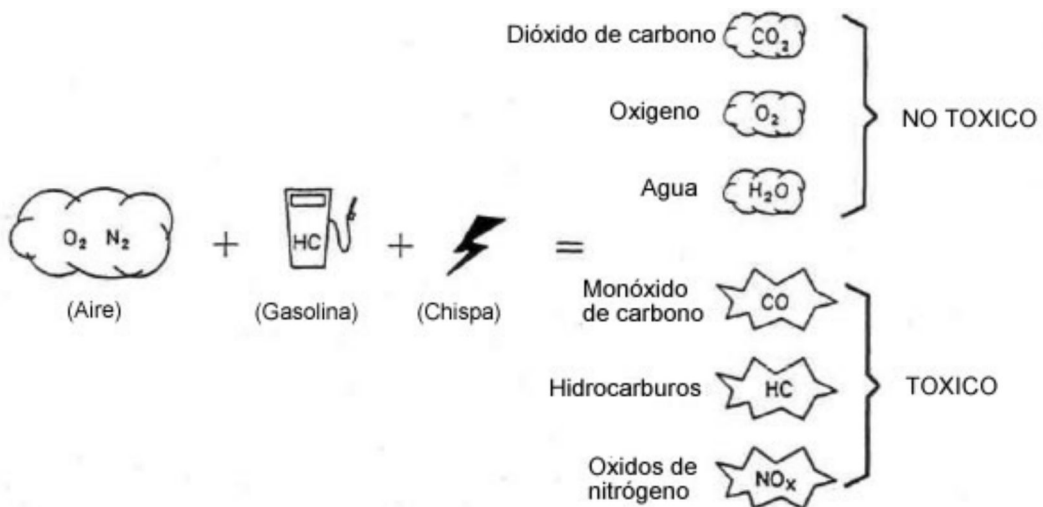


Figura 1.6 Componentes tóxicos y no tóxicos de gases de escape.

(Fuente: <http://www.aficionadosalamecanica.net/emision-gases-escape.htm>)

Nitrógeno (N₂)

Es un gas no combustible, inodoro e incoloro, componente del aire que nos rodea, el cual entra en la admisión del motor para cumplir con la combustión. Una pequeña cantidad de Nitrógeno que es aspirado con el aire, se combina con el oxígeno O₂ y forman óxidos de nitrógeno NO_x, el resto sale en su estado puro.

Oxígeno (O₂)

“Es un gas incoloro, inodoro e insípido, componente más importante del aire que respiramos” (*Foro Hamilton - Foros*, n.d.). Este gas es indispensable para producir la combustión, si la combustión es incompleta, el oxígeno sobrante se expulsa por el sistema de escape. Su unidad de medida es el porcentaje en volumen.

Agua (H₂O)

Se produce por la combustión fría cuando el motor se empieza a calentar, o también puede ser aspirada debido a la humedad en el aire. El agua es expulsada por el sistema de escape, en el caso de que se condense, el agua gotea a lo largo del tubo.

Dióxido de carbono (CO₂)

Se produce por la ignición de combustibles que contienen carbono. En el proceso de combustión se combina el Carbono (C) con el Oxígeno (O₂), el resultado es un gas no combustible, incoloro. Sin embargo, este gas disminuye el estrato de la atmósfera el cual sirve de protección contra los rayos UV, como consecuencia aumenta el calentamiento global. Su unidad de medida es el porcentaje en volumen, por lo general su valor se mantiene entre el 12 y 15%.

Monóxido de carbono (CO)

Es un gas explosivo, inodoro, incoloro, y tóxico. Es producido por la combustión incompleta de combustibles que contienen carbono. Este gas al ser inhalado impide que los glóbulos rojos transporten el oxígeno. Se oxida en corto tiempo en una concentración normal de aire, produciendo CO₂. Su unidad de medida es el porcentaje en volumen.

Óxidos Nítricos (NO_x)

Se produce al combinarse O₂ y N₂. Estos gases se producen a temperatura alta, presión alta y exceso de oxígeno durante el proceso de combustión en la cámara. El monóxido de nitrógeno (NO), es un gas incoloro, insípido e inodoro que, al combinarse con el oxígeno del aire, se transforma en dióxido de nitrógeno (NO₂), de color pardo y de olor muy penetrante que provoca una fuerte irritación de los órganos respiratorios. Para reducir el consumo de combustible, los fabricantes han tomado medidas que incrementan la concentración de óxidos de nitrógeno en los gases de escape, debido a que una combustión eficiente produce temperaturas elevadas. Con temperaturas elevadas en el motor se produce mayor emisión de óxidos de nitrógeno (NO_x). Su unidad de medida son ppm (partes por millón), la razón se atribuye a que la concentración de NO_x en los gases de escape es muy pequeña.

Hidrocarburos (HC)

“Son restos no quemados del combustible, que se originan en los gases de escape después de una combustión incompleta” (Recalde & Revelo, 2015). La mala combustión se produce por falta de oxígeno durante la combustión (mezcla rica) o también por exceso de oxígeno durante la combustión (mezcla pobre), por lo que es conveniente ajustar la riqueza de la mezcla. Los hidrocarburos HC se manifiestan en diferentes combinaciones y actúan de diferente modo en el organismo, por ejemplo: unos irritan los órganos sensoriales y otros son cancerígenos. Su unidad de medida son ppm (partes por millón), la razón se atribuye a que la concentración de HC en los gases de escape es muy pequeña.

1.3.2 Emisiones contaminantes en función del factor lambda

Las emisiones contaminantes dependen del tipo de mezcla que ingresa al motor consecuentemente el nivel de emisiones de gases contaminantes se puede relacionar con el factor lambda como se observa en la figura 1.7 (Recalde & Revelo, 2015).

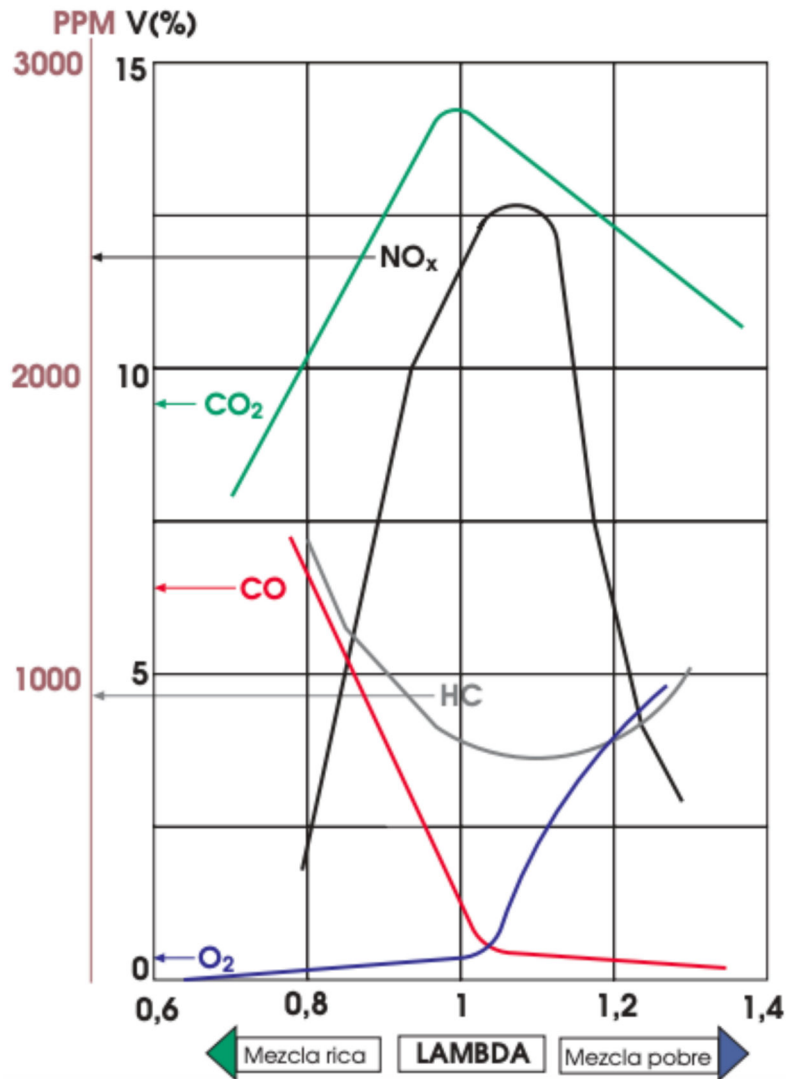


Figura 1.7 Emisión de gases en función de lambda.
 (Fuente: https://www.as-sl.com/pdf/emision_antes_cat.pdf)

Monóxido de carbono (CO)

La emisión de monóxido de carbono (CO) aumenta con la mezcla rica, esto es para mezclas con un factor "lambda < 1". El oxígeno presente no es suficiente para completar la combustión, por lo cual el porcentaje de CO en los gases de escape es alto. La emisión de monóxido de carbono (CO) disminuye con las mezclas pobres, factor "lambda > 1". El oxígeno existente es abundante y la combustión se completa, consecuentemente el porcentaje de CO en los gases de escape toma valores mínimos (Recalde & Revelo, 2015).

Hidrocarburos (HC)

Las cantidades de hidrocarburos sin combustionar toma valores mínimos cuando la mezcla aire-combustible es pobre. Con una mezcla rica es imposible quemar los hidrocarburos completamente por falta de oxígeno. Con una mezcla demasiado pobre se produce fallos de encendido y la combustión es incompleta aumentando significativamente los HC que son emitidos.

Óxidos de nitrógeno (NOx)

La formación de NO_x es producida fácilmente cuando existe un exceso de oxígeno, es decir cuando la mezcla es pobre. La concentración máxima de NO_x se obtiene cuando lambda es igual a 1,1 que es un valor superior a la relación estequiométrica. Si el valor de lambda sigue aumentando, la temperatura de combustión se reduce consecuentemente disminuye la formación de NO_x aunque la cantidad de oxígeno aumente.

Es imposible limitar al mismo tiempo los tres gases contaminantes: CO, HC y NO_x, modificando solamente la dosificación de la mezcla. En la zona (lambda = 0,8 a 1,1) los valores de CO y HC son los mínimos, pero el valor de NO_x es el máximo (*Foro Hamilton - Foros*, n.d.). Antiguamente los motores se hacían trabajar con mezclas ricas para obtener potencias elevadas, sin tomar en cuenta las emisiones de gases contaminantes. Actualmente para obtener la eficacia máxima en la minimización de contaminantes el motor funciona en un intervalo muy estrecho $\lambda=1\pm 0,005$ (Bosh, 2005).

La reducción de los gases será evidente si se consigue que el motor funcione en una zona llamada "ventana lambda" donde la emisión de gases es mínima. La condición mencionada anteriormente ha causado que los fabricantes de automóviles busquen soluciones técnicas las cuales garanticen un óptimo funcionamiento del motor bajo las diferentes condiciones de funcionamiento. Las soluciones más importantes fueron: implementación de sistemas de inyección de gasolina con control electrónico, regulación de la mezcla para que trabaje cerca a la ventana lambda, uso del catalizador, etc. Con las tecnologías mencionadas se ha conseguido reducir la emisión de gases mediante la optimización de la combustión y la depuración posterior de los gases (*Foro Hamilton - Foros*, n.d.).

Dióxido de carbono (CO₂)

Para valores lambda cercanos a 1, las concentraciones de CO₂ alcanzan valores máximos. La eficiencia de la combustión dependerá del valor de CO₂ emitido, el pico del valor máximo de CO₂ corresponde a una mezcla con un valor lambda igual a 1.

1.3.3 Sistemas para controlar las emisiones de los gases de escape en MEP

Los sistemas de control de emisiones contaminantes fueron desarrollados para regular y disminuir los gases de escape emitidos por los vehículos en el proceso de combustión.

Se han desarrollado los siguientes sistemas de control de emisiones:

Sensor de oxígeno o sonda Lambda

El motor por sí solo no puede controlar los porcentajes de aire y combustible que entran en la cámara de combustión. Para poder controlar la mezcla es necesario un sensor, que indique, el porcentaje de aire y combustible que entra en el motor (factor lambda) (*El Papel de La Sonda Lambda En La Admisión de Combustible*, n.d.). A este dispositivo se le llama sensor de oxígeno o sonda Lambda y se muestra a continuación en la figura 1.8:

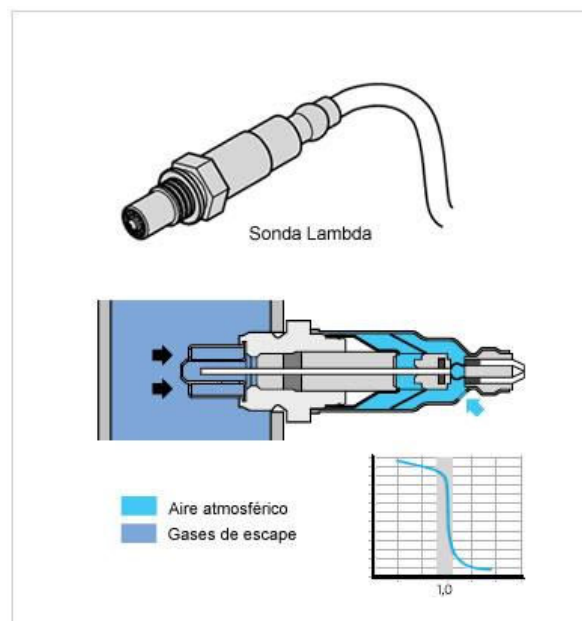


Figura 1.8 Sonda lambda.

(fuente: <http://www.aficionadosalamecanica.net/sonda-lambda.htm>)

Este sensor se localiza a la salida del colector de escape del motor como se puede observar en la figura 1.9. La sonda lambda analiza los gases de escape, y envía información constantemente a la gestión electrónica del motor que adecua la mezcla en función de las condiciones de funcionamiento del vehículo (*El Papel de La Sonda Lambda En La Admisión de Combustible*, n.d.).

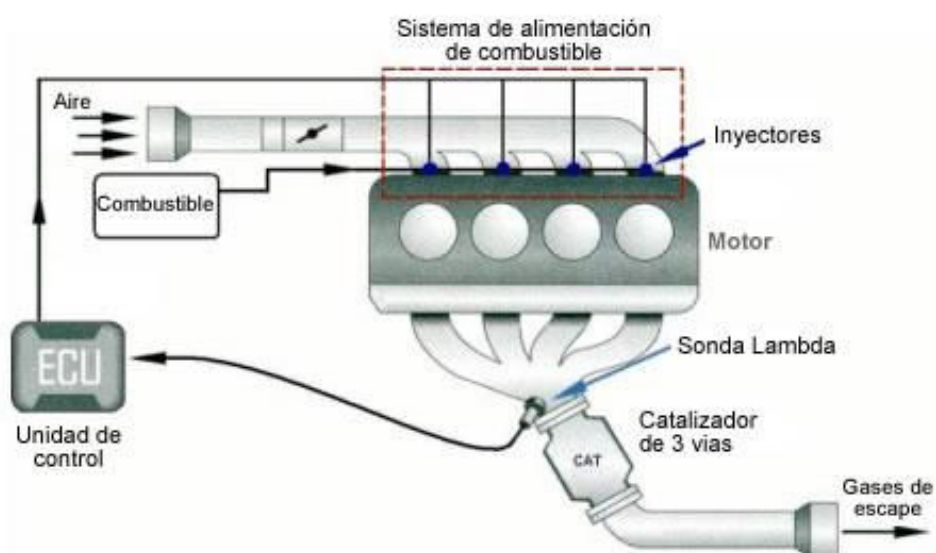


Figura 1.9 Localización de la sonda lambda en el motor.

(fuente: <http://www.aficionadosalamecanica.net/sonda-lambda.htm>)

Convertidor catalítico

Es un componente del automóvil cuya función es controlar y reducir los gases nocivos expulsados por el motor de combustión interna. Está compuesto de unos monolitos o mallas cerámicas revestidas de compuestos nobles como rodio, paladio y platino, con algunos promotores o retardadores químicos, que actúan por oxidación o reducción con el fin de minimizar los contaminantes.

El monóxido de carbono (CO) y los hidrocarburos (HC) antes de ser expulsados por el escape, son convertidos en dióxido de carbono (CO₂) y vapor de agua. Los óxidos de nitrógeno (NO_x) son disociados en Nitrógeno molecular (N₂) y oxígeno (O₂). Para que estas reacciones de disociación se produzcan el catalizador debe estar a una temperatura de 500 °C (Wikipedia, 2013). La figura 1.10 muestra un esquema del convertidor catalítico y su funcionamiento.

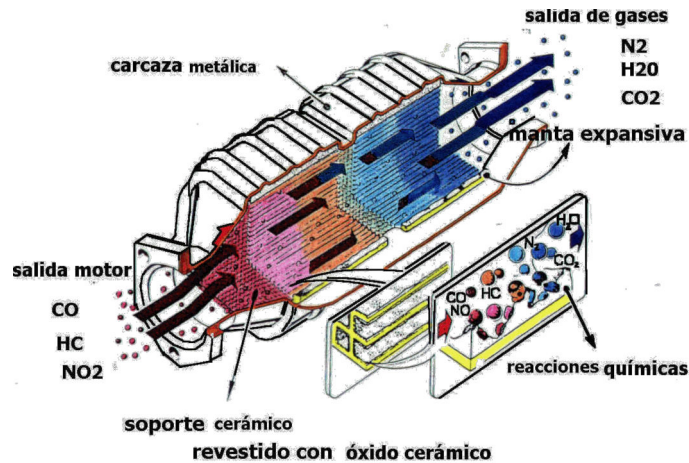


Figura 1.10 Convertidor catalítico.

(fuente: <https://diccionario.motorgiga.com/catalizador>)

Los automóviles con MEP se equipan con un catalizador de triple vía en el cual ocurren tres reacciones simultáneas:

- Reducción de óxidos de nitrógeno a nitrógeno y oxígeno: $2\text{NO}_x \rightarrow x\text{O}_2 + \text{N}_2$
- Oxidación de monóxido de carbono a dióxido de carbono: $2\text{CO} + \text{O}_2 \rightarrow 2\text{CO}_2$
- Oxidación de hidrocarburos no o parcialmente quemados a dióxido de carbono y agua: $\text{C}_x\text{H}_{2x+2} + [(3x+1)/2] \text{O}_2 \rightarrow x\text{CO}_2 + (x+1) \text{H}_2\text{O}$. (Wikipedia, 2013)

Válvula EGR

Válvula de recirculación de gases de escape es un componente cuya función es recircular parte de los gases que salen por el escape hacia la admisión, es decir, reintroducir los gases de la combustión del motor en los cilindros y de esta forma reducir las emisiones de óxidos de nitrógeno (NO_x) (ActualidadMotor, 2015). En la figura 1.11 se puede observar un esquema del funcionamiento y localización de la válvula EGR.

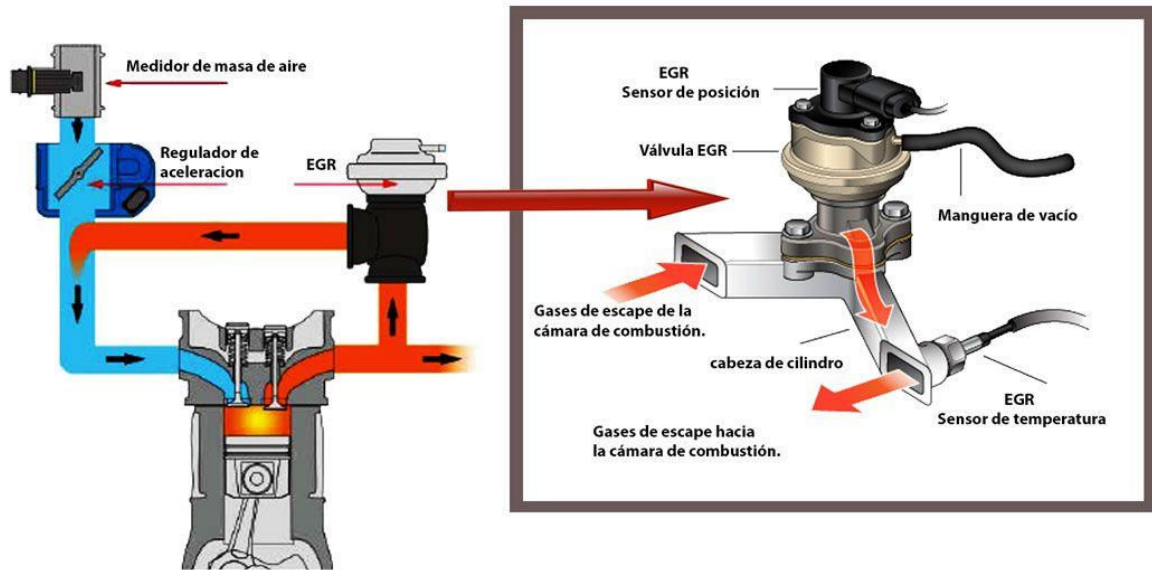


Figura 1.11 Esquema funcionamiento de la EGR.

(fuente: <https://www.conservatucoche.com/es/motor/valvula-egr-que-es-y-como-funciona-32.html>)

Al introducir en los cilindros los gases de escape se consiguen dos cosas:

- Se vuelven a quemar los posibles restos de combustible que no se pueden haber quemado completamente en el ciclo anterior.
- Al mezclar una parte de gases de combustión pobres en oxígeno con el aire limpio de admisión se reduce la temperatura de la combustión en el cilindro consecuentemente se reducen las reacciones químicas que producen óxidos de nitrógeno.

El funcionamiento de la EGR se rige por la señal de los sensores de temperatura del motor, carga de aceleración y régimen del motor. En función de estos la ECU controlará la EGR, abriéndola o cerrándola.

1.3.4 Normas de emisiones

Las normas de emisión son requisitos legales que establecen límites de la cantidad de emisiones contaminantes que pueden liberarse a la atmósfera durante períodos de tiempo establecidos. Fueron creadas para mejorar la calidad del aire y proteger al ser humano.

Normas Norteamericanas

Los estándares de emisiones federales de EE.UU. Para motores y vehículos, son establecidos por la Agencia de Protección Ambiental de EE.UU. (EPA, n.d.). La autoridad de la EPA para regular las emisiones de los motores, y la calidad del aire en general, se basa en la Ley de Aire Limpio (CAA) (EPA, n.d.). El estado de California puede promover estándares de emisiones de vehículos más estrictos, y otros estados pueden optar por seguir los estándares nacionales o de California.

Los estándares de emisiones más recientes para vehículos ligeros son los Tier 3, que siguen las normas de emisiones federales anteriores Tier 2, Tier 1 y anteriores a Tier 1.

Las normas de emisión LEV de California han sido tradicionalmente más estrictas que los requisitos de la EPA, pero su estructura es similar a la de las regulaciones federales. A partir del año modelo 2020, todos los vehículos deben estar certificados según los estándares LEV III (EPA, n.d.). Las categorías de emisiones LEV III y sus estándares FTP-75 para vehículos ligeros y (con chasis certificado) de servicio mediano se enumeran a continuación en la Tabla 1.1.

Tabla 1.1 Estándares de emisión LEV III.

Vehicle Type	Emission Category	NMOG+NOx	CO	HCHO	PM†
		g/mi	g/mi	mg/mi	g/mi
All PCs LDTs ≤ 8500 lbs GVWa All MDPVs	LEV160	0.160	4.2	4	0.01
	ULEV125	0.125	2.1	4	0.01
	ULEV70	0.070	1.7	4	0.01
	ULEV50	0.050	1.7	4	0.01
	SULEV30	0.030	1.0	4	0.01
	SULEV20	0.020	1.0	4	0.01
MDVs 8501 - 10,000 lbs GVWb	LEV395	0.395	6.4	6	0.12
	ULEV340	0.340	6.4	6	0.06
	ULEV250	0.250	6.4	6	0.06
	ULEV200	0.200	4.2	6	0.06
	SULEV170	0.170	4.2	6	0.06
	SULEV150	0.150	3.2	6	0.06
MDVs 10,001 - 14,000 lbs GVWb	LEV630	0.630	7.3	6	0.12
	ULEV570	0.570	7.3	6	0.06
	ULEV400	0.400	7.3	6	0.06
	ULEV270	0.270	4.2	6	0.06
	SULEV230	0.230	4.2	6	0.06
	SULEV200	0.200	3.7	6	0.06

† - Applicable only to vehicles not included in the phase-in of the final PM standards (Table 7 & Table 8).

a - Loaded vehicle weight (LVW)

b - Adjusted loaded vehicle weight (ALVW)

Abbreviations:

PC - Passenger car

LDT - light-duty truck

MDPV - medium-duty passenger vehicle

MDV - medium-duty vehicle

NNMOG - non-methane organic gases

(Fuente: https://dieselnet.com/standards/us/ld_ca.php#leviii)

Normas Europeas

Las regulaciones de emisiones de la Unión Europea para vehículos ligeros nuevos, incluidos los turismos y los vehículos comerciales ligeros se denominan normas EURO, las cuales van desde la EURO 0 hasta la EURO 6 vigente actualmente. Los estándares de emisión de la Unión Europea se resumen a continuación en la Tabla 1.2.

Tabla 1.2 Estándares de emisión Unión Europea.

Stage	Date	CO	HC	HC+NOx	NOx	PM	PN
		g/km					#/km
Positive Ignition (Gasoline)							
Euro 1†	1992.07	2.72 (3.16)	-	0.97 (1.13)	-	-	-
Euro 2	1996.01	2.2	-	0.5	-	-	-
Euro 3	2000.01	2.30	0.20	-	0.15	-	-
Euro 4	2005.01	1.0	0.10	-	0.08	-	-
Euro 5	2009.09b	1.0	0.10d	-	0.06	0.005e, f	-
Euro 6	2014.09	1.0	0.10d	-	0.06	0.005e, f	6.0×10 ¹¹ e,g
Compression Ignition (Diesel)							
Euro 1†	1992.07	2.72 (3.16)	-	0.97 (1.13)	-	0.14 (0.18)	-
Euro 2, IDI	1996.01	1.0	-	0.7	-	0.08	-
Euro 2, DI	1996.01a	1.0	-	0.9	-	0.10	-
Euro 3	2000.01	0.64	-	0.56	0.50	0.05	-
Euro 4	2005.01	0.50	-	0.30	0.25	0.025	-
Euro 5a	2009.09b	0.50	-	0.23	0.18	0.005f	-
Euro 5b	2011.09c	0.50	-	0.23	0.18	0.005f	6.0×10 ¹¹
Euro 6	2014.09	0.50	-	0.17	0.08	0.005f	6.0×10 ¹¹
<p>* At the Euro 1..4 stages, passenger vehicles > 2,500 kg</p> <p>† Values in brackets are conformity of production (COP) limits</p> <p>a. until 1999.09.30 (after that date DI engines must meet the IDI limits)</p> <p>b. 2011.01 for all models</p> <p>c. 2013.01 for all models</p> <p>d. and NMHC = 0.068 g/km</p> <p>e. applicable only to vehicles using DI engines</p>							

(Fuente: <https://dieselnet.com/standards/eu/ld.php>)

Normas Nacionales

Los límites de emisiones contaminantes en nuestro país están establecidos bajo la norma INEN 2204:2002, esta norma establece los límites permitidos de emisiones de contaminantes producidas por fuentes móviles terrestres (vehículos automotores) de gasolina (Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2000).

Toda fuente móvil con motor de gasolina, durante su funcionamiento en condición de marcha mínima o ralentí y a temperatura normal de operación, no debe emitir al aire monóxido de carbono (CO) e hidrocarburos (HC) en cantidades superiores a las señaladas en la tabla 1.3 (Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2000).

Tabla 1.3 Límites máximos de emisiones permitidos para fuentes móviles con motor de gasolina. Marcha mínima o ralentí (prueba estática).

Año modelo	% CO*		ppm HC*	
	0 - 1500 **	1500 - 3000 **	0 - 1500 **	1500 - 3000 **
2000 y posteriores	1,0	1,0	200	200
1990 a 1999	3,5	4,5	650	750
1989 y anteriores	5,5	6,5	1000	1200
* Volumen				
** Altitud= metros sobre el nivel del mar (msn)				

(Fuente: INEN, 2002)

1.4. Revisión técnica vehicular

Es un conjunto de procedimientos técnicos normalizados utilizados para determinar la aptitud de circulación de vehículos, establecidos por una inspección documental, visual e instrumental para minimizar el riesgo de accidentes por causas técnicas, contribuir a proteger el medio ambiente a través de la reducción de las emisiones de los gases de escape, y de esta manera proveer de la seguridad necesaria a las personas que figuren como peatones o pasajeros (Viera, 2019).

La RTV verifica que se cumpla con lo que establece la normativa técnica y que mantengan un nivel de emisiones que se encuentren dentro de los límites establecidos por la normativa de cada país.

1.4.1 Métodos para medir emisiones contaminantes

Los métodos más conocidos en el mundo para el análisis de gases contaminantes en la revisión técnica vehicular son el estático y dinámico.

1.4.1.1 Método estático

En esta prueba no se aplica carga externa al motor y se realiza con el motor en condición ralentí y se utiliza un medidor de emisiones infrarrojo no dispersivo (NDIR) que se muestra en la figura 1.12 capaz de medir CO, HC y CO₂.

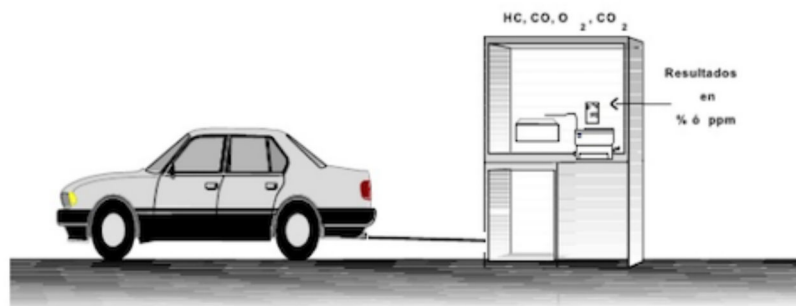


Figura 1.12 Esquema de prueba estática.

(Fuente: <https://es.slideshare.net/Terrgom/obdii-semarnat>)

La prueba estática permite cuantificar de forma efectiva el impacto del nivel de contaminación en vehículos carburados y en los primeros vehículos de inyección, ya que si estos sobrepasan los niveles de contaminación permitidos en su etapa de ralentí y ralentí elevado, tendrá altas emisiones en cualquier otra etapa de funcionamiento (Samaras & Zachariadis, 1995). Sin embargo, en vehículos con tecnologías de control electrónico avanzadas esta prueba no refleja la realidad, ya que con las pruebas en condición ralentí la emisión de gases contaminantes en este tipo de automóviles es baja (Samaras & Zachariadis, 1995).

Existen tres tipos de métodos estáticos:

1.4.1.1.1 Prueba ralentí / ralentí elevado

Es una prueba en la cual se acelera el motor entre 2000 y 3000 rpm por un tiempo establecido y se toman lecturas de los gases de escape, posteriormente se mantiene el

vehículo a 900 rpm (ralentí) por un tiempo establecido y nuevamente se procede a tomar lecturas de los gases de escape.

A continuación, se muestra en la figura 1.13 en la cual se puede observar la velocidad a la que se mantiene el motor en el transcurso del tiempo conforme a la prueba ralentí / ralentí elevado.

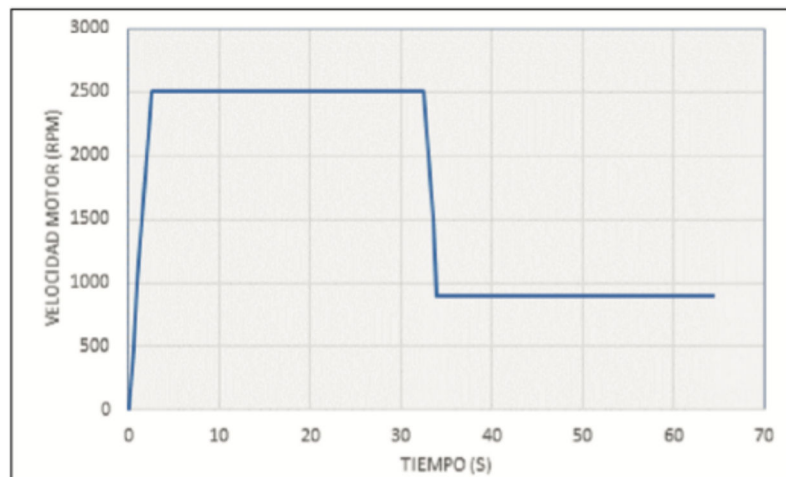


Figura 1.13 Prueba ralentí 900 rpm / ralentí elevado 2500 rpm.
(Recalde, M., & Revelo, R. 2015)

Los vehículos modernos que tienen sistemas de inyección electrónica y catalizadores de tres vías pueden tener defectos que no sean detectados a través de sus emisiones en la condición de ralentí, ya que, en este tipo de vehículos, el exceso de emisión de contaminantes ya no se debe solo a la mala regulación de la mezcla, sino a defectos en la sonda lambda o el catalizador de tres vías (Bickel Jon, 2001). El catalizador puede operar de forma muy eficiente con bajos flujos de emisiones (condición ralentí), sin embargo, emitiría contaminantes de manera excesiva en otras etapas de funcionamiento del motor, principalmente en las etapas transitorias, que solo pueden ser medidas con pruebas dinámicas (Bickel Jon, 2001).

1.4.1.1.2 Prueba ralentí / ralentí elevada con prueba lambda

Es una combinación de la prueba ralentí /ralentí elevada con la prueba lambda, la cual es capaz de identificar un mal funcionamiento en los sistemas modernos de preparación de la mezcla, de esta manera se analiza en forma separada los dos sistemas: el catalizador y el sistema de preparación de la mezcla. De esta manera se determina el sistema responsable de los altos niveles de emisiones (Bickel Jon, 2001) .

La prueba lambda se realiza con un comprobador de sonda lambda el cual se muestra en la figura 1.14, este permite la medición de la tensión y simulación de señales de mezcla de combustible rica o pobre para diagnosticar la procedencia de fallos de funcionamiento que pueden ser debidos a la sonda lambda, centralita de inyección o cableados de conexión en mal estado (BT Ingenieros, n.d.).



Figura 1.14 Comprobador de sonda lambda.

(Fuente: <https://www.bt-ingenieros.com/testers-y-comprobadores-electricos/2771-tester-comprobador-para-sondas-lambda.html>)

1.4.1.1.3 Prueba INCOLL/AUTONAT

Son pruebas distintas, pero con el mismo principio, se realiza con la transmisión en neutro y el motor es acelerado y desacelerado inmediatamente, de esta forma la carga del motor que tiene que vencer para acelerar sus partes rotativas y reciprocantes se aproxima a la carga durante un ciclo normal de manejo (Bickel Jon, 2001). El ciclo de aceleración – carga constante – desaceleración – ralentí demora cerca de 10 milisegundos y se repite continuamente como se puede observar en la figura 1.15. El pedal del acelerador es movido por medio de un dispositivo controlado electrónicamente según el ciclo de manejo correspondiente (Bickel Jon, 2001).

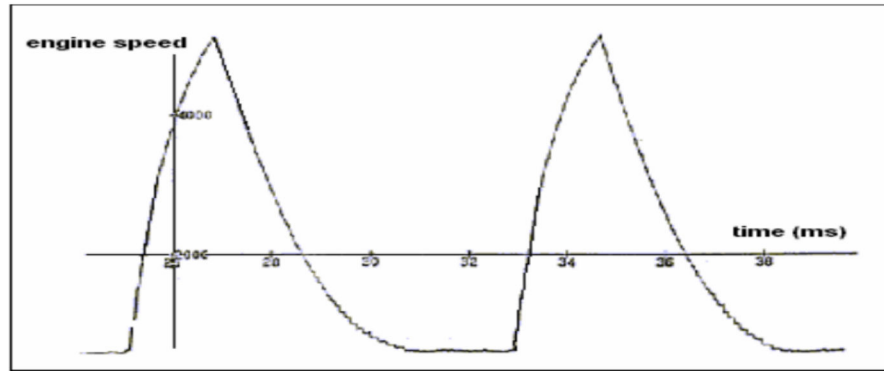


Figura 1.15 Ciclo de prueba INCOLL/AUTONAT.

(Fuente: Jhon Bickel, 2001)

“Las dos pruebas tienen una buena correlación con las emisiones en los ciclos de manejo más comunes, aun en el caso de los autos con catalizador; sin embargo, la operación dinámica del motor durante estas pruebas no es suficiente para identificar defectos en el sensor lambda” (Bickel Jon, 2001).

1.4.1.2 Método dinámico

Esta prueba se realiza aplicando carga al motor, ya que las emisiones de NO_x sin aplicar carga al motor son despreciables (Samaras & Zachariadis, 1995). Este tipo de prueba es la más adecuada para los automóviles con tecnologías de control electrónico, porque refleja el comportamiento de todo el sistema a condiciones reales y permite medir el verdadero nivel de emisiones.

Para reducir los niveles de emisiones de los vehículos, existen varias leyes. La norma de emisiones ha sufrido transformaciones conforme la tecnología va avanzando, obligando a los fabricantes de vehículos a hacer uso de ella para reducir los contaminantes emitidos por sus automóviles.

Las pruebas dinámicas se dividen en dos tipos:

- Estables
- Transitorias

1.4.1.2.1 Pruebas dinámicas en estado estable

Es necesaria una prueba que aplique carga al motor para medir los niveles de emisiones de NO_x , ya que si no se aplica carga al motor las emisiones de este compuesto son despreciables, este compuesto no puede ser calculado directamente a partir de las mediciones de CO y HC (Bickel Jon, 2001).

La prueba con carga más sencilla es la prueba en estado estable, en la cual se utiliza un dinamómetro con absorción de energía en estado estable (figura 1.16). En esta prueba, no es necesaria una simulación del peso inercial del automóvil ya que no existe una fase transitoria en el transcurso de la prueba: el automóvil se conduce a velocidad y carga constante, y las concentraciones de contaminantes CO, HC, NO_x y CO_2 se miden durante la fase de carga (Bickel Jon, 2001).

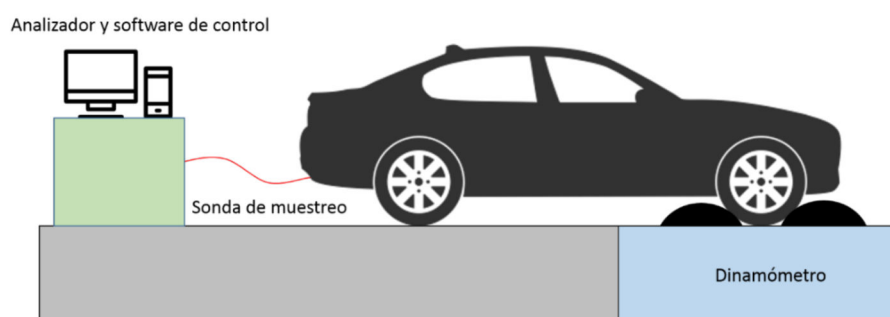


Figura 1.16 Método dinámico.

(fuente: <https://www.gob.mx/cms/uploads/image/file/482789/Auto-Prueba.png>)

La prueba dinámica en estado estable más conocida es la ASM y es la que se estudiará a profundidad para el desarrollo de este proyecto.

Prueba con simulación de la aceleración (ASM)

“Es una prueba dinámica en estado estable en la cual el automóvil es conducido sobre un dinamómetro de chasis de volante fijo para simulación del peso inercial, a una velocidad constante y con una absorción de energía en estado estable igual a la carga real de la carretera que experimentaría durante una aceleración” (Bickel Jon, 2001) . En la figura 1.17 se observa un esquema de la prueba ASM.

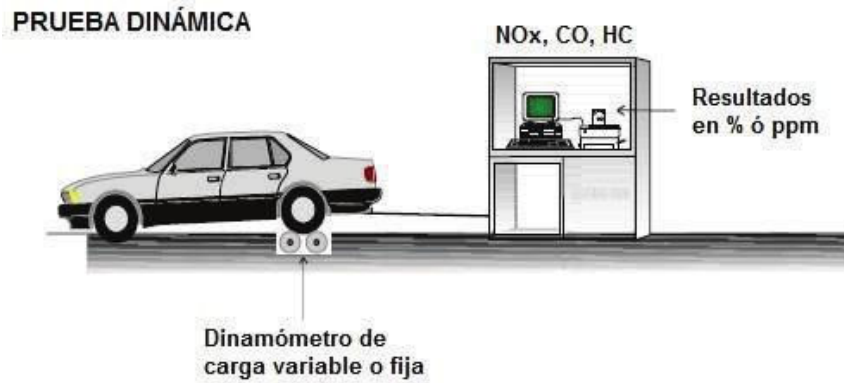


Figura 1.17 Prueba dinámica ASM.
(Recalde, M., & Revelo, R. 2015)

Si se fija el dinamómetro de carga variable para absorber una cantidad de energía equivalente a la carga total que el auto experimenta durante una aceleración (exceptuando la resistencia al rodamiento, por ej. la suma de la resistencia del viento y la suma de la carga requerida para acelerar las masas inerciales), se puede lograr una simulación realista de la carga del carro en un modo específico de manejo, sin necesidad de ruedas volantes para la simulación de la inercia (Bickel Jon, 2001).

La concentración de los contaminantes CO, HC y NOx es medida directamente de los gases de escape mediante analizadores NDIR para CO y HC, analizadores quimiluminiscentes para NOx, aunque también se consideró la posibilidad de medir masa de contaminantes con un muestreador de volumen constante, ya que esto mejoraba la correlación de la prueba con la FTP (Bickel Jon, 2001).

La prueba ASM está compuesta por dos modos ASM5015 y ASM2525 los cuales tienen diferentes condiciones de potencia y velocidad para realizar la prueba, estos modos son los que mejor se correlacionan con la FTP (véase figura 1.18)

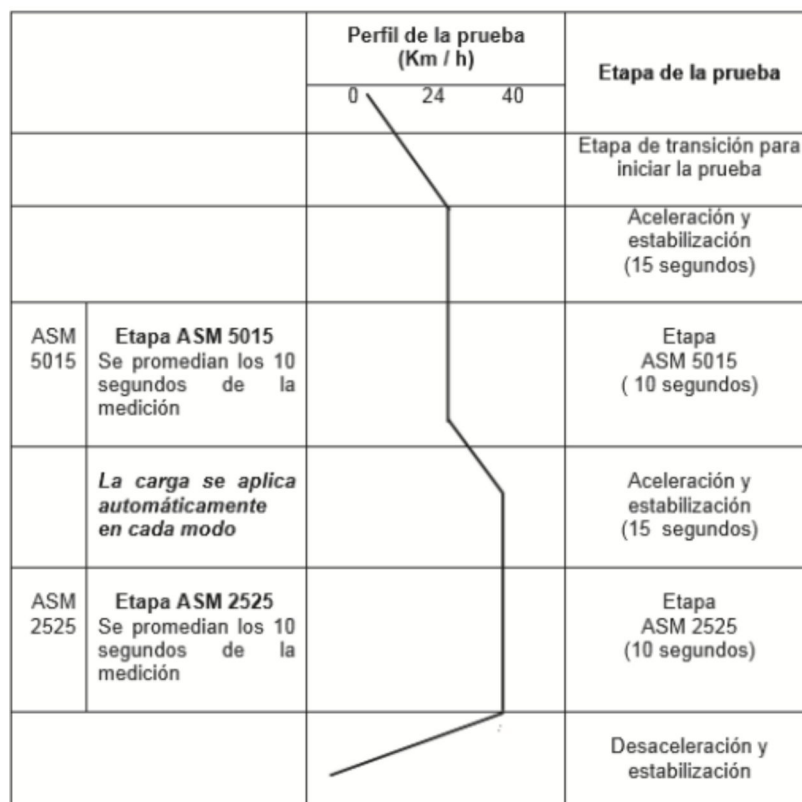


Figura 1.18 Esquema de modos ASM5015 y ASM2525.

(Recalde, M., & Revelo, R. 2015)

A una velocidad constante de 15 mph (24 kph) y una carga en estado estable igual al 50% de la carga requerida para acelerar a 1.47 m/s^2 (la máxima aceleración en el FTP) a la velocidad de 15 mph. ASM 5015 arrojó un coeficiente de correlación para NO_x de 0.83 con la FTP, contra 0.16 de las pruebas ralenti y de 0.45 a 0.60 de las otras pruebas con carga en estado estable (Bickel Jon, 2001).

1.4.1.2.2 Pruebas dinámicas en estado transitorio

En este tipo de pruebas los autos se conducen en el dinamómetro con un programa de manejo específico (Bickel Jon, 2001). A lo largo de la duración de la prueba se recolectan las muestras de gases de escape mediante un sistema de recolección de volumen constante (CVS), las mismas tienen que estar expresadas en unidades de masa. Para detectar bajas concentraciones de contaminantes en la muestra diluida de gases son necesarios analizadores de laboratorio (Samaras & Zachariadis, 1995).

Por otro lado, es necesario contar con dinamómetros con carga variable para simular la carga instantánea que da la carretera y la potencia necesaria para acelerar la masa inercial de cada vehículo (Bickel Jon, 2001).

Existen varios tipos de ciclos pruebas dinámicas en estado transitorio alrededor del mundo, pero los más relevantes son los ciclos FTP-75 e IM240, que se estudian a continuación en este proyecto.

Ciclo USA-FTP 75

El ciclo USA-FTP 75 está compuesto por transcurros de velocidades medidos en Los Ángeles durante el tráfico en la mañana. Primero se acondiciona el vehículo (12 horas seguidas a temperatura ambiente de 20 a 30 °C) después se arranca y se conduce por la curva de recorrido predeterminada (Bosh, 2005). En esta prueba existen tres fases:

- **Fase transitoria de arranque en frío:** Se recogen los gases diluidos en una bolsa 1 durante los primeros 505 segundos en temperatura ambiente 20-30 ° C.
- **Fase estabilizada:** Se recogen los gases diluidos en una bolsa 2 después de los primeros 505 segundos hasta los 1372 segundos. A continuación, se realiza una pausa de 10 minutos para proceder con la siguiente fase.
- **Fase transitoria de arranque en caliente:** se arranca el motor nuevamente durante 505 segundos, el recorrido es el mismo que de la fase en frío durante el cual se recoge los gases diluidos en una bolsa 3.

A continuación, en la figura 1.19 se puede observar las tres fases del ciclo FTP-75:

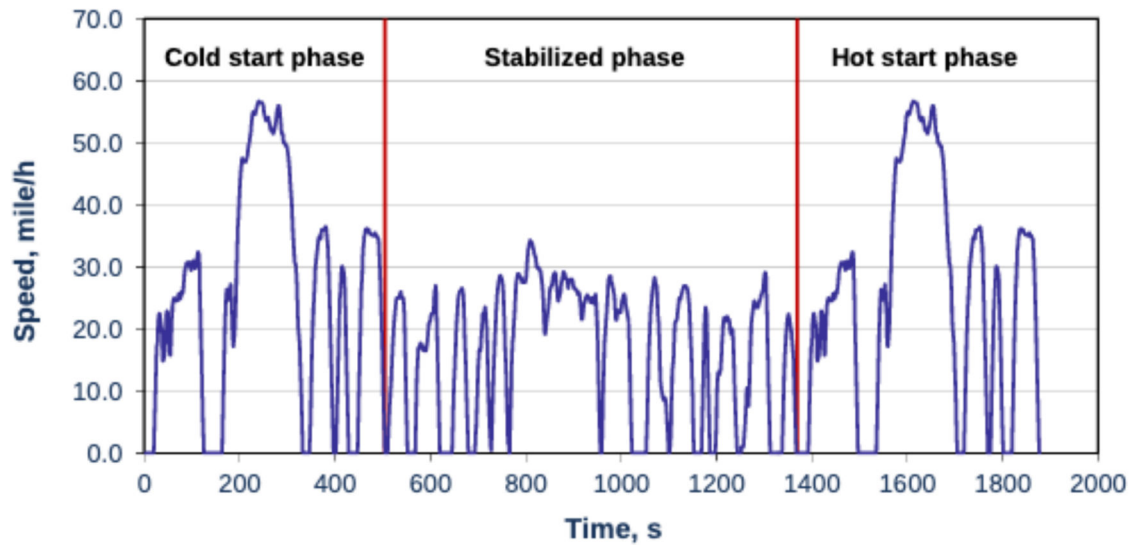


Figura 1.19 Ciclo de prueba USA-FTP 75

(fuente: <https://dieselnet.com/standards/cycles/ftp75.php>)

Las emisiones de cada fase se recogen en una bolsa de teflón separada, se analizan y se expresan en g/milla. Los factores de ponderación son 0.43 para la fase de arranque en frío, 1.0 para la fase 'estabilizada' y 0.57 para la fase de arranque en caliente (Dieselnet, n.d.). Las cantidades máximas de productos contaminantes son reguladas de diferente forma en cada país (Bosh, 2005).

Algunos parámetros básicos del ciclo son:

- Distancia recorrida: 11.04 millas (17.77 km)
- Duración: 1877 s
- Velocidad media: 21.2 mph (34.12 km / h).
- Velocidad máxima: 56.7 mph (91.25 km / h).

Para la certificación de emisiones, los vehículos deben cumplir con los estándares de emisión FTP aplicables.

El grado de eficiencia en la identificación de los contaminantes de determinado modo de inspección, se conoce normalmente a través de estudios científicos de correlación entre el procedimiento de inspección que se desea evaluar y la prueba completa de emisión en carga en régimen transitorio realizado en laboratorio (Federal Test Procedure FTP75) (Galván et al., 2014).

Ciclo IM240

El ciclo de prueba I/M 240 utiliza un dinamómetro de inercia especial para simular cargas de vehículos a varias velocidades durante un ciclo de conducción de 240 segundos que incluye modos de aceleración y desaceleración de manera similar a la conducción en la ciudad. Esta prueba puede detectar problemas de emisiones que pasan desapercibidos durante una prueba dinámica con velocidad constante.

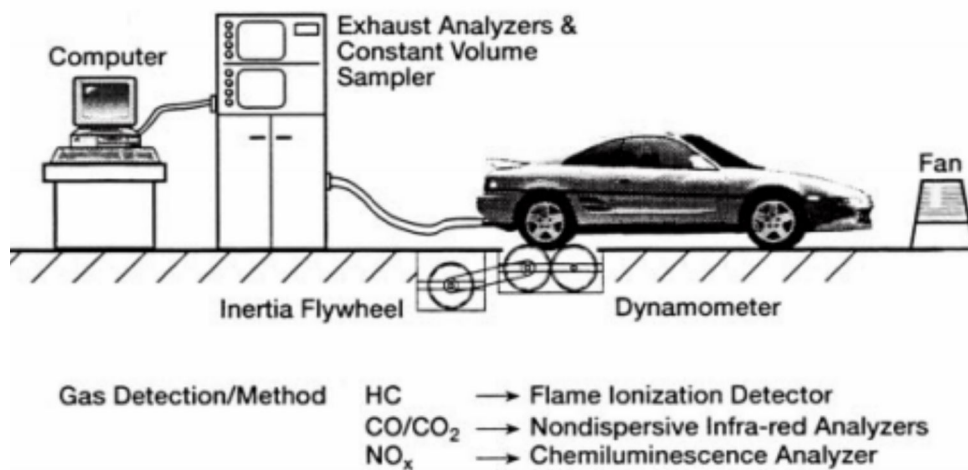


Figura 1.20 Esquema ciclo de prueba I/M240.

(TOYOTA, T., n.d. *EMISSION TESTING & ENHANCED I/M.*)

Esta prueba utiliza un sistema especial de recolección continua de gas en lugar de un sistema de muestreo de gas parcial para analizar el escape. El equipo monitorea las emisiones del vehículo durante la duración de la prueba, calcula las emisiones promedio y muestra los resultados en gramos de contaminante (NO_x, CO, HC) por milla conducida en lugar de la concentración de emisiones en el tubo de escape (% o ppm) como lo hacen los otros ciclos de prueba.

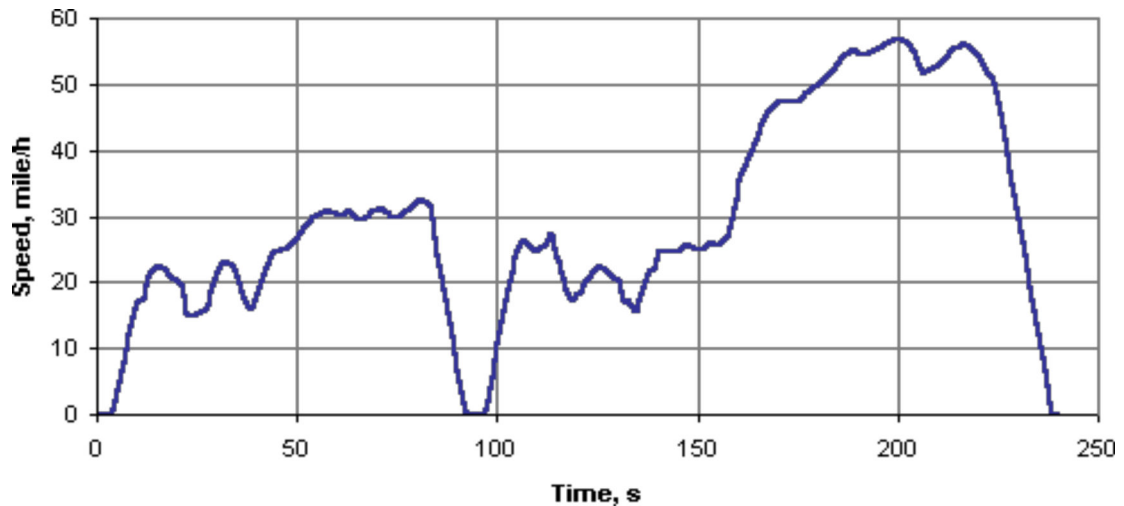


Figura 1.21 Ciclo de prueba IM240.
(fuente: <https://dieselnet.com/standards/cycles/im240.php>)

El ciclo prescrito representa una ruta de 1,96 millas (3,1 km) con una velocidad promedio de 29,4 millas / h (47,3 km / h) y una velocidad máxima de 56,7 millas / h (91,2 km / h).

1.4.2 Revisión técnica vehicular en Latinoamérica

La OMS (Organización Mundial de la Salud) ha recomendado que se adopte niveles de contaminación de aire mas bajos en las ciudades con gran afluencia de tráfico, con el único objetivo de salvaguardar la salud de la población. Para esto es necesario hacer efectivas las políticas públicas relacionadas con el control de emisiones y revisión técnica vehicular.

Los procedimientos de inspección de vehículos equipados con motor de ciclo Otto han sufrido avances tecnológicos que acompañan las nuevas tecnologías de motorización y control de emisiones (Galván et al., 2014).

Desafortunadamente en muchos países se aplican procedimientos de revisión técnica vehicular inadecuados y con límites de aprobación erróneos. Las causas principales son: falta de información acerca del tema, falta de interés por parte de los órganos gubernamentales y las razones comerciales. Muchos programas de inspección técnica vehicular en todo el mundo utilizan un método de condición ralentí sin carga, para cuantificar las emisiones de CO y HC sin dar importancia a los NO_x.

La medición de emisiones en condición ralentí y a 2500 rpm sin aplicar carga no son confiables en vehículos modernos equipados con sistemas de control electrónico, esta prueba no mide de forma correcta las emisiones de CO, HC y CO₂ y es incapaz de medir los NO_x. Es decir, un programa de revisión técnica vehicular basado en la medición de las emisiones en condición ralentí de vehículos equipados con sistemas de control moderno está aprobando y reprobando esos vehículos al azar (Galván et al., 2014).

El procedimiento de medición en carga es mucho más eficiente en la medición de gases contaminantes además permite medir NO_x un contaminante de estudio importante que se desprecia en el método estático. La medición en carga impide reparaciones mecánicas fraudulentas que hacen posible que vehículos contaminantes, en pésimas condiciones de mantenimiento, sean aprobados en la prueba de medición de gases en ralentí debido a ajustes provisionales (Galván et al., 2014).

La Academia Nacional de Ciencias de los Estados Unidos, en su informe de 2001, "Evaluating Vehicle Emissions Inspection and Maintenance Programs", publicó números relativos a la eficiencia de los programas de inspección y mantenimiento en los Estados Unidos en la reducción de las emisiones globales de los contaminantes tóxicos de la categoría de vehículos livianos (Galván et al., 2014). Para NO_x la reducción estimada es hasta de casi un 4.5%; para HC de hasta un 14% y para CO de hasta un 15,5%

Para vehículos con tecnologías de control moderno no se recomienda aplicar procedimientos de verificación vehicular desactualizados, más aún en sitios donde los niveles de contaminación sobrepasan normalmente los niveles aceptables de calidad de aire. Grandes ciudades como Santiago de Chile y México implementaron procedimientos de inspección técnica vehicular rigurosos con inspección en carga, los cuales han tenido gran aceptación.

En Santiago de Chile y la ciudad de México se realiza la prueba de concentración de emisiones aplicando el método dinámico, mediante el cual es posible medir la concentración de NO_x, CO, HC, CO₂ y O₂.

1.4.2.1 Revisión técnica vehicular en Ciudad de México

En las grandes ciudades la principal fuente de contaminación son los automóviles, si se analiza que la mayor parte de la energía proviene de la combustión de derivados del petróleo. En la Ciudad de México el consumo de combustible vehicular es cinco veces mayor que el del industrial (Secretaría de medio ambiente y recursos naturales, 1999). La inspección técnica vehicular mediante la prueba dinámica PAS (Prueba de aceleración simulada) ha mitigado las emisiones vehiculares en la Ciudad de México,

En ciudad de México la prueba dinámica ASM para automóviles a gasolina se implementó en el año 1993. La prueba de emisiones se realiza bajo los ciclos de manejo PAS5024 y PAS2540.

- **Ciclo PAS5024**

La prueba de aceleración simulada PAS5024, condiciona al vehículo a una velocidad constante de 24 Kilómetros por hora, y luego aplica una carga externa al motor equivalente al 50 por ciento de la potencia requerida para acelerar al vehículo a una tasa de aceleración de 5.6 kilómetros por hora por segundo (Secretaría de medio ambiente y recursos naturales, 1999). En la figura 1.22 se observa el ciclo PAS 5024.

- **Ciclo PAS2540**

La prueba de aceleración simulada PAS2540, condiciona al vehículo a una velocidad constante de 40 Kilómetros por hora, y luego aplica una carga externa al motor equivalente al 25 por ciento de la potencia requerida para mantener esta velocidad bajo condiciones reales de manejo (Secretaría de medio ambiente y recursos naturales, 1999). En la figura 1.22 se observa el ciclo PAS 2540.

1.4.2.2 Revisión técnica vehicular en Santiago de Chile

La ciudad Santiago de Chile en el año 2015 contaba con un parque de 1.400.000 vehículos para una población de 6 millones de habitantes. La población de Santiago de Chile representa el 40% del total del país. La gran actividad de esta ciudad se ve reflejada en un tráfico intenso que genera problemas de salud humana y contaminación ambiental (Galván et al., 2014). La revisión técnica vehicular tiene como objetivo verificar si los vehículos

reúnen las condiciones técnicas necesarias para garantizar la seguridad de circulación y protección del medio ambiente.

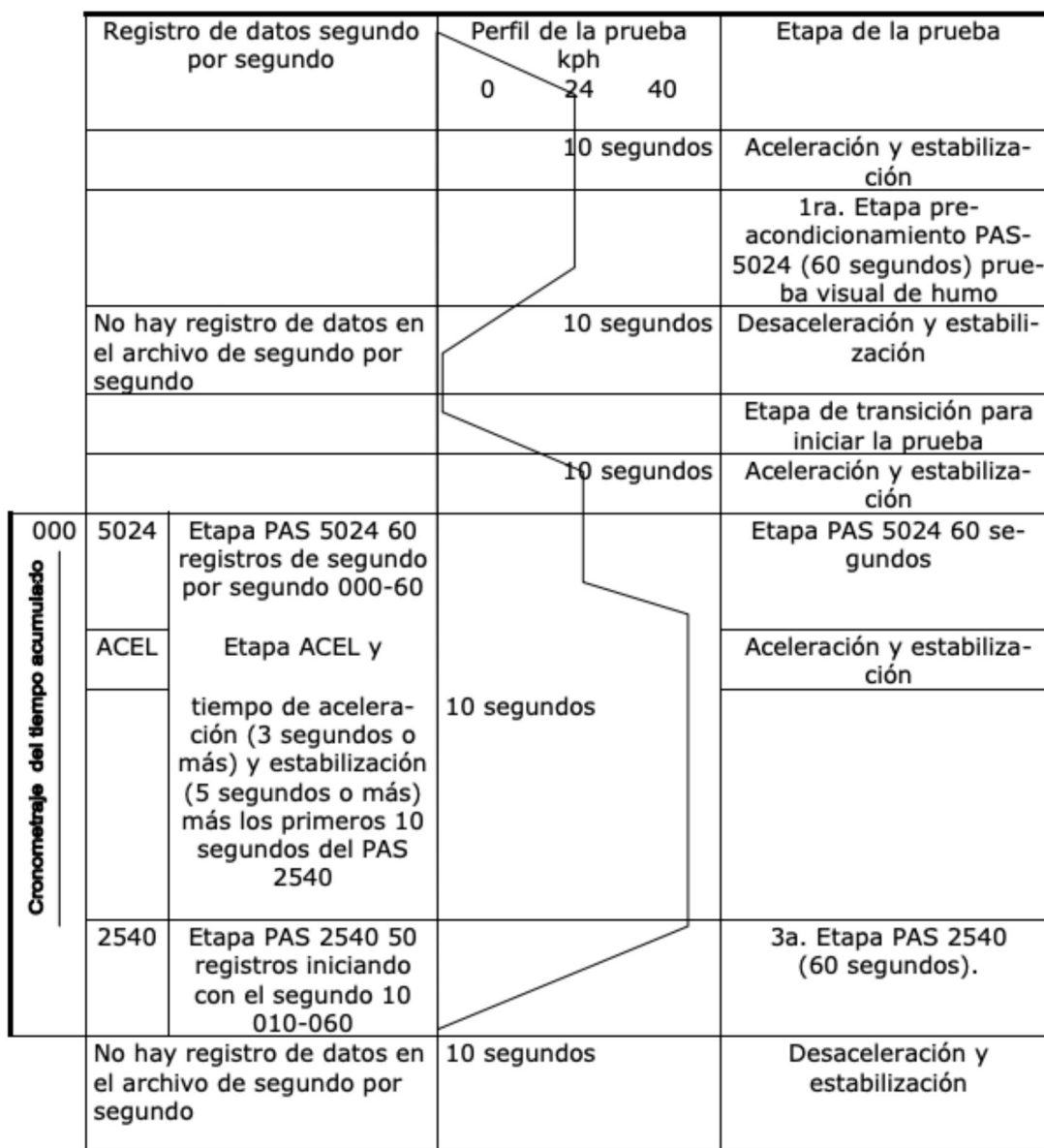


Figura 1.22 Ciclos de prueba PAS5024 y PAS2540.

(Fuente: Semarnat)

Santiago de Chile en 1997, introduce líneas de inspección automatizadas, lo que permitió reducir la subjetividad de la inspección técnica vehicular, disminuyendo las pruebas visuales de 50 a 22 e incorporando estaciones automáticas para la inspección de los frenos (frenómetro), de la alineación, de las luces (luxómetro), de la suspensión (banco de suspensión) y la emisión de gases de escape (opacímetro o analizador de gases).

El ensayo de gases de escape para motores ciclo Otto se realiza bajo el método de aceleración simulada ASM descrito anteriormente y básicamente se coloca el vehículo sobre un dinamómetro de chasis y se mide la concentración de emisiones, sometiendo al vehículo a dos condiciones de potencia y velocidad.

1.4.2.3 Revisión técnica vehicular en Ecuador

La revisión técnica vehicular en nuestro país se encuentra establecida bajo la norma NTE INEN 2 203:2000 la cual describe el procedimiento para la determinación de concentración de emisiones de escape en condición de marcha mínima o ralenti (prueba estática) (Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2000).

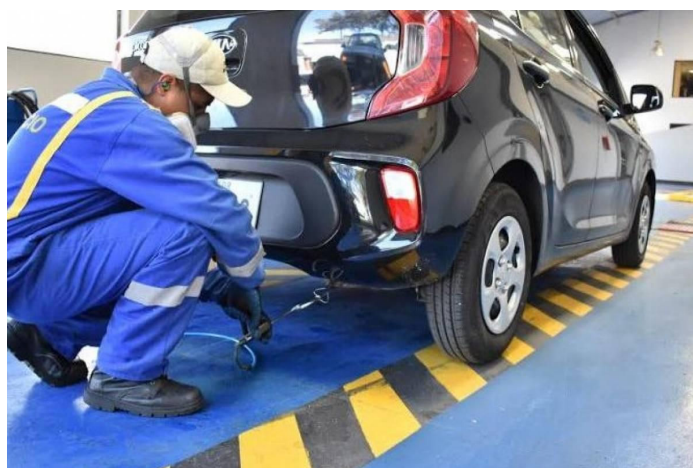


Figura 1.23 RTV en Quito

(Fuente: <https://www.metroecuador.com.ec/ec/noticias/2019/12/11/estos-los-horarios-matriculacion-vehicular-fin-ano-quito.html>)

La prueba en marcha mínima o ralenti, aplicada en automóviles fabricados con sistemas de control moderno relativo a emisión de gases de escape, no presenta correlación con una prueba dinámica realizada en laboratorio. Es decir, la prueba en ralenti no se debe aplicar para la identificación eficiente de automóviles contaminadores modernos. Si esta prueba se aplica de manera incorrecta y con límites mal ajustados, puede llegar a aprobar muchos vehículos que no serían aprobados en una prueba en carga, así mismo, podría reprobar vehículos que serían aprobados en una prueba en carga (Galván et al., 2014).

Aunque la mayoría de programas de revisión técnica vehicular son eficientes con respecto a la prevención de accidentes, en el tema de emisiones de vehículos es ineficiente, ya que al usar la prueba estática evalúa solo la concentración de CO y HC en los gases de escape,

ignorando la evaluación de los óxidos de nitrógeno que como se mencionó anteriormente es precursor del ozono troposférico, uno de los principales contaminantes del aire en las grandes ciudades (Galván et al., 2014).

En la ciudad de Quito capital del Ecuador el 98,5% de CO es emitido por fuentes móviles según el inventario de emisiones año 2011. Al igual que Ciudad de México y de Santiago de Chile en nuestro país se debería implementar un método para el análisis de gases acorde a la tecnología automotriz actual de nuestro país, así se logrará reducir las emisiones contaminantes.

2. METODOLOGÍA

En este capítulo se describe la metodología para ejecutar los diferentes procedimientos de prueba estática y dinámica para el análisis de emisiones contaminantes provenientes de los gases de escape de los automóviles con motor de encendido provocado.

Se escoge un vehículo que cumpla con las condiciones necesarias para ejecutar las diferentes pruebas y se determina el número de veces que se van realizar las mismas a través de un análisis estadístico, posteriormente se describe los equipos necesarios y el procedimiento de la prueba estática y de las pruebas dinámicas: ASM y IM240.

Se determina el nivel de emisiones del vehículo seleccionado con los diferentes métodos de pruebas mencionados anteriormente, con el propósito de realizar un análisis comparativo de emisiones para conocer cuál es el verdadero nivel de emisiones en los automóviles con tecnologías de control avanzadas y descartar el método estático como buena opción para medir emisiones en la revisión técnica vehicular. Esto impulsará a implementar en la revisión técnica vehicular un procedimiento de análisis de emisiones más acorde a la tecnología de vehículos que circulan en nuestro país.

2.1 Estudio de muestreo

2.1.1 Selección de vehículo

El vehículo que se usa para realizar la prueba estática y dinámicas es de motor de encendido provocado y no sobrepasa los 5 años de antigüedad, condición necesaria para medir el nivel de emisiones con diferentes métodos de prueba en automóviles con tecnologías de control avanzadas. Para este estudio se seleccionó un automóvil marca Hyundai modelo Grand i10 año 2018.

2.1.2 Número de ensayos a realizarse

Dado que para la ejecución de las pruebas estática y dinámicas se puede realizar n números de ensayos, se emplea la ecuación para determinar el tamaño muestral dada una población infinita.

No existen estudios previos de desviación estándar y varianza de cada contaminante de todo el parque automotor en nuestro país. Por tal motivo, se determina que la variabilidad toma un valor muy alto ($p=99\%$) debido a las diferencias existentes entre el resultado del nivel de emisiones de los métodos de prueba estático y dinámicos. Se estima un error menor a 10% por lo cual se toma el valor de 9%. La confiabilidad toma un valor preestablecido de 95% ($z=1.96$) el cual se usa comúnmente en la mayoría de análisis estadísticos (Triola, 2008).

$$n = \frac{z^2 \times p(1 - p)}{\epsilon^2} \quad (2.1)$$

Donde:

n: Tamaño de la muestra

z: Intervalo de confianza (1,96)

p: variabilidad positiva (0,99)

ϵ : estimación de error (0,09)

$$n = \frac{1,96^2 \times 0,99 \times (1 - 0,99)}{0,09^2} = 4,68 \cong 5$$

2.2 Método estático

El procedimiento del método de ensayo estático esta descrito en la norma INEN 2 203:2000, el acondicionamiento y preparación de equipos se encuentran detallados en el Anexo I, a continuación, se describen los equipos necesarios y el procedimiento de prueba.

2.2.1 Equipos

1. Analizador de gases MAHA MGT 5

Analizador de gases de corriente parcial sin indicador (unidad básica) para el análisis de HC, CO, CO₂, O₂ con cálculo del valor Lambda, ver figura 2.1.



Figura 2.1 Analizador de gases MAHA MGT 5.
(Fuente: propia)

Las especificaciones de este equipo se muestran en la tabla 2.1.

Tabla 2.1 Características de analizador de gases MAHA MGT 5.

Gases mesurables	HC, CO, CO ₂ , O ₂ , NO (Option)
Principio de medición espectrometría de infrarrojo	HC, CO, CO ₂
Principio de medición detección electroquímica	O ₂ , NO
Tiempo de calentamiento	480 s
Índice de flujo	3.5 l/min
La presión de trabajo	0.75 bar - 1.1 bar
Clase de precisión	O (OIML)
Tensión de a bordo	12 V / 42 V
Alimentación de corriente	1/N/PE 85 V/285 V 50 Hz
Dimensiones totales (La x An x Al)	240 mm x 560 mm x 300 mm
Peso	10 kg

(Fuente: maha)

2. Pinza trigger

La pinza trigger registra la señal del número de revoluciones del motor en el cable de encendido (bujía o bobina de encendido del distribuidor), capta de forma inductiva la señal de alta tensión que se transmite del distribuidor a cualquier cilindro, los impulsos se

trasmiten desde las pinzas trigger hacia la caja de interfaces donde son convertidos en una señal de rpm, ver figura 2.2.



Figura 2.2 Pinza Trigger.
(Fuente: propia)

3. Sonda de gases de combustión

La sonda de gases permite medir el nivel de emisiones producidas en el tubo de escape del automóvil mediante el analizador de gases, ver figura 2.3.



Figura 2.3 Sonda de gases de combustión.
(Fuente: Propia)

4. Software procesador y controlador de datos

Es un software en el cual se carga el ciclo estático, procesa y registra los datos medidos con el analizador de gases MAHA MGT 5, ver figura 2.4.



Figura 2.4 Software con el ciclo ralentí- ralentí elevado.
(Fuente: propia)

2.2.2 Procedimiento de pruebas

Antes de realizar la prueba, se debe revisar que el sistema de escape del vehículo se encuentre en perfectas condiciones de funcionamiento, no se deben aceptar salidas adicionales que puedan provocar escape o fugas de gases.

Medición

- Seleccionar en el software medición de gases estática.

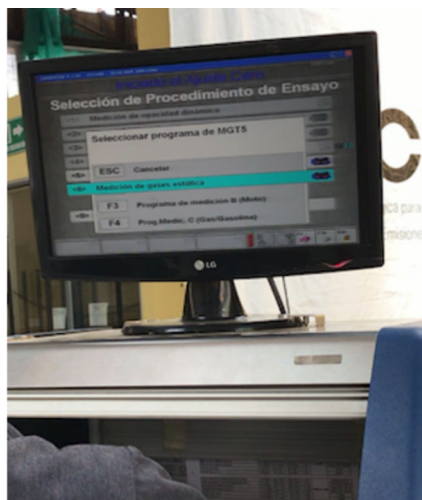


Figura 2.5 Selección del ciclo estático.
(Fuente: propia)

- Conectar la pinza trigger del equipo de medición al sistema de encendido del motor y verificar las condiciones de marcha mínima o "ralentí", ver figura 2.2.
- Con el motor a temperatura normal de operación y en condición de marcha mínima o "ralentí", introducir la sonda de prueba en el punto de salida del sistema de escape del vehículo. Tener la seguridad de que la sonda permanezca fija dentro del sistema de escape mientras dure la prueba.



Figura 2.6 Sonda de gases de escape colocada.
(Fuente: propia)

- Acelerar el motor en un rango de 2500 rpm durante 15 segundos.



Figura 2.7 Motor acelerado a 2500 rpm.
(Fuente: propia)

- Mantener el vehículo en marcha ralentí a 800 rpm, en vacío y sin acelerar por 30 segundos.

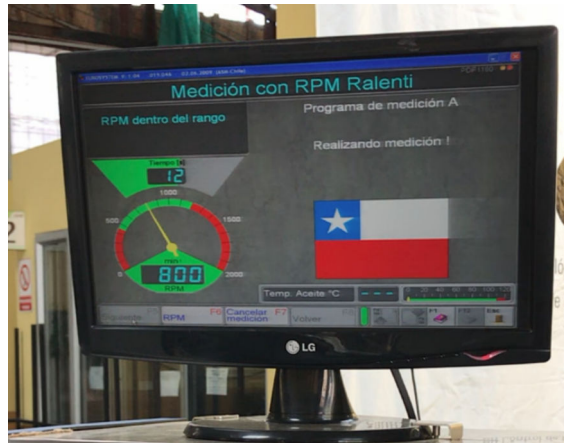


Figura 2.8 Motor en ralentí.

(Fuente: propia)

- Tomar las lecturas de monóxido de carbono (CO), hidrocarburos (HC), y dióxido de carbono (CO₂).

Resultados emisión de gases			
	Ralenti		Ralenti elevado
CO	0.26	% Vol.	0.87
CO ₂	14.15	% Vol.	13.78
CO ₂ corregido	---	% Vol.	---
HC	19	ppm	55
O ₂	0.23	% Vol.	0.28
NO _x	3	ppm	0
Lambda	1.001		0.984
Temperatura	---	°C	---
Nº rpm	810	rpm	2550
AFR	---	%	---
Temp. aceite	---	°C	---

Figura 2.9 Resultados

(Fuente: propia)

- El valor del resultado final será la mayor lectura registrada de los valores de las lecturas obtenidas.
- Debido a que el número de ensayos a realizar es 5, se debe repetir el procedimiento 4 veces más.

2.3 Método Dinámico

2.3.1 Ciclo ASM

El ciclo de prueba ASM está dado por la EPA (Agencia de protección ambiental de Estados Unidos) y contiene dos etapas, la ASM5015 y ASM2525 las cuales fueron estudiadas anteriormente. La calibración de equipos y pre acondicionamiento del vehículo se detallan en el ANEXO II. A continuación, se describen los equipos y el procedimiento de prueba

2.3.1.1 Equipos

1. Analizador de gases MAHA MGT5
2. Sonda de gases de combustión

3. Dinamómetro de chasis

Equipo que consta de dos rodillos que simulan las cargas específicas necesarias para realizar la prueba ASM, consta de freno de corrientes parasitas para su funcionamiento, ver figura 2.10.



Figura 2.10 Dinamómetro ASM.

(Fuente: propia)

4. Consola de comando

Es una computadora con un software desarrollado para controlar el dinamómetro según el ciclo preestablecido y procesar todos los datos del analizador de gases, ver figura 2.11



Figura 2.11 Consola de comando.
(Fuente: propia)

2.3.1.2 CICLO ASM 5015

Procedimientos de prueba

- Inspeccionar el vehículo de prueba, no deben existir fugas de ninguna clase, no deben existir fallas mecánicas, el motor no debe sobrecalentarse entre otras condiciones que están detalladas en el ANEXO II.
- Abrir el software y seleccionar ciclo ASM, el sistema empezará a calentar los rodillos del dinamómetro para la prueba ASM 5015 Y ASM 2525.
- Centrar las ruedas motrices del vehículo sobre los rodillos del dinamómetro de chasis.



Figura 2.12 Ruedas motrices centradas sobre dinamómetro.

(Fuente: propia)

- La sonda de muestra se insertará en el tubo de escape del vehículo a una profundidad mínima de 10 pulgadas.
- La potencia del dinamómetro se calculará automáticamente, según la información de identificación del vehículo descrita.
- Acelerar el automóvil hasta alcanzar la velocidad de prueba (y la potencia correspondiente) esta debe mantenerse dentro de 15 ± 1.0 millas por hora durante el tiempo de estabilización (20 segundos). El dinamómetro aplicará un par constante durante la duración de la prueba ASM. El par debe ajustarse al par correcto necesario para generar la potencia requerida a 15.0 mph.



Figura 2.13 Fase de estabilización ASM 5015

(Fuente: propia)

- Una vez que se cumpla el tiempo de estabilización empieza el tiempo de medición el cual dura 10 segundos. Durante el período de 10 segundos utilizado, la velocidad del dinamómetro no debe caer más de 0.5 mph, caso contrario la prueba continuará hasta que la velocidad se estabilice lo suficiente como para cumplir con este criterio.



Figura 2.14 Fase de medición ASM 5015.
(Fuente: propia)

- El vehículo pasará el modo ASM5015 y el mismo terminará inmediatamente si, en cualquier punto entre un tiempo transcurrido de 25 segundos ($t = 25$) y 100 segundos ($t = 100$), los valores medidos promedio de ejecución de 10 segundos para cada contaminante son simultáneamente menores o iguales a los estándares de prueba aplicables.
- El vehículo fallará el modo ASM5015 y el modo se terminará si los requisitos no se cumplen por un tiempo transcurrido de 100 segundos ($t = 100$).
- Al finalizar el modo ASM5015, el vehículo comenzará inmediatamente a acelerar a la velocidad requerida para el modo ASM2525. El par del dinamómetro deberá pasar suavemente durante el período de aceleración y se restablecerá automáticamente a la carga requerida para el modo ASM2525.

2.3.1.3 Ciclo ASM 2525

Procedimiento de prueba

- La potencia del dinamómetro se calculará automáticamente según la información de identificación del vehículo descrita.
- Acelerar el automóvil hasta alcanzar la velocidad de prueba (y la potencia correspondiente) esta debe mantenerse dentro de 25 ± 1.0 millas por hora durante el tiempo de estabilización (20 segundos). El dinamómetro aplicará un par constante durante la duración de la prueba ASM. El par debe ajustarse al par correcto necesario para generar la potencia requerida a 25.0 mph.



Figura 2.15 Fase de estabilización 2525.

(Fuente: propia)

- Una vez que se cumpla el tiempo de estabilización empieza el tiempo de medición el cual dura 10 segundos. Durante el período de 10 segundos utilizado para la decisión de pase, la velocidad del dinamómetro no debe caer más de 0.5 mph, caso contrario la prueba continuará hasta que la velocidad se estabilice lo suficiente como para cumplir con este criterio.



Figura 2.16 Fase de medición ASM 2525.

(Fuente: propia)

- El vehículo pasará el modo ASM2525 si, en cualquier punto entre un tiempo transcurrido de 25 segundos ($t = 25$) y 60 segundos ($t = 60$), los valores medidos promedio de ejecución de 10 segundos para cada contaminante son simultáneamente menores o iguales a los estándares de prueba aplicables.
- El vehículo fallará el modo ASM2525 y el modo se terminará si los requisitos no se cumplen por un tiempo transcurrido de 60 segundos ($t = 60$).
- Guardar los datos obtenidos.
- Debido a que el número de ensayos a realizar es 5, se debe repetir el procedimiento 4 veces más.

2.3.2 Ciclo IM240

El ciclo de prueba IM-240 está dado bajo la EPA y contiene varios apartados, a continuación, se describen los equipos y el procedimiento de prueba. La calibración de equipos y pre acondicionamiento del vehículo se detallan en el ANEXO III.

2.3.2.1 Equipos

1. Dinamómetro de chasis

Este equipo permite ejecutar distintas pruebas para simular un perfil de velocidad en función del tiempo por ejemplo IM-240, ver figura 2.17.



Figura 2.17 Dinamómetro LPS 3000.

(Fuente: propia)

Las características y especificaciones técnicas del dinamómetro se presentan a continuación en la tabla 2.2.

Tabla 2.2 Especificaciones técnicas de dinamómetro LPS 300.

Modelo	LPS 3000
Revoluciones del motor	0 RPM – 10 000 RPM
Precisión	± 2% (sobre el valor de medición)
Alimentación	400 V (50 Hz)
Fusibles	35 A
Tipo de rodillos	R 100
Potencia de ruedas	0 kW – 400 kW
Velocidad	0 km/h -200 km/h
Fuerza de tracción	0 kN – 15 kN
Carga máxima por eje	15 t

(Fuente: propia)

2. Consola de mando LPS 3000

Es una computadora con un software denominado LPS 3000 el cual tiene varias funciones como la de controlar toda la mecánica dentro del dinamómetro de chasis y procesar todos los datos que envía el analizador de gases MAHA MGT5 según el ciclo preestablecido.



Figura 2.18 Consola de mando LPS 3000.

(Fuente: propia)

3. Analizador de gases MAHA MGT5.

4. Sonda de gases de escape.

2.3.2.2 Procedimiento

- Se inspecciona el vehículo para detectar fugas de escape o fugas de líquidos, el vehículo debe estar en buen estado sin fallas mecánicas obvias, todos los accesorios deben estar apagados, el motor no debe sobrecalentarse.
- Colocar las ruedas motrices del vehículo de forma recta sobre los rodillos del dinamómetro.



Figura 2.19 Automóvil sobre rodillos del equipo LPS 3000.
(Fuente: propia)

- Anclar el vehículo a una base fija por medio de correas de tensión al gancho de remolque o al eje trasero del automotor.



Figura 2.20 Correas de anclaje.
(Fuente: propia)

- Instalar la sonda de medición de gases al final del tubo de escape



Figura 2.21 Instalación de sonda de gases.
(Fuente: propia)

- Realizar una prueba de hermeticidad en el equipo de medición LPS 3000.

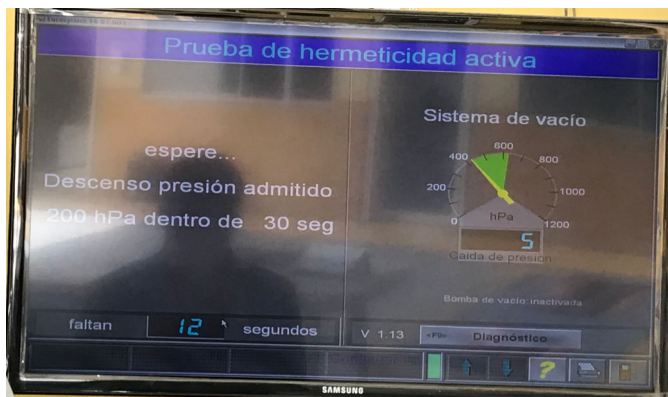


Figura 2.22 Prueba de hermeticidad.
(Fuente: propia)

- Activar el analizador de gases en el programa del equipo LPS 3000.
- Seleccionar y cargar el ciclo de ruta IM-240 en el equipo LPS 3000. Antes de iniciar la medición de gases, llevar el motor a la temperatura normal de funcionamiento.

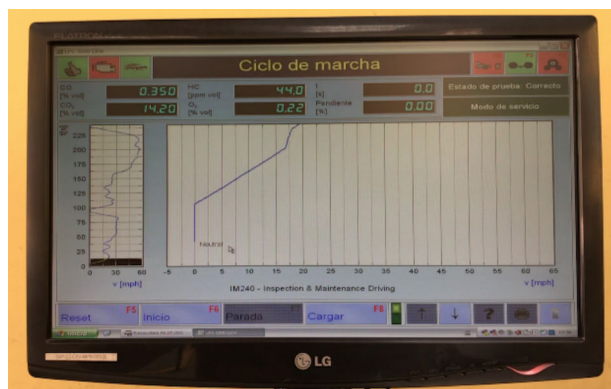


Figura 2.23 Ciclo IM-240 cargado.

(Fuente: propia)

- El conductor experimentado sigue una representación electrónica y visual de la relación tiempo / velocidad del ciclo de conducción IM-240 que se observa en la figura 1.21. La representación visual de la traza debe ser de suficiente aumento y detalles adecuados para permitir un seguimiento preciso por parte del conductor y debe permitir que el conductor anticipe los próximos cambios de velocidad.

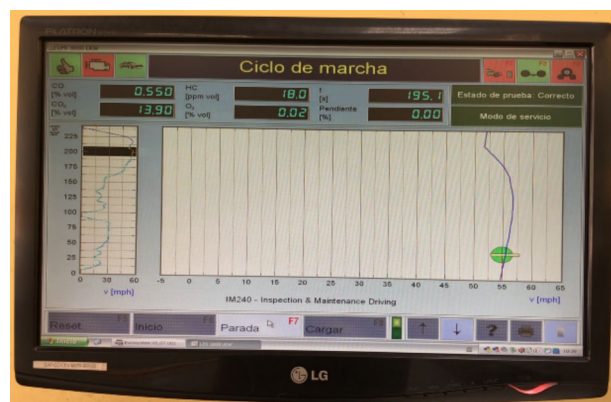


Figura 2.24 Transcurso del ciclo IM-240.

(Fuente: propia)

- Para determinar los niveles de emisión, las mediciones instantáneas son registradas por computadora. La computadora monitorea continuamente los niveles de emisión del vehículo durante cada fase de la prueba y utiliza algoritmos de aprueba o falla para identificar vehículos limpios o sucios. Inmediatamente la computadora notifica automáticamente el resultado al inspector para detener las pruebas de emisiones. Para los vehículos que están cerca de los niveles máximos de emisión permitidos, la prueba puede continuar durante 240 segundos completos.

- Guardar los datos obtenidos
- Debido a que el número de ensayos a realizar es 5, se debe repetir el procedimiento 4 veces más.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En esta sección se analizan y comparan los resultados de emisiones de gases en los ciclos de prueba estático y dinámicos realizados en CICEV.

3.1 Resultados de prueba estática

La prueba estática se realizó según el procedimiento descrito en el apartado 2.2.2. A continuación se muestran los resultados de la prueba ralenti (800 rpm) y de la prueba rpm elevada (2500) en la tabla 3.1 y tabla 3.2 respectivamente.

Tabla 3.1 Resultados de concentración de emisiones (prueba ralenti).

Ralenti						
Parámetros	Número de prueba					Promedio
	1	2	3	4	5	
CO [%v]	0.23	0.23	0.21	0.3	0.26	0.25
CO2 [%v]	14.26	14.29	14.26	14.2	14.15	14.23
CO corregido [%v]	0.23	0.23	0.21	0.3	0.26	0.25
HC [ppm]	15	15	18	13	19	16.00
O2 [%V]	0.17	0.17	0.24	0.14	0.23	0.19
NOx [ppm]	13	1	-	-	3	6
Lambda	1	1	1.004	0.997	1.001	1.00
rpm	800	800	800	820	810	806.00

(Fuente: Propia)

Tabla 3.2 Resultados de concentración de emisiones (rpm elevada).

RPM elevado						
Parámetros	Número de prueba					Promedio
	1	2	3	4	5	
CO [%v]	0.23	0.2	0.21	0.23	0.87	0.21
CO2 [%v]	14.14	14.29	14.23	14.17	13.78	14.22
CO corregido [%v]	0.23	0.2	0.21	0.23	0.87	0.21
HC [ppm]	31	34	33	13	55	32.67
O2 [%V]	0.07	0.05	0.11	0.06	0.28	0.08
NOx [ppm]	8	1	-	-	1	3
Lambda	0.995	0.994	0.997	0.991	0.984	1.00

RPM	2470	2550	2680	2600	2550	2566.67
Nota: se omiten los datos de la prueba 4 y 5 debido a que no se encuentran dentro del rango de los otros datos.						

(Fuente: Propia)

3.2 Resultados de prueba ASM

En este apartado se muestra los gráficos de comportamiento de los gases de escape durante todo el ciclo ASM, para esto se tomó como referencia la prueba número 2. Los gráficos de comportamiento de los gases de escape para el resto de pruebas se muestran en el Anexo 6. También se muestran las tablas con los resultados de emisiones obtenidos en el ciclo ASM 5015 y ASM 2525.

3.2.1 Comportamiento de los gases durante el ciclo ASM

A continuación, se muestran los gráficos del comportamiento de los gases: CO, HC, CO₂, O₂, NO_x, en el ciclo ASM5015 y ASM2525.

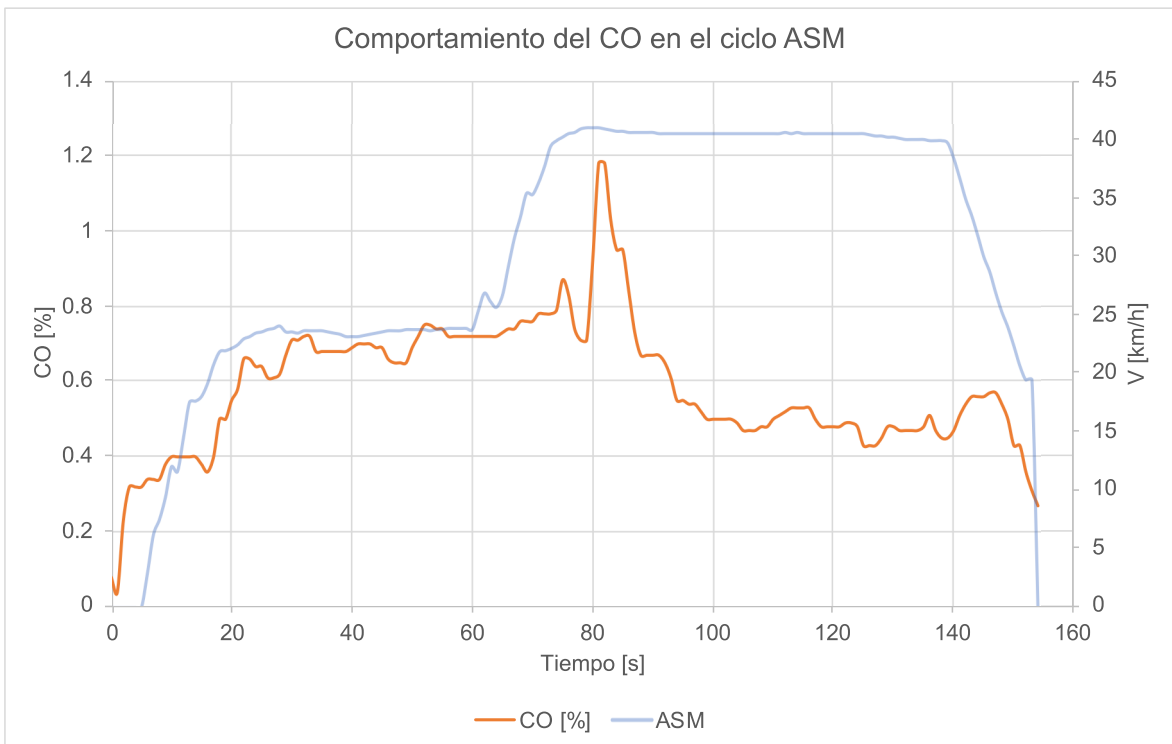


Figura 3.1 Comportamiento del CO en el ciclo ASM.

(Fuente: Propia)

En la figura 3.1 se observa que durante el ciclo ASM 5015 el CO se mantiene entre 0.6 y 0.7 %, llega a un valor máximo cuando se acelera el automóvil para cambiar al modo ASM2525 y luego se mantiene entre 0.4 y 0.5% hasta el final del ciclo.

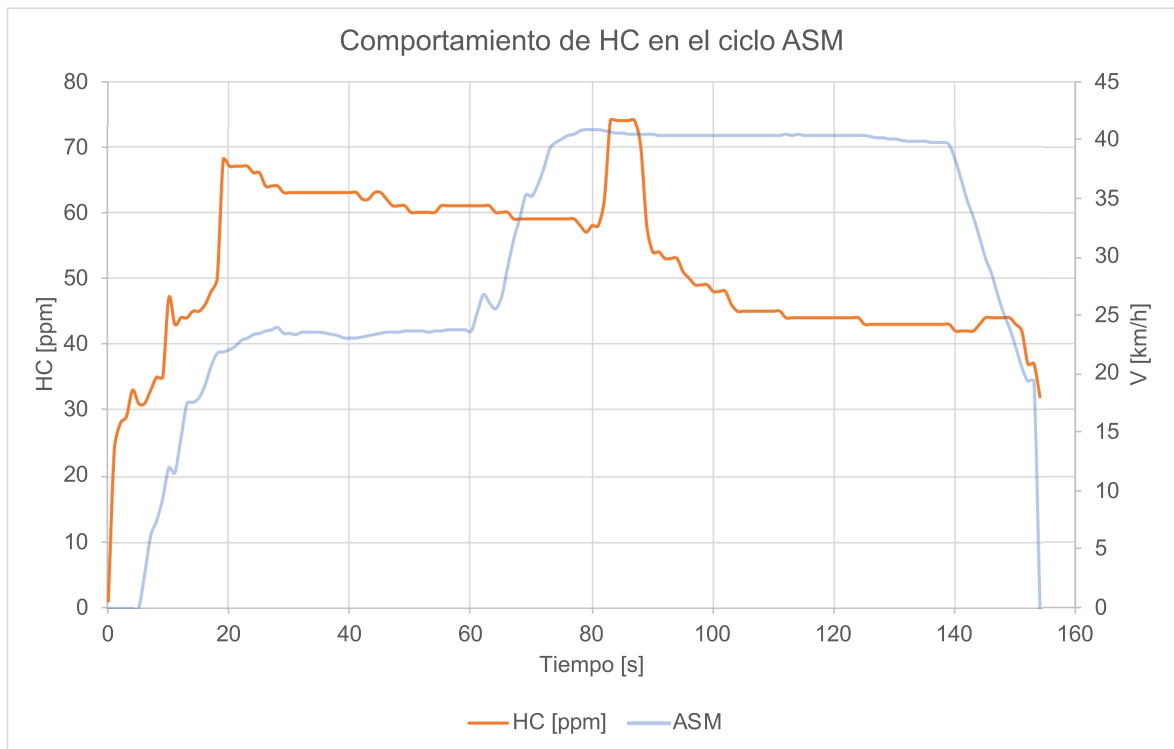


Figura 3.2 Comportamiento de los HC en el ciclo ASM.

(Fuente: Propia)

En la figura 3.2 se observa que las ppm de HC se incrementan conforme se acelera el vehículo y disminuyen conforme se mantiene una velocidad constante, esto se puede observar tanto para el ciclo ASM5015 como para el ciclo ASM2515. El valor máximo de las ppm de HC se alcanza al inicio del ciclo ASM2515.

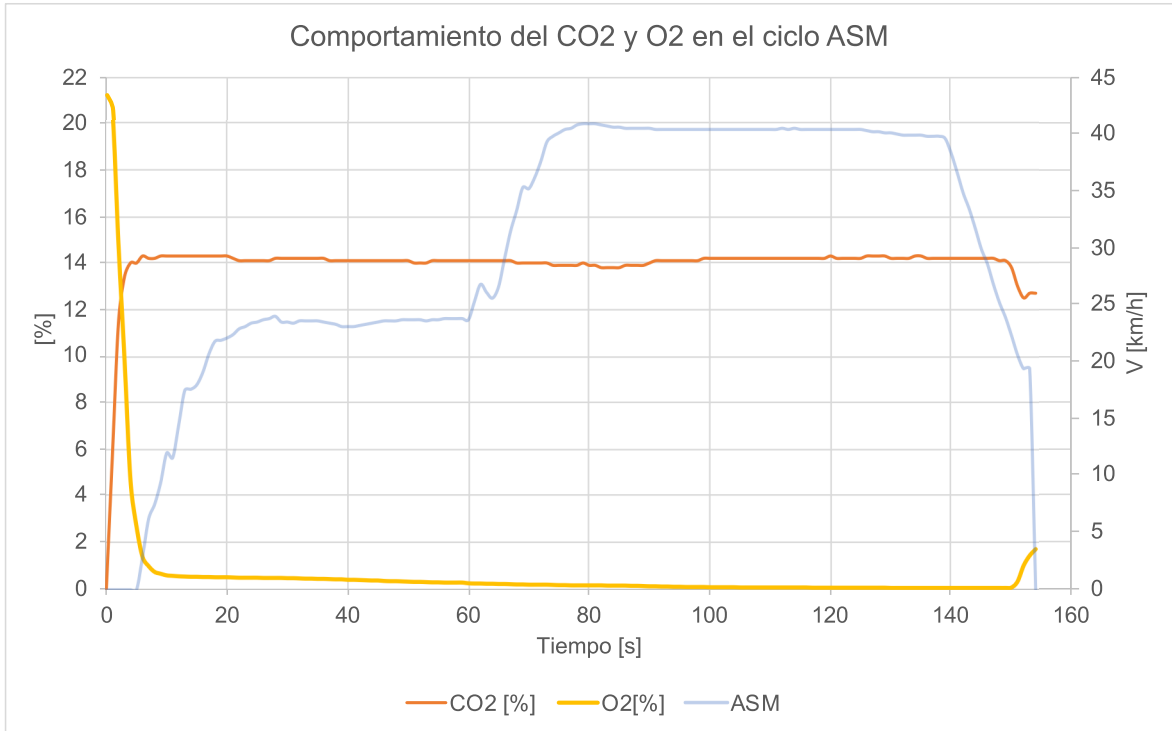


Figura 3.3 Comportamiento del CO₂ y O₂ en el ciclo ASM.

(Fuente: Propia)

En la figura 3.3 se puede observar un comportamiento tipo espejo entre el CO₂ y el O₂, esto quiere decir que en el instante en el cual aumenta la cantidad de CO₂ disminuye la cantidad de O₂ y viceversa. El % CO₂ se mantiene en un rango cercano a 14% durante todo el ciclo una vez que se acelera hasta la velocidad de prueba establecida por el ciclo ASM. El O₂ presenta un comportamiento decreciente cuando se acelera el vehículo hasta la velocidad de prueba, debido a que, a rpm altas, la combustión es más eficiente.

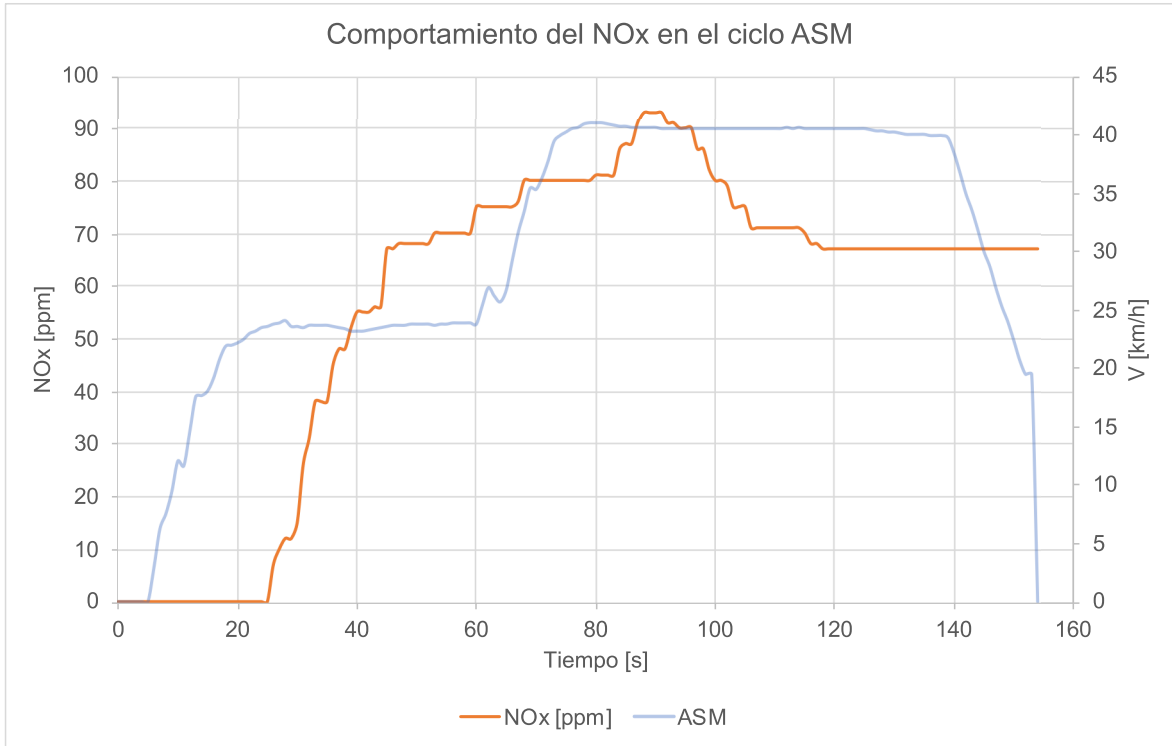


Figura 3.4 Comportamiento de los NO_x en el ciclo ASM.
(Fuente: Propia)

En la figura 3.4 se observa que el valor de la ppm de los NO_x se incrementa conforme se aplica mayor carga, al incrementarse este factor se incrementa también la temperatura condición necesaria para la formación de NO_x.

3.2.2 Resultados de emisiones con el ciclo ASM

Los resultados de las emisiones en los ciclos ASM5015 y ASM2525 y los valores promedio se muestran a continuación en las tablas 3.3 y 3.4.

Tabla 3.3 Valores de emisiones de gases de escape en el ciclo ASM2525.

ASM 2525						
	Número de prueba					
Parámetros	1	2	3	4	5	Promedio
CO [%v]	0.77	0.75	0.78	0.74	0.72	0.75
CO2 [%v]	14.2	14.12	14.1	14.07	14.02	14.10
HC [ppm]	59	62	68	64	63	63.20
O2 [%V]	0.28	0.3	0.15	0.28	0.25	0.25
NOx [ppm]	57	76	98	72	86	77.80
Lambda	0.989	0.99	0.982	0.99	0.989	0.99

(Fuente: Propia)

Tabla 3.4 Valores de emisiones de gases de escape en el ciclo ASM5015.

ASM 5015						
	Número de prueba					
Parámetros	1	2	3	4	5	Promedio
CO [%v]	0.58	0.58	0.55	0.51	0.54	0.55
CO2 [%v]	14.32	14.2	14.18	14.22	14.19	14.22
HC [ppm]	48	45	49	47	40	46
O2 [%v]	0.05	0.01	0.01	0.02	0.02	0.02
NOx [ppm]	82	72	90	74	80	80
Lambda	0.984	0.982	0.983	0.984	0.984	0.983

(Fuente: Propia)

3.3 Resultados de prueba IM240

En este apartado se muestra los gráficos de comportamiento de los gases de escape durante todo el ciclo IM240, para esto se tomó como referencia la prueba número 3. Los gráficos de comportamiento de los gases de escape del resto de pruebas se muestran en el Anexo 7. También se muestran las tablas con los resultados de emisiones obtenidos en el ciclo IM240.

3.3.1 Comportamiento de los gases durante el ciclo IM240

A continuación, se muestran los gráficos del comportamiento de los gases: CO, HC, CO₂, O₂, NO_x, en el ciclo de prueba IM240.

Monóxido de Carbono

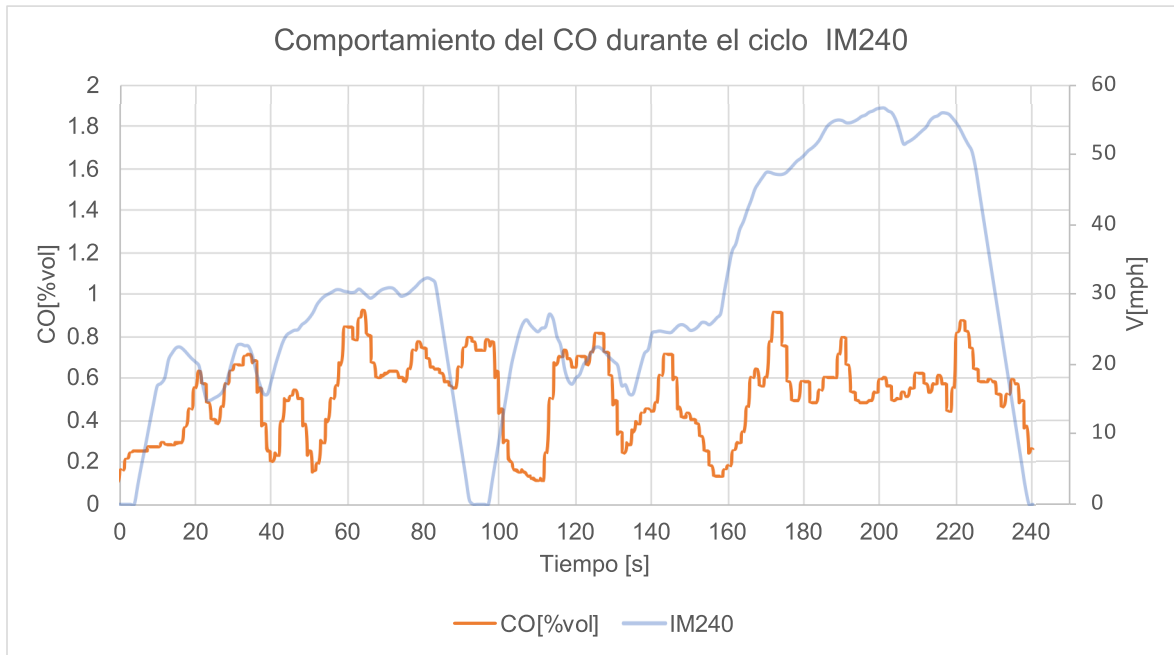


Figura 3.5 Comportamiento del CO durante el ciclo IM240.

(Fuente: Propia)

En la figura 3.5 se observa que el comportamiento del CO es proporcional a la aceleración es decir si se acelera el vehículo los valores de CO aumentan hasta cierto valor máximo límite, si se disminuye la aceleración los valores de CO disminuyen, sin embargo, no existen variaciones significativas esto quiere decir que los valores de CO se mantienen dentro de cierto rango.

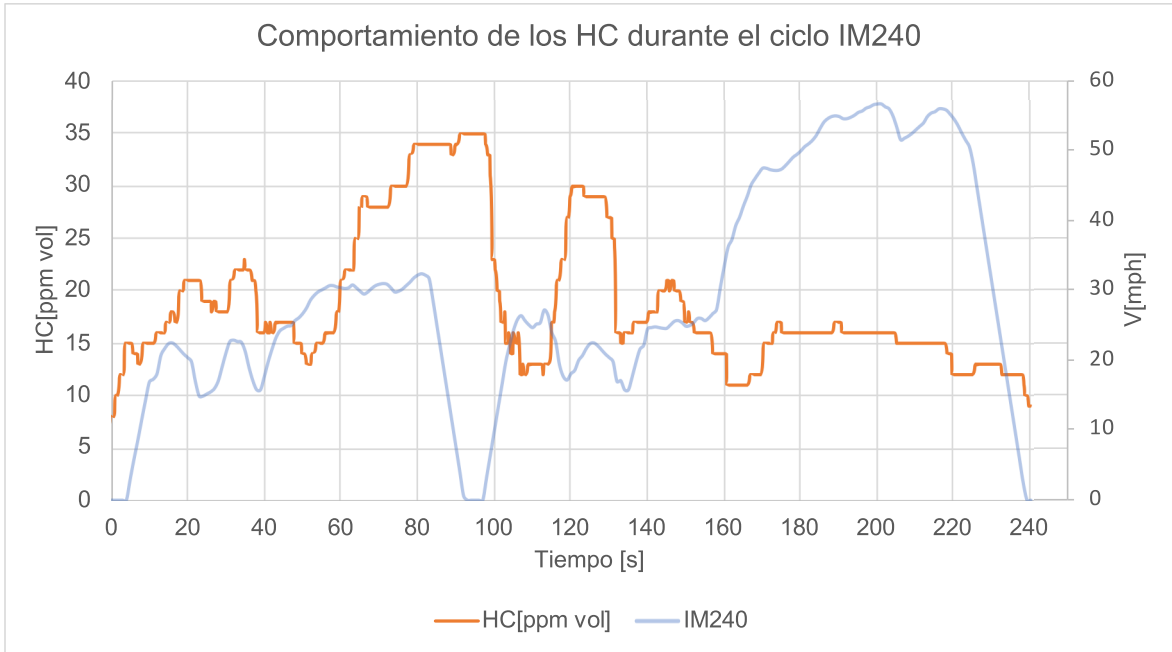


Figura 3.6 Comportamiento de los HC durante el ciclo IM240.
(Fuente: Propia)

En la figura 3.6 se observa que el valor de los HC aumenta conforme se acelera el automóvil, a rpm altas los valores de HC mantienen un valor casi constante hasta que disminuye la aceleración para terminar con el ciclo.

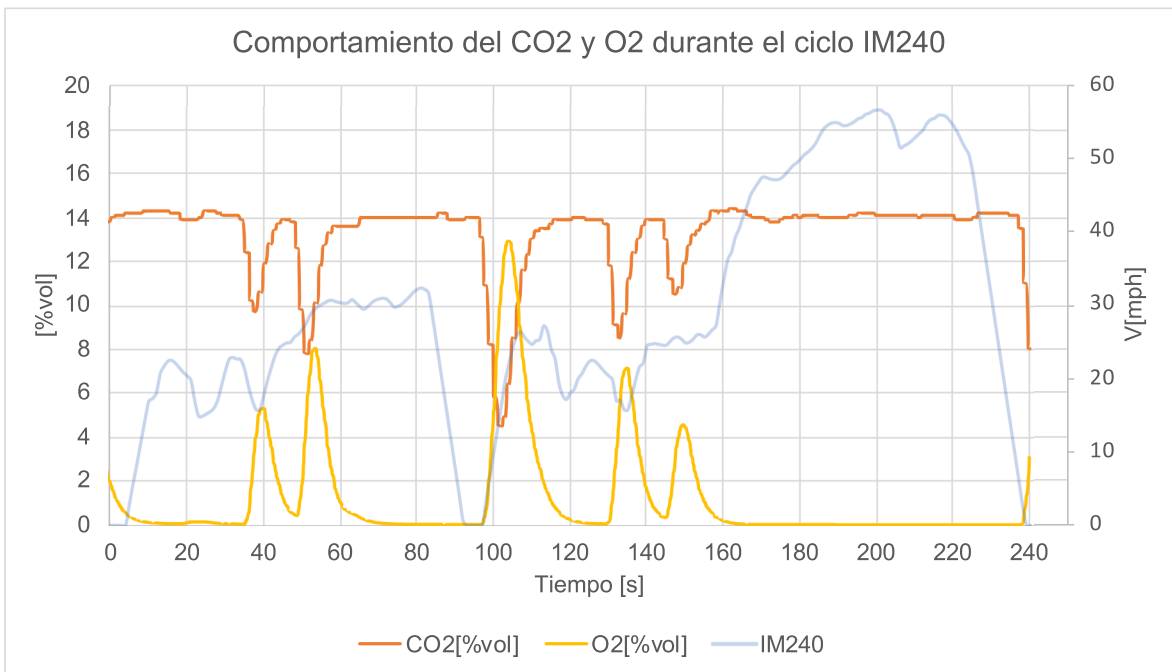


Figura 3.7 Comportamiento del CO₂ y O₂ durante el ciclo IM240.
(Fuente: Propia)

En la figura 3.7 se observa que al acelerar el vehículo el valor de CO_2 tiende a elevarse hasta un valor constante cercano a 14% mientras que el valor de O_2 tiende a disminuir hasta un valor constante cercano a 0.02%, cuando la aceleración disminuye ocurre lo contrario el valor de CO_2 disminuye y el valor de O_2 aumenta, por lo cual la gráfica tiende a ser tipo espejo.

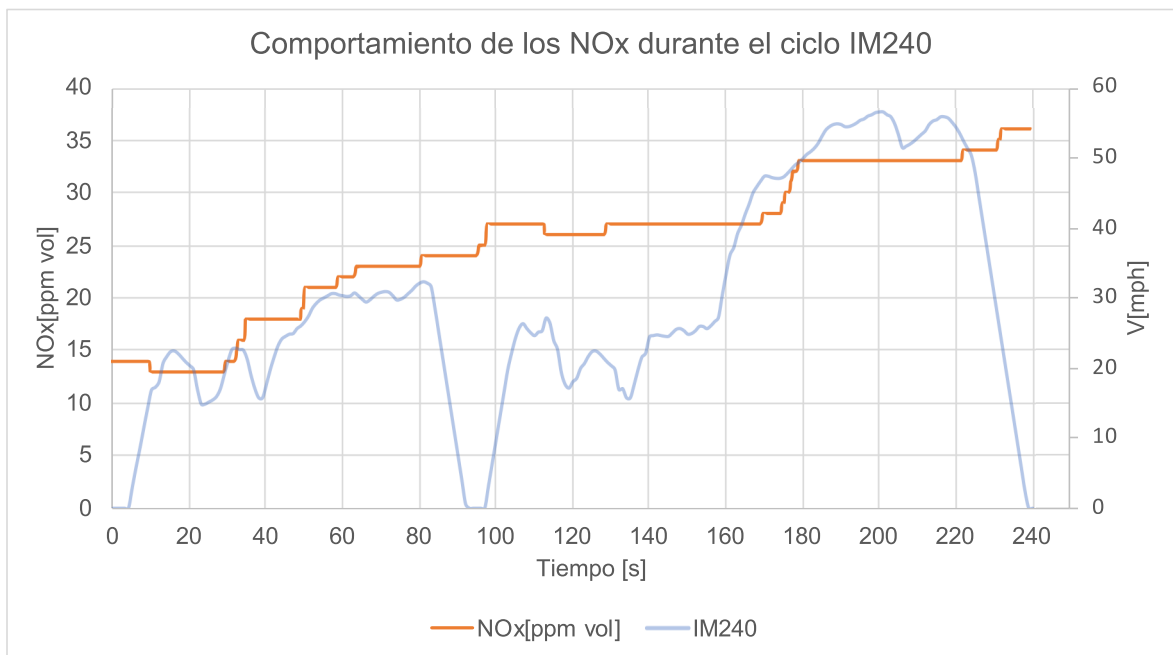


Figura 3.8 Comportamiento de los NOx durante el ciclo IM240.

(Fuente: Propia)

En la figura 3.8 se observa que los NOx aumentan conforme se incrementa la carga, a mayor carga mayor será el valor de los NOx. A altas revoluciones la combustión es más eficiente por lo que aumenta la temperatura esto conlleva a que aumente el valor de los NOx.

3.3.2 Resultado de emisiones con el ciclo IM240

Los resultados del ciclo de prueba IM240 son emisiones promedio de todas las mediciones tomadas durante el ciclo. A continuación, en la tabla 3.5 se muestran los resultados de cada prueba y los valores promedio.

Tabla 3.5 Valores de emisiones de gases de escape en el ciclo IM240.

IM240						
Parámetros	Número de prueba					Promedio
	1	2	3	4	5	
CO [%v]	0.49	0.52	0.52	0.59	0.56	0.53
CO ₂ [%v]	13.04	13.22	13.28	13.37	13.02	13.18
HC [ppm]	26	23	19	32	22	24
O ₂ [%V]	1.6	1.3	1.3	1.0	1.7	1.4
NO _x [ppm]	14	21	25	9	6	15
Lambda	1.13	1.11	1.07	1.08	1.11	1.10

(Fuente: Propia)

3.4 Análisis comparativo de emisiones mediante ciclos estático y dinámicos

En este apartado se presenta los resultados de los valores promedio de cada gas para cada ciclo estático y dinámicos realizados, además se realiza un análisis comparativo mediante gráficos con los valores medidos de cada gas en cada uno de los diferentes ciclos de prueba realizados.

3.4.1 Resultados promedio de emisiones para los diferentes ciclos de prueba

Tabla 3.6 Resultados promedio de emisiones para los diferentes ciclos de prueba

Parámetros	Ciclos de Prueba				
	Estática Ralentí	rpm elevado	ASM 2525	ASM 5015	IM240
CO [%v]	0.25	0.21	0.75	0.55	0.53
CO₂ [%v]	14.23	14.22	14.10	14.22	13.18
HC [ppm]	16	33	63	46	24
O₂ [%V]	0.19	0.08	0.25	0.022	1.4
NO_x [ppm]	6	3	78	80	15
Lambda	1.00	1.00	0.99	0.98	1.10

(Fuente: Propia)

3.4.2 Análisis comparativo de emisiones

3.4.2.1 Monóxido de Carbono CO

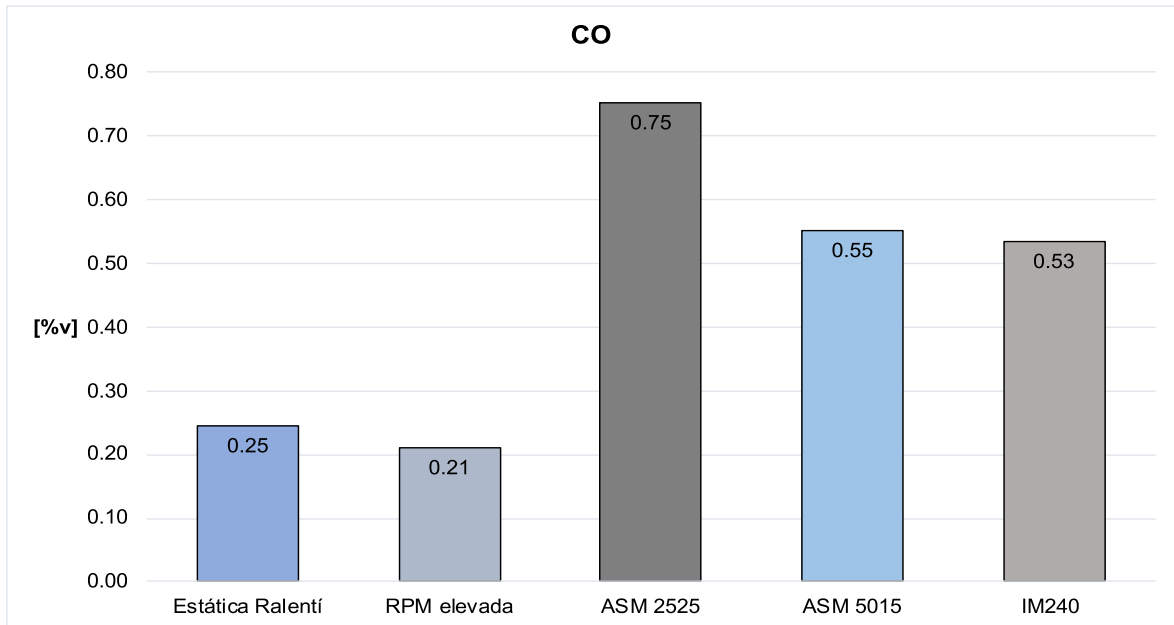


Figura 3.9 Concentración de CO según el ciclo de prueba.

(Fuente: Propia)

En la figura 3.9 se puede observar que existe una diferencia considerable en el valor de concentración de CO entre los diferentes ciclos de prueba estático y dinámicos. A continuación, se observa en la tabla 3.7 el valor de diferencia de %CO entre los ciclos de prueba ASM e IM240 y el ciclo de prueba estático ralentí que es el que se toma como referencia.

Tabla 3.7 Diferencia de %CO entre ciclos estático y dinámicos.

Ciclos de Prueba	CO [%v]	CO [%v] Estática	Diferencia
ASM 2525	0.75	0.25	200%
ASM 5015	0.55	0.25	120%
IM240	0.53	0.25	112%

(Fuente: Propia)

Se obtienen los siguientes resultados:

- El resultado de CO con la prueba ASM 2525 es 200% mayor en relación a la prueba estática.
- El resultado de CO con la prueba ASM5015 es 120% mayor en relación a la prueba estática.
- El resultado de CO con la prueba IM240 es 112% mayor en relación a la prueba estática.

Todos los ciclos de prueba dinámicos muestran resultados mayores de %CO con respecto al ciclo de prueba estático. Esto indica que el vehículo en realidad emite más cantidad de CO en un ciclo de manejo con carga aproximado a la realidad.

3.4.2.2 Hidrocarburos

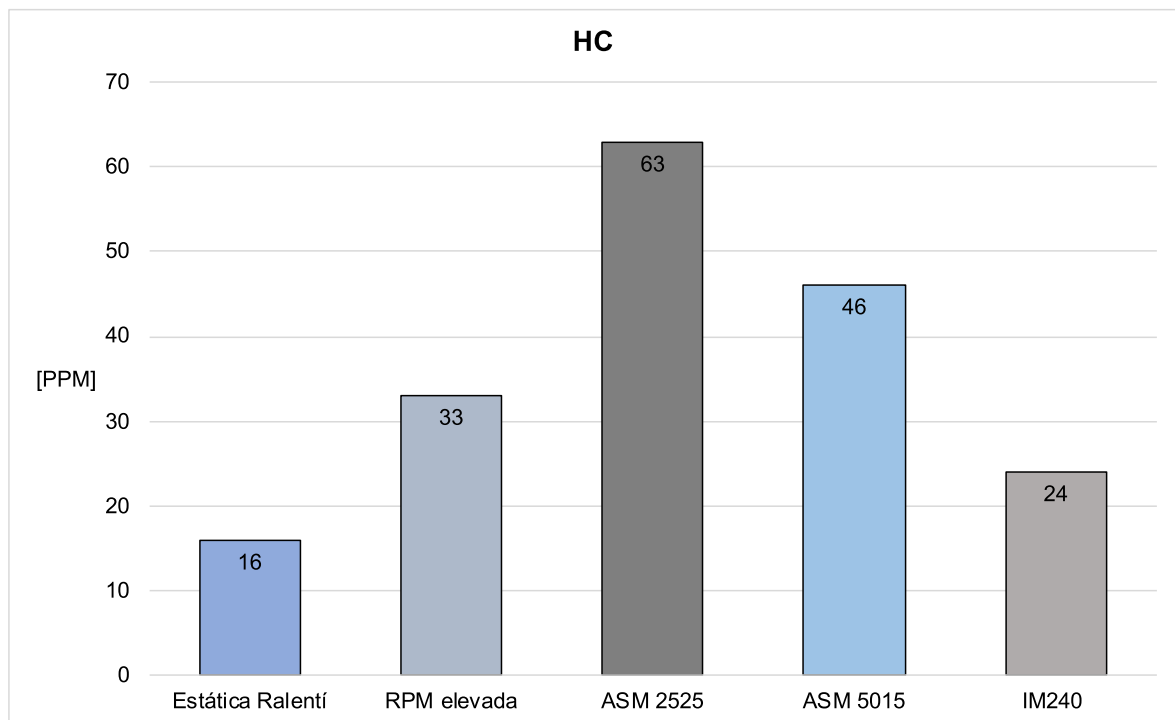


Figura 3.10 Concentración de HC según el ciclo de prueba.

(Fuente: Propia)

En la figura 3.10 se puede observar que existe una diferencia considerable en el valor de concentración de HC entre el ciclo de prueba estático y los ciclos de prueba dinámicos. A continuación, se observa en la tabla 3.8 el valor de diferencia de ppm HC entre los ciclos de prueba ASM e IM240 y el ciclo de prueba estático ralentí que es el que se toma como referencia.

Tabla 3.8 Diferencia de ppm HC entre ciclos estático y dinámicos.

Ciclos de prueba	HC [ppm]	HC [ppm] Estática Ralentí	Diferencia
ASM 2525	63	16	294%
ASM 5015	46	16	188%
IM240	24	16	50%

(Fuente: Propia)

Se obtienen los siguientes resultados:

- El resultado de HC con la prueba ASM2525 es 294% mayor en relación a la prueba estática.
- El resultado de HC con la prueba ASM5015 es 188% mayor en relación a la prueba estática.
- El resultado de HC con la prueba IM240 es 50% mayor en relación a la prueba estática.

Es evidente que existe una diferencia significativa entre el valor de concentración de HC de la prueba estática y el valor de concentración de HC de las pruebas dinámicas IM240 y ASM. El vehículo sometido a condiciones de carga y velocidad variables emite mayor cantidad de HC que en estado ralentí.

3.4.2.3 Oxígeno

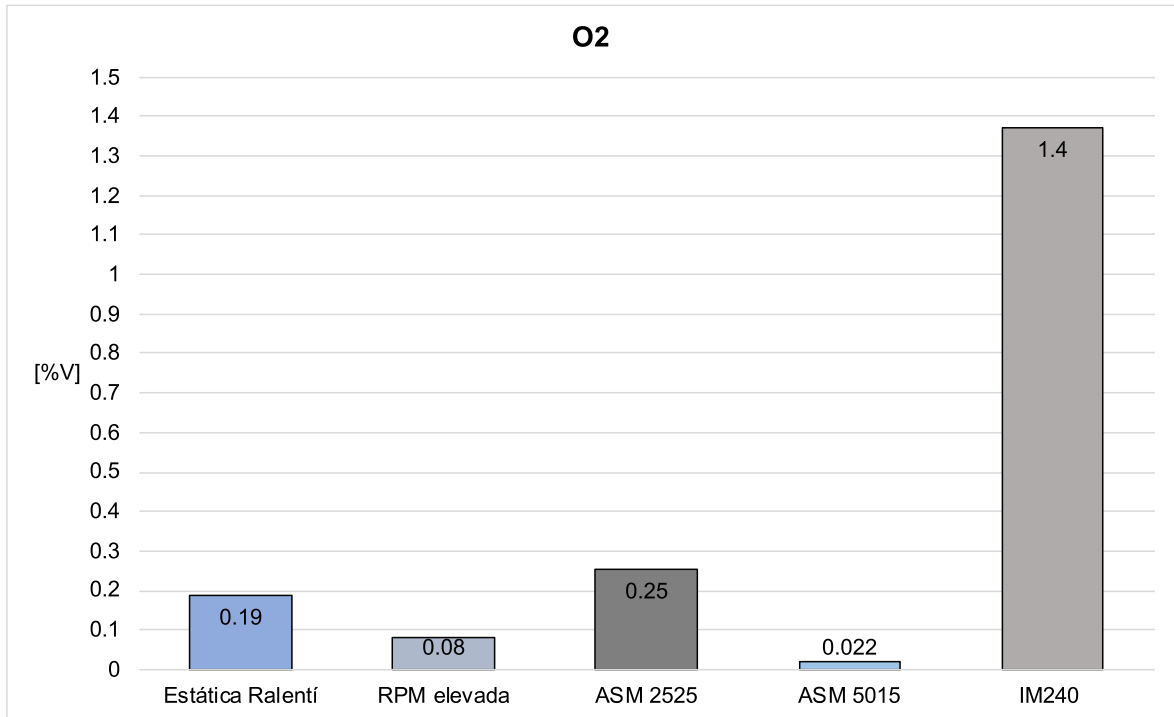


Figura 3.11 Concentración de O₂ según el ciclo de prueba.
(Fuente: Propia)

En la figura 3.11 se observa que el valor concentración de O₂ es variable en todos los ciclos. A continuación, se observa en la tabla 3.9 el valor de diferencia de %O₂ entre los ciclos de prueba ASM e IM240 y el ciclo de prueba estático ralentí que es el que se toma como referencia.

Tabla 3.9 Diferencia de %O₂ entre ciclos estático y dinámicos.

Ciclos de prueba	O ₂ [%V]	O ₂ [%V] Estática Ralentí	Diferencia
ASM 2525	0.25	0.19	32%
ASM 5015	0.022	0.19	88%
IM240	1.4	0.19	637%

(Fuente: Propia)

Se obtienen los siguientes resultados:

- El resultado de O₂ con la prueba ASM2525 es 32% mayor en relación a la prueba estática.

- El resultado de O₂ con la prueba ASM5015 es 88% menor en relación a la prueba estática.
- El resultado de O₂ con la prueba IM240 es 637% mayor en relación a la prueba estática.

El valor de concentración de O₂ para el ciclo dinámico ASM5015 es de 0.022% y para el ciclo dinámico ASM2525 es de 0.25%, esto quiere decir que el proceso de combustión es más eficiente con las condiciones del ciclo ASM5015 ya que presenta valores de concentración de O₂ mínimos.

El valor de concentración de O₂ para el ciclo dinámico IM240 es de 1.4%, el cual es alto en relación a los valores de los otros ciclos, esto se debe a que es un valor promedio de todo el ciclo IM240 que simula un ciclo de conducción real con variaciones de velocidad significativas en el tiempo, este ciclo contiene tramos donde la velocidad se reduce a 0 mph lo cual hace que aumente el valor de O₂ a 13%.

3.4.2.4 Óxidos de Nitrógeno

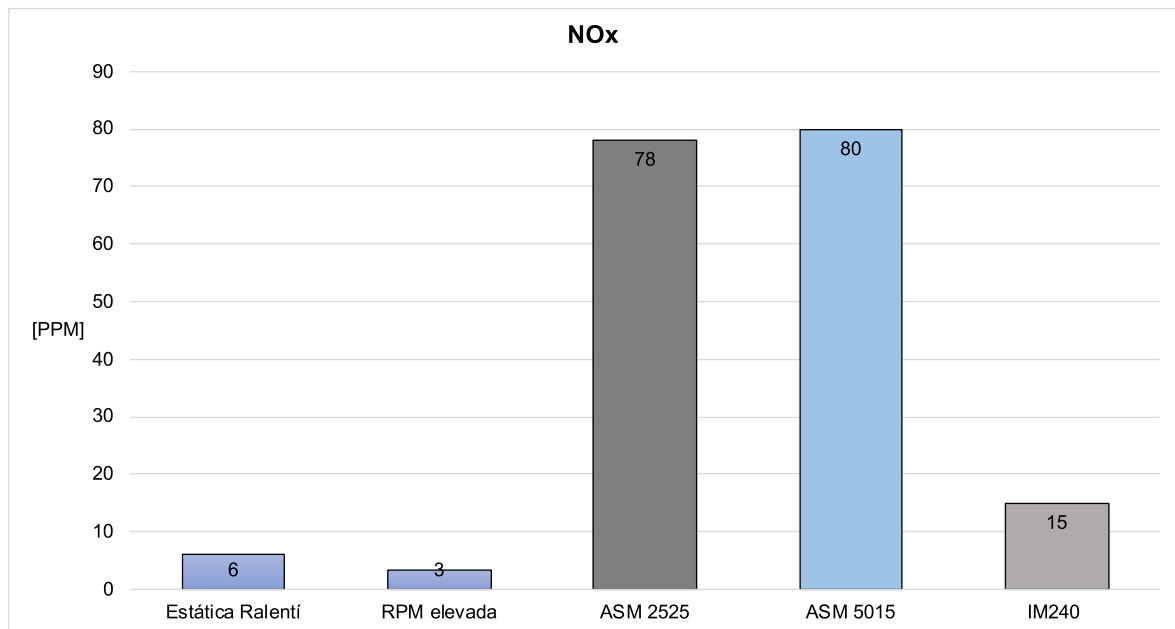


Figura 3.12 Concentración de NO_x según los ciclos de prueba.

(Fuente: Propia)

En la figura 3.12 se comprueba que el ciclo de prueba estático presenta valores despreciables de NO_x en comparación con los ciclos de prueba dinámicos. Es necesario

obtener mediciones reales de NO_x, ya que es un gas tóxico altamente perjudicial para los seres vivos, en algunas partes del mundo su emisión esta reglamentada bajo normas estrictas.

A continuación, se observa en la tabla 3.10 el valor de diferencia de ppm NO_x entre los ciclos de prueba ASM e IM240 y el ciclo de prueba estático ralenti que es el que se toma como referencia.

Tabla 3.10 Diferencia de ppm NO_x entre ciclos estático y dinámicos.

Ciclos de prueba	NOx [ppm]	NOx [ppm] Estática Ralenti	Diferencia
ASM 2525	78	6	1200%
ASM 5015	80	6	1233%
IM240	15	6	150%

(Fuente: Propia)

Se obtienen los siguientes resultados:

- El resultado de NO_x con la prueba ASM2525 es 1200% mayor en relación a la prueba estática.
- El resultado de NO_x con la prueba ASM5015 es 1233% mayor en relación a la prueba estática.
- El resultado de NO_x con la prueba IM240 es 150% mayor en relación a la prueba estática.

El valor de los NO_x depende fundamentalmente de la temperatura y la presión, a mayor temperatura y presión dentro de la cámara de combustión mayor será el valor de concentración los NO_x.

Es evidente que los ciclos de prueba dinámicos son los más adecuados para medir la concentración de NO_x. La prueba estática no es la adecuada para medir la concentración de NO_x ya que muestra valores de concentración que no corresponden a la realidad.

3.4.2.5 Dióxido de Carbono

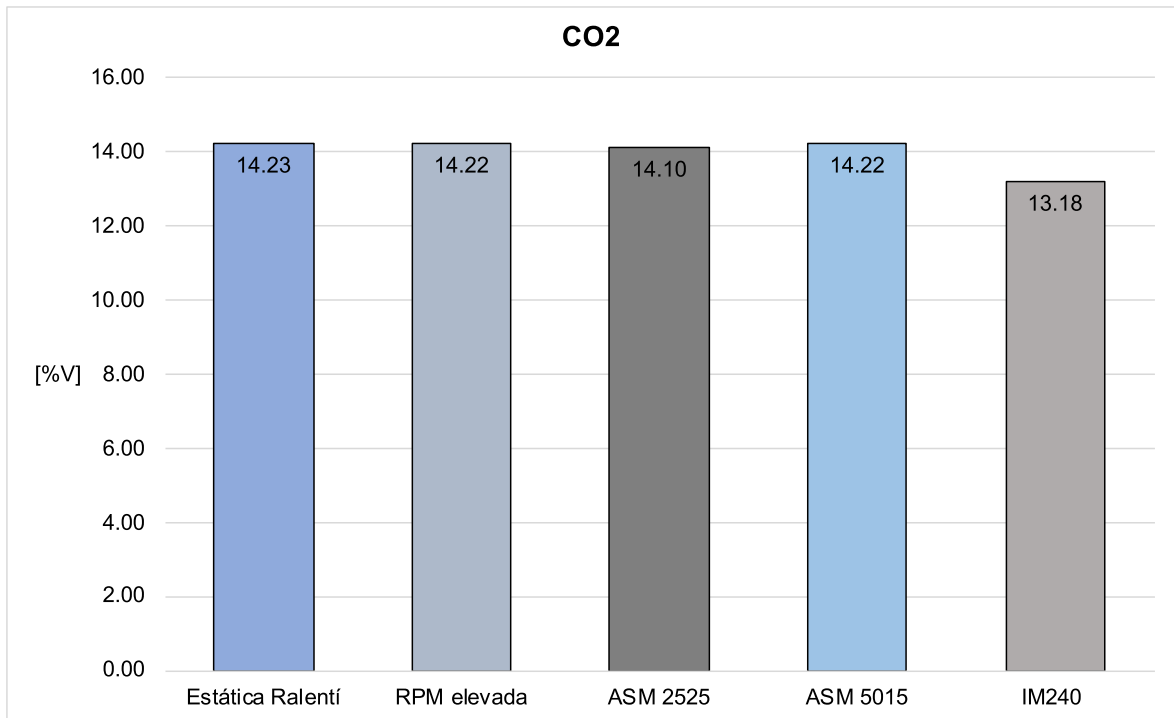


Figura 3.13 Concentración de CO₂ según el ciclo de prueba.

(Fuente: Propia)

En la figura 3.13 se observa que el valor concentración de CO₂ es similar en todos los ciclos. A continuación, se observa en la tabla 3.11 el valor de diferencia de %CO₂ entre los ciclos de prueba ASM e IM240 y el ciclo de prueba estático ralentí que es el que se toma como referencia.

Tabla 3.11 Diferencia de %CO₂ entre ciclos estático y dinámicos.

Ciclos de prueba	CO ₂ [%v]	CO ₂ [%v] Estática Ralentí	Diferencia
ASM 2525	14.10	14.23	0.9%
ASM 5015	14.22	14.23	0.07%
IM240	13.18	14.23	7%

(Fuente: Propia)

Se obtienen los siguientes resultados:

- El resultado de CO₂ con la prueba ASM2525 es 0.9% menor en relación a la prueba estática.

- El resultado de CO₂ con la prueba ASM5015 es 0.07% menor en relación a la prueba estática.
- El resultado de CO₂ con la prueba IM240 es 7% menor en relación a la prueba estática.

Todos los ciclos de prueba dinámicos arrojan resultados menores de %CO₂ con respecto al ciclo de prueba estático, sin embargo, esta diferencia es mínima. Esto indica que para el caso del CO₂ la prueba estática si indica un resultado cercano al real.

3.5 Análisis de resultados de emisiones con normas

3.5.1 Límites de emisiones de la prueba estática

A continuación, en la tabla 3.12 se muestran los valores límite estándar de emisiones para la prueba estática. Estos valores fueron tomados de la norma INEN 2204:2002.

Tabla 3.12 Límites de concentración de emisiones para la prueba estática.

Compuestos	Prueba estática
CO [%v]	1
HC [ppm]	200

(Fuente: INEN 2204:2002)

3.5.2 Límites de emisiones de la prueba ASM

A continuación, en la tabla 3.13 se muestran los valores límites estándar de emisiones para la prueba dinámica ASM. Estos valores fueron tomados de la tabla A3, dada en el artículo 9 de la norma general chilena CVE 1297693 que se encuentran en el ANEXO 4.

Tabla 3.13 Límites de concentración de emisiones para la prueba ASM.

Compuestos	ASM 5015	ASM 2515
CO [%v]	0.78	0.75
HC [ppm]	138	134
NOx [ppm]	1098	992

(Fuente: CVE 1297693)

3.5.3 Límites de emisiones de la prueba IM240

A continuación, en la tabla 3.14 se muestran los valores límites estándar de emisiones para la prueba dinámica IM240 dada por la EPA. Estos valores fueron tomados de la tabla A4 dada por la EPA que se encuentran en el ANEXO 5. Dado que estos límites están dados en g/km, no se puede verificar si los valores de concentración de emisiones encontrados están dentro de los mismos ya que están dados en %. Debido a que este es un ciclo de conducción que se utiliza más en procesos de homologación en su país de origen, las emisiones se miden en g/km a cada segundo del ciclo y esos valores de emisiones no deben superar cierto límite, por otro lado, nuestros resultados de emisiones es un promedio de los valores de todo el ciclo dados en porcentaje.

Tabla 3.14 Límites de factores de emisiones para la prueba IM240

Compuestos	IM240
CO [g/km]	6.21
HC [g/km]	0.372
NO _x [g/km]	0.932

(Fuente: EPA)

Debido a que los límites de emisiones de la EPA para el ciclo IM240 están dados en g/m para el análisis comparativo de gases con límites de normas, solo se consideran los límites del ciclo estático y dinámico ASM.

3.5.4 Análisis comparativo de gases con límites de normas

Monóxido de carbono

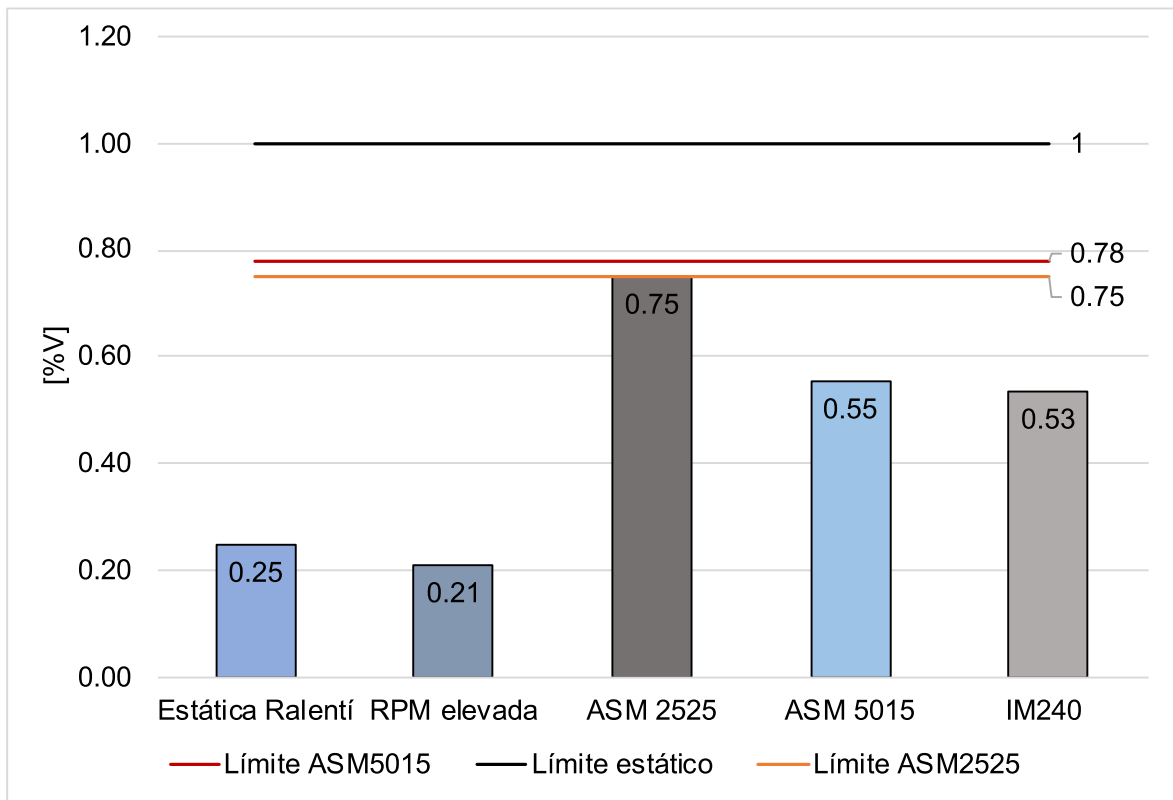


Figura 3.14 Evaluación de concentración de CO según límites reglamentados.

(Fuente: Propia)

Se observa que los valores de Monóxido de carbono CO para cada prueba se encuentran dentro de los límites establecidos por las diferentes normas. Cada ciclo tiene su valor límite en este caso se observa que el valor límite de la prueba estática es mayor al valor límite de la prueba dinámica ASM, además los valores de CO obtenidos con la prueba estática son mucho menores a los obtenidos con la prueba dinámica, esto refleja las inconsistencias que presenta el método estático al evaluar autos con sistemas de control moderno.

Hidrocarburos

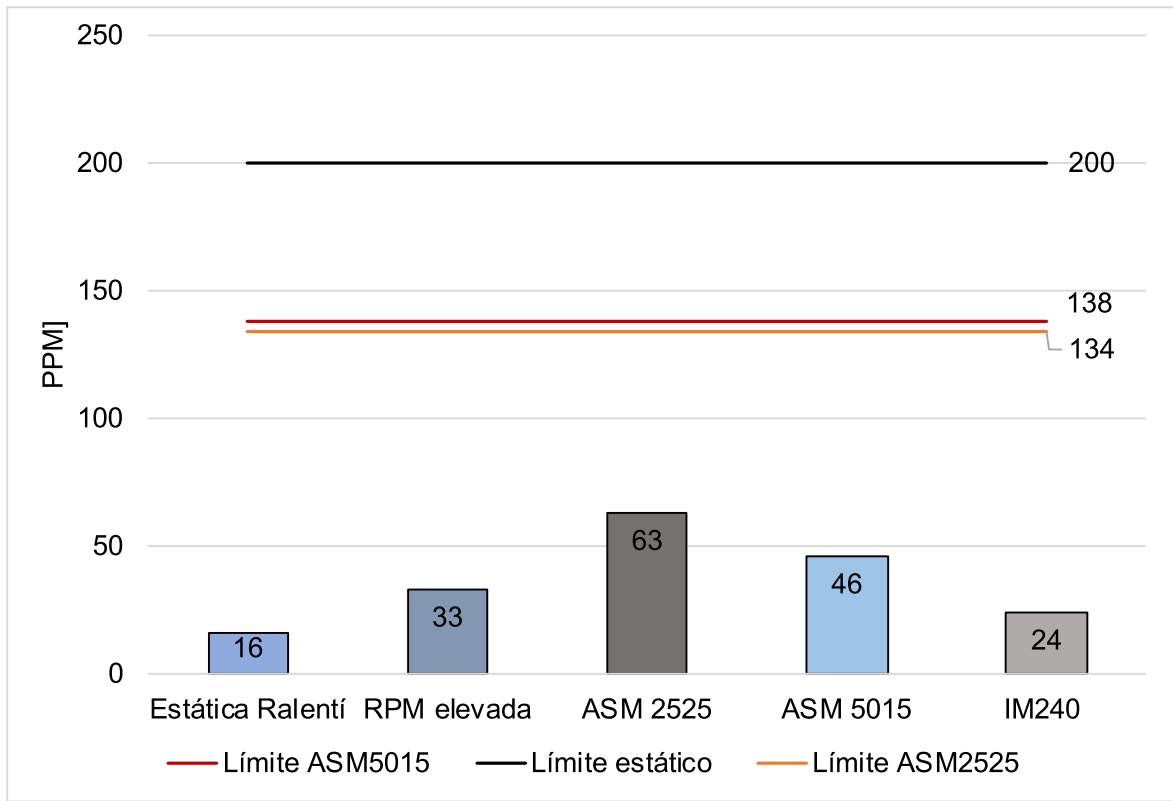


Figura 3.15 Evaluación de concentración de HC según límites reglamentados.

(Fuente: Propia)

Se observa que los valores de Hidrocarburos para cada prueba se encuentran dentro de los límites establecidos por las diferentes normas. Cada ciclo tiene su valor límite en este caso se observa que el valor límite de la prueba estática es considerablemente mayor al valor límite de la prueba dinámica ASM, además los valores de HC obtenidos con la prueba estática son mucho menores a los obtenidos con la prueba dinámica, esto refleja las inconsistencias que presenta el método estático al evaluar autos con sistemas de control moderno.

Óxidos de Nitrógeno

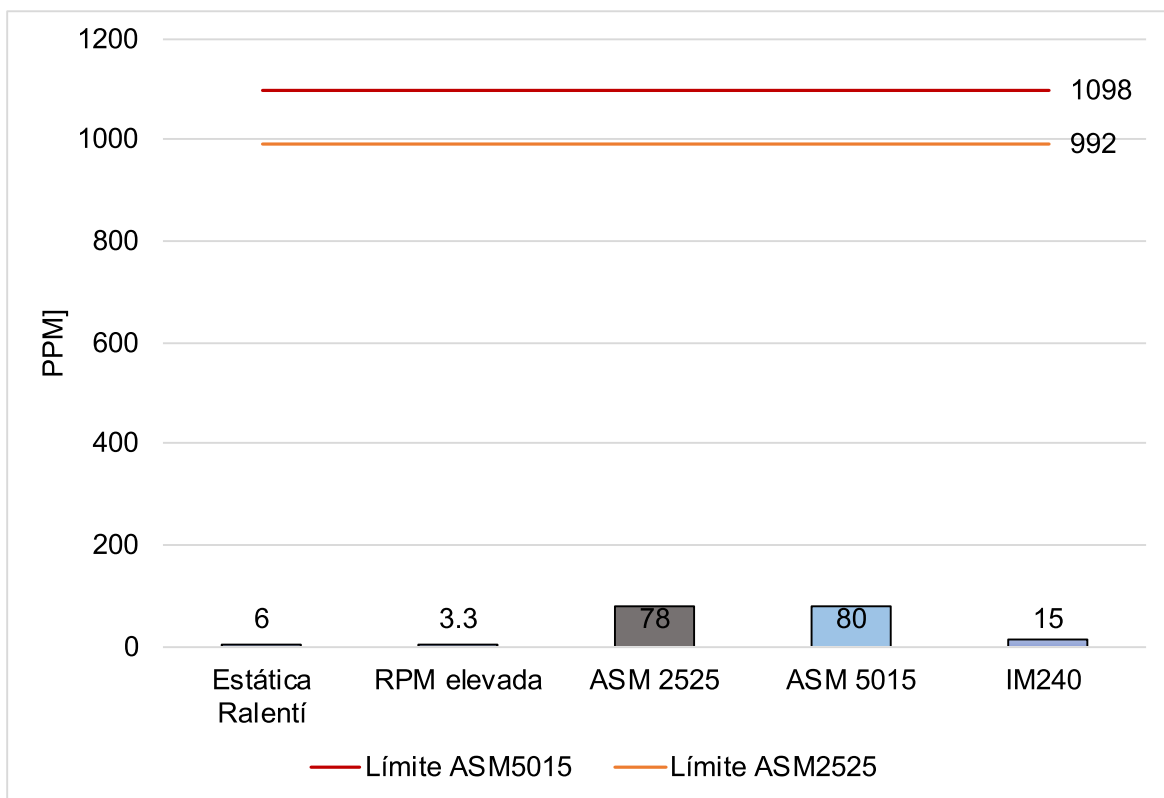


Figura 3.16 Evaluación de concentración de NO_x según límites reglamentados.

(Fuente: Propia)

Se observa que los valores de Óxidos de nitrógeno para cada prueba se encuentran dentro de los límites establecidos por las diferentes normas., además los valores de NO_x obtenidos con la prueba estática son despreciables con respecto a los obtenidos con la prueba dinámica, esto refleja las inconsistencias que presenta el método estático al inspeccionar automóviles con sistemas de control moderno.

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 Conclusiones

- Luego de haber realizado un análisis comparativo de emisiones con cada uno de los ciclos de prueba estáticos y dinámicos se concluye que el método estático es ineficiente para realizar una evaluación de emisiones contaminantes en la revisión técnica vehicular, ya que no se somete el vehículo a carga, en esta condición los vehículos con sistemas de control avanzados presentan emisiones relativamente bajas en comparación con las emisiones reales que emiten cuando circulan.
- El método de prueba dinámico ASM muestra valores de concentración de emisiones considerablemente mayores en comparación al método de prueba estático. La diferencia obtenida para el Monóxido de Carbono (CO) es de 200% para los Hidrocarburos (HC) es de 294% y para los Óxidos de Nitrógeno (NO_x) el valor es de 1200%.
- El método de prueba dinámico IM240 muestra valores de concentración de emisiones mayores en comparación al método de prueba estático. La diferencia obtenida para el Monóxido de Carbono (CO) es de 112% para los Hidrocarburos (HC) es de 50% y para los Óxidos de Nitrógeno (NO_x) el valor es de 150%.
- El método de prueba dinámico es el más adecuado para medir emisiones contaminantes, el mismo se debería implementar en la revisión técnica vehicular ya que realiza mediciones con simulación de carga, además permite cuantificar las emisiones de NO_x reales, necesarias para verificar el estado del convertidor catalítico del auto. Los valores de emisiones de NO_x que mide la prueba estática no reflejan la realidad, por lo tanto en la revisión técnica vehicular de nuestro país no se toman en cuenta para la aprobación de un vehículo, convirtiéndose en un problema grave ya que este compuesto es precursor de ozono troposférico y afecta gravemente a la salud de los seres humanos.
- Los resultados de concentración de emisiones de los ciclos de prueba estático y dinámico ASM están dentro de los límites permisibles indicados en la norma INEN 2204:2002 y norma chilena respectivamente, sin embargo, cabe mencionar que los límites establecidos por la norma INEN 2204:2002 (prueba estática) supera a los límites establecidos por la norma chilena (prueba dinámica).

- Los estudios acerca de emisiones que se realizan con información proporcionada por la RTV no reflejan cantidades reales de emisiones vehiculares, debido a que el método estático muestra resultados que no corresponden a la realidad. Esto impide que se tome medidas más estrictas con respecto al control de emisiones contaminantes, renovación del parque vehicular y calidad de los combustibles.

4.2 Recomendaciones

- Se recomienda a las autoridades de la EPN que se revise y difunda este estudio, para que los diferentes municipios del país analicen la posibilidad de implementar el método de prueba dinámico en la revisión técnica vehicular, para que de esta forma se pueda desarrollar un inventario de emisiones con valores cercanos a la realidad.
- Este estudio se realizó enfocado a vehículos con motores de encendido provocado (gasolina), se debería realizar un estudio aplicando ciclos dinámicos para motores de encendido por compresión (diésel) y determinar cuál es el más eficiente para medir sus emisiones.
- Se debería realizar un análisis de emisiones mediante el ciclo on board (a bordo), para medir las emisiones en un trayecto de conducción real y determinar la diferencia con los resultados de emisiones de los ciclos realizados en este trabajo.

BIBLIOGRAFÍA

- Baca, J. C. (2014). *Informe Final Inventario de Emisiones de Contaminantes Criterio, DMQ 2011*. <http://www.quitoambiente.gob.ec/ambiente/index.php/informes#inventario-de-emisiones-2011>
- Bickel Jon. (2001). *Revisión Técnica de Vehículos Límites Máximos Permisibles de Emisiones*.
- Boles Yunus, A. Çengel, M. A. (2009). *Termodinámica* (6th ed.). McGrawHill.
- Bosh, R. (2005). *Manual de la técnica del automóvil BOSCH* (3rd ed.). Reverté.
- BT Ingenieros. (n.d.). *Tester comprobador de sondas lambda - BT Ingenieros*. Retrieved February 25, 2021, from <https://www.bt-ingenieros.com/testers-y-comprobadores-electricos/2771-tester-comprobador-para-sondas-lambda.html>
- Caiza, P., & Portilla, Á. (2011). *Determinación de la Influencia de la Altura en Emisiones Contaminantes de un Vehículo con Motor de Ciclo Otto, de Inyección Electrónica de Gasolina*. Escuela Politécnica Nacional.
- Dieselnet. (n.d.). *Emission Test Cycles*. Retrieved March 1, 2021, from <https://dieselnet.com/standards/cycles/index.php>
- El papel de la sonda Lambda en la admisión de combustible*. (n.d.). Retrieved February 27, 2021, from <https://www.nitro.pe/mecanico-nitro/el-papel-de-la-sonda-lambda-en-la-admision-de-combustible.html>
- Encinar, R. (2015). *Control de emisiones contaminantes en Europa y Estados Unidos*. https://www.fundacionmapfre.org/documentacion/publico/es/catalogo_imagenes/grupo.cmd?path=1086294
- EPA. (n.d.). *Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos | US EPA*. Retrieved February 27, 2021, from <https://espanol.epa.gov/>

Foro Hamilton - Foros. (n.d.). Retrieved February 26, 2021, from <https://hamilton.mforos.com/>

Galván, A., Melo, O., & Alcantara, E. (2014). *Inspección técnica vehicular en América Latina* (CAF (Ed.)). Banco de desarrollo de América Latina CAF. <http://scioteca.caf.com/bitstream/handle/123456789/793/InspeccionTecnicaVehicular2015-26ago.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Hardenberg, H. O., & Committee, S. A. E. H. (1999). *The Middle Ages of the Internal-combustion Engine, 1794-1886*. Society of Automotive Engineers. <https://books.google.com.ec/books?id=4xViQgAACAAJ>

Instituto Ecuatoriano de Normalización. (2000). *Gestión ambiental. Aire. Vehículos automotores. Determinación de la concentración de emisiones de escape en condiciones de marcha mínima o "ralenti". Prueba estática.*

Instituto Ecuatoriano de Normalización. (2002). *Gestión ambiental aire vehiculos automotores. Límites permitidos de emisiones producidas por fuentes móviles terrestres de gasolina.*

Ministerio del Medio Ambiente. (2016). *Plan de prevención y descontaminación atmosférica para la región metropolitana de Santiago.*

Payri, F., & Desantes, J. M. (2011). *Motores de combustión interna alternativos*. Editorial Reverté. <https://riunet.upv.es/handle/10251/70998?show=full#.XS-S8qUSHMQ.mendeley>

Recalde, M., & Revelo, R. (2015). *Análisis de emisiones en vehículos a gasolina utilizando pruebas estacionaria y dinámica mediante ciclo IM-240*. Escuela Politécnica Nacional.

Samaras, Z., & Zachariadis, T. (1995). *The Inspection of In-Use Cars in Order to Attain Minimum Emissions of Pollutants and Optimum Energy Efficiency*. 45.

Secretaría de medio ambiente y recursos naturales. (1999). *Norma oficial mexicana NOM-047-SEMARNAT-1999 que establece las características del equipo y el procedimiento de medición para la verificación de los límites de emisión de contaminantes,*

provenientes de los vehículos automotores en circulación que usan ga.

Triola, M. (2008). *Estadística* (10th ed.). Pearson Educación.

Unites States Environmental Protection Agency. (2004). *Acceleration Simulation Mode Test Procedures, Emission Standards, Quality Control Requirements, And Equipment Specifications.*

Unites States Environmental Protection Agency. (2000). *IM240 & Evap Technical Guidance.*

Urbina Guzmán, A. J. (2016). *Comparación de factores de emisión vehicular al utilizar ciclos de conducción IM240 y on board en la ciudad de Quito.* 16. <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/15097>

Vallencillos, M. (n.d.). *UF1216 - Mantenimiento de sistemas auxiliares del motor de ciclo otto.* Retrieved February 25, 2021, from [https://books.google.com.ec/books?id=q31XDwAAQBAJ&pg=PA327&lpg=PA327&dq=%22Con+una+relación+%22lambda+%3D+1%22,+se+produce+una+combustión+perfecta,+el+aire+aspirado+coincide+con+el+teórico+\(el+aire+aspirado+es+el+100+%25+del+teórico+necesario\).+Con+una+r](https://books.google.com.ec/books?id=q31XDwAAQBAJ&pg=PA327&lpg=PA327&dq=%22Con+una+relación+%22lambda+%3D+1%22,+se+produce+una+combustión+perfecta,+el+aire+aspirado+coincide+con+el+teórico+(el+aire+aspirado+es+el+100+%25+del+teórico+necesario).+Con+una+r)

Viera, L. (2019). *Acreditación para organismos que realizan inspección técnica vehicular-ITV.* 1–10.

Wikipedia. (2013). *Convertidor catalítico.* https://es.wikipedia.org/wiki/Convertidor_catalítico

Www.comitelc.airelimpio.org.pe Magazines. (n.d.). Retrieved March 1, 2021, from <https://www.yumpu.com/es/www.comitelc.airelimpio.org.pe>

Scioteca. (n.d.). Retrieved March 1, 2021, from <https://scioteca.caf.com/>

Le proporcionamos las herramientas cómodas y gratuitas para publicar y compartir la información. (n.d.). Retrieved March 1, 2021, from <http://docplayer.es/>

Solo lo basico. (n.d.). Retrieved March 1, 2021, from <http://sololobasicode.blogspot.com/>

idUS - Depósito de Investigación de la Universidad de Sevilla. (n.d.). Retrieved March 1, 2021, from <https://idus.us.es/>

eduardomartinezconalep183 | Just another WordPress.com site. (n.d.). Retrieved March 1, 2021, from <https://eduardomartinezconalep183.wordpress.com/>

Looking For A Professional Download PDF Documents Platform - MOAM.INFO. (n.d.). Retrieved March 1, 2021, from <https://moam.info/>

Page d'accueil - MAHA Maschinenbau Haldenwang GmbH & Co KG. (n.d.). Retrieved March 1, 2021, from <https://www.maha-france.fr/>

Repositorio Institucional de Documentos. (n.d.). Retrieved March 1, 2021, from <https://zaguan.unizar.es/>

Wikipedia, la enciclopedia libre. (n.d.). Retrieved March 1, 2021, from <https://es.wikipedia.org/wiki/Wikipedia:Portada>

El papel de la sonda Lambda en la admisión de combustible. (n.d.). Retrieved February 27, 2021, from <https://www.nitro.pe/mecanico-nitro/el-papel-de-la-sonda-lambda-en-la-admision-de-combustible.html>

Gases de Escape y Sistemas Anticontaminación 1er Parte ... en Taringa! (n.d.). Retrieved February 26, 2021, from https://www.taringa.net/+autos_motos/gases-de-escape-y-sistemas-anticontaminacion-1er-parte_xbu5z

Avances y retrasos de válvulas - Wikipedia, la enciclopedia libre. (n.d.). Retrieved February 25, 2021, from https://es.m.wikipedia.org/wiki/Avances_y_retrasos_de_válvulas

Emission Test Cycles. (n.d.). Retrieved February 25, 2021, from <https://dieselnet.com/standards/cycles/index.php>

Aficionados a la Mecánica. (n.d.). Retrieved February 25, 2021, from <http://aficionadosalamecanica.blogspot.com/>

I/M240 LOADED MODE VEHICLE EMISSIONS TESTING. (n.d.). Retrieved February 25, 2021, from <https://www.aa1car.com/library/im240.htm>

32% del parque automotor del Ecuador tiene más de 12 años – AEADE. (n.d.). Retrieved February 25, 2021, from <https://www.aeade.net/32-del-parque-automotor-del-ecuador-tiene-mas-de-12-anos/>

El motor Otto de 4 tiempos. (n.d.). Retrieved February 25, 2021, from <https://es.slideshare.net/nicolascalado/el-motor-otto-de-4-tiempos>

5. *Motores de combustión interna - Tecnología Industrial Bachillerato.* (n.d.). Retrieved February 25, 2021, from <https://sites.google.com/site/federubiotecindbachillerato/home/2o-bachillerato/mquinas/5-motores-de-combustion-interna>

ActualidadMotor. (2015). *La válvula EGR: qué es, funcionamiento y averías.* <https://www.actualidadmotor.com/valvula-egr-que-es-funcionamiento-averias/>

ANEXOS

ANEXO 1: Determinación de la concentración de emisiones de escape en condiciones de marcha mínima o ralentí prueba estática.

Fundamento

- El principio de operación se basa en la absorción de luz infrarroja no dispersa de gases para la determinación de hidrocarburos, monóxido y dióxido de carbono.
- El oxígeno se mide utilizando una celda de combustible (fuel cell). Esto no excluye el uso de equipos con otro principio de operación, siempre y cuando sean homologados.

Equipos

- Capacidad de autocalibración. Los equipos de medición deben tener incorporada la función propia de autocalibración, la cual se debe realizar automáticamente cada vez que el equipo es encendido, o manualmente cada vez que el usuario lo requiera.
- Los equipos deben contar con un tacómetro para la medición de las revoluciones del motor.
- El equipo debe disponer de características de seguridad que garanticen la protección del operador.

Calibración

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

- La calibración anterior es independiente de la autocalibración automática que realiza el equipo cada vez que es encendido.
- El gas de calibración debe cumplir con los requisitos establecidos en la norma ISO 6145. Este gas debe contar con una certificación emitida por el fabricante, de acuerdo con lo establecido en la norma anteriormente indicada.

Procedimiento de medición

- Someter al equipo a un periodo de calentamiento y estabilización, según las especificaciones del fabricante.
- Retirar todo material en forma de partículas y eliminar toda sustancia extraña o agua, que se hayan acumulado en la sonda de prueba y que puedan alterar las lecturas de la muestra.
- Revisar que la transmisión del vehículo esté en neutro (transmisión manual) o parqueo (transmisión automática).
- Revisar que el control manual del ahogador (choque), no se encuentre en operación, y que los accesorios del vehículo (luces, aire acondicionado, etc.), estén apagados.
- Revisar en el vehículo que el sistema de escape se encuentre en perfectas condiciones de funcionamiento y sin ninguna salida adicional a las del diseño que provoque dilución de los gases de escape o fugas de los mismos.
- Las salidas adicionales a las contempladas en el diseño original no deben ser aceptadas, aunque éstas se encuentren bloqueadas al momento de la prueba.
- Si el vehículo no cumple con las condiciones establecidas en el numeral anterior, la prueba no se debe realizar hasta que se corrijan aquellas.
- Revisar que el nivel del aceite del cárter esté entre el mínimo y máximo recomendado por el fabricante, con el motor apagado y el vehículo en posición horizontal.

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

ANEXO 2: Preparación de equipos y preacondicionamiento de pruebas ASM según EPA

Preparación de equipos

- El analizador alcanzará la estabilidad dentro de los 30 minutos posteriores al inicio. Si el analizador no alcanza la estabilidad dentro del plazo asignado, permanecerá bloqueado fuera de las pruebas.
- Mientras el equipo está en funcionamiento, el sistema se purgará continuamente después de cada prueba durante al menos 15 minutos si no se toma mediciones.
- La sonda de muestra se insertará en el tubo de escape del vehículo a una profundidad mínima de 10 pulgadas.
- El analizador realizará ajustes automáticos a cero utilizando el gas cero especificado.
- El aire ambiente filtrado se introducirá en el analizador antes de la bomba de muestra, pero después de la sonda de muestra, la manguera y el filtro.
- Cuando la temperatura ambiente excede los 72 °F, la prueba no comenzará hasta que el ventilador del sistema de enfriamiento este posicionado y activado. El sistema de enfriamiento será posicionado para dirigir el aire al sistema de enfriamiento del vehículo, pero no debe dirigirse al convertidor catalítico.
- Los dinamómetros que no tienen compensación de temperatura se calentarán automáticamente antes de las pruebas y se bloquearán hasta calentarse.

- Ajustes de dinamómetro de absorción de potencia e inercia será elegido automáticamente de un aspecto electrónico suministrado o aprobado por la EPA tabla que se referenciará en función de la información de identificación del vehículo.

Pre acondicionamiento y preparación del vehículo

- Todos los accesorios (aire acondicionado, calefacción, desempañador, radio, tracción automática) deberán estar apagados.
- Los vehículos con AWD control de tracción que no puedan apagarse deberán solo se probará en dinamómetros AWD. Si la función AWD se puede deshabilitar, entonces pueden probarse en dinamómetros de dos ruedas motrices.
- Se inspeccionará el vehículo para detectar fugas de escape. Se realiza una evaluación de audio mientras se bloquea el flujo de escape, o la medición de gas de dióxido de carbono u otros gases deberá ser bien revisada. Los vehículos con sistemas de escape con fugas serán rechazados de la prueba.
- Se inspeccionará el vehículo para detectar fugas de fluido. Vehículos con fugas de aceite del motor, de fluido de la transmisión o el refrigerante se rechazarán de la prueba.
- Vehículos con problemas mecánicos obvios (motor, transmisión, frenos o escape) que crean un peligro para la seguridad serán rechazados de la prueba.
- El vehículo deberá estar a la temperatura normal de funcionamiento antes del comienzo de la prueba. Los vehículos en condiciones de sobrecalentamiento serán rechazados de pruebas.
- Los neumáticos de las ruedas motrices que parezcan bajos deberán ser inflados a aproximadamente 30 psi, o a la presión indicada por el fabricante en la pared lateral del neumático.
- Pre acondicionamiento sin carga, se aumenta la velocidad del motor a aproximadamente 2500 RPM, por hasta 4 minutos, con o sin tacómetro.

TABLA A1. Valores predeterminados de potencia para dinamómetros de 8,6" y 20" (ASM5015).

**Default ASM5015 Actual Horsepower Settings
For 8.6" Dynamometers HP5015₈**

Vehicle Type	Number of Cylinders				
	3	4	5 & 6	8	> 8
Sedans	7.9	11.4	13.8	16.4	16.0
Station Wagons	8.1	11.7	13.8	16.1	16.1
Mini-vans	10.2	14.1	15.8	17.9	18.2
Pickup Trucks	9.6	13.1	16.4	19.2	21.1
Sport/Utility	10.1	13.4	15.5	19.4	21.1
Full Vans	10.3	13.9	17.7	19.6	20.5

**Default ASM5015 Actual Horsepower Settings
For 20" Dynamometers HP5015₂₀**

Vehicle Type	Number of Cylinders				
	3	4	5 & 6	8	> 8
Sedans	8.1	11.8	14.3	16.9	16.6
Station Wagons	8.3	12.1	14.2	16.6	16.6
Mini-vans	10.4	14.5	16.3	18.5	18.7
Pickup Trucks	9.8	13.4	16.8	19.8	21.7
Sport/Utility	10.5	13.8	15.9	19.9	21.7
Full Vans	10.8	14.4	18.2	20.2	21.1

TABLA A2. Valores predeterminados de potencia para dinamómetros de 8,6" y 20" (ASM2525).

Default ASM2525 Actual Horsepower Settings
For 8.6" Dynamometers HP2525₈

Vehicle Type	Number of Cylinders				
	3	4	5 & 6	8	> 8
Sedans	6.7	9.5	11.5	13.7	13.3
Station Wagons	6.8	9.7	11.5	13.4	13.3
Mini-vans	8.8	11.7	13.2	14.9	15.3
Pickup Trucks	8.0	10.9	13.6	16.0	17.8
Sport/Utility	8.8	11.2	12.9	16.1	17.8
Full Vans	9.0	11.6	14.7	16.3	17.2

Default ASM2525 Actual Horsepower Settings
For 20" Dynamometers HP2525₂₀

Vehicle Type	Number of Cylinders				
	3	4	5 & 6	8	> 8
Sedans	6.9	10.1	12.3	14.5	14.3
Station Wagons	7.0	10.4	12.2	14.2	14.4
Mini-vans	8.9	12.5	14.0	15.9	16.3
Pickup Trucks	8.1	11.4	14.4	16.9	18.8
Sport/Utility	8.9	11.8	13.6	17.1	18.8
Full Vans	9.1	12.5	15.5	17.3	18.3

ANEXO 3: Configuración de equipos y acondicionamiento para prueba IM-240 según EPA

Posicionamiento y configuración del equipo

- Antes del inicio de la prueba, los rodillos deberán rotarse hasta que el vehículo se estabilice lateralmente en el dinamómetro.
- Si se usa un sistema de enfriamiento, la prueba no comenzará hasta que el sistema de enfriamiento esté colocado y activado. El sistema de enfriamiento se colocará para dirigir el aire al sistema de enfriamiento del vehículo, pero no se dirigirá al convertidor catalítico.
- Las configuraciones de absorción de potencia del dinamómetro y peso de inercia se elegirán automáticamente de una tabla de consulta electrónica provista por la EPA a la que se hará referencia en base a la información de identificación del vehículo obtenida.
- El sistema de recolección de escape se colocará para asegurar la captura completa de toda la corriente de escape del tubo de escape durante el ciclo de conducción transitoria.
- Cualquier vehículo puede acondicionarse maniobrando el vehículo hacia el dinamómetro y conduciendo el segmento de 94 a 239 segundos del ciclo transitorio. Se ha demostrado que este método acondiciona adecuadamente la gran mayoría de los vehículos (SAE 962091).

Pre acondicionamiento y preparación del vehículo

- Todos los accesorios (aire acondicionado, calefacción, desempañador, radio, tracción automática) deberán estar apagados.
- Los vehículos con 4WD control de tracción que no puedan apagarse deberán solo se probará en dinamómetros 4WD. Si la función 4WD se puede deshabilitar, entonces pueden probarse en dinamómetros de dos ruedas motrices.

- Se inspeccionará el vehículo para detectar fugas de escape. Se realiza una evaluación de audio mientras se bloquea el flujo de escape, o la medición de gas de dióxido de carbono u otros gases deberá ser bien revisada. Los vehículos con sistemas de escape con fugas serán rechazados de la prueba.
- Se inspeccionará el vehículo para detectar fugas de fluido. Vehículos con fugas de aceite del motor, de fluido de la transmisión o el refrigerante se rechazarán de la prueba.
- Vehículos con problemas mecánicos obvios (motor, transmisión, frenos o escape) que crean un peligro para la seguridad serán rechazados de la prueba.
- El vehículo deberá estar a la temperatura normal de funcionamiento antes del comienzo de la prueba. Los vehículos en condiciones de sobrecalentamiento serán rechazados de pruebas.
- Los neumáticos de las ruedas motrices que parezcan bajos deberán ser inflados a aproximadamente 30 psi, o a la presión indicada por el fabricante en la pared lateral del neumático.

Condiciones de prueba

- Las variaciones de velocidad mayores que las tolerancias (como las que pueden ocurrir durante los cambios de marcha) son aceptables siempre que ocurran durante no más de 2 segundos en cualquier ocasión.
- Las velocidades inferiores a las prescritas durante las aceleraciones son aceptables siempre que el vehículo funcione a la potencia máxima disponible durante dichas aceleraciones hasta que la velocidad del vehículo esté dentro de los límites de excursión.
- Se medirá la distancia real recorrida para la conducción transitoria. Si la diferencia absoluta entre la distancia medida y la distancia teórica para la prueba real excede 0.05 millas, la prueba será nula.

- Las paradas del vehículo durante la prueba anularán la prueba y darán como resultado una nueva prueba. Más de 3 paradas resultarán en el rechazo de la prueba del vehículo.

ANEXO 4: Límites de emisiones de la prueba ASM según la norma general chilena

TABLA A3. Límites de emisión vehículos livianos de la norma chilena cve 1297693.

I.E. [kg]	Vehículos Livianos de Pasajeros con Sello Verde o Sello Amarillo					
	HC [ppm]		CO [% Volumen]		NO [ppm]	
	Modo 5015	Modo 2525	Modo 5015	Modo 2525	Modo 5015	Modo 2525
794	179	173	1,01	0,98	1455	1314
850	170	164	0,95	0,93	1370	1238
907	161	155	0,90	0,87	1293	1168
964	153	147	0,86	0,83	1222	1104
1021	146	140	0,82	0,79	1157	1046
1077	138	134	0,78	0,75	1098	992
1134	133	128	0,74	0,72	1043	943
1191	127	122	0,71	0,69	994	898
1247	122	118	0,68	0,66	949	858
1304	117	113	0,66	0,63	907	821
1361	113	109	0,63	0,61	870	787
1417	109	106	0,61	0,58	836	756
1474	106	102	0,58	0,57	805	728
1531	102	98	0,57	0,55	776	702
1588	99	96	0,55	0,54	750	678
1644	96	94	0,54	0,52	726	657
1701	94	91	0,52	0,50	703	637
1758	91	89	0,50	0,49	682	618
1814	90	86	0,50	0,48	663	601
1871	87	85	0,48	0,46	646	585

ANEXO 5: Límites de emisiones de la prueba IM-240 según la EPA

TABLA A4. Emisiones estándar en gramos por milla de la prueba IM240.

Final Standards. The following exhaust emissions standards, in grams per mile, are recommended for vehicles tested in the calendar years 1997 and later. Tier 1 standards are recommended for all 1996 and newer vehicles but may be used for 1994 and newer vehicles.

(i) Light Duty Vehicles.

<u>Model Years</u>	<u>Hydrocarbons</u>		<u>Carbon Monoxide</u>		<u>Oxides of Nitrogen</u>	
	Composite	Phase 2	Composite	Phase 2	Composite	Phase 2
1996+	0.60	0.40	10.0	8.0	1.5	1.5
1983-1995	0.80	0.50	15.0	12.0	2.0	2.0
1981-1982	0.80	0.50	30.0	24.0	2.0	2.0
1980	0.80	0.50	30.0	24.0	4.0	4.0
1977-1979	3.00	2.00	65.0	52.0	4.0	4.0
1975-1976	3.00	2.00	65.0	52.0	6.0	6.0
1973-1974	7.00	4.50	120	96.0	6.0	6.0
1968-1972	7.00	4.50	120	96.0	7.0	7.0

ANEXO 6: Comportamiento de los gases durante el ciclo ASM

Prueba 1



Figura A1. Comportamiento del CO en el ciclo ASM (prueba1).

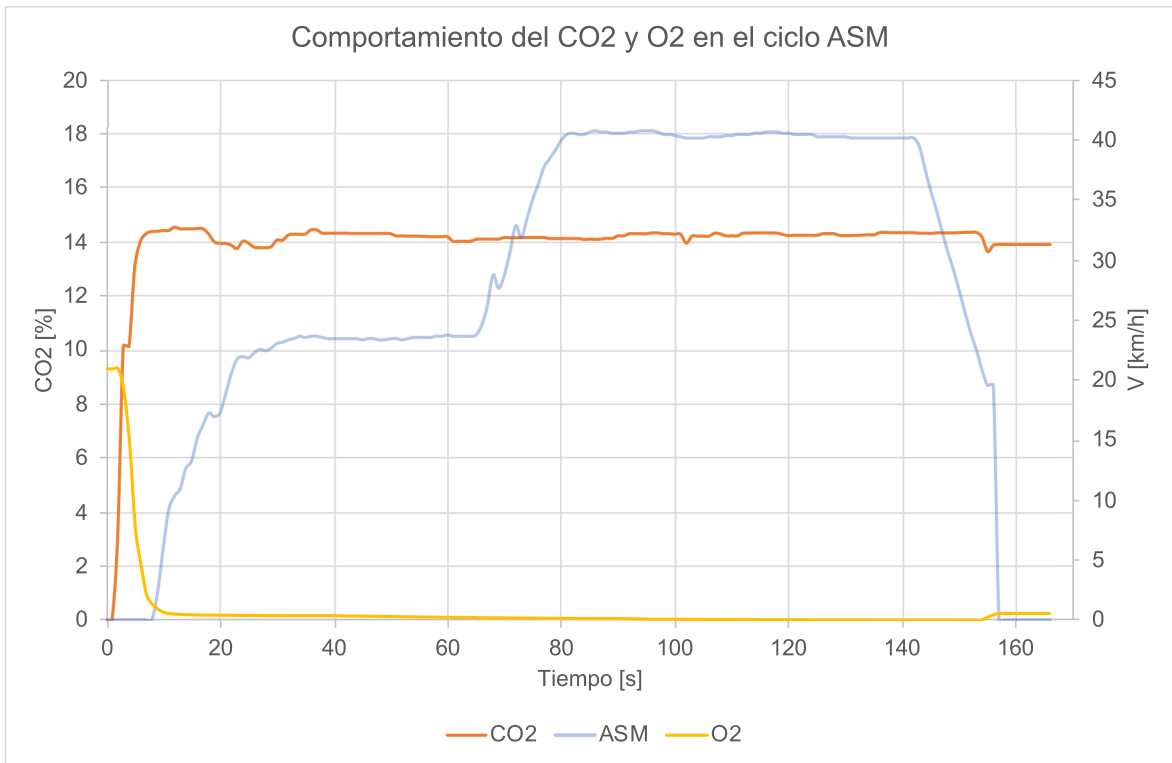


Figura A2. Comportamiento del CO2 y O2 en el ciclo ASM (prueba1).



Figura A3. Comportamiento del HC en el ciclo ASM (prueba1).

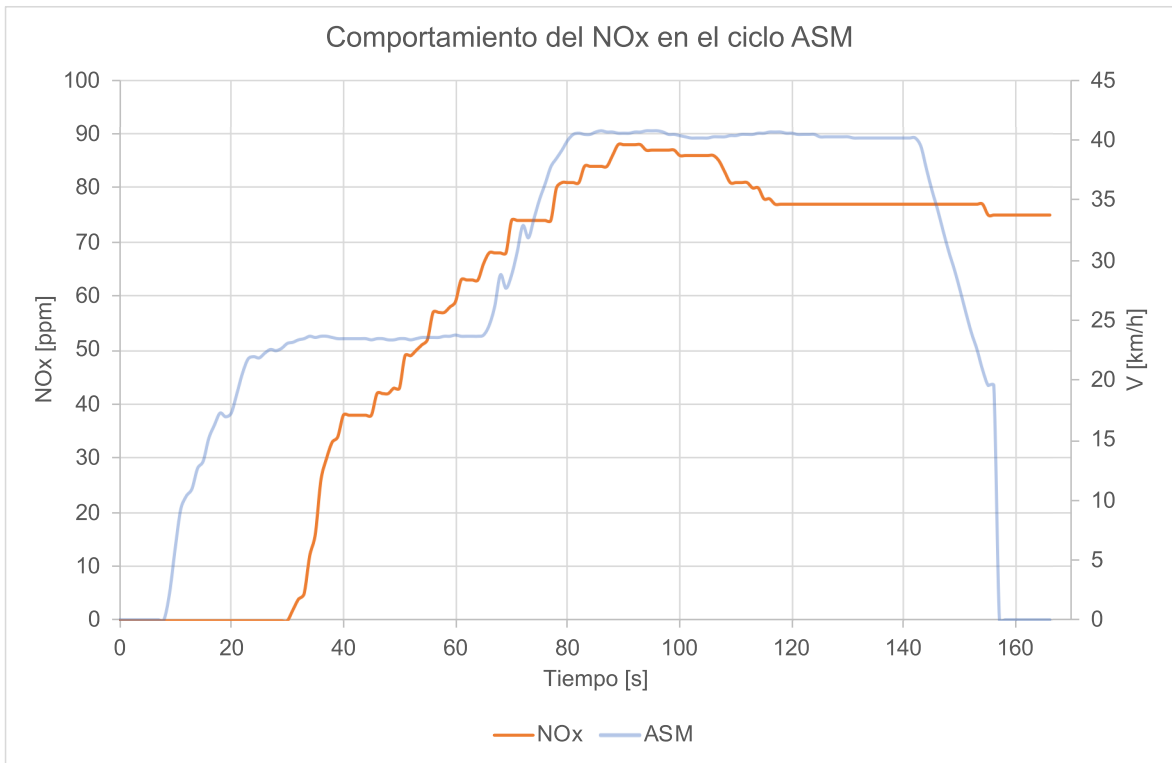


Figura A4. Comportamiento del NOx en el ciclo ASM (prueba1).

Prueba 3

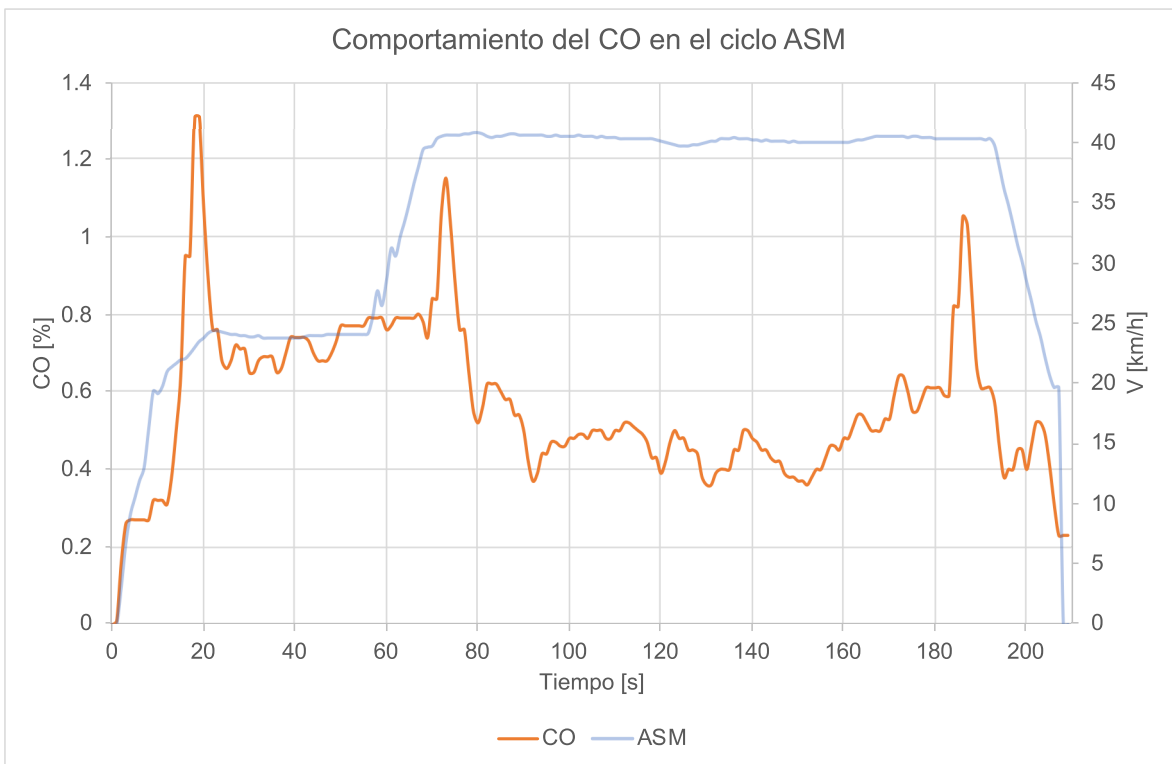


Figura A5. Comportamiento del CO en el ciclo ASM (prueba3).

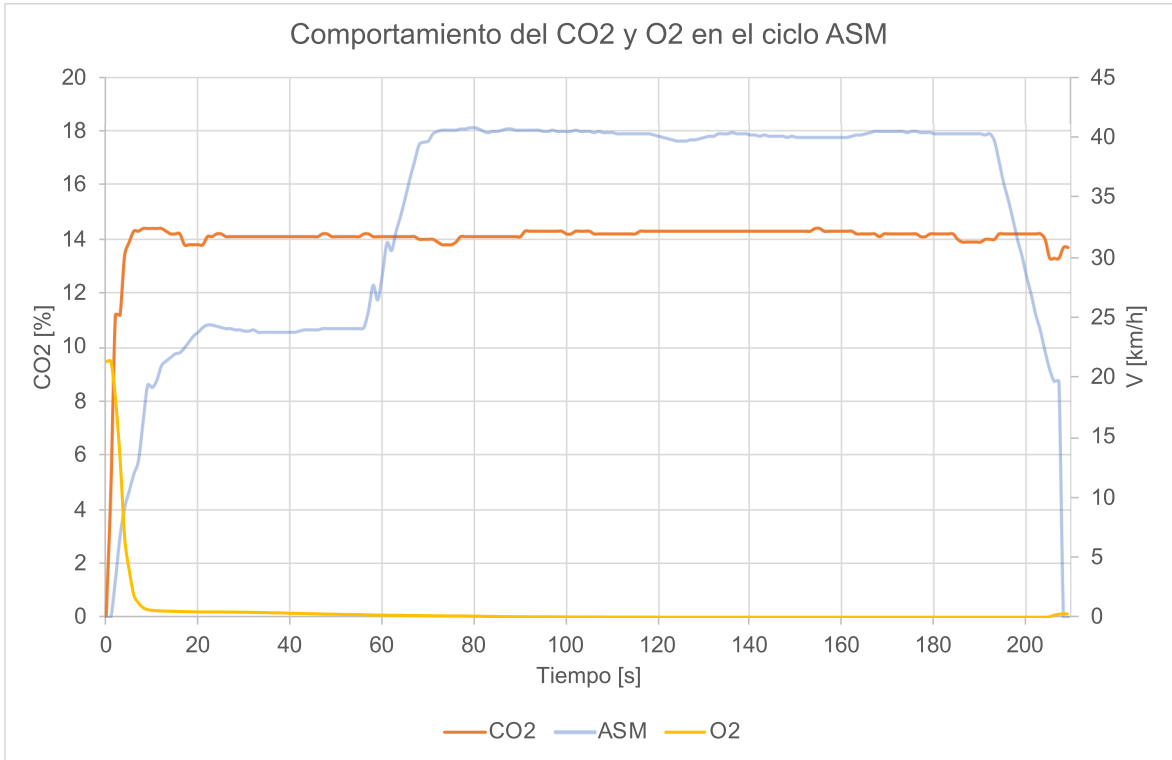


Figura A6. Comportamiento del CO2 y O2 en el ciclo ASM (prueba3).



Figura A7. Comportamiento del HC en el ciclo ASM (prueba3).

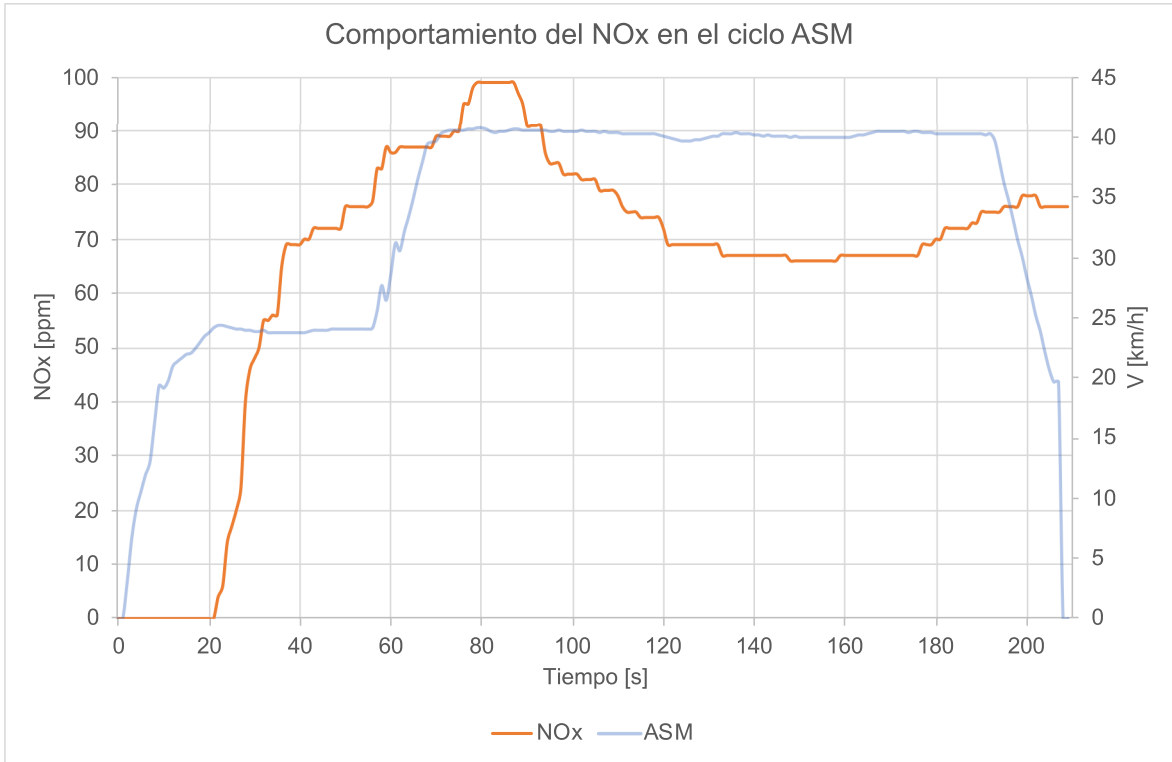


Figura A8. Comportamiento del NOx en el ciclo ASM (prueba3).

Prueba 4

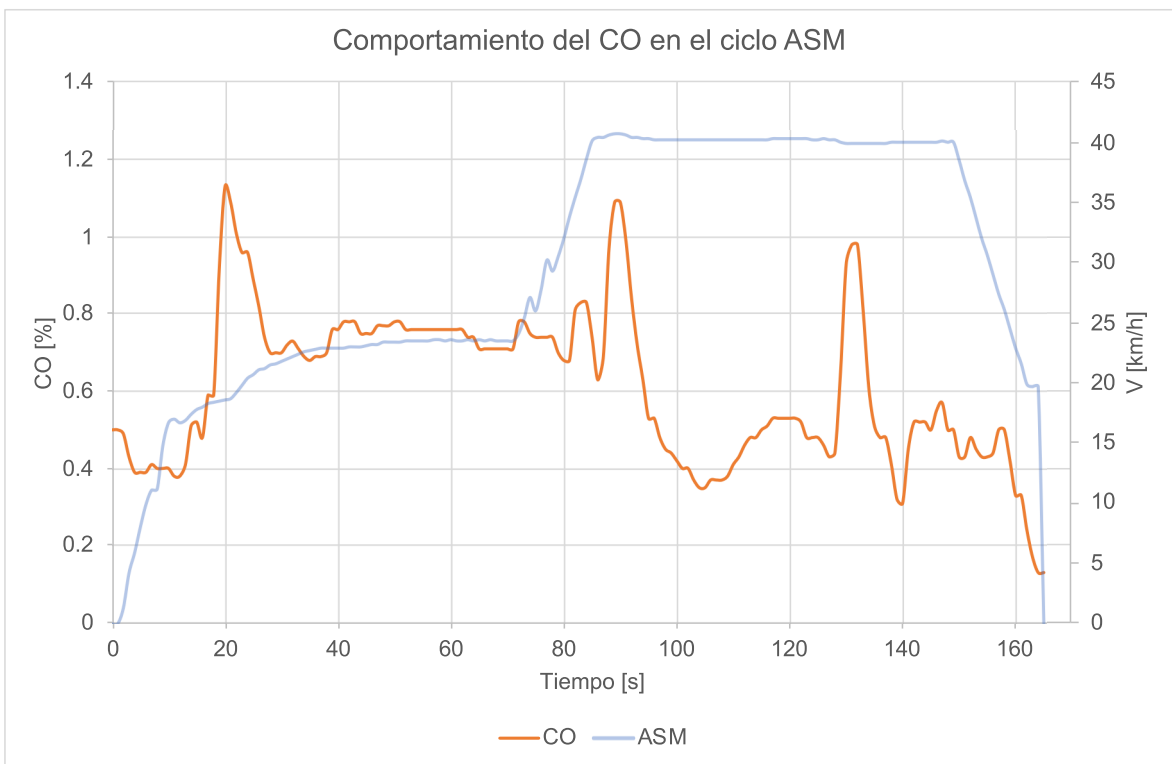


Figura A9. Comportamiento del CO en el ciclo ASM (prueba 4).

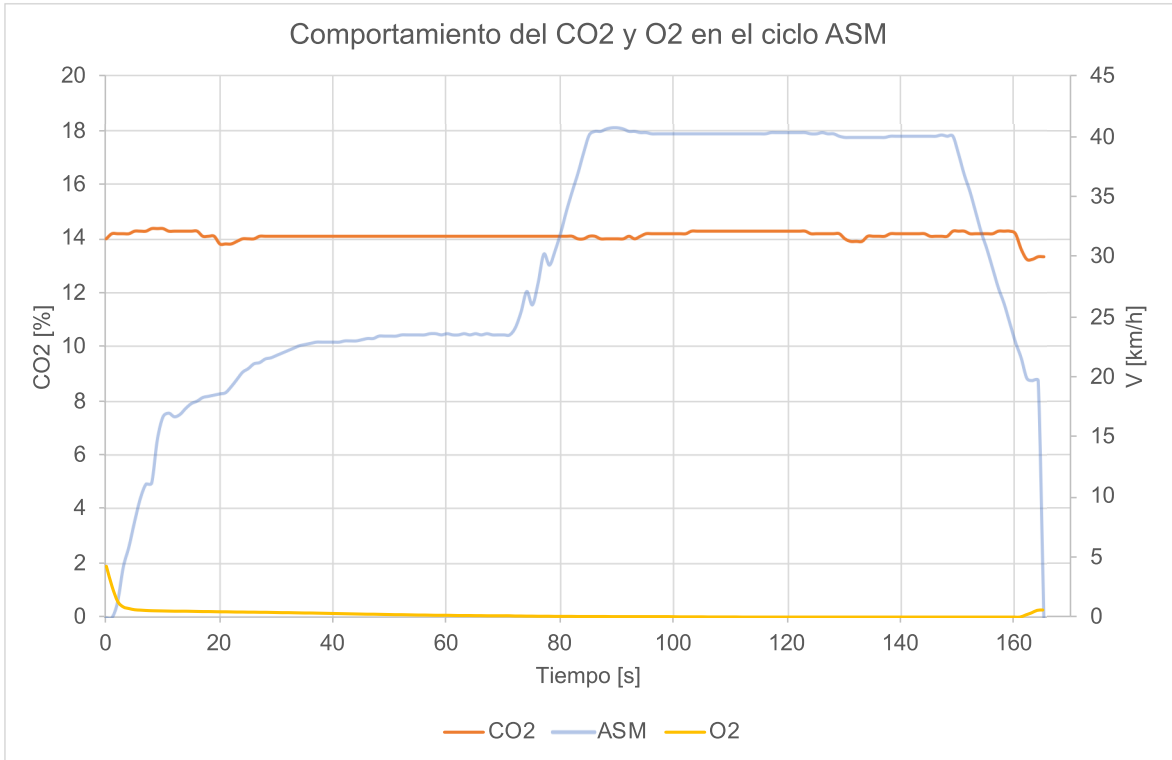


Figura A10. Comportamiento del CO2 y O2 en el ciclo ASM (prueba 4).

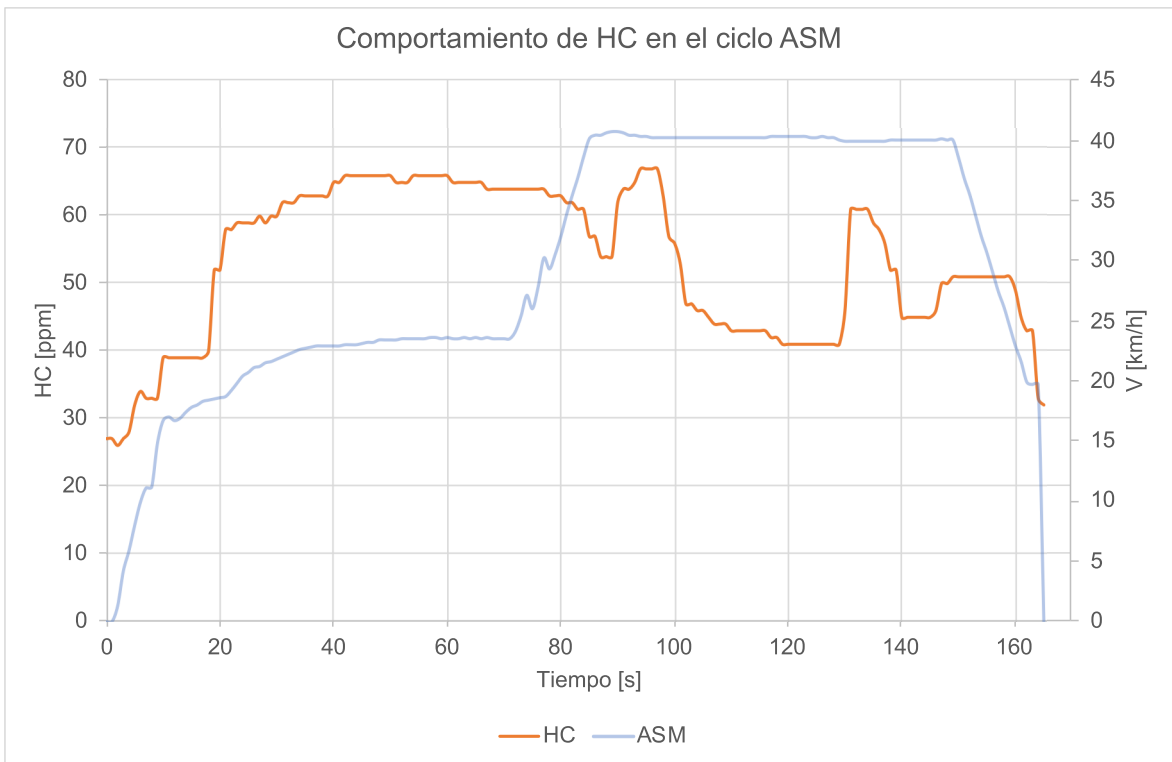


Figura A11. Comportamiento del HC en el ciclo ASM (prueba 4).

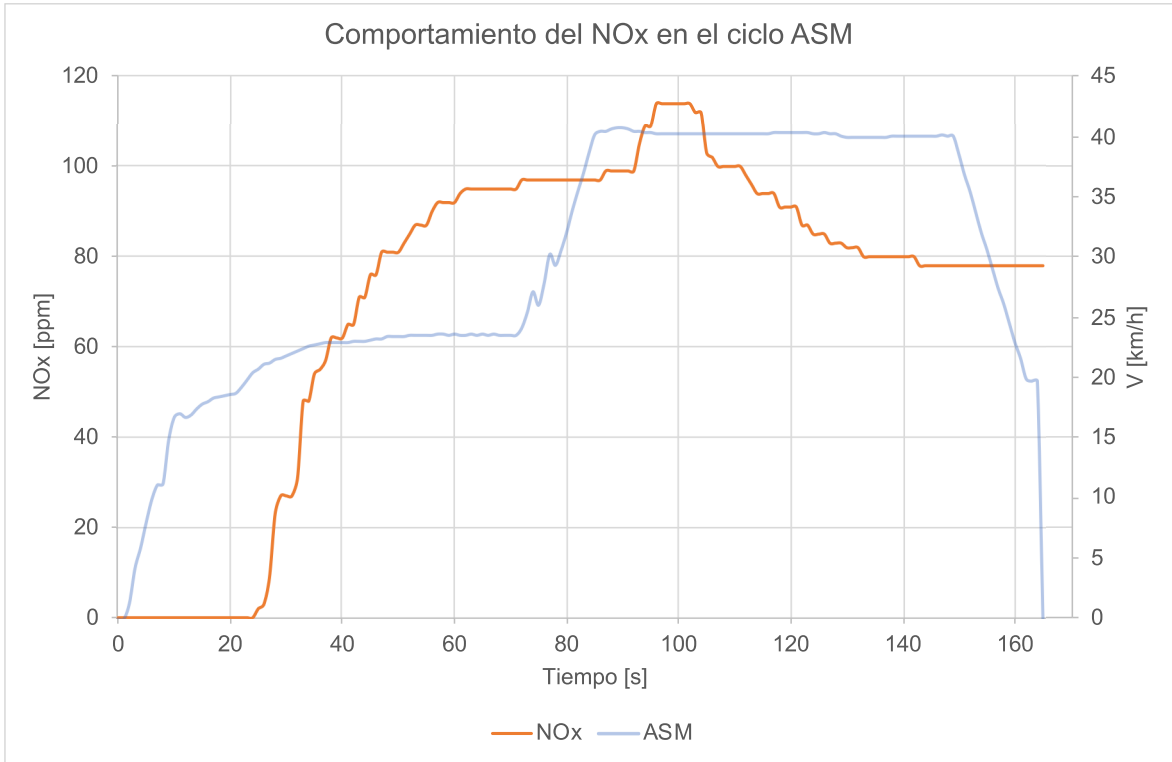


Figura A12. Comportamiento del NOx en el ciclo ASM (prueba4).

Prueba 5



Figura A13. Comportamiento del CO en el ciclo ASM (prueba 5).

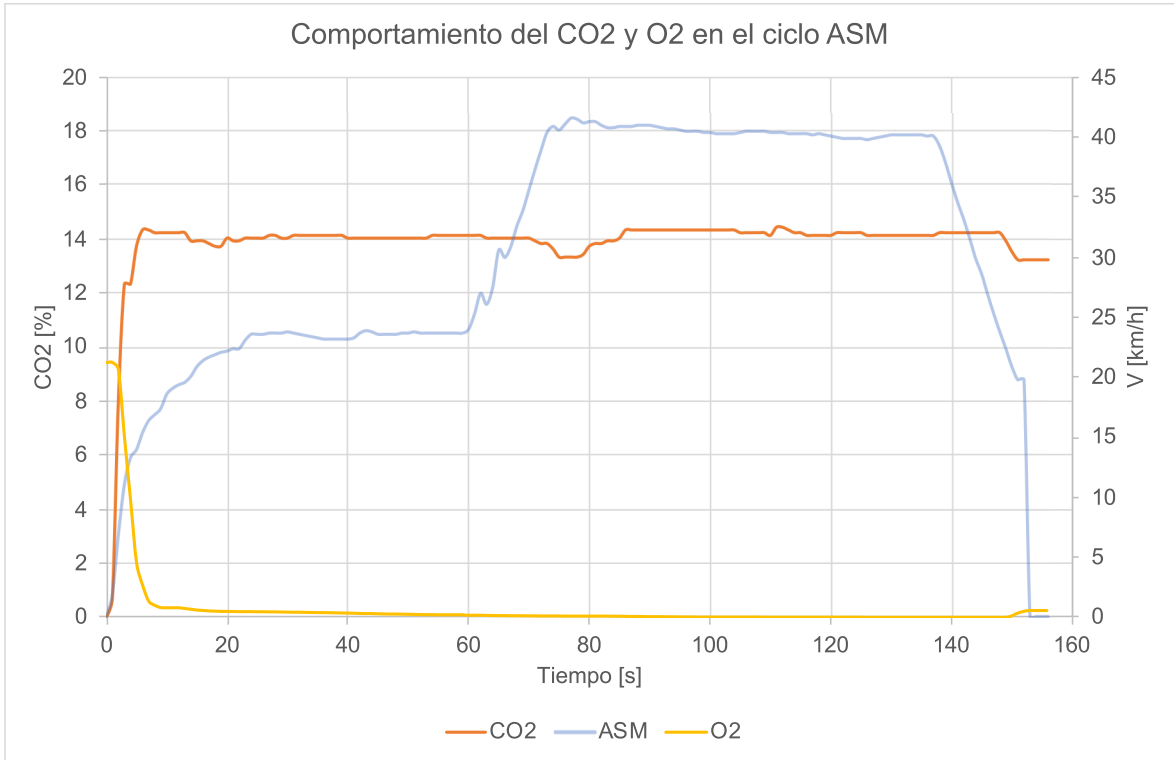


Figura A14. Comportamiento del CO₂ y O₂ en el ciclo ASM (prueba 5).



Figura A15. Comportamiento del HC en el ciclo ASM (prueba 5).

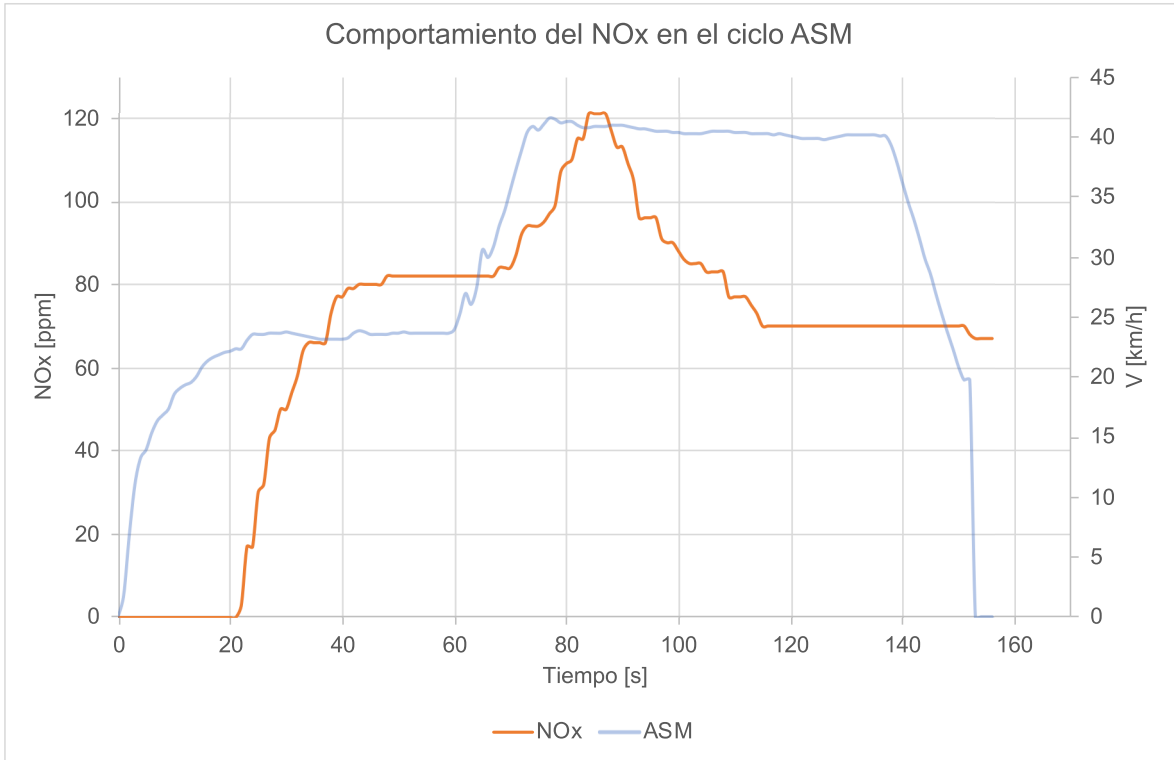


Figura A16. Comportamiento del NOx en el ciclo ASM (prueba 5).

ANEXO 7: Comportamiento de los gases durante el ciclo IM-240

Prueba 1

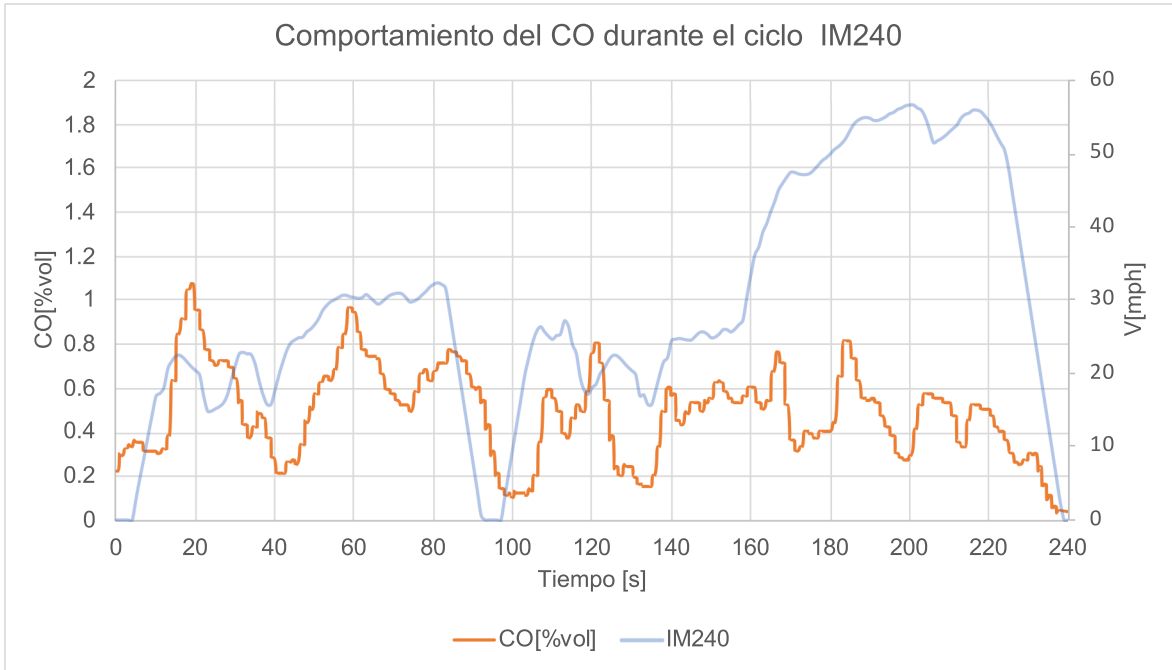


Figura A17. Comportamiento del CO en el ciclo ASM (prueba 1).

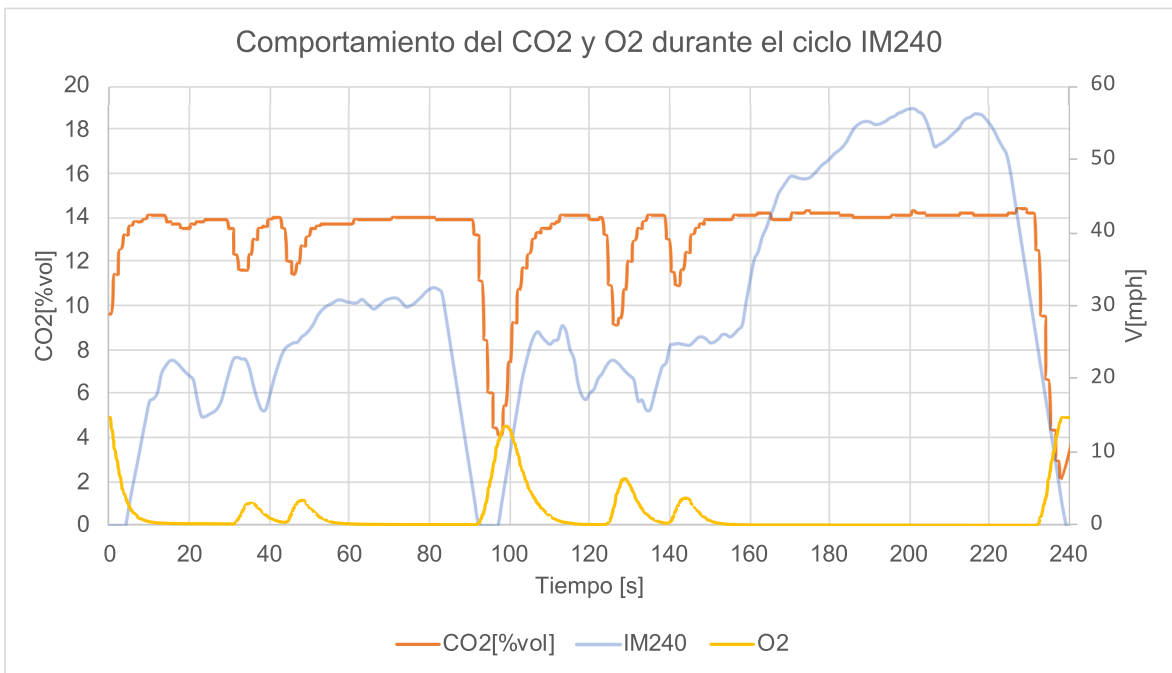


Figura A18. Comportamiento del CO2 y O2 en el ciclo ASM (prueba 1).

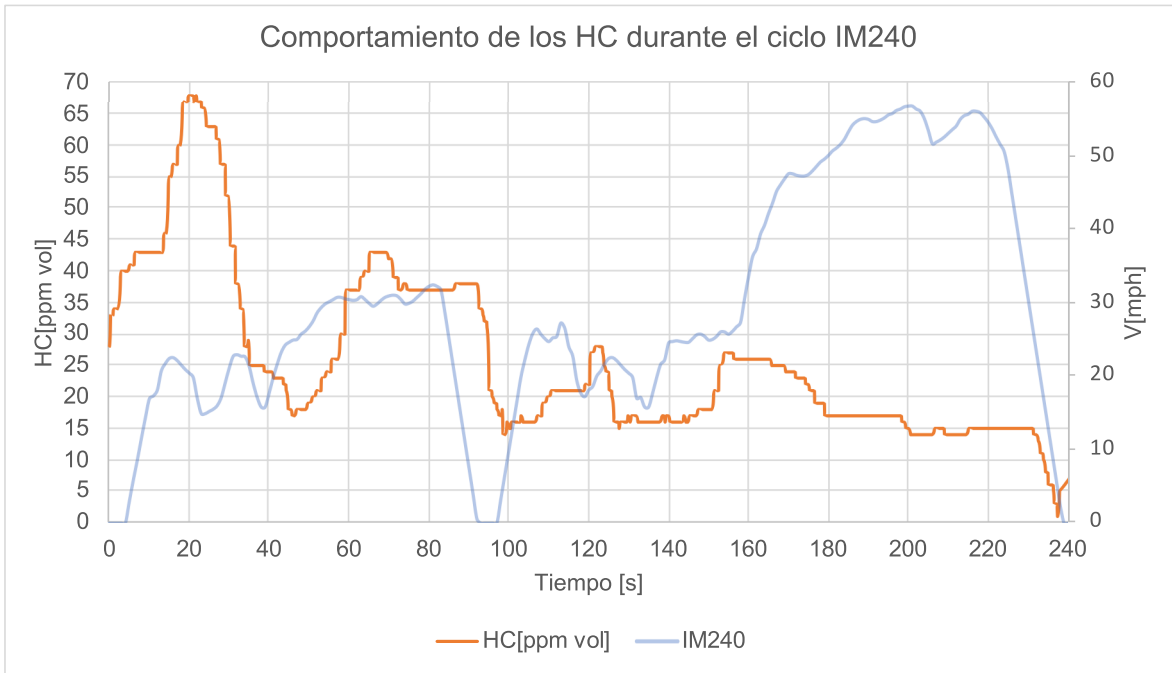


Figura A19. Comportamiento del HC en el ciclo ASM (prueba 1).

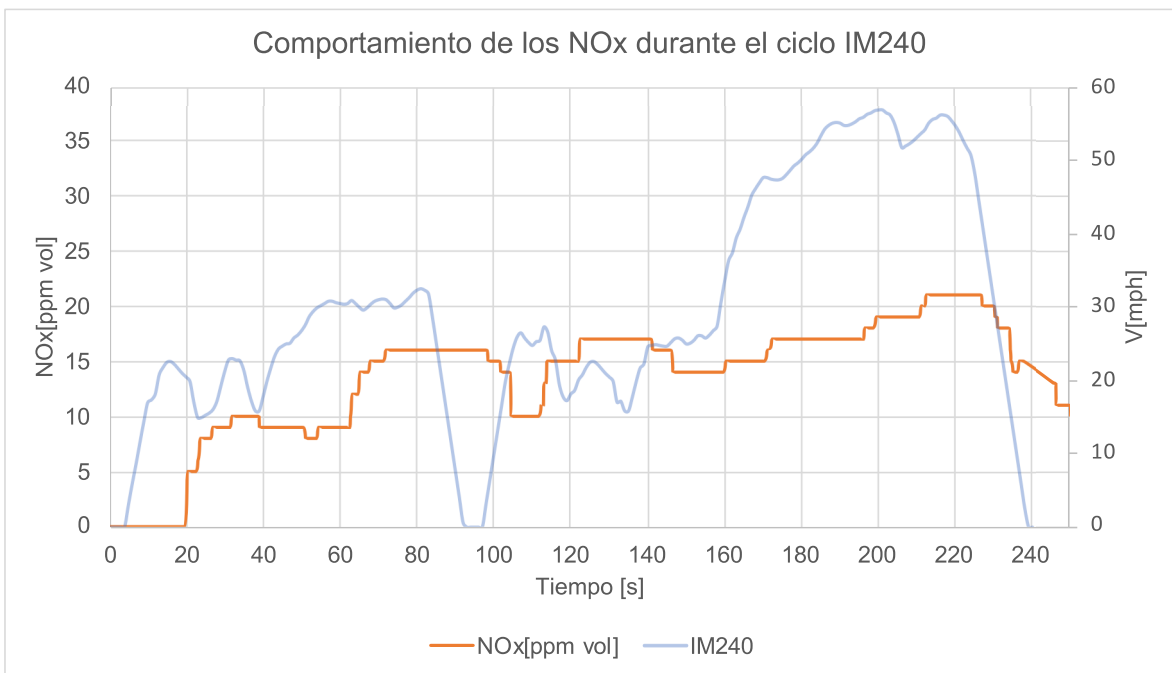


Figura A20. Comportamiento del NOx en el ciclo ASM (prueba 1).

Prueba 2

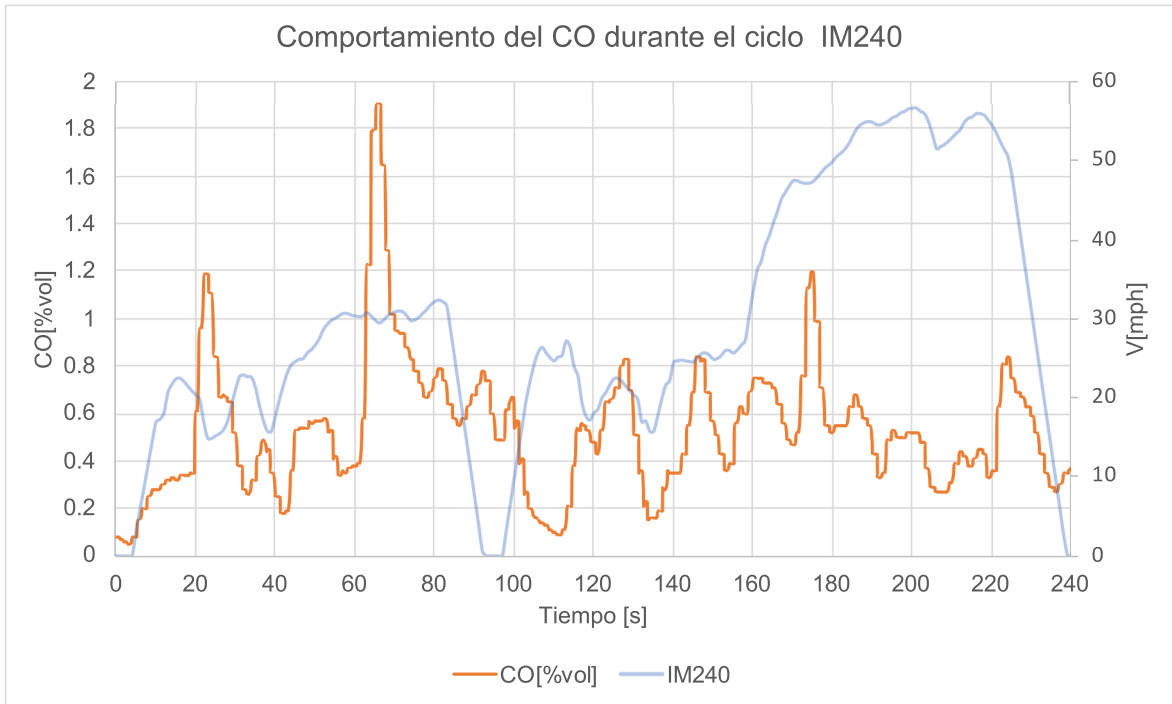


Figura A21. Comportamiento del CO en el ciclo ASM (prueba 2).

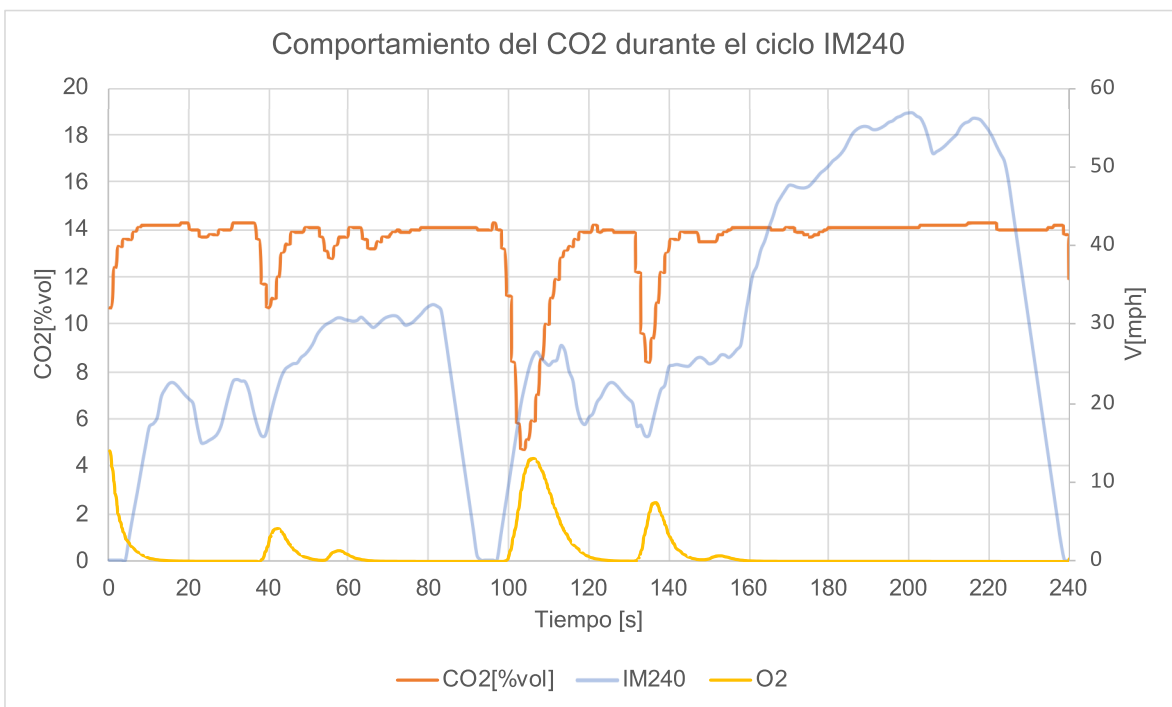


Figura A22. Comportamiento del CO2 y O2 en el ciclo ASM (prueba 2).

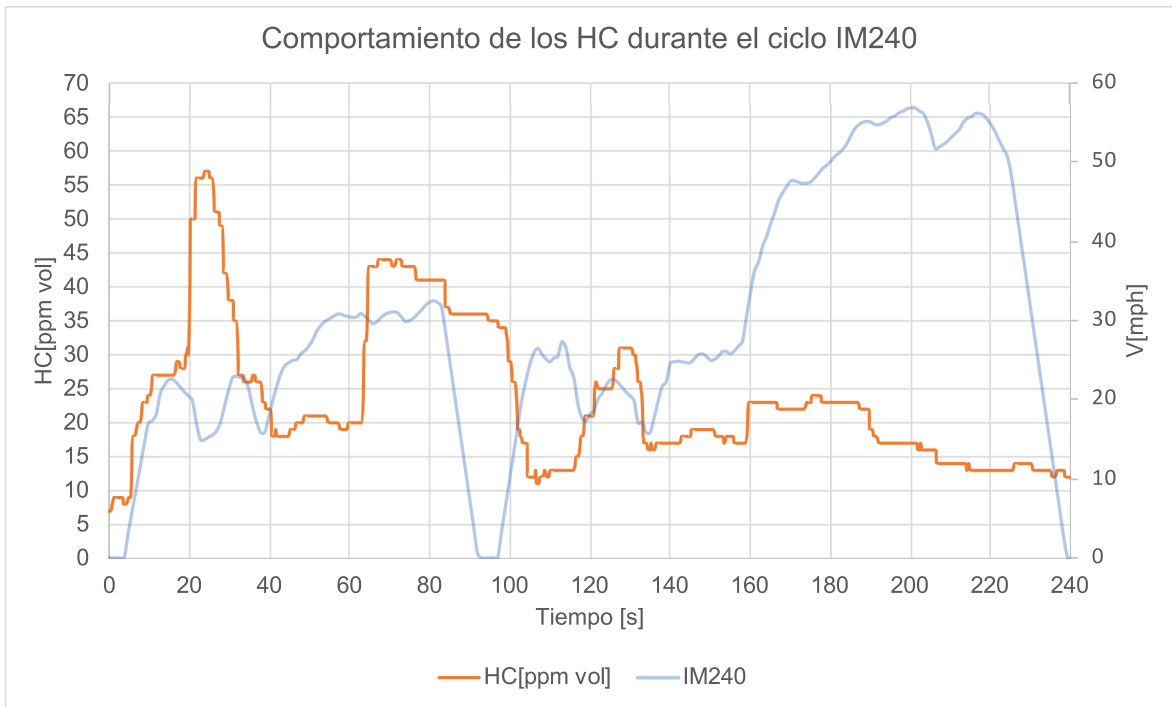


Figura A23. Comportamiento del HC en el ciclo ASM (prueba 2).

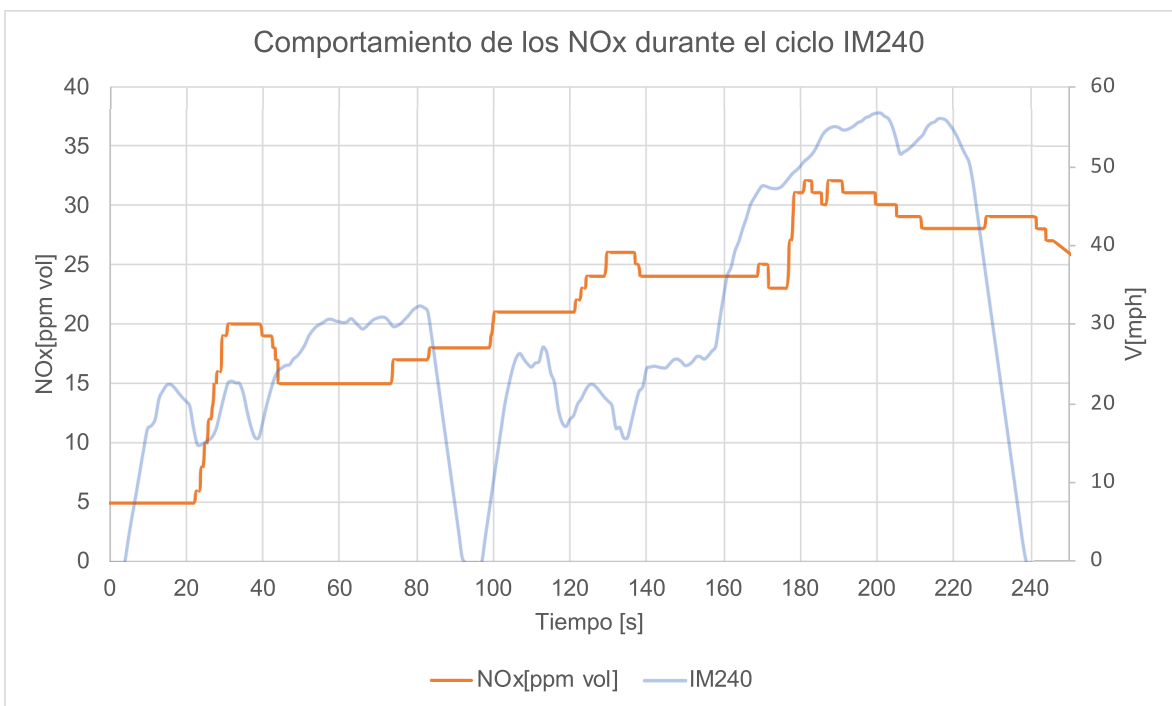


Figura A24. Comportamiento del NOx en el ciclo ASM (prueba 2).

Prueba 4

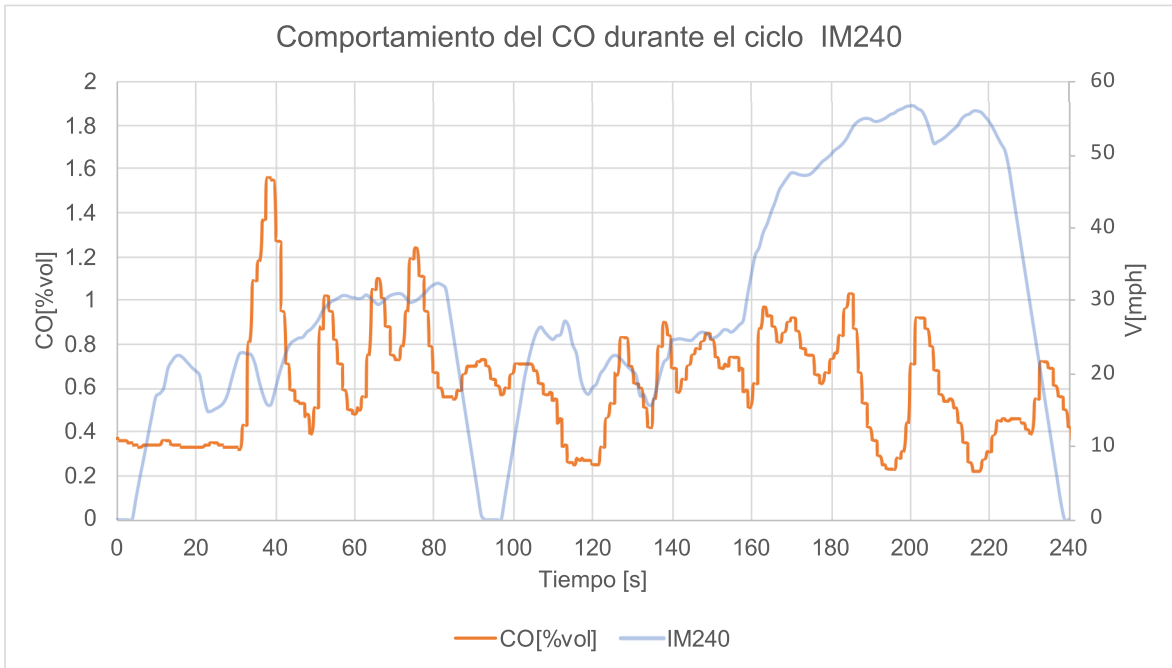


Figura A25. Comportamiento del CO en el ciclo ASM (prueba 4).

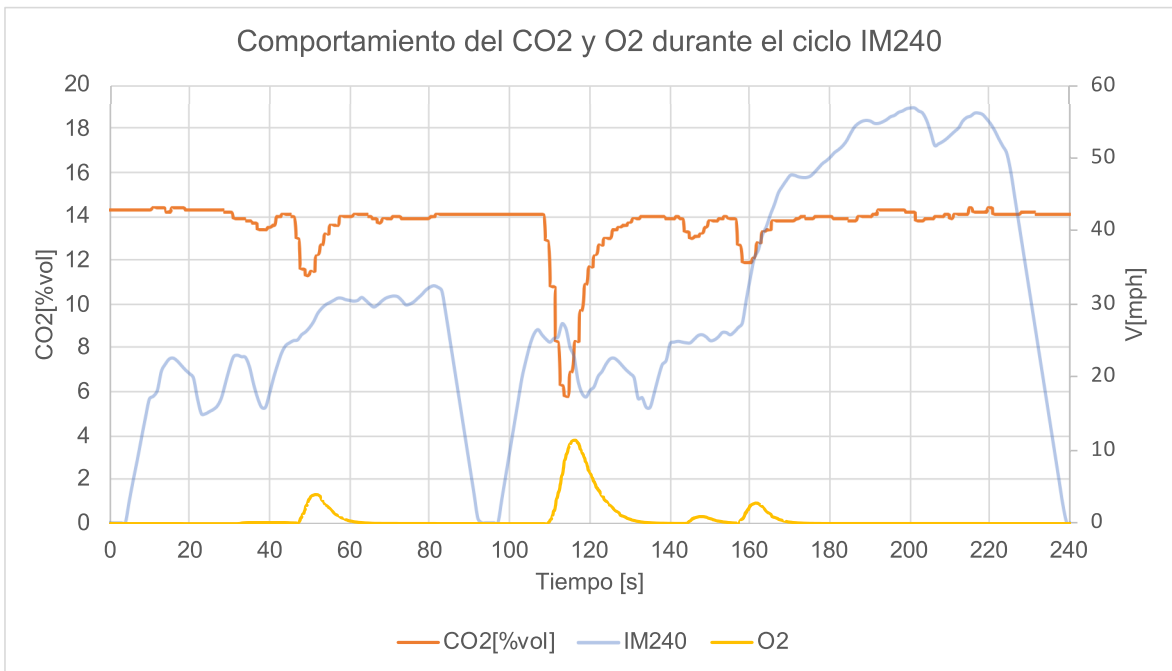


Figura A26. Comportamiento del CO2 y O2 en el ciclo ASM (prueba 4).

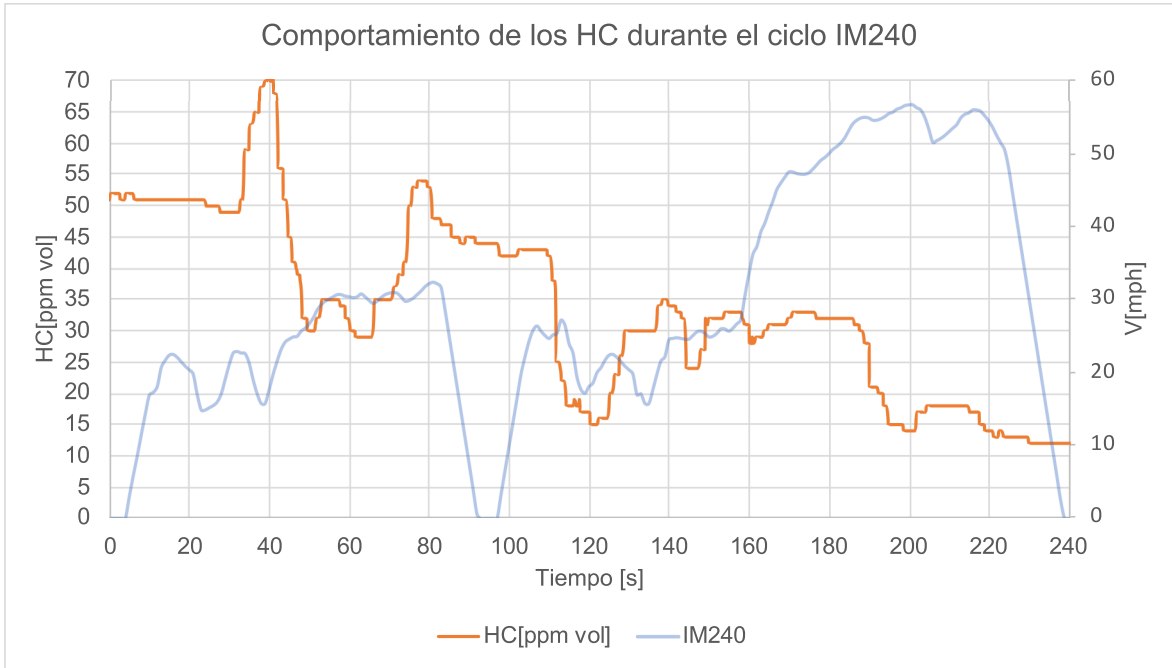


Figura A27. Comportamiento del HC en el ciclo ASM (prueba 4).

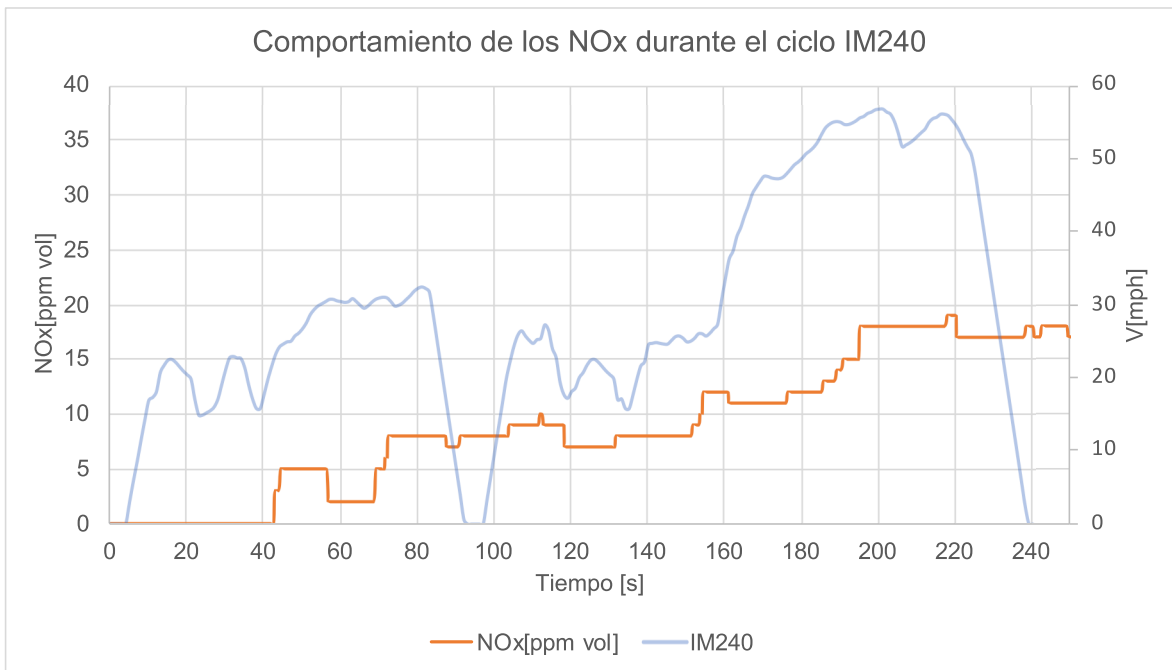


Figura A28. Comportamiento del NOx en el ciclo ASM (prueba 4).

Prueba 5

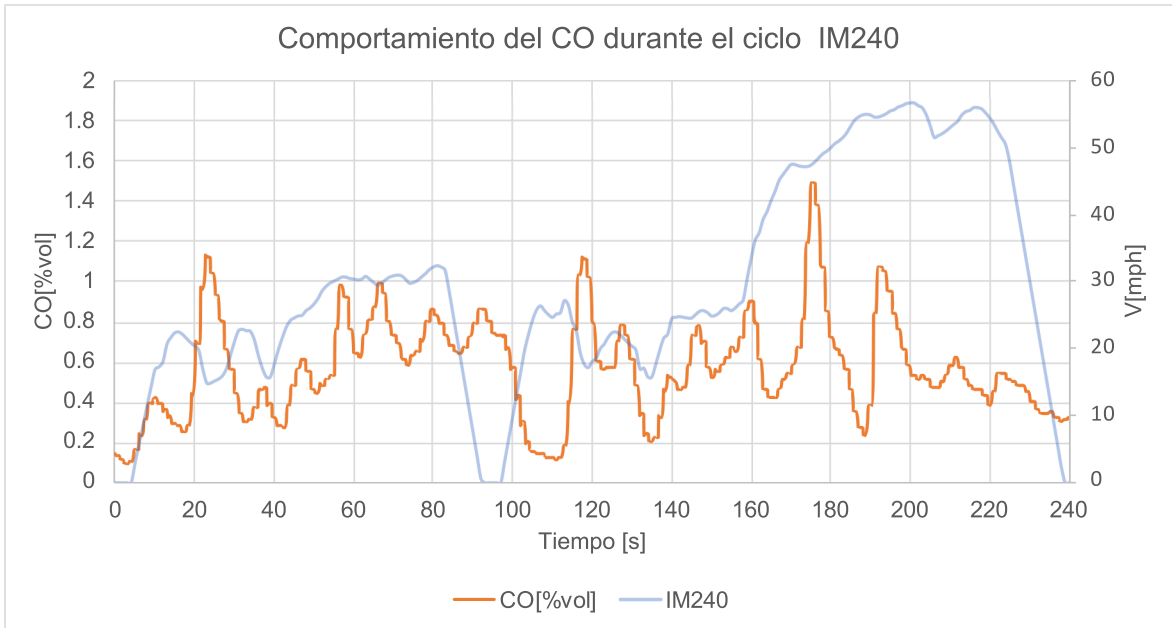


Figura A29. Comportamiento del CO en el ciclo ASM (prueba 5).

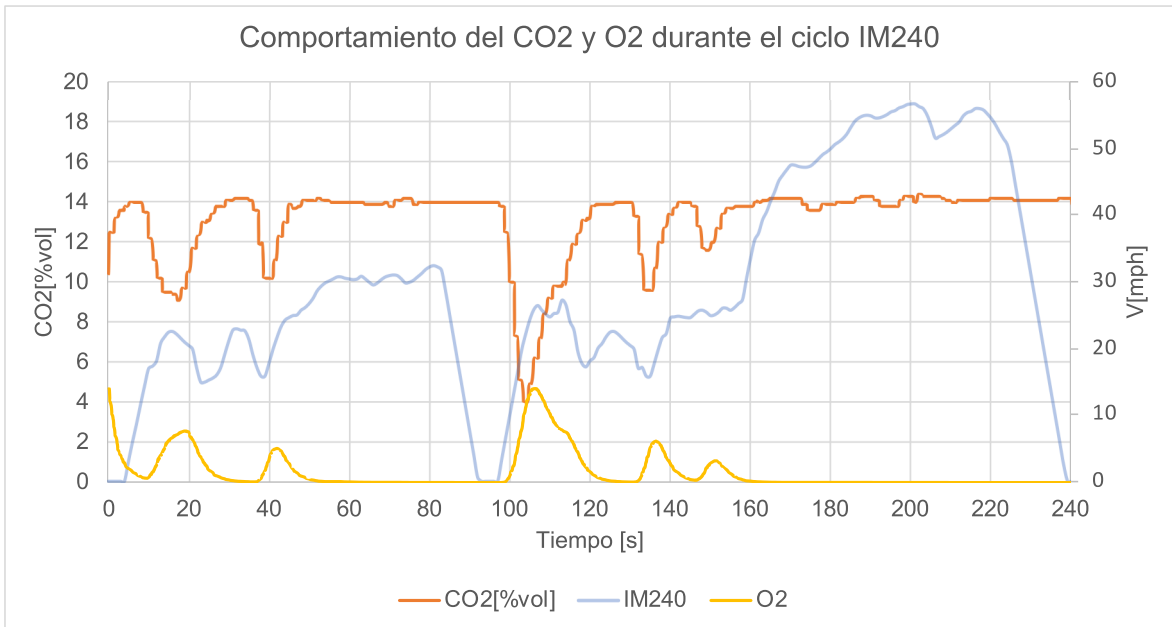


Figura A30. Comportamiento del CO2 y O2 en el ciclo ASM (prueba 5).

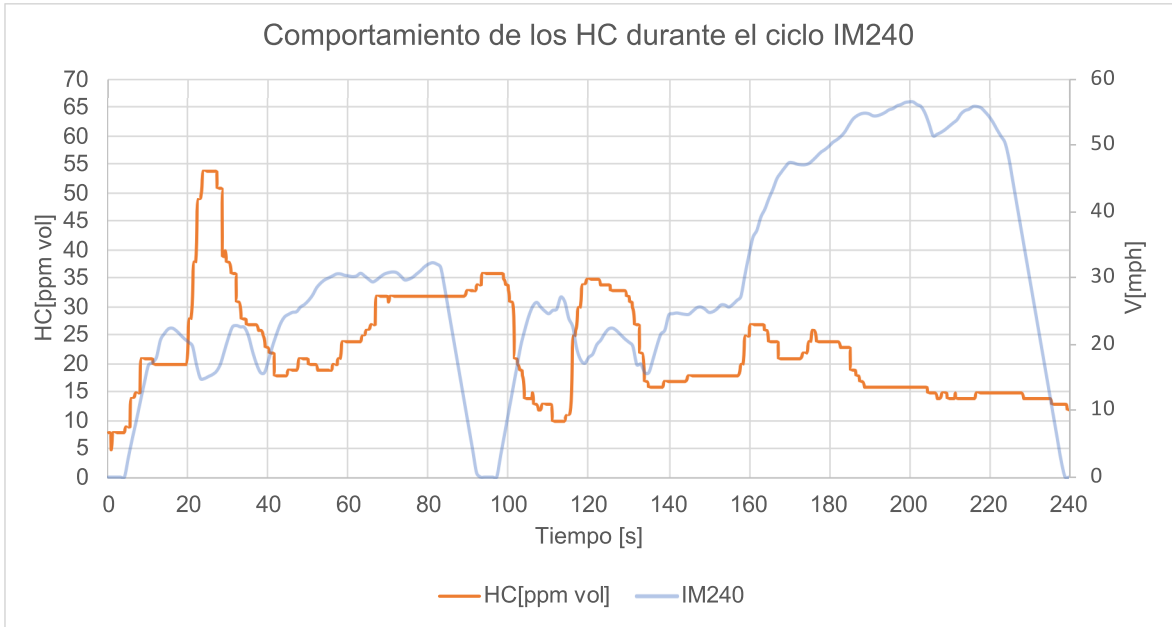


Figura A31. Comportamiento del HC en el ciclo ASM (prueba 5).

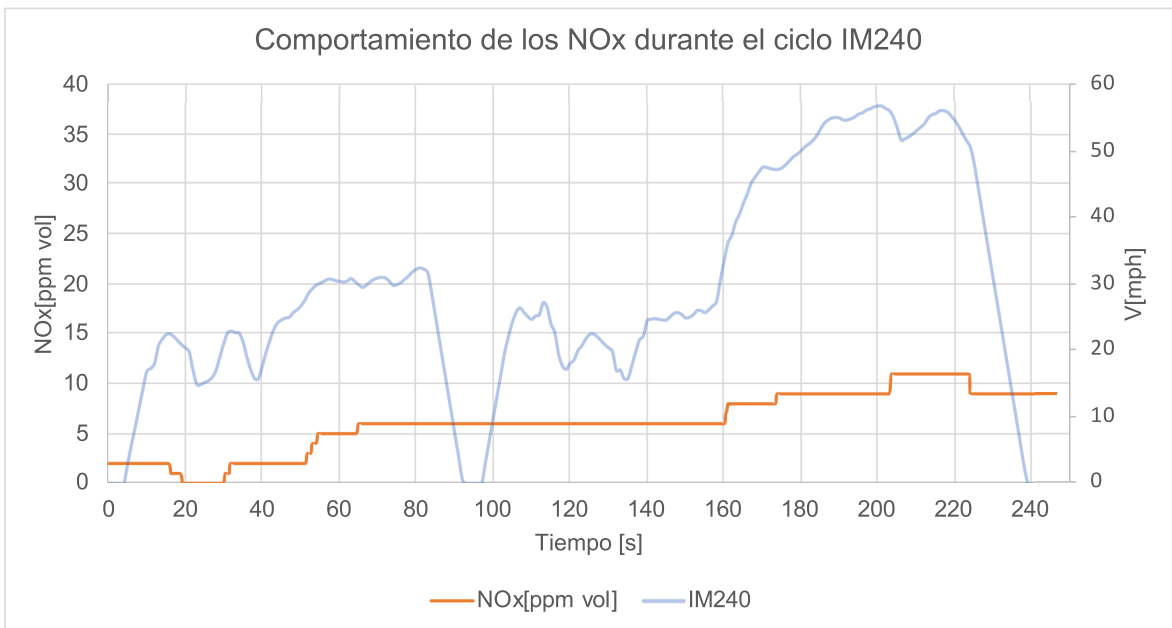


Figura A32. Comportamiento del NOx en el ciclo ASM (prueba 5).

ANEXO 8: Informe técnico de resultados por parte del CCICEV



Quito, 13 de noviembre de 2020
CCICEV-CER-TESIS20 - 006

CERTIFICADO

El Centro de Transferencia Tecnológica para la Capacitación e Investigación en Control de Emisiones Vehiculares – CCICEV, mediante solicitud de ensayos SPE-080 presentada por parte del señor Martínez Caicedo Juan Carlos, tesista de Pregrado de la Escuela Politécnica Nacional, certifica que el vehículo detallado a continuación fue evaluado en los ensayos de:

- PRUEBAS DE EMISIONES CONTAMINANTES – GASOLINA. MÉTODO DINÁMICO EN LABORATORIO CICLO IM240
- PRUEBAS DE EMISIONES CONTAMINANTES – GASOLINA. MÉTODO DINÁMICO EN LABORATORIO MÉTODO ASM 25-25 Y ASM 50-15.
- EMISIONES CONTAMINANTES DE VEHICULOS A GASOLINA. MÉTODO ESTÁTICO.

DATOS GENERALES DEL VEHICULO			
Marca	HYUNDAI	VIN Chasis / Placa	MALA751AA/MR56894 / PDF1180
Modelo	GRAND I10	Kilometraje	33495
MOTOR (Datos del fabricante)**			
Posición de motor	DELANTERO TRANSVERSAL	Nº Motor	G3LAHM32944
Nº de cilindros y disposición	3 EN LINEA	Version	30A
Máxima potencia (kw/min)	49,22 Kw @ 5500 RPM	Máximo Torque (kgm/min)	94 Nm @ 3500 RPM
Sistema de enfriamiento	REFRIGERANTE	Tipo de aspiración	ATMOSFERICO
Cilindrada (cm ³)	1000	Transmisión (manual/automática)	MANUAL
Combustible / Fuente de energía	GASOLINA	Categoría-Subcategoría Clase	HATCHBACK
Tipo	M_1	Año modelo vehículo	2018
Tonelaje (t)	0,75	País de origen	INDIA

Fecha de ejecución del ensayo: 12 de noviembre de 2020

Los informes técnicos de resultados de evaluación de los ensayos han sido remitidos al solicitante, pudiendo este utilizarlos dentro de su investigación.

El CCICEV no se hace responsable por el mal uso de la documentación entregada y que motivo de esta ocasión repercusiones en el ámbito en que se dé uso.

Es todo cuanto se puede indicar en honor a la verdad.

Atentamente,

Ing. Diego Lincango

RESPONSABLE TÉCNICO DE LA UNIDAD DE LABORATORIO DE INVESTIGACIÓN
CCICEV

REGISTRO DE DATOS DE PRUEBAS DE EMISIONES DE GASES ESTATICOS OTTO

CODIGO: CCICEV-04-03-03-GEO	Revisión 2	N°	CCICEV-04-03-03-2020-GEO - 080 - P1
	Página 1 / 1	FECHA:	12 de noviembre de 2020
TÉCNICOS RESPONSABLES	Fabián Iza		
OBJETIVO DE LA EVALUACIÓN	TIPO DE EVALUACIÓN		
Evaluación Inicial <input checked="" type="checkbox"/>	Evaluación Regular <input type="checkbox"/>	Prechequeo RTV* <input type="checkbox"/>	
Reevaluación <input type="checkbox"/>	Evaluación RTV* ₄ rev <input type="checkbox"/>	Evaluación Tesis <input checked="" type="checkbox"/>	
No. Visita <input type="text" value="1"/>	Otros <input type="checkbox"/>		

*RTV: Análisis Técnico Vehicular ** Los resultados expresados en el presente documento no pueden ser utilizados para emitir ningún proceso de RTV

DATOS GENERALES DEL VEHICULO

Marca	HYUNDAI	VIN Chasis / Placa	MALATS1AAJIM056894 / PDF1160
Modelo	GRAND I10	Kilometraje	33485
MOTOR (Datos del fabricante)**			
Posición de motor	DELANTERO TRANSVERSAL	No. Motor	G3LAHM352944
No. de cilindros y disposición	3 EN LÍNEA	Versión	N/A
Máxima Potencia (cv/rpm)	49.22 Kw @ 5500 RPM	Máximo Torque (Nm/rpm)	94 N m @ 3500 RPM
Sistema de enfriamiento	REFRIGERANTE	Tipo de aspiración	ATMOSFÉRICO
Cilindrada (cm ³)	1600	Transmisión (manual/automatica)	MANUAL
Combustible / Fuente de energía	GASOLINA	Categoría-Subcategoría-Clas	HATCHBACK
Tipo	M_1	Año modelo vehículo	2018
Tonelaje (t)	0.75	País de origen	INDIA

**Opcional en RTV

Hora de inicio	15 h 40 min	Hora final	16 h 40 min	Serie equipo	3979/534048	
Temperatura ambiente °C	23	Humedad Relativa (%)	35	Presión Atmosférica (hPa)	732	
RESULTADOS DEL ANALIZADOR DE GASES						
Parámetros	PRUEBAS ESTÁTICAS NTE INEN 2204					
	Medición 1		Medición 2		Medición 3	
	Ralentí	rpm alta	Ralentí	rpm alta	Ralentí	rpm alta
CO [%v]	0.23	0.23	0.23	0.20	0.21	0.21
CO ₂ [%v]	14.26	14.14	14.29	14.29	14.26	14.23
CO _{correctado} [%v]	0.23	0.23	0.23	0.20	0.21	0.21
HC (ppm)	15	31	15	34	18	33
O ₂ [%v]	0.17	0.07	0.17	0.05	0.24	0.11
λ (Lambdas)	1	0.995	1	0.994	1.004	0.997
RPM	800	2470	800	2550	800	2680

OBSERVACIONES:

Firma Responsable: 
Nombre: Fabián Iza

Técnico No 2

Firma Responsable de Unidad: 

Nombre: Ing. Diego Lindero

REGISTRO DE DATOS DE PRUEBAS DE EMISIONES DE GASES ESTATICOS OTTO

CODIGO: CCICEV-04-00-03-050	Revisión: 2	N°:	CCICEV-04-00-03-2020-050 - 050 P1-1
	Página: 1 / 1	FECHA:	12 de noviembre de 2020

TÉCNICOS RESPONSABLES:	Fabián Iza
------------------------	------------

OBJETIVO DE LA EVALUACIÓN:	TIPO DE EVALUACIÓN:
Evaluación Inicial <input checked="" type="checkbox"/>	Evaluación Regular <input type="checkbox"/>
Reevaluación <input type="checkbox"/>	Evaluación RTV** <input type="checkbox"/>
No. Visita: 1	Evaluación RTV** rev <input type="checkbox"/>
	Otros <input type="checkbox"/>
	Evaluación Testis <input checked="" type="checkbox"/>

**RTV: Revision Técnica Vehicular. ** Los resultados expresados en el presente documento no pueden ser utilizados para aprobar ningún proceso de RTV.

DATOS GENERALES DEL VEHÍCULO

Marca:	HYUNDAI	VIN Chasis / Placa:	MALAT51AAJM05694 / PDF1180
Modelo:	GRAND I10	Kilometraje:	33495

MOTOR (Datos del fabricante)**

Posición de motor:	DELANTERO TRANSVERSAL	No. Motor:	G3LAHM352944
No. de cilindros y disposición:	3 EN LÍNEA	Version:	NA
Máxima Potencia (Velocidad):	49,22 Kw @ 5500 RPM	Máximo Torque (Velocidad):	94 N m @ 3500 RPM
Sistema de enfriamiento:	REFRIGERANTE	Tipo de aspiración:	ATMOSFERICO
Cilindrada (cm3):	1000	Transmisión (manual/automática):	MANUAL
Combustible / Fuente de energía:	GASOLINA	Categoría-Subcategoría-Clase:	HATCHBACK
Tipo:	M_1	Año modelo vehículo:	2018
Toleraje (%):	0,75	País de origen:	INDIA

**Opcional en RTV

Hora de inicio:	15 h 40 min	Hora final:	16 h 40 min	Serie equipo:	3978/534048
Temperatura ambiente °C:	23	Humedad Relativa (%):	35	Presión Atmosférica (hPa):	732

RESULTADOS DEL ANALIZADOR DE GASES

Parámetros	PRUEBAS ESTÁTICAS NTE INEN 2204					
	Medición 4		Medición 5		Medición 6	
	Ralentí	rpm alta	Ralentí	rpm alta	Ralentí	rpm alta
CO [Vv]	0,30	0,23	0,26	0,67	-	-
CO ₂ [Vv]	14,20	14,11	14,15	13,78	-	-
CO _{correcto} [Vv]	0,30	0,23	0,26	0,67	-	-
HC [ppm]	13	13	19	55	-	-
O ₂ [Vv]	0,14	0,06	0,23	0,28	-	-
λ [Lambda]	0,997	0,991	1,001	0,984	-	-
RPM	820	2600	810	2550	-	-

OBSERVACIONES:

Firma Responsable:  Técnico No 1
 Nombre: Fabián Iza

Técnico No 2: _____
 Nombre: _____

Firma Responsable de Unidad: 
 Nombre: Ing. Diego Lincango

Formas de registro: manual o con equipos de medición de gases estables en fuentes móviles con OBD. Los resultados se deben proporcionar al form evaluado.

REGISTRO DE DATOS DE PRUEBAS DE EMISIONES DE GASES DINAMICOS ASM

CÓDIGO: CCICEV-04-00-03-GASM	Revisión: 2	N°:	CCICEV-04-00-03-2020-GASM - 080 - P1
	Página: 1 / 1	FECHA:	12 de noviembre de 2020

TÉCNICOS RESPONSABLES	Fabián Iza	Diego Lincango
-----------------------	------------	----------------

OBJETIVO DE LA EVALUACIÓN	TIPO DE EVALUACIÓN	
Evaluación Inicial <input checked="" type="checkbox"/>	Evaluación Regular <input type="checkbox"/>	Prechequeo RTV* <input type="checkbox"/>
Reevaluación <input type="checkbox"/>	Evaluación RTV* ₄ rev <input type="checkbox"/>	Evaluación Testa <input checked="" type="checkbox"/>
No. Visita: <input type="text" value="1"/>	Otros <input type="checkbox"/>	

*RTV: Revisión Técnica Vehicular ** Los resultados expresados en el presente documento no pueden ser utilizados para aprobar ningún proceso de RTV

DATOS GENERALES DEL VEHICULO

Marca	HYUNDAI	VIN Chasis / Placa	MAL4751AJJM58894 / PDF1190
Modelo	GRAND I10	Kilometraje	33490

MOTOR (Datos del fabricante)**

Posición de motor	DELANTERO TRANSVERSAL	No. Motor	G3LAHM352944
No. de cilindros y disposición	3 EN LINEA	Versión	N/A
Máxima Potencia (kW/1500)	49.22 Kw @ 5500 RPM	Máximo Torque (Nm/min)	24 Nm @ 3500 RPM
Sistema de enfriamiento	REFRIGERANTE	Tipo de aspiración	ATMOSFERICO
Cilindrada (cm3)	1000	Transmisión (Manual/Automático)	MANUAL
Combustible / Fuente de energía	GASOLINA	Categoría-Subcategoría-Caja	HATCHBACK
Tipo	M. 1	Año modelo vehículo	2018
Tonelaje	0.75	País de origen	INDIA




**Categoría en RTV

Hora de inicio	14 h 00	Hora final	15 h 40 min	Serie equipo	3570/034048
Temperatura ambiente °C	23	Humedad Relativa (%)	35	Presión Atmosférica (hPa)	732

RESULTADOS DEL ANALIZADOR DE GASES

Parámetros	PRUEBAS DINAMICAS - CICLO ASM (ACCELERATION SIMULATION MODE)					
	Medición 1		Medición 2		Medición 3	
	Modo 2525	Modo 5015	Modo 2525	Modo 5015	Modo 2525	Modo 5015
CO [‰]	0.77	0.58	0.75	0.58	0.75	0.55
CO ₂ [‰]	14.2	14.32	14.12	14.2	14.1	14.18
HC [ppm]	59	45	62	45	58	49
O ₂ [‰]	0.28	0.08	0.3	0.01	0.15	0.01
NOx [ppm]	57	52	75	72	68	60
λ [Lambda]	0.989	0.984	0.99	0.982	0.992	0.983

OBSERVACIONES: _____

<p>Técnico No 1</p> <p>Firma Responsables: </p> <p>Nombre: Fabián Iza</p>	<p>Técnico No 2</p> <p>Firma Responsables: </p> <p>Nombre: Diego Lincango</p>	<p>Firma Responsable de Unidad: </p> <p>Nombre: Ing. Diego Lincango</p>
--	--	--

REGISTRO DE DATOS DE PRUEBAS DE EMISIONES DE GASES DINAMICOS ASM

CODIGO: CCICEV-04-00-03-GASM	Revisión: 2	N°:	CCICEV-04-00-03-2020-GASM - 080	P1-1
	Página: 1 / 1	FECHA:	12 de noviembre de 2020	

TÉCNICOS RESPONSABLES:	Fabían Iza	Diego Lincango
------------------------	------------	----------------

OBJETIVO DE LA EVALUACIÓN TIPO DE EVALUACIÓN

Evaluación Inicial <input checked="" type="checkbox"/>	Evaluación Regular <input type="checkbox"/>	Prechequeo RTV* <input type="checkbox"/>
Reevaluación <input type="checkbox"/>	Evaluación RTV* $\lambda_{p, rev}$ <input type="checkbox"/>	Evaluación Teste <input checked="" type="checkbox"/>
No. Visita: <input type="text" value="1"/>	Otros <input type="checkbox"/>	

*RTV: Inspección Técnica Vehicular ** Los resultados expresados en el presente documento no pueden ser utilizados para emitir ningún proceso de RTV

DATOS GENERALES DEL VEHICULO

Marca	HYUNDAI	VIN Chasis / Placa	MALAT51AAJMG589M / PDF1180
Modelo	GRAND I10	Kilometraje	33490
MOTOR (Datos del fabricante)**			
Posición de motor	DELANTERO TRANSVERSAL	No. Motor	G3LAHM352944
No. de cilindros y disposición	3 EN LINEA	Version	NA
Máxima Potencia (kw/cv)	69.23 Kw @ 5500 RPM	Máximo Torque (kgm/cm)	94 N.m @ 3500 RPM
Sistema de enfriamiento	REFRIGERANTE	Tipo de aspiración	ATMOSFÉRICO
Cilindrada (cm3)	1000	Transmisión (manual/automática)	MANUAL
Combustible / Fuente de energía	GASOLINA	Categoría-Subcategoría-Caja	HATCHBACK
Tipo	M_1	Año modelo vehículo	2018
Tonelaje	0.75	País de origen	INDIA

**Opcional en RTV

Hora de inicio	14 h 00	Hora final	15 h 40 (min)	Serie equipo	3579/034048
Temperatura ambiente °C	23	Humedad Relativa (%)	35	Presión Atmosférica (hPa)	732

RESULTADOS DEL ANALIZADOR DE GASES

Parámetros	PRUEBAS DINÁMICAS - CICLO ASM (ACCELERATION SIMULATION MODE)					
	Medición 4		Medición 5		Medición 6	
	Modo 2525	Modo 5015	Modo 2525	Modo 5015	Modo 2525	Modo 5015
CO [Vv]	0.74	0.61	0.72	0.54	-	-
CO ₂ [Vv]	14.07	14.22	14.02	14.19	-	-
HC [ppm]	64	47	63	40	-	-
O ₂ [Vv]	0.26	0.02	0.25	0.02	-	-
NOx [ppm]	72	74	85	80	-	-
λ [Lambda]	0.99	0.984	0.989	0.984	-	-

OBSERVACIONES:

Firma Responsable Técnico No 1:  Nombre: Fabían Iza

Firma Responsable Técnico No 2:  Nombre: Diego Lincango

Firma Responsable de Unidad:  Nombre: Ing. Diego Lincango

Formulario de registro interno para pruebas de emisiones Dinámicas ASM. Los resultados expresados en el presente documento no pueden ser utilizados para emitir ningún proceso de RTV.

REGISTRO DE DATOS DE PRUEBAS DE EMISIONES DE GASES DINAMICOS (M340)

CODIGO: CCICEV-04-00-03-M340	Revisión: 2	N°	CCICEV-04-00-03-2020-M340 - 060 - P1
	Página: 1 / 1	FECHA:	12 de noviembre de 2020

TÉCNICOS RESPONSABLES	Fabián Iza
-----------------------	------------

OBJETIVO DE LA EVALUACIÓN	TIPO DE EVALUACIÓN	
Evaluación Inicial <input checked="" type="checkbox"/>	Evaluación Regular <input type="checkbox"/>	Prechequeo-RTV* <input type="checkbox"/>
Reevaluación <input type="checkbox"/>	Evaluación RTV* ₂ rev <input type="checkbox"/>	Evaluación Test <input checked="" type="checkbox"/>
Nº. Visita <input type="text" value="1"/>	Otros <input type="checkbox"/>	

*RTV: Revisión Técnica Vehicular ** Los resultados expresados en el presente documento no pueden ser utilizados para aprobar ningún proceso de RTV.

DATOS GENERALES DEL VEHICULO

Marca	HYUNDAI	VIN Chasis / Placa	MALAT51AJJM56894 / POF1180
Modelo	GRAND I10	Kilometraje	33485

MOTOR (Datos del fabricante)**

Posición de motor	DELANTERO TRANSVERSAL	No. Motor	G3LAHM3S2944
Nº. de cilindros y disposición	3 EN LINEA	Versión	N/A
Máxima Potencia (kw/rpm)	48.22 Kw @ 3500 RPM	Máximo Torque (N/m/rpm)	94 N m @ 3500 RPM
Sistema de enfriamiento	REFRIGERANTE	Tipo de aspiración	ATMOSFERICO
Cilindrada (cm3)	1000	Transmisión (manual/automatica)	MANUAL
Combustible / Fuente de energía	GASOLINA	Categoría-Subcategoría Clase	HATCHBACK
Tipo	M_1	Año modelo vehículo	2018
Tonelaje (t)	0.75	País de origen	INDIA

**Opcional en RTV

Hora de inicio	09 h 00	Hora final	12 h 00
Temperatura ambiente °C	23	Humedad Relativa (%)	35
Presión Atmosférica (hPa)	732		
Serie equipo	3079/534048		
RESULTADOS DEL ANALIZADOR DE GASES			
Parámetros	PRUEBAS DINÁMICAS - CICLO M340 (INSPECTION - MAINTENANCE DRIVING CYCLE)		
	Medición 1	Medición 2	Medición 3
CO [%v]	0.40	0.52	0.52
CO ₂ [%v]	13.04	13.22	13.28
HC [ppm]	20	23	19
O ₂ [%v]	1.8	1.33	1.28
NOx [ppm]	14	21	25
λ [Lambda]	1.13	1.11	1.07

OBSERVACIONES: _____

Firma Responsables:  Técnico No 1
 Nombre: Fabián Iza

Técnico No 2: _____
 Firma Responsable de Unidad: 
 Nombre: Ing. Diego Lincango

* Anexo de registro público para prueba de emisiones dinámicas (M340) - Los resultados expresados en el presente documento no pueden ser utilizados para aprobar ningún proceso de RTV.

REGISTRO DE DATOS DE PRUEBAS DE EMISIONES DE GASES DINAMICOS IM240

CODIGO: CCICEV-04-03-2020-IM240	Revisión: 2	N°:	CCICEV-04-03-2020-IM240 - 061	P1-1
	Página: 1 / 1	FECHA:	12 de noviembre de 2020	

TÉCNICOS RESPONSABLES		Fabían Iza	
OBJETIVO DE LA EVALUACIÓN		TIPO DE EVALUACIÓN	
Evaluación Inicial	<input checked="" type="checkbox"/>	Evaluación Regular	<input type="checkbox"/>
Reevaluación	<input type="checkbox"/>	Evaluación RTV ^{**} rev	<input type="checkbox"/>
No. Visita	<input type="text" value="1"/>	Otros	<input type="checkbox"/>
		Prechequeo RTV*	<input type="checkbox"/>
		Evaluación Teste	<input checked="" type="checkbox"/>

*RTV: Frecuencia Técnica Vehicular ** Los resultados expresados en el presente documento no pueden ser utilizados para aprobar ningún proceso de RTV

DATOS GENERALES DEL VEHÍCULO

Marca	HYUNDAI	VIN/Chasis / Placa	MALAT51AAJRM058H / PDF1180
Modelo	GRAND I10	Kilometraje	33490
MOTOR (Datos del fabricante)**			
Posición de motor	DELANTERO TRANSVERSAL	No. Motor	G3LAHM352944
Nº de cilindros y disposición	3 EN LINEA	Versión	NA
Máxima Potencia (kW/gpm)	49.22 Kw @ 5500 RPM	Máximo Torque (Nm/gpm)	94 N.m @ 3600 RPM
Sistema de enfriamiento	REFRIGERANTE	Tipo de aspiración	ATMOSFERICO
Cilindrada (cm3)	1000	Transmisión (manual/automática)	MANUAL
Combustible / Fuente de energía	GASOLINA	Categoría-Subcategoría-Caja	HATCHBACK
Tipo	M_1	Año-modelo vehículo	2016
Tonelaje (t)	0.75	País de origen	INDIA

**Opcional en RTV

Hora de inicio	09 h 00	Hora final	12 h 00
Temperatura ambiente °C	23	Humedad Relativa (%)	35
Presión Atmosférica (hPa)	732		
Serie equipo	3875534048		
RESULTADOS DEL ANALIZADOR DE GASES			
Parámetros	PRUEBAS DINÁMICAS - CICLO IM240 (INSPECTION - MAINTENANCE DRIVING CYCLE)		
	Medición 4	Medición 5	Medición 6
CO [%v]	0,50	0,50	-
CO ₂ [%v]	13,37	13,02	-
HC [ppm]	32	22	-
O ₂ [%v]	0,90	1,85	-
NOx [ppm]	8	8	-
λ [Lambdas]	1,08	1,11	-

OBSERVACIONES:

Firma Responsable:  Técnico No 1
 Nombre: Fabían Iza

Firma Responsable de Unidad:  Técnico No 2
 Nombre: Ing. Diego Linares