



Universidad Autónoma del Estado de México

UAEM

Universidad Autónoma del Estado de México

Centro Universitario UAEM Nezahualcóyotl

LICENCIATURA EN INGENIERÍA EN TRANSPORTE

“Determinación del factor Lambda (λ) de las mediciones de emisiones contaminantes de los vehículos a gasolina del CU Nezahualcóyotl”

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO EN TRANSPORTE

PRESENTA:

JAIME GONZÁLEZ DELGADILLO

No. De Cuenta: 1428677

NOMBRE DEL DIRECTOR:

DR. JUAN ANTONIO JIMÉNEZ GARCÍA

Fecha

febrero de 2018.



CONTENIDO

I.	INTRODUCCIÓN	Pág. I
II.	RESUMEN	II
III.	OBJETIVO	VI
IV.	OBJETIVO ESPECIFICO	VI
V.	METODOLOGIA	VII
VI.	ANTECEDENTES	VIII
VII.	IMPORTANCIA DEL PROBLEMA	XI
	CAPÍTULO 1	1
	EMISIONES CONTAMINANTES DEL SECTOR TRANSPORTE	
1.1.	SECTOR TRANSPORTE INEGI	3
1.2.	ORIGEN DE LOS CONTAMINANTES DEL AIRE	4
1.3.	TIPOS DE CONTAMINANTES EN EL AIRE	4
1.4.	REGLAMENTACIÓN INTERNACIONAL	9
1.5.	REGLAMENTACIÓN MEXICANA	10
1.6.	EMISIONES CONTAMINANTES DE FUENTES MÓVILES	12
1.7.	EMISIONES CONTAMINANTES ANALIZADAS EN EL SECTOR TRANSPORTE	13
1.8.	EMISIONES CONTAMINANTES A NIVEL GLOBAL	14
1.9.	EMISIONES CONTAMINANTES DE MÉXICO	16
1.10.	MEDIDAS DE MITIGACIÓN PARA LA REDUCCIÓN E MISIONES CONTAMINANTES DEL SECTOR TRANSPORTE	18
	CAPÍTULO 2.	21
	MOTORES DE COMBUSTIÓN INTERNA	
2.1.	CICLO OTTO	24
2.2.	QUÍMICA EN LA COMBUSTIÓN	27
2.3.	SISTEMA DE COMBUSTIÓN DEL AUTOMÓVIL	29
2.4.	SISTEMA DE ESCAPE DEL MOTOR DEL AUTOMÓVIL	31
2.5.	EL CONVERTIDOR CATALÍTICO	33
2.6.	SISTEMAS COMPUTARIZADOS PARA EL CONTROL DEL MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA	35
2.7.	DIAGNÓSTICO DE LOS SISTEMAS ELECTRÓNICOS DE LOS MOTORES DE COMBUSTIÓN INTERNA	37
2.8.	SENSORES DEL AUTOMÓVIL	46
	CAPÍTULO 3.	50
	EQUIPO ANALIZADOR DE GASES	
3.1.	ANÁLISIS DE PRODUCTOS DE LA COMBUSTIÓN	51
3.2.	CONFIGURACIÓN DE SOFTWARE DE ANÁLISIS DE GASES	55

3.3. PREPARACIÓN Y CALIBRACIÓN DEL EQUIPO	58
CAPÍTULO 4.	61
DETERMINACIÓN DEL FACTOR LAMBDA	
4.1. DESARROLLO TECNOLÓGICO	61
4.2. INTERPRETACIÓN DEL FACTOR LAMBDA	62
4.3. FACTOR LAMBDA (Λ)	66
4.4. NORMA Oficial Mexicana NOM-167-SEMARNAT-2017	67
4.5. FÓRMULA DE BRETTSCHEIDER	71
CAPÍTULO 5.	75
RESULTADO DE EMISIONES Y FACTOR LAMBDA	
5.1. RESULTADOS DEL FACTOR LAMBDA	79
5.2. APLICACIÓN DE LA ECUACIÓN DE BRETTSCHEIDER	80
5.3. CRITERIOS DE ACEPTACIÓN O RECHAZO	82
5.4. RECOMENDACIONES GENERALES PARA REDUCIR LA EMISIONES CONTAMINANTES	83
CAPÍTULO 6.	86
ANÁLISIS DE RESULTADOS	
6.1. RESULTADOS “AFR” RELACIÓN AIRE COMBUSTIBLE	91
6.2. COMPARATIVA DE LA RELACIÓN AIRE COMBUSTIBLE	95
6.3. PROMEDIOS	97
6.4. RESULTADOS DE LAS PRUEBAS ANALIZADAS	98
CONCLUSIONES	100
REFERENCIAS	103

LISTADO DE ILUSTRACIONES

		PÁG.
Ilustración 2.0	Motor de Combustión Interna.	21
Ilustración 2.0.1	Cuatro tiempos del Motor de Combustión Interna.	22
Ilustración 2.1.0	Procesos del Motor de Combustión Interna	24
Ilustración 2.1.1	Procesos esquemáticamente un ciclo Otto.	25
Ilustración 2.1.2	Procesos de la actuación del ciclo Otto	26
Ilustración 2.3.0	Esquema del circuito de alimentación de combustible	30
Ilustración 2.4.0	Diagrama de bloques de un sistema de escape	31
Ilustración 2.5.0	Convertidor catalítico.	34
Ilustración 2.8.0	Activación del sensor del Automóvil.	46
Ilustración 2.8.1	Sensores del Automóvil.	47
Ilustración 2.8.2	Procesamiento de las señales de unidad de Control.	49
Ilustración 3.0	Escáner Automotriz Genesys NGIS	51
Ilustración 3.0.1	Módulo de Análisis de Gases M-P.	51
Ilustración 3.1.0	Aparato de Orsat	53
Ilustración 3.2.0	Configuración del límite de emisiones contaminantes.	55
Ilustración 3.2.1	Relación estequiometría de aire combustible	57
Ilustración 3.3.0	Conexión del módulo de gas de alto rendimiento.	58
Ilustración 3.3.1	Configuración del módulo de rendimiento.	59
Ilustración 3.3.2.	Pantalla de espera cero	60
Ilustración 3.3.3.	Pantalla de gas en vivo	60
Ilustración 4.2.0	Productos de la combustión estequiometría	64
Ilustración 4.2.1	Productos de la combustión estequiometría	65

LISTADO DE TABLAS

	PÁG.	
Tabla I	Compensación química del aire atmosférico seco.	IX
Tabla II	Clasificación General de los contaminantes gaseosos del aire.	X
Tabla 1.7.0	Emisiones contaminantes determinadas para la CDMX.	13
Tabla 1.8.0	límites de emisiones por contaminante en la Unión Europea.	14
Tabla 1.8.1	Límites de contaminante en los Estados Unidos.	15
Tabla 2.2.0	Símbolos y pesos moleculares.	28
Tabla 5.0	Datos de los vehículos para la medición de gases contaminantes.	75
Tabla 5.0.1	Datos en prueba en frío.	76
Tabla 5.0.2	Datos en prueba a 1000rpm.	77
Tabla 5.0.3	Datos en prueba a 2000rpm.	77
Tabla 5.0.4	Datos en prueba a 3000rpm.	78
Tabla 5.1.0	Resultados Factor Lambda	79
Tabla 5.2.0	Resultados Factor Lambda aplicamos la ecuación de brettschneider.	80
Tabla 5.2.1	Diferencia de "AFR" del Equipo y el Calculado.	81
Tabla 5.3.0	Criterios para la aceptación de la verificación Vehicular.	82
Tabla 6.4	Aceptación o rechazo de los vehículos analizados.	98
Tabla 6.4.1	Aceptación o rechazo de los vehículos analizados, bajo los criterios de la NOM ER- 167 SEMARNAT	99

LISTADO DE GRAFICAS

	PÁG.
Grafica 1.0.1 Emisiones contaminantes de la unión europea en el sector económico	1
Grafica 1.0.2 Emisiones de CO ₂ de estados Unidos	2
Grafica 6.0 Emisiones de CO ₂ de los vehículos analizados a diferentes condiciones de operación.	86
Grafica 6.0.1 Emisiones de CO de los vehículos analizados a diferentes condiciones de operación.	87
Grafica 6.0.2. Emisiones de NO _x de los vehículos analizados a diferentes condiciones de operación	88
Grafica 6.0.3. Emisiones de HC de los vehículos analizados a diferentes condiciones de operación.	89
Grafica 6.0.4. Emisiones de O ₂ de los vehículos analizados a diferentes condiciones de operación	90
Grafica 6.1 AFR Ralentí.	91
Grafica 6.1.2 AFR 1000 rpm.	92
Grafica 6.1.3 AFR 2000 rpm.	93
Grafica 6.1.4 AFR 3000 rpm.	94
Grafica 6.2. Comparativa del AFR.	96
Grafica 6.3. Promedio Lambda	97

I. INTRODUCCIÓN

La contaminación ambiental forma parte de la vida moderna, está ligada intrínsecamente al desarrollo de las grandes ciudades, consecuencia de la producción de mercancías, del uso excesivo de energía para nuestras actividades económicas; de vivienda, para transportarnos y recrearnos. La causa principal de toda la contaminación del aire es la combustión de todo tipo de combustibles. Desde 1700 los combustibles fósiles como el carbón, el petróleo y el gas natural se han utilizado para impulsar el desarrollo industrial y las comodidades de la vida moderna, pero ha sido imposible evitar efectos colaterales indeseables. El smog, la lluvia ácida, el calentamiento global y el cambio climático se deben a las emisiones contaminantes producidas durante la combustión de combustibles fósiles (Cengel & Boles, 2012), así como del proceso de las actividades económicas que el hombre realiza para su sustentación. En el presente trabajo se analizan las normas de emisiones contaminantes para vehículos automotores ligeros, se plantean las estrategias de control de emisiones del sector transporte y monitoreo de la calidad del aire. Finalmente se presentan las características físicas del equipo *M-P Gas*, con el que se realizarán pruebas de emisiones contaminantes en fuentes móviles, a fin de verificar que cumplan con las diferentes normativas de emisiones contaminantes desde un punto de vista técnico.

II. RESUMEN

La contaminación atmosférica es un tema de interés a nivel mundial, no solo por las repercusiones sobre la salud de la población, sino también por los efectos adversos del calentamiento global y cambio climático. Por ello el control y medición de las emisiones contaminantes productos de la actividad humana toma una actual relevancia. A nivel global, existe legislación en torno a la emisión de gases contaminantes como son: el Monóxido de Carbono (CO), Bióxido de Carbono (CO₂), Óxidos de Nitrógeno (NO_x) e Hidrocarburos no quemado (HC), así como particular solidas suspendidas (PM), para cada tipo de fuente de contaminación. Con los productos de la combustión se puede determinar el factor Lambda (λ) de cada vehículo, que se define como la relación entre la cantidad de aire necesaria para producir una combustión completa, en relación estequiométrica y la cantidad de aire real que aspira el motor.

El presente proyecto se enfoca en la determinación del Factor Lambda (λ) de las emisiones contaminantes de una muestra aleatoria de vehículos a gasolina del Centro Universitario UAEM Nezahualcóyotl, para ello, se analizan las normas de emisiones contaminantes establecidas para la circulación de vehículos automotores ligeros (Norma Oficial Mexicana NOM-041-SEMARNAT-2015, NOM 042-SEMARNAT-2003), que establecen los límites máximos de emisiones contaminantes, así como los procedimientos de medición establecidos en la NOM-045-SEMARNAT-2006, Protección Ambiental. Se analiza también la NOM-EM-167-SEMARNAT-2016, publicada en Julio de 2016, que establece los límites máximos de emisiones de los vehículos automotores que circulan en la megalópolis de la ciudad de México (Ciudad de México, Hidalgo, Estado de México, Morelos, Puebla y Tlaxcala), cuya principal modificación al programa de verificación vehicular es, que se considera al sistema de diagnóstico a bordo (OBD); OBDII (*On Board diagnostics*) y al EOBD (*European On Board Diagnostic*) o similares

La NOM-EM-167-SEMARNAT-2017, establece:

“...1.1.1.3 Límites máximos permisibles de emisión de hidrocarburos, monóxido de carbono, oxígeno y óxidos de nitrógeno, los niveles mínimo y máximo de la suma de monóxido y bióxido de carbono y el **Factor Lambda**, así como los límites relacionados al coeficiente de absorción de luz, partículas y al porcentaje de opacidad provenientes del escape de los vehículos automotores en circulación que usan gasolina y diesel, respectivamente...”

Los sistemas OBD y OBDII, o “computadora del automóvil” permiten identificar y mantener un registro de las fallas de operación de todos los componentes del tren motriz relacionados con la emisión de gases contaminantes, factor que no puede desvincularse de los niveles de emisión que genera el vehículo una vez que se encuentra en circulación, el sistema OBD, verifica el estado de los sensores involucrados en las emisiones contaminantes, por ejemplo la inyección de combustible y el sistema de inyección de aire al motor, dicho sistema alerta al conductor con una luz indicadora en el tablero (*Malfunction Indication Lamp (MIL)*), también conocida como *Check Engine* o *Service Engine Soon*). La alarma aparece cuando las emisiones contaminantes son generalmente 1.5 veces mayores a las establecidas de diseño.

El proyecto de determinación del factor Lambda (λ) de las mediciones de emisiones contaminantes de los vehículos a gasolina del CU Nezahualcóyotl, permitirá conocer el factor Lambda en función de la composición química de los gases de combustión provenientes del escape de los automóviles, se realizarán pruebas

aleatorio de emisiones de gases contaminantes de los vehículos particulares que circula diariamente en el oriente del estado de México, tomando como muestra a los vehículos que se trasladan a las instalaciones de la CU Nezahualcóyotl, lo que permitirá conocer las emisiones contaminantes de cinco gases: Monóxido de Carbono (CO), Bióxido de Carbono (CO₂), Óxidos de Nitrógeno (NO_x) e Hidrocarburos no quemado (HC) así como el oxígeno excedente en los gases de escape del automóvil, con los cuales se utilizara la fórmula de Brettschneider, para determinar el factor Lambda (λ), este factor en primera instancia se comparara con el determinado por el equipo de medición y posteriormente se ubicara en rango de emisiones contaminantes en el que trabaja el vehículo.

Las mediciones de emisiones contaminantes se realizaran empleando el *Modulo de Gases M-P* (ver figura 4.0 b), que es un analizador de gases para los escapes de los vehículos automotrices, que permite medir los niveles de emisión de dióxido de carbono (CO₂), monóxido de carbono (CO), Hidrocarburos (HC), oxígeno (O₂) y óxidos de Nitrógeno (NO_x), el cual es un complemento del scanner automotriz Genesys NG/S (ver figura 4.0 a) De esta manera, se podrá realizar una verificación físico – mecánica de los vehículos y al mismo tiempo una prueba de emisiones reales a la atmosfera provenientes del escape de cada uno de ellos.

La muestra aleatoria de emisiones contaminantes de diferentes vehículos estará clasificada por número de cilindros, tamaño del motor, kilometraje del Odómetro, antigüedades, marcas, modelos, años de operación, tipo de falla presente al momento de las pruebas de emisiones, y revoluciones por minuto (rpm), lo que permitirá verificar el cumplimiento de la Normas en materia de emisiones contaminantes de fuentes móviles y determinar la cantidad de vehículos que cumplen con la normativa y el factor Lambda (λ) recomendado por la norma, así como realizar la recomendación pertinente del tipo de mantenimiento correctivo que necesita para cumplir con la reglamentación local e internacional en materia ambiental.

Se establecerán las características técnicas para configurar y preparar el equipo de medición, que comprende el escáner Automotriz Genesys *NGIS* y el Modulo de Gases *M-P*, su puesta en marcha y calibración para realizar pruebas de medición de emisiones contaminantes y verificación de las condiciones físico mecánicas del automóvil a través del sistema OBD.

Como resultado de la investigación se espera encontrar las emisiones contaminantes provenientes de los escapes de los automóviles, clasificarlas por tipo de contaminante, determinar el valor del factor Lambda (λ) y realizar un análisis de sensibilidad sobre el tipo de contaminante encontrado y su relación con el factor Lambda. Se identificarán las posibles causas del incremento de las emisiones y se establecerán las estrategias de mantenimiento preventivo para evitar fallas en los sistemas de control de emisiones.

- Sistema de ventilación positiva del Cáster (PCV).
- Sistema cerrado de control evaporativo (Canister).
- Sistema de recirculación parcial de gases de escape (EGR).
- Sistema de inyección adicional de aire al ducto de escape.
- Sensor de oxígeno (Sonda Lambda).
- Convertidor catalítico.

III. OBJETIVO

Medir las emisiones contaminantes de una muestra de los automóviles particulares a gasolina que circulan diariamente a las instalaciones del CU Nezahualcóyotl y determinar el factor Lambda (λ)

IV. OBJETIVO ESPECIFICO

verificar que los vehículos analizados cumplan con la normativa ambiental en materia de emisiones contaminantes, considerando las emisiones contaminantes provenientes de los escapes de los automóviles de cinco gases: Monóxido de Carbono (CO), Bióxido de Carbono (CO₂), Óxidos de Nitrógeno (NO_x) e Hidrocarburos no quemado (HC) así como el oxígeno excedente en los gases de escape del automóvil.

Desarrollar la metodología y las especificaciones para realizar pruebas de emisiones contaminantes, empleando el analizador de gases *M-P* y el scanner automotriz *Genesys*, que incluye instalación del software, configuración del escáner, configuración e instalación del analizador de gases *M-P*, configuración del software del analizador de gases *M-P*, procedimiento del método de prueba y análisis de los resultados.

Identificar las posibles causas y diagnosticar el origen de las fallas en el sistema de control de emisiones para indicar el tipo de mantenimiento correctivo o preventivo que requiere la unidad a fin de que aprueben la normativa ambiental en materia de emisiones de fuentes móviles.

V. METODOLOGÍA

La metodología que se emplearán para desarrollar la presente investigación serán: experimental y Analítico.

El método experimental estará sustentando en un procedimiento técnico específico para realizar la correcta medición de emisiones contaminantes, desde la preparación del equipo científico, mediciones preliminares, recolección de datos, análisis de datos y escritura de los resultados o informe técnico. Tomando las precauciones necesarias a fin de evitar errores metrológicos.

El método analítico, radica en la comprensión del caso de estudio, comprender la forma en la que se generan los gases contaminantes como son CO, CO₂, NO_x, HC y PM, con los cuales se determinara el factor Lambda y se especificara la importancia de este factor sobre las emisiones contaminantes de los vehículos analizados.

VI. ANTECEDENTES

La contaminación ambiental forma parte de la vida moderna, está ligada intrínsecamente al desarrollo de las grandes ciudades, consecuencia de la producción de mercancías, del uso excesivo de energía para nuestras actividades económicas; de vivienda, para transportarnos y recrearnos. La causa principal de toda la contaminación del aire es la combustión de todo tipo de combustibles. Desde 1700 los combustibles fósiles como el carbón, el petróleo y el gas natural se han utilizado para impulsar el desarrollo industrial y las comodidades de la vida moderna, pero ha sido imposible evitar efectos colaterales indeseables. El smog, la lluvia ácida, el calentamiento global y el cambio climático se deben a las emisiones contaminantes producidas durante la combustión de combustibles fósiles (Cengel & Boles, 2012), así como del proceso de las actividades económicas que el hombre realiza para su sustentación. El presente proyecto de investigación, está enfocado a la medición de las emisiones contaminantes provenientes de los escapes de los vehículos a gasolina, empleado equipo tecnológico para medir las emisiones y verificar que éstas se encuentren dentro de lo establecido por las normas en materia de emisiones contaminantes de fuentes móviles.

Clasificaciones General de los contaminantes del aire

Para clasificar los contaminantes del aire, es necesario definir el término contaminación del aire. “Se puede definir la contaminación del aire como la presencia en la atmósfera exterior de uno o más contaminantes o sus combinaciones, en cantidades tales y con tal duración que sean o puedan afectar la vida humana, de animales, de plantas, o de la propiedad, que interfiera el goce de la vida, la propiedad o el ejercicio de las actividades” (Warner , 2010).

Una forma para definir la contaminación del aire, consiste en definir la composición química del aire seco, “limpio”, o “normal” y luego clasificar todos los otros materiales o las cantidades aumentadas de dichos materiales presentes en la composición del aire atmosférico. En la tabla I, se muestra la composición química del aire atmosférico seco.

Sustancia	Volumen (por ciento)	Concentración (ppm) ^a
Nitrógeno	78.084 ± 0.004	780,900
Oxígeno	20.946 ± 0.002	209,400
Argón	0.934 ± 0.001	9,300
Dióxido de Carbono	0.033 ± 0.001	315
Neón		18
Helio		5.2
Metano		1.2
Criptón		0.5
Hidrogeno		0.5
Xenón		0.08
Dióxido de Nitrógeno		0.02
Ozono		0.01 – 0.04

Tabla I Compensación química del aire atmosférico seco. Fuente: Warner 2010

* Ppm= Partes por millón

A continuación, se presenta una clasificación general de los contaminantes a la atmosfera:

- 1.- Materia Particulada.
- 2.- Compuestos que contienen Azufre.
- 3.- Compuestos Orgánicos.
- 4.- Compuestos que contienen Nitrógeno
- 5.- Monóxido de Carbón.
- 6.- Compuestos Halogenados.
- 7.- Compuestos Radioactivos.

En la tabla II se presentan los contaminantes primarios y secundarios de los contaminantes gaseosos al aire (Warner , 2010).

Clase	Contaminantes Primarios	Contaminantes Secundarios
Compuesto que contiene Azufre	SO ₂ , H ₂ S	SO ₃ , H ₂ SO ₄ , MSO ₄ ^a
Compuestos Orgánicos	Compuestos de C ₁ - C ₅	Cetonas, Aldehídos, Ácidos
Compuestos que contienen Nitrógeno	NO, NH ₃	NO ₂ MNO ₃ ^a
Óxidos de Carbón	CO, (CO ₂)	(ninguno)
Halógeno	HCl, HF	(ninguno)

^a MSO₄ y MNO₃ denotan compuestos de sulfatos y nitratos, respectivamente.

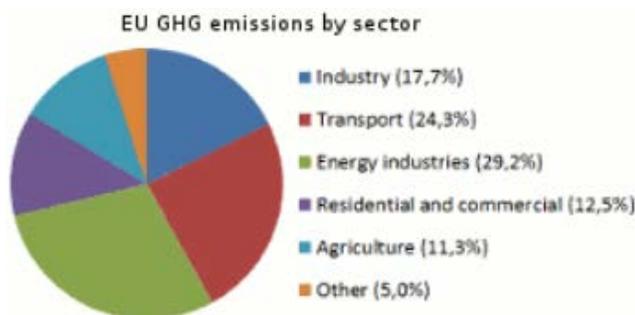
Tabla II Clasificación General de los contaminantes gaseosos del aire.
Fuente: Warner 2010

VII. IMPORTANCIA DEL PROBLEMA

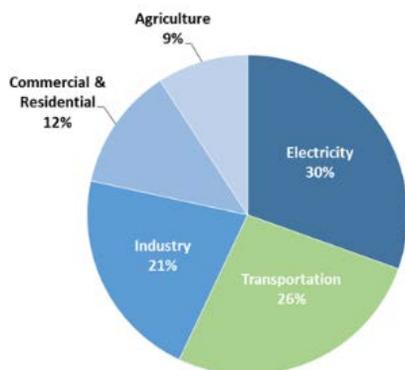
La contaminación ambiental es un factor de alta importancia en la vida cotidiana en la cual estamos expuestos a los gases contaminantes de los vehículos de combustión interna, los cuales son gases dañinos para la salud. Es por eso que se realizó un análisis de los gases contaminantes del aire del parque vehicular de la Universidad Autónoma del Estado de México, el cual fue recabado comprobando reales a vehículos de diferentes años por medio de un analizador de gases para motores de combustión interna a gasolina.

CAPÍTULO 1. EMISIONES CONTAMINANTES DEL SECTOR TRANSPORTE

El sector de transporte, que incluye el movimiento de personas y mercancías por los coches, camiones, trenes, barcos, aviones y otros vehículos. La mayoría de las emisiones de gases de efecto invernadero procedentes del transporte son las emisiones de CO₂ resultantes de la combustión de productos derivados del petróleo, como la gasolina, en los motores de combustión interna. Las mayores fuentes de emisiones de gases de efecto invernadero relacionadas con el transporte son provocadas por vehículos de pasajeros y camiones ligeros, vehículos utilitarios deportivos, camionetas, y minivans, que representan más de la mitad de las emisiones del sector. El resto de las emisiones de gases de efecto invernadero proviene de otros modos de transporte, incluyendo camiones de carga, aviones comerciales, naves, barcos y trenes, así como tuberías y lubricantes (EPA, 2016). En 2014, las emisiones de gases de efecto invernadero procedentes del transporte representaron alrededor del 26% del total de las emisiones en Estados Unidos (EPA, 2016), y el 24.3% para la Unión Europea (European Commission, 2015). Por lo que el sector transporte, es el segundo mayor contribuyente de las emisiones de gases de efecto invernadero de Estados Unidos y la Unión Europea después de que el sector eléctrico e industrial, como se puede apreciar en las gráficas de la gráfica 1.0.1 y 1.0. 2.



Grafica 1.0.1 Emisiones contaminantes de la unión europea en el sector económico. Fuente: Navarro 2014



Grafica 1.0.2 Emisiones de CO₂ de estados Unidos. Total Emissions in 2014 = 6,870 Million Metric Tons of CO₂ equivalent. Fuente: Navarro 2014

Para el caso de México, se estima que el sector transporte es uno de los principales emisores de contaminantes a escala nacional, siendo responsable de 90.03% de las emisiones de monóxido de carbono (CO) y de 45.67% de óxidos de nitrógeno (NO_x), en todo el país. Dentro del sector transporte los vehículos de pasajeros — denominados ligeros— emiten el 74.41% de CO, el 52.55% de NO_x, el 73.55% de Compuestos Orgánicos Volátiles (COV) y 94.50% de amoniaco (NH₃). Estos contaminantes contribuyen a la formación de ozono en la atmósfera (Navarro, 2014).

Las emisiones contaminantes se agravan cuando el parque vehicular circula en condiciones deplorables y en mal estado físico mecánico y/o con fallas en los sistemas de control de emisiones. Se estima que en la Ciudad de México circulan diariamente 5.5 millones de automóviles (De Regil , 2014), de los cuales el 78% son autos particulares, 8% transporte público de pasajeros y 14% de carga (Pazo, 2016). Sin embargo, se enfatiza que el 32% del parque vehicular tiene una antigüedad mayor a 21 años, y de los cuales el 11% son modelo 1990 y anteriores, que no cuentan con ningún sistema de control de emisiones contaminantes, casos en los que se agravan las emisiones de gases contaminantes a la atmosfera.

1.1 SECTOR TRANSPORTE INEGI

El sector transporte es uno de los principales responsables de la contaminación del aire, debido al uso masivo de combustibles fósiles cuya combustión es el origen de las emisiones causantes del problema. De acuerdo al Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) para 2009, fue registrado un total de 30,904,654 millones de vehículos (esta cifra incluye automóviles, camiones para pasajeros, camiones, y camionetas para carga, y motocicletas). De esta cifra, el 40% corresponde a automóviles (20,523,704 millones), de los cuales aproximadamente el 46% cuenta con una antigüedad mayor a 18 años y el 30% se compone de unidades del 2000 a la fecha. Tan sólo en el DF, se registran un total de 4,120,535 millones vehículos (esta cifra incluye automóviles, camiones para pasajeros, camiones y camionetas para carga, y motocicletas), de los cuales 48% corresponde a automóviles privados (3,824,53 millones). La preocupación que se tiene sobre el sector transporte radica en que existe un aumento de la flota vehicular en el país, comenzando por los 426 mil 121 vehículos usados que entraron de Estados Unidos a México tan sólo en 2010; mientras que de autos vendidos se tuvieron 820 mil 406 unidades.

Lo anterior es preocupante, porque los autos que se integran a la flota son vehículos ineficientes, es decir, que consumen más combustibles. Esto se debe a que México no cuenta con una regulación para introducir vehículos más eficientes, provocando un aumento de la importación de dichos combustibles en hasta 400% en los últimos años. Por lo anterior, el sector transporte es la segunda fuente de emisiones de gases de efecto invernadero, causantes del cambio climático con un 18% del total nacional; distribuidas en un 16.2% del subsector automotor, 0.1% del subsector aéreo y un 0.8% de los sectores ferroviario y marítimo”.

Respira Mexico (2018) [En línea]. México, disponible en:

<http://respiramexico.org.mx/por-que-respira-mexico/> [Accesado el día 14 de enero de 2019]

1.2 ORIGEN DE LOS CONTAMINANTES DEL AIRE

La contaminación del aire es parte de la vida en México. Es la consecuencia de los malos hábitos de los seres humanos al hacer uso de los combustibles fósiles sin medidas regulatorias para el transporte, construcción, manufactura de productos, etc. La principal fuente de contaminación en el país es la combustión de hidrocarburos, la cual es esencial para la vida del hombre. Cuando ocurre la combustión perfecta esta genera un mínimo de contaminantes, el hidrogeno y el carbono se combinan con el oxígeno del aire para formar calor, dióxido de azufre y vapor de agua. Sin embargo, la mala calidad de los combustibles y el uso inadecuado de esto bajos malas condiciones, genera otro tipo de sustancias como monóxido de carbono, óxidos de azufre, óxidos de nitrógeno e hidrocarburos no quemados, todos estos generan gran parte de la contaminación del aire.

Contaminación del aire, origen y control, Wark K, Warner C, 2010 editorial LIMUSA, S.A de C. V

1.3 TIPOS DE CONTAMINANTES EN EL AIRE

La principal diferencia entre los contaminantes criterio y no criterio es que los primeros han sido estudiados extensivamente y existe amplia información sobre sus fuentes de emisión, niveles en el ambiente e impactos en la salud, mientras los segundos han comenzado a ser estudiados más recientemente y no cuentan con información tan amplia.

Los contaminantes criterio han sido utilizados como “indicadores” durante varias décadas, estimando que, de estar éstos dentro de valores aceptables, el resto de los contaminantes no debería aparecer en exceso. La discusión actual está revisando lo dicho ya que existen procesos químicos que liberan contaminantes

peligrosos sin emitir ninguno de los “criterio”. Se entiende por guía de calidad del aire al valor estimado del nivel de concentración de un contaminante del aire al cual pueden estar expuestos los seres humanos durante un tiempo determinado sin riesgos apreciables para la salud.

Estos estimados son recomendaciones o sugerencias y no se encuentran respaldados por normas legales. Mientras que la norma de calidad del aire trata de un instrumento legal que establece el límite máximo permisible de concentración de un contaminante del aire durante un tiempo promedio de muestreo determinado, medido de acuerdo a métodos de referencia o equivalentes a éste debidamente documentados, definido con el propósito de proteger la salud y el ambiente.

Las variaciones que se observan en cuanto a lo reglamentado para un mismo contaminante en diferentes países dependen del enfoque usado en el proceso de formulación de la norma y la forma en que se implementa dentro de las estrategias de manejo de la calidad del aire. Dióxido de azufre (SO₂) El SO₂ es un gas incoloro. Se produce especialmente durante la combustión de carbón e hidrocarburos y su concentración está relacionada con el grado de impureza del combustible.

Se produce además en procesos industriales tales como la producción de ácido sulfúrico y la de papel. La producción de lluvia ácida y el aumento de los niveles de partículas con diámetro aerodinámico menor o igual a 10 micrómetros (PM 10) y a 2,5 micrómetros

(PM 2,5) se ven incrementadas cuando el SO₂ y los oxidantes fotoquímicos reaccionan en la atmósfera formando inicialmente el trióxido de azufre y posteriormente, al combinarse el mismo con agua, ácido sulfúrico y partículas sulfatadas.

La exposición a SO₂ en valores encima de los recomendados disminuye la función pulmonar, enfermedades respiratorias preexistentes (especialmente bronquitis) la capacidad pulmonar para liberarse de las partículas que ingresan tracto respiratorio.

Los asmáticos y las personas con enfermedades pulmonares obstructivas crónicas (EPOC) y con problemas cardíacos son los más sensibles a los efectos del SO₂. La exposición de corto plazo a altas concentraciones de SO₂ puede irritar el tracto respiratorio y congestionar los conductos bronquiales.

Monóxido de carbono (CO)

El CO es un gas incoloro e inodoro que se produce por la combustión incompleta. Los automóviles con motores de ciclo Otto son la principal fuente de emisión de CO. Las chimeneas industriales, las calderas, los termo tanques o calefones, las estufas, las cocinas y los calentadores a kerosene, entre otros, también emiten CO. La exposición a CO puede contribuir a la disminución del suministro de oxígeno en los tejidos y esto es debido a que la hemoglobina de la sangre tiene mayor afinidad con el CO que con el O₂, lo que da lugar a la formación de carboxihemoglobina (COHb).

El efecto a corto plazo de la exposición a CO es similar a la sensación de fatiga que se experimenta en altura, después de la ejercitación física, cuando se padece de anemia o inclusive malestar estomacal equivalente a síntomas de indigestión. La exposición al CO en tiempos prolongados puede exacerbar las enfermedades del corazón y pulmón en especial en nonatos, neonatos, ancianos, embarazadas y quienes sufren de algunas enfermedades crónicas. Dióxido de nitrógeno (NO₂) El NO₂ es un gas amarronado producido directa e indirectamente por la combustión a altas temperaturas, por ejemplo, en automóviles, plantas termoeléctricas, fundiciones, etc.

El nitrógeno presente en el combustible y en el aire se oxidan en el proceso de combustión, formándose primordialmente óxido nítrico (NO) y en menor proporción NO₂. En presencia de radiación él se convierte, mediante reacciones fotoquímicas, en NO₂ (O₃) al combinarse con compuestos orgánicos volátiles también se combina con agua para formar ácido nítrico y nitratos que contribuyen a la producción de lluvia ácida y al aumento de los niveles de PM₁₀ y PM_{2,5}. El NO₂

puede causar problemas respiratorios principalmente en asmáticos y niños, mientras que el NO es relativamente inofensivo.

En estudios con animales se ha reportado que la exposición de corto plazo al NO₂ puede debilitar los mecanismos de defensa e incrementar la susceptibilidad a infecciones respiratorias, mientras que a largo plazo se han demostrado cambios estructurales en los pulmones. La tabla 7 presenta los valores guía para NO₂ recomendados por la OMS, los niveles por encima de los cuales se han observado efectos en la salud y los diferentes tiempos promedio de exposición solar, NO y éste en ozono (VOCs).

Ozono (O₃)

El O₃ es un gas incoloro con un olor característico (es el que se percibe cuando se producen chispas) formado por reacciones en la troposfera, fundamentalmente mediante la reacción química del NO₂ y compuestos orgánicos volátiles (COVs) en presencia de radiación solar.

La concentración de ozono troposférico en una determinada localidad depende de las emisiones de óxidos de nitrógeno, de las cantidades y tipos de COVs presentes, de la intensidad de la luz solar y de las condiciones meteorológicas. Cabe aclarar que así como el ozono producido naturalmente (con causa principal la reacción entre moléculas de oxígeno y radiación ultravioleta) en la estratosfera es beneficioso porque protege a la superficie de la Tierra de la nociva radiación ultravioleta del sol, el ozono producido en la estratosfera (nivel del suelo), también llamado smog fotoquímico, es altamente nocivo para la salud pública en especial en ancianos, neonatos y nonatos.

El O₃ irrita las membranas de la mucosa de la nariz, garganta y tracto respiratorio por lo que los efectos son más severos en individuos con sistemas respiratorios sensibles. Los síntomas asociados a la exposición a O₃ incluyen tos, dolores en el pecho e irritación de la garganta, también lagrimeo. Un tema de gran preocupación son los efectos crónicos causados por exposiciones repetidas a O₃.

En el laboratorio se ha demostrado que las personas expuestas a bajos niveles de ozono por un periodo mayor de 6 a 8 horas pueden desarrollar una inflamación pulmonar y los estudios en animales indican que si las exposiciones a O₃ son repetidas a lo largo de la vida, la inflamación pulmonar puede causar daño permanente, disminución de la función pulmonar y reducción de la elasticidad de los tejidos pulmonares.

Material particulado

El material particulado está constituido por partículas sólidas o líquidas suspendidas en el aire. Esas partículas tienen una composición química diversa y su tamaño varía de 0,005 a 100 µm de diámetro aerodinámico.

El material particulado lo producen los motores ciclo diesel y la combustión incompleta de combustibles sólidos, como la madera y el carbón. Se produce también por la condensación de vapores ácidos y Compuestos Orgánicos Semivolátiles (SOCs, por sus siglas en inglés) y mediante las reacciones del NO₂ y SO₂ que forman nitratos y sulfatos, respectivamente.

La presencia de material particulado agrava enfermedades respiratorias y cardíacas preexistentes y causa daño a los pulmones en especial a las personas con influenza, con enfermedades pulmonares y cardíacas crónicas, asmáticos, adultos mayores y niños.

Sbarato D, y Sbarato V, Contaminación del aire. Córdoba, AR: Editorial Brujas, 2006. ProQuest ebrary. Web. 3 Julio 2017. Copyright © 2006. Editorial Brujas. All rights reserved

1.4 REGLAMENTACIÓN INTERNACIONAL

La Agencia Europea de Medio Ambiente (AEMA) es un organismo de la Unión Europea. Su labor es ofrecer información sólida e independiente sobre el medio ambiente. Es la fuente principal de información para los responsables del desarrollo, la aprobación, la ejecución y la evaluación de las políticas medioambientales, y también para el gran público.

El Reglamento por el que se crea la AEMA fue adoptado por la Unión Europea en 1990. Entró en vigor a finales de 1993, inmediatamente después de que se decidiera establecer su sede en Copenhague, aunque hasta 1994 no se empezó a trabajar a pleno rendimiento. El Reglamento establecía también la creación de la Red europea de información y observación del medio ambiente (Eionet).

Utilizando la siguiente política de reglamentación: 1999 Protocolo para reducir la acidificación, la eutrofización y el ozono del suelo, Convención sobre la contaminación atmosférica transfronteriza a larga distancia Protocolo de 1999 para reducir la acidificación, la eutrofización y el ozono troposférico.

Agencia Europea de Medio Ambiente (AEMA). (2018) [En línea]. México, disponible en: <https://www.eea.europa.eu/es/about-us/who> [Accesado el día 20 de diciembre de 2018]

1.5 REGLAMENTACIÓN MEXICANA

El gobierno federal es el responsable de establecer los estándares para la protección de la salud pública y vigilar su cumplimiento. Estos estándares se encuentran publicados en las Normas Oficiales Mexicanas (NOM) y son de observación obligatoria en todo el país. Las NOM describen los límites permisibles para el contaminante criterio. Estas normas están condicionadas a una revisión periódica para reflejar la información reciente sobre los efectos en la salud y la gestión de la calidad del aire.

En el monitoreo de la calidad del aire se emplean dos tipos de normas: las NOM de salud ambiental que establecen los límites permisibles para el contaminante criterio, y las NOM técnicas que definen los métodos de medición de los contaminantes criterios.

Norma Oficial Mexicana de Emergencia NOM-EM-167-SEMARNAT-2016, Que establece los niveles de emisión de contaminantes para los vehículos automotores que circulan en la Ciudad de México, Hidalgo, Estado de México, Morelos, Puebla y Tlaxcala; los métodos de prueba para la certificación de dichos niveles y las especificaciones de los equipos que se utilicen para dicha certificación, así como las especificaciones para los equipos tecnológicos que se utilicen para la medición de emisiones por vía remota y para la realización de dicha medición.

Que en ejercicio de las facultades que le confiere el artículo 111 de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente, la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales expidió los siguientes instrumentos normativos:

- A. Norma Oficial Mexicana NOM-050-SEMARNAT-1993, que establece los niveles máximos permisibles de emisión de gases contaminantes provenientes del escape de los vehículos automotores en circulación que usan gas licuado de

- petróleo, gas natural u otros combustibles alternos como combustible, publicada en el Diario Oficial de la Federación del 22 de octubre de 1993,
- B. Norma Oficial Mexicana NOM-041-SEMARNAT-2015, que establece los límites máximos permisibles de emisión de gases contaminantes provenientes del escape de los vehículos automotores en circulación que usan gasolina como combustible, publicada en el Diario Oficial de la Federación el 6 de marzo de 2007, y su respectivo Acuerdo por el que se modifican diversos numerales y el artículo primero transitorio de la
- C. Norma Oficial Mexicana NOM-041-SEMARNAT-2015, Que establece los límites máximos permisibles de emisión de gases contaminantes provenientes del escape de los vehículos automotores en circulación que usan gasolina como combustible, publicado en el Diario Oficial de la Federación del 14 de octubre de 2015,
- D. Norma Oficial Mexicana NOM-042-SEMARNAT-2003 que establece los límites máximos permisibles de emisión de hidrocarburos totales o no metano, monóxido de carbono, óxidos de nitrógeno y partículas provenientes del escape de los vehículos automotores nuevos cuyo peso bruto vehicular no exceda los 3,857 kilogramos, que usen gasolina, gas licuado de petróleo, gas natural y diesel, así como las emisiones de hidrocarburos evaporativos provenientes del sistema de combustible de dichos vehículos, publicada en el Diario Oficial de la Federación del 7 de septiembre de 2005;
- E. Norma Oficial Mexicana NOM-045-SEMARNAT-2006, Protección Ambiental.- Vehículos en circulación que usan diesel como combustible.- Límites máximos permisibles de opacidad, procedimiento de prueba y características técnicas del equipo de medición, publicada en el Diario Oficial de la Federación del 13 de septiembre de 2007; y,
- F. Norma Oficial Mexicana NOM-047-SEMARNAT-2014, que establece las características del equipo y el procedimiento de medición para la verificación de los límites de emisión de contaminantes, provenientes de los vehículos automotores en circulación que usan gasolina, gas licuado de petróleo, gas

natural u otros combustibles alternos, publicada en el Diario Oficial de la Federación el 26 de noviembre de 2014.

Diario Oficial de la Federación. (2016) [En línea]. México, disponible en: http://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5440157&fecha=07/06/2016 [Accesado el día 20 de Diciembre del 2018]

1.6 EMISIONES CONTAMINANTES DE FUENTES MÓVILES

Los automóviles y toda fuente que circula por calles, rutas o autopistas son habitualmente los que generan el mayor volumen de contaminantes.

Las emisiones por fuentes móviles se producen por la quema de combustibles fósiles utilizados por el parque automotor ya que los vehículos automotores son los principales emisores de contaminantes como óxidos de nitrógeno, monóxido de carbono, hidrocarburos no quemados, dióxidos de azufre y compuestos orgánicos volátiles. El proceso de combustión completa en la realidad, no se realiza prácticamente en ninguna de las condiciones de funcionamiento del motor, pues la mezcla comprimida luego de la combustión se transforma básicamente en vapor de agua (H₂O), dióxido de carbono (CO₂) y nitrógeno (N₂), ninguno de los cuales es nocivo, pero además por el escape, se emiten otros productos en pequeñas cantidades como el monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrógeno (NO_x), hidrocarburos no quemados (HC), entre otros, los cuales sí son nocivos para la salud y son considerados contaminantes, por lo cual deben ser reducidos o transformados en otros productos no perjudiciales.

Si la combustión de los motores fuese completa o perfecta, las emisiones resultantes de la misma serían exclusivamente: nitrógeno (N₂), anhídrido carbónico (CO₂), vapor de agua (H₂O) y oxígeno (O₂). Evidentemente, esto no es así, la combustión siempre es incompleta y, dependiendo del tipo y condiciones de funcionamiento de cada motor, en las emisiones emitidas a la atmósfera a través

del tubo de escape se pueden localizar una cantidad de componentes nocivos próxima al 1%.

Miriam E. Téllez Ballesteros (2011) "Emisiones contaminantes", *Balance Energético del Transporte en el distrito Federal*, Enero 2011.

1.7 EMISIONES CONTAMINANTES ANALIZADAS EN EL SECTOR TRANSPORTE

Las emisiones contaminantes determinadas para la CDMX corresponden a: bióxido de carbono (CO_2), monóxido de carbono (CO), bióxido de azufre (SO_2), óxidos de nitrógeno (NO_x), material particulado (MP) y compuestos orgánicos totales gaseosos (COT gases).

UTU	COT gases	CO	NO_x	CO_2	MP	SO_2
Pasajeros superficie individual	47,675	394,571	25,763	7,820,326	671	1,515
Pasajeros superficie colectivo	45,927	809,297	41,953	3,324,072	576	917
Pasajeros semiconfinado colectivo	60	60	5.0	649.0	0.2	0.2
Carga y/o pasajeros superficie	43,235	406,715	18,383	4,200,904	396	853
Carga superficie	12,786	167,987	61,853	1,707,996	482	563
Total	149,618	1,778,631	148,010	17,060,916	2,127	3,815

Tabla 1.7.0 Emisiones contaminantes determinadas para la CDMX.
Fuente: Ballesteros 2011

Miriam E. Téllez Ballesteros (2011) "Emisiones contaminantes", *Balance Energético del Transporte en el distrito Federal*, Enero 2011.

1.8 EMISIONES CONTAMINANTES A NIVEL GLOBAL

La norma de emisiones va evolucionando a medida que avanza la tecnología, obligando a los fabricantes de vehículos a hacer uso de ella para reducir paulatinamente los contaminantes emitidos por sus vehículos. Por ejemplo, en Estados Unidos se permite más del doble de emisiones de CO por km (principal contaminante de vehículos MEP –gasolina para entendernos-), mientras que en Europa se permite el doble de emisiones de NOx por km (principal contaminante de vehículos MEC –diésel-). Para comercializar esos vehículos en Europa es necesaria una homologación previa; es decir, un Servicio Técnico Acreditado por la autoridad competente (en España, el Ministerio de Industria) realiza los ensayos necesarios para certificar que el vehículo cumple la norma.

Límites de emisiones por contaminante en la Unión Europea (g/km)						
Tipo	Fecha	CO	HC	HC+NOx	NOx	PM (ppm)
Diésel						
Euro I	Julio de 1992	2,72 (3,16)	-	0,97 (1,13)	-	0,14 (0,18)
Euro II	Enero de 1996	1,0	-	0,7	-	0,08
Euro III	Enero de 2000	0,64	-	0,56	0,50	0,05
Euro IV	Enero de 2005	0,50	-	0,30	0,25	0,025
Euro V	Septiembre de 2009	0,50	-	0,23	0,18	0,005
Euro VI	Septiembre de 2014	0,50	-	0,17	0,08	0,005
Gasolina						
Euro I	Julio de 1992	2,72 (3,16)	-	0,97 (1,13)	-	-
Euro II	Enero de 1996	2,2	-	0,5	-	-
Euro III	Enero de 2000	2,30	0,20	-	0,15	-
Euro IV	Enero de 2005	1,0	0,10	-	0,08	-
Euro V	Septiembre de 2009	1,0	0,10	-	0,06	0,005 ^b
Euro VI	Septiembre de 2014	1,0	0,10	-	0,06	0,005

* Antes de Euro V turismos > 2500 kg estaban clasificados en la categoría Vehículo industrial ligero N1 - I
 Tabla en g/km salvo PM (partículas) en partes por millón (PPM)

Tabla 1.8.0 límites de emisiones por contaminante en la Unión Europea. Fuente: CESVIMAP 94

En el caso de vehículos de encendido provocado (gasolina), se toma como referencia el valor de CO, cuyo límite se encuentra en el 0,5% en volumen para vehículos con regulación por sonda lambda y en el 4,5% en volumen para el resto. En el caso de vehículos de encendido por compresión (diésel), se mide la opacidad, resistencia que ofrece un gas al paso de la luz. Los límites dependen de si el motor es atmosférico o sobrealimentado y también del año de matriculación. La prueba se realiza acelerando el vehículo a fondo en vacío. Los valores referencia para estas pruebas se miden con posterioridad al ensayo de homologación, ya que ambas pruebas no son equivalentes.

Límites de contaminantes en Estados Unidos (g/millas)					
Diésel y gasolina	NO _x	NMOG (HC)	CO	PM	HCHO Formaldehidos
Tier 2 Bin 5	0.05 (g/mi)	0.075 (g/mi)	3.4 (g/mi)	-	0.015 (g/mi)
	0,031 (g/km)	0,047 (g/km)	2,113 (g/km)	-	0,0093 (g/km)

Tabla 1.8.1 límites de contaminante en los Estados Unidos. Fuente: CESVIMAP 94

CESVIMAP 94. [En línea]. México, disponible en: <http://www.cultsock.ndirect.co.uk/MUHome/cshtml/index.html> [Accesado el día 21 de diciembre de 2018]

1.9 EMISIONES CONTAMINANTES DE MÉXICO

En México se realiza un Inventario de Emisiones es un instrumento que permite identificar las fuentes generadoras de contaminantes, así como su aporte y localización, con la finalidad de ser una herramienta para la toma de decisiones en materia de calidad del aire y en la implementación y evaluación de medidas de reducción de contaminantes atmosféricos.

La buena calidad del aire en la Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM) se considera un reto importante en materia ambiental, que deben resolver en conjunto, el Gobierno de la Ciudad de México (CDMX), el Gobierno del Estado de México y el Gobierno Federal, con apoyo de la población. En este contexto, con la finalidad de conocer el origen, la cantidad y el tipo de emisiones al aire que se generan, la Secretaría del Medio Ambiente, a través de la Dirección General de Gestión de la Calidad del Aire, elaboró el presente inventario de emisiones de contaminantes criterio, tóxicos y compuestos de efecto invernadero.

Este documento pretende dar una perspectiva en materia de contaminación del aire, a partir de información generada por diversas instancias, y de información propia, derivada de cálculos y análisis realizados por la SEDEMA. Se presenta un panorama de los factores que afectan la calidad del aire y la cuantificación de contaminantes que se liberan a la atmósfera por tipo de fuente, que en conjunto suman 90 categorías emisoras. Integra nuevas estimaciones como son: comercios y servicios regulados, cambio de uso de suelo, residuos biológicos y tiraderos a cielo abierto, así como uso de hidrofluorocarbonos. Además, describe brevemente, la aplicación de modelos fotoquímicos en la evaluación de medidas de reducción de emisiones y en la determinación del potencial de generación de ozono.

Por primera vez, se incluye un cálculo de la incertidumbre de los gases de efecto invernadero, como una buena práctica recomendada para su estimación, así como las actividades generales de control de la calidad y aseguramiento de la calidad, para dar transparencia al Inventario de Emisiones. También se incorporan las recomendaciones realizadas por el Eastern Research Group Inc., derivadas de la “Evaluación al Inventario de Emisiones 2012” y el aseguramiento de la calidad de las emisiones del sector transporte, considerando el nuevo modelo de emisiones vehiculares, MOVES-México.

Finalmente, el elaborar un diagnóstico integral de las fuentes de emisión, permite identificar áreas de oportunidad para fortalecer o instrumentar medidas de control de reducción de emisiones, así como favorecer el mejoramiento de la calidad del aire y la mitigación del cambio climático.

Secretaría del Medio Ambiente del Gobierno de la Ciudad de México. [En línea]. México, disponible en: <http://www.aire.cdmx.gob.mx/descargas/publicaciones/flippingbook/inventario-emisiones-cdmx2014-2/mobile/index.html#p=1> [Accesado el día 21 de diciembre de 2018]

1.10 MEDIDAS DE MITIGACIÓN PARA LA REDUCCIÓN E MISIONES CONTAMINANTES DEL SECTOR TRANSPORTE

Como sabemos el mayor generador de emisiones contaminantes, para el medio ambiente es: Óxidos de Nitrógeno (NOX) en el cual se exponen día con día en la contaminación atmosférica, es por eso que se han estado implementado con el paso de los años medidas generales para la mitigación de estos contaminantes atmosféricos, las cuales soluciones principales de se dividen en 5 medidas para el control del Óxidos de Nitrógeno (NOX).

I.- Mejoras tecnológicas

- A. Renovación del parque de vehículos.
- B. Favorecer la rápida introducción de los combustibles menos contaminantes (p. ej: gasolinas y gasóleos sin azufre), comenzando por las áreas urbanas, así como de combustibles alternativos y, en el caso de flotas cautivas, combustibles mejorados (p. ej. emulsiones).
- C. Vehículos industriales. Combinar programas de apoyo a la renovación (como las bonificaciones actualmente en vigor) con otros de incentivo a la remodelación (retrofitting) de los vehículos más contaminantes (p. ej. Euro I y Euro II), en particular en flotas cautivas como los vehículos de transporte urbano.
- D. Promover la aplicación de incentivos tributarios, favoreciendo un transporte ambientalmente más eficiente.
- E. Formación de conductores, tanto profesionales como particulares, difundiendo pautas de conducción con menores consumos y emisiones de acuerdo con las características de los nuevos vehículos, favoreciendo la formación continuada de los conductores.
- F. Programa piloto del Ministerio de Medio Ambiente dirigido al transporte urbano de superficie (autobuses), para la elaboración de planes de

adquisición, gestión y mantenimiento de flotas favorables a la reducción de emisiones.

II.- Mediante el sector institucional

- A. Creación de un marco institucional estable, adecuado para el seguimiento de las políticas de transporte y la integración en ellas de los objetivos medioambientales.
- B. La Administración pública como modelo de gestión de la movilidad: elaboración de un marco legal y metodológico para la preparación de planes de movilidad de las oficinas públicas, criterios de compra y gestión del parque móvil, etc.
- C. Plan piloto del Ministerio de Medio Ambiente para la movilidad urbana sostenible, en el que podrán incluirse diversas iniciativas de apoyo a las corporaciones locales, tales como apoyo financiero para la elaboración de planes de movilidad o para la introducción de ciertas medidas sobre el transporte urbano, el establecimiento de guías y recomendaciones para la elaboración de planes de movilidad urbana o de determinadas actuaciones, la optimización logística de la distribución urbana, etc.

III.- Mediante el sector privado

- A. Grandes empresas y sector del transporte. Animar el establecimiento de acuerdos voluntarios con grandes empresas (que generan importantes flujos de transporte de personas y mercancías), así como con las asociaciones y empresas del sector del transporte, en las que se contemplen aspectos como la elaboración de planes de movilidad en el centro de trabajo, adquisición, mantenimiento y gestión de flotas, mejoras en los sistemas logísticos, códigos de buenas prácticas, etc.

- B. Mejora de la gestión de la capacidad de carga del transporte de mercancías por carretera, estableciendo un programa de actuación en cooperación con otros organismos competentes, en el que pueden incluirse cuestiones como el asesoramiento logístico a PYMES, la optimización de la capacidad de carga, mejora de los servicios de transporte por carretera, etc.

IV.- Mediante la Administración General del Estado (Ministerio de Fomento, Ministerio del Interior)

- A. Fomento del ferrocarril, tanto para el transporte de viajeros (desarrollo de las redes de alta velocidad y de cercanías) como de mercancías (interoperabilidad con la red europea, electrificación de la red, terminales intermodales...), así como incentivo de su uso mediante tarifarias, fiscales, etc.
- B. Mejora de las características de la red de carreteras (eliminación de travesías en zonas urbanas, mejoras de trazado, disminución de la congestión, sistemas de información al usuario, etc).
- C. Promoción del transporte marítimo de cabotaje.
- D. Mejora de los servicios de transporte por carretera.

V.- Mediante las comunidades autónomas y ayuntamientos

- A. Fomento del transporte público urbano y metropolitano.
- B. Políticas de tarifas por el uso de infraestructuras de transporte urbano (aparcamiento, viario...).
- C. Fomento de modos no motorizados (bicicleta y marcha a pie).
- D. Programas de transporte aeropuerto-ciudad, etc.
- E. Preparación y publicación de guías temáticas y otro material de apoyo.

Fundación Crama (2018) [En línea]. México, disponible en: http://www.crama.org/es/contaminacion/mas-informacion_3/medidas-para-reduccion-emisiones-sector-transporte [Accesado el día 10 de enero de 2019]

CAPÍTULO 2. MOTORES DE COMBUSTIÓN INTERNA

Un motor de combustión interna, motor de explosión o motor a pistón es un tipo de máquina que obtiene energía mecánica directamente de la energía química de un combustible que arde dentro de la cámara de combustión. El nombre se debe a que dicha combustión se produce dentro de la propia máquina

Estos nombres les fueron asignados debido a que el combustible se quema en el interior del motor y no es un dispositivo externo a él, como en el caso de los motores diésel.



Ilustración 2.0 Motor de Combustión Interna. Fuente: google imágenes

¿Cómo trabajan los motores de combustión interna?

Estos motores trabajan en cuatro tiempos que son:

1. Admisión
2. Compresión
3. explosión
4. escape.

La figura siguiente ilustra los cuatro tiempos del motor de combustión interna.

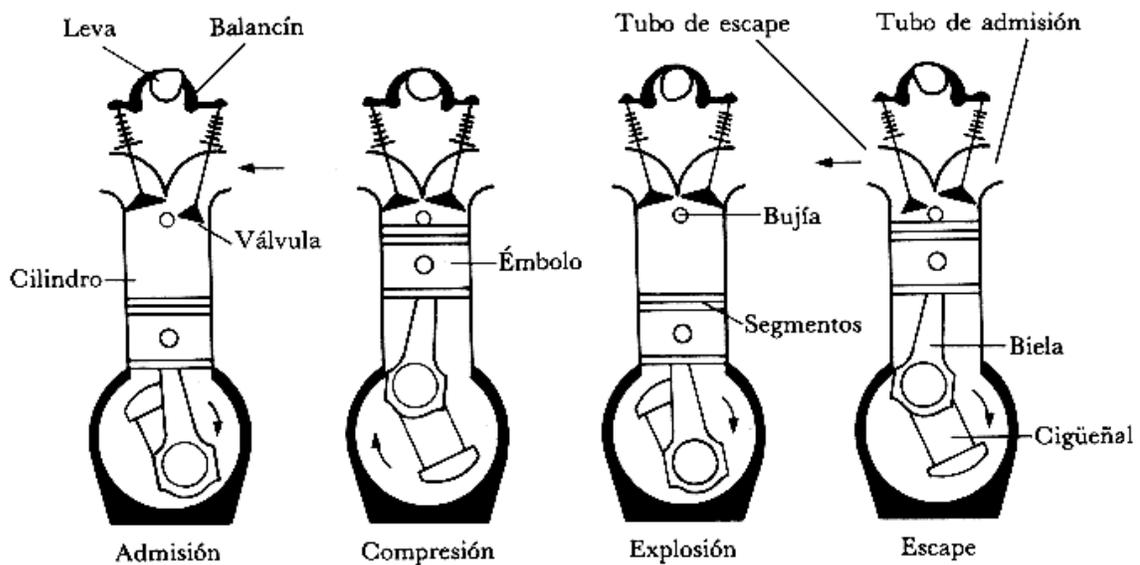


Ilustración 2.0.1 Cuatro tiempos del Motor de Combustión Interna.

Fuente: Biblioteca digital del ILCE 2017

- En el primer tiempo o admisión, el cigüeñal arrastra hacia abajo el émbolo, aspirando en el cilindro la mezcla carburante que está formada por gasolina y aire procedente del carburador.
- En el segundo tiempo se efectúa la compresión. El cigüeñal hace subir el émbolo, el cual comprime fuertemente la mezcla carburante en la cámara de combustión.
- En el tercer tiempo, se efectúa la explosión cuando la chispa que salta entre los electrodos de la bujía inflama la mezcla, produciéndose una violenta dilatación de los gases de combustión que se expanden y empujan el émbolo, el cual produce trabajo mecánico al mover el cigüeñal, que a su vez mueve las llantas del coche y lo hace avanzar.
- Por último, en el cuarto tiempo, los gases de combustión se escapan cuando el émbolo vuelve a subir y los expulsa hacia el exterior, saliendo por el mofle del automóvil.

Naturalmente que la apertura de las válvulas de admisión y de escape, así como la producción de la chispa en la cámara de combustión, se obtienen mediante mecanismos sincronizados en el cigüeñal.

De acuerdo a la descripción anterior, comprendemos que si la explosión dentro del cilindro no es suave y genera un tirón irregular, la fuerza explosiva golpea al émbolo demasiado rápido, cuando aún está bajando en el cilindro.

Este efecto de fuerzas intempestivas sacude fuertemente la máquina y puede llegar a destruirla. Cuando esto sucede se dice que el motor está "detonando" o "cascabeleando", efecto que se hace más notorio al subir alguna pendiente.

Biblioteca digital del ILCE (2017) [En línea]. México, disponible en: http://bibliotecadigital.ilce.edu.mx/sites/ciencia/volumen1/ciencia2/39/html/sec_10.html [Accesado el día 21 de diciembre de 2018]

2.1 CICLO OTTO

El ciclo de Otto es un conjunto de procesos usado por los motores de combustión interna (2-tiempos o 4-tiempos). Estos motores

- admiten una mezcla de combustible y aire,
- que es comprimida
- para que esta pueda reaccionar con eficacia a la adición de calor, así que la energía química de la mezcla se pueda transformar en energía térmica,
- y mediante la expansión de los productos de la combustión se produzca movimiento, y posteriormente
- los gases exhaustos de la combustión se expulsan y posteriormente se substituyen por una nueva mezcla de combustible y aire.

Los diversos procesos se demuestran en la siguiente imagen.

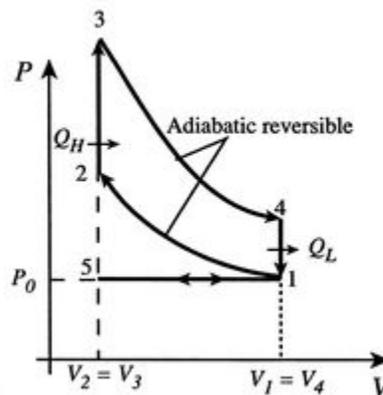


Ilustración 2.1.0 Procesos del Motor de Combustión Interna. Fuente: CIE UNAM 2017

1. Admisión de la mezcla vapor de la gasolina y aire dentro del motor (5 \rightarrow 1).
2. Compresión de la mezcla, P y T se incrementan (1 \rightarrow 2).
3. Combustión (chispa), tiempo muy corto, esencialmente el volumen permanece constante (2 \rightarrow 3). Modelo: el calor absorbido de una serie de reservorios a temperaturas T_2 a T_3 .
4. Expansión (3 \rightarrow 4).
5. Válvula de escape: la válvula se abre, los gases escapan.
6. (4 \rightarrow 1) Modelo: calor expelido como una serie de reservorios a temperaturas T_4 a T_1 .
7. Los gases exhaustos productos de la combustión son expulsados (1 \rightarrow 5).

En la siguiente imagen se presenta esquemáticamente un ciclo Otto real donde se observa cómo se desvirtúan las trayectorias en los diferentes procesos.

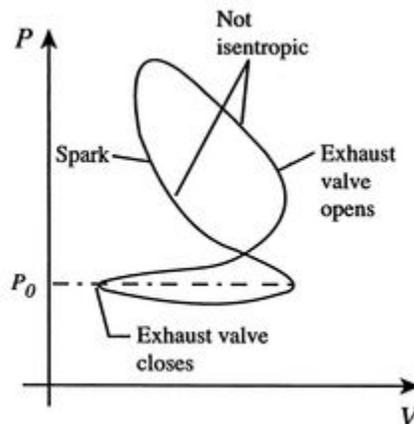


Ilustración 2.1.1 Procesos esquemáticamente un ciclo Otto. Fuente: CIE UNAM 2017

Modelamos los procesos como todos actuando con una masa fija de aire contenida por el cilindro y el pistón como se muestra en la siguiente imagen.

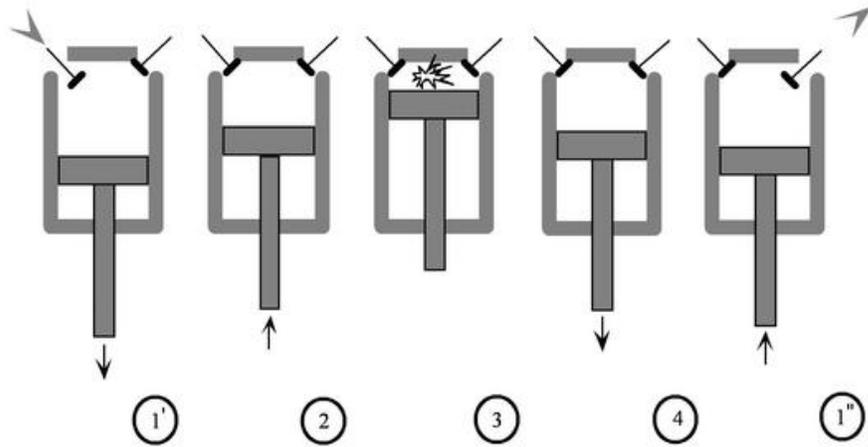


Ilustración 2.1.2 Procesos de la actuación del ciclo Otto. Fuente: CIE UNAM 2017

CIE Universidad Nacional Autónoma de México. (2007) [En línea]. México, disponible en: <http://www.cie.unam.mx/~ojs/pub/Termodinamica/node45.html> [Accesado el día 21 de diciembre de 2018]

2.2 QUÍMICA EN LA COMBUSTIÓN

Química básica

Antes de considerar los problemas de combustión es necesario entender la construcción y el uso de fórmulas químicas. Esto implica conceptos elementales que se discuten brevemente a continuación.

Átomos No es posible dividir los elementos químicos indefinidamente, y la partícula más pequeña que puede tomar parte en un cambio químico se llama un "átomo". Si un átomo se divide como en la reacción nuclear, el átomo dividido no conserva las propiedades químicas originales.

Moléculas. Es raro encontrar elementos que existan naturalmente como un solo átomo. Algunos elementos tienen átomos que existen en pares, formando cada par una molécula (por ejemplo, oxígeno), y los átomos de cada molécula se mantienen unidos por fuertes fuerzas interatómicas. El aislamiento de una molécula de oxígeno sería tedioso, pero posible; El aislamiento de un átomo de oxígeno sería una perspectiva diferente. Las moléculas de algunas sustancias están formadas por el apareamiento de átomos de diferentes elementos. Por ejemplo, el agua tiene una molécula que consta de dos átomos de hidrógeno y un átomo de oxígeno. Los átomos de diferentes elementos tienen masas diferentes y estos valores son importantes cuando se requiere un análisis cuantitativo. Las masas reales son infinitesimalmente pequeñas, y se usan las proporciones de las masas de átomos. Estas proporciones están indicadas por el peso atómico citado en una escala que define el peso atómico del oxígeno como 16.

Los símbolos y pesos moleculares de algunos elementos importantes, compuestos y gases se dan en la Tabla 2.2.0.

Tabla 11.1. Símbolos y pesos moleculares Elementos/compuestos/gases	Molécula		Átomo	
	Símbolo	Peso molecular	Símbolo	Peso molecular
Hidrógeno	H_2	2	H	1
Oxígeno	O_2	32	O	16
Nitrógeno	N_2	28	N	14
Carbono	C	12	C	12
Azufre	S	32	S	32
Agua	H_2O	18	-	-
Monóxido de carbono	CO	28	-	-
Dióxido de carbono	CO_2	44	-	-
Dióxido de azufre	SO_2	64	-	-
Gas de los pantanos (metanol)	CH_4	16		
Etileno	C_2H_4	28		
Etanol	C_2H_6	30		

Tabla 2.2.0. Símbolos y pesos moleculares Fuente: ingeniería termodinámica 2011

Rajput R. Ingeniería Termodinámica. 2011 por Cengage Learning Editores, S.A. de C.V.

2.3 SISTEMA DE COMBUSTIÓN DEL AUTOMÓVIL

El sistema de combustible está dividido en una parte de baja presión y en otra de alta presión.

El sistema de combustible de baja presión: está formado por un depósito (1), en su interior y sumergida una bomba eléctrica (2) eleva el combustible hacia un filtro (3) que se encarga de limpiarlo de impurezas, una vez filtrado el combustible se dirige a la bomba de alta presión (6). La presión del combustible en funcionamiento normal es de 3 bares y durante el arranque en caliente es de 5,8 bares como máximo.

Consta de:

- 1.- el depósito de combustible
- 2.- la bomba eléctrica de combustible
- 3.- el filtro de combustible
- 4.- la válvula de dosificación de combustible
- 5.- el regulador de presión del combustible (caída de presión)

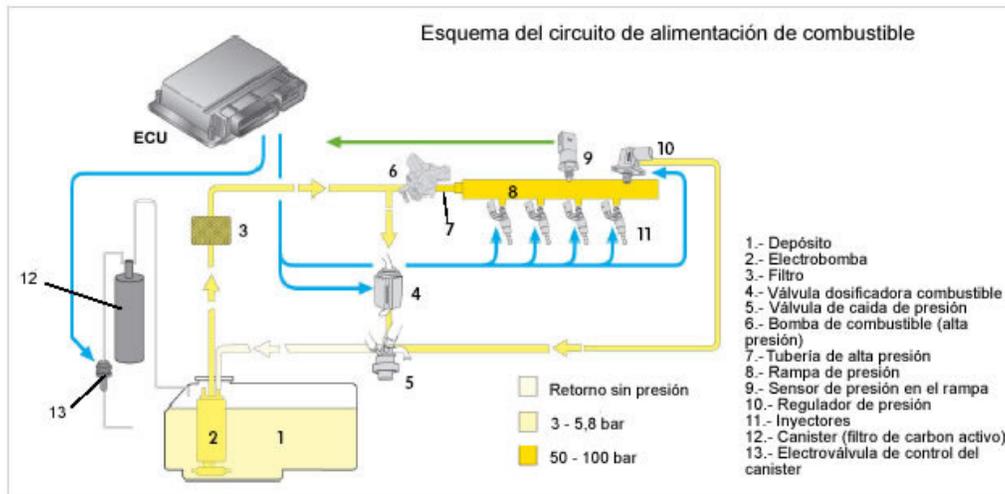


Ilustración 2.3.0 Esquema del circuito de alimentación de combustible.
 Fuente: Aficionados a la mecánica 2014

El sistema de combustible de alta presión: la bomba de alta presión (6) bombea el combustible hacia la rampa de inyección (8). La presión del combustible es medida allí por el sensor (9) correspondiente y la válvula reguladora se encarga de regularla desde 50 hasta 100 bares.

La inyección corre a cargo de los inyectores de alta presión (11) Consta de:

- 6.- la bomba de combustible de alta presión
- 7.- tubería de alta presión
- 8.- rampa de inyección
- 9.- el sensor de presión del combustible
- 10.- la válvula reguladora para presión del combustible
- 11.- los inyectores de alta presión

Dentro del sistema de combustible encontramos como elemento secundario el depósito de carbón activo o Canister (12). Sirve para tratar los gases que genera el combustible en su almacenamiento en el depósito.

Aficionados a la mecánica (2014) [En línea]. México, disponible en: http://www.aficionadosalamecanica.net/inyeccion_directa1.htm [Accesado el día 21 de diciembre del 2018]

2.4 SISTEMA DE ESCAPE DEL MOTOR DEL AUTOMÓVIL

A primera vista podía parecer que el dispositivo de evacuación de los gases de escape de los automóviles debía ser un simple tubo que desechara los gases a la atmósfera, pero en la práctica, ese concepto está bien lejos de la realidad, y, de hecho, este sistema es muy importante y tiene sus particularidades que veremos a continuación.

El sistema de escape se puede dividir en dos partes:

- 1.- Las que corresponden al motor.
- 2.- Las que corresponden al tubo de escape que conduce los gases al ambiente.

En la siguiente imagen se muestra un diagrama de bloques de un sistema de escape. En él se podrá observar que las partes que lo constituyen son las siguientes:

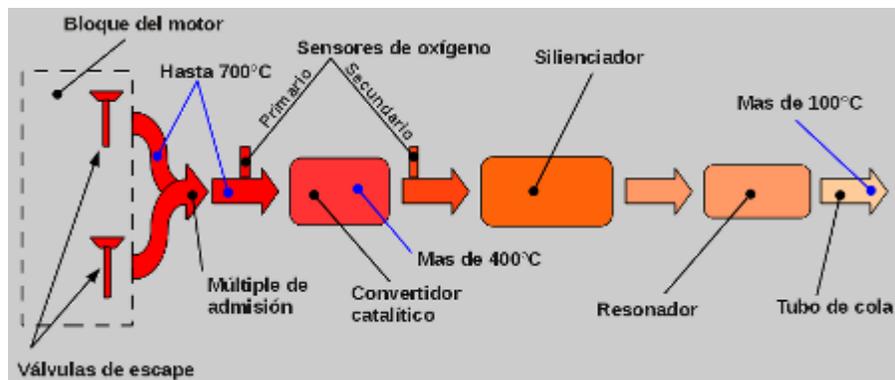


Ilustración 2.4.0 Diagrama de bloques de un sistema de escape.
Fuente: Sabelotodo mecánica 2017

- 1.- Las válvulas de escape.
- 2.- El múltiple de escape.
- 3.- Los sensores de oxígeno.
- 4.- El convertidor catalítico.
- 5.- El silenciador.
- 6.- El resonador.
- 7.- El tubo de cola o salida.
- 8.- Los tramos de conducto que unen las partes.

Se observará que los gases muy calientes, (hasta 700°C), que abandonan el motor se hacen converger en el múltiple de escape, y se conducen a través de tuberías a los distintos dispositivos que componen el sistema, hasta terminar en la atmósfera a través del tubo de cola. Note que la temperatura de los gases va decreciendo a medida que se mueve por el sistema, pero siempre se tratará de que salgan a la atmósfera aun a más de 100°C.

Sabelotodo.org. (2017) [En línea]. México, disponible en: <http://www.sabelotodo.org/automovil/sisescape.html> [Accesado el día 21 de diciembre de 2018]

2.5 EL CONVERTIDOR CATALÍTICO

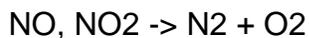
Para reducir las emisiones de gases contaminantes a la atmósfera, desde hace poco tiempo, se incorpora el convertidor catalítico al tubo de escape de los automóviles. Se trata de un ejemplo de catálisis heterogénea, donde un sólido que recubre los canales de un panel-soporte de cerámica o acero inoxidable cataliza una reacción entre gases.

El convertidor debe desempeñar dos funciones catalíticas distintas:

La oxidación del monóxido de carbono, CO, y de los restos de hidrocarburos sin quemar, CxHy a dióxido de carbono y agua;



La reducción de los óxidos de nitrógeno, NO y NO₂, a nitrógeno:



Como se ve, los productos resultantes son bastante más inocuos.

Las dos funciones requieren dos catalizadores diferentes, aunque ambos suelen ser materiales del mismo tipo: metales nobles (Pt, Rh) u óxidos de metales de transición (V₂O₅, Cr₂O₃). No obstante sucede, que si el catalizador es muy efectivo en una reacción, lo es poco en la otra, por lo cual es necesario el empleo de dos de ellos [por ejemplo, Pt para (1) y Rh para (2)].

De la eficiencia del convertidor da prueba el hecho de que los gases salidos del motor están en contacto con los catalizadores solamente 0,1 – 0,4 segundos, tiempo durante el cual el 95% de CO y CxHy, y el 75% de NO y NO₂ son eliminados.

También hay que señalar la posibilidad de que el catalizador pueda (envenenarse) con determinadas sustancias que se fijan y bloquean los sitios activos de su superficie. Ello ocurre, por ejemplo, con aditivos antidetonantes que contienen plomo. Como se sabe, la gasolina con plomo tiene sus días contados, pero la utilización por error de este tipo de gasolina en un automóvil con convertidor dejaría a este último inutilizado.



Ilustración 2.5.0 Convertidor catalítico. Fuente: universidad del país vasco 2017

Corte de un convertidor catalítico de contacto, que se ha empezado a utilizar en los tubos de escape de los automóviles. Así se cataliza la oxidación a CO_2 del CO y de restos de hidrocarburos sin quemar, y la descomposición en N_2 y O_2 de los óxidos de nitrógeno, evitando lanzar gases muy tóxicos a la atmósfera.

Universidad del País Vasco. (2017) [En línea]. México, disponible en: <http://www.ehu.eus/zorrilla/juanma/automovil/catalitico> [Accesado el día 21 de diciembre de 2018]

2.6 SISTEMAS COMPUTARIZADOS PARA EL CONTROL DEL MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA

La Unidad de Control de Motor o ECU es una unidad de control electrónico que controla varios aspectos de la operación de combustión interna del motor. Los ECUs más simples sólo controlan la cantidad de combustible que es inyectado en cada cilindro en cada ciclo de motor. ECUs más avanzadas controlan el punto de ignición, el tiempo de apertura/cierre de las válvulas, el nivel de impulso mantenido por el turbocompresor (en coches con turbocompresor), y control de otros periféricos.

Las ECUs determinan la cantidad de combustible, el punto de ignición y otros parámetros monitorizando el motor a través de sensores. Estos incluyen: sensor MAP, sensor de posición del acelerador, sensor de temperatura del aire, sensor de oxígeno y muchos otros. Frecuentemente esto se hace usando un control repetitivo (como un controlador PID).

Antes de que las unidades de control de motor fuesen implantadas, la cantidad de combustible por ciclo en un cilindro estaba determinada por un carburador o por una bomba de inyección.

Funciones

Control de la inyección de combustible

Para un motor con inyección de combustible, una ECU determinará la cantidad de combustible que se inyecta basándose en un cierto número de parámetros. Si el acelerador está presionado a fondo, el ECU abrirá ciertas entradas que harán que la entrada de aire al motor sea mayor. La ECU inyectará más combustible según la cantidad de aire que esté pasando al motor. Si el motor no ha alcanzado la

temperatura suficiente, la cantidad de combustible inyectado será mayor (haciendo que la mezcla se más rica hasta que el motor esté caliente).

Control del tiempo de inyección

Un motor de ignición de chispa necesita para iniciar la combustión una chispa en la cámara de combustión. Una ECU puede ajustar el tiempo exacto de la chispa (llamado tiempo de ignición) para proveer una mejor potencia y un menor gasto de combustible. Si la ECU detecta un picado de bielas en el motor, y "analiza" que esto se debe a que el tiempo de ignición se está adelantando al momento de la compresión, ralentizará (retardará) el tiempo en el que se produce la chispa para prevenir la situación.

Una segunda, y más común causa que debe detectar este sistema es cuando el motor gira a muy bajas revoluciones para el trabajo que se le está pidiendo al coche. Este caso se resuelve impidiendo a los pistones moverse hasta que no se haya producido la chispa, evitando así que el momento de la combustión se produzca cuando los pistones ya han comenzado a expandir la cavidad.

Pero esto último sólo se aplica a vehículos con transmisión manual. La ECU en vehículos de transmisión automática simplemente se encargará de reducir el movimiento de la transmisión.

Control de la distribución de válvulas

Algunos motores poseen distribución de válvulas. En estos motores la ECU controla el tiempo en el ciclo de motor en el que las válvulas se deben abrir. Las válvulas se abren normalmente más tarde a mayores velocidades que a menores velocidades. Esto puede optimizar el flujo de aire que entra en el cilindro, incrementando la potencia y evitando la mala combustión de combustible.

Control de arranque

Una relativamente reciente aplicación de la Unidad de Control de Motor es el uso de un preciso instante de tiempo en el que se producen una inyección e ignición para arrancar el motor sin usar un motor de arranque (típicamente eléctrico conectado a la batería). Esta funcionalidad proveerá de una mayor eficiencia al motor, con su consecuente reducción de combustible consumido.

Valvulita.com. (2017) [En línea]. México, disponible en: <http://www.valvulita.com/content/la-ecu-y-sus-funciones> [Accesado el día 21 de diciembre del 2018]

2.7DIAGNÓSTICO DE LOS SISTEMAS ELECTRÓNICOS DE LOS MOTORES DE COMBUSTIÓN INTERNA

OBD (ON BOARD DIAGNOSTIC - DIAGNOSTICO A BORDO) es una normativa que intenta disminuir los niveles de contaminación producida por los vehículos a motor.

La Comisión de Recursos del Aire de California (California Air Resources Board - CARB) comenzó la regulación de los Sistemas de Diagnóstico de a Bordo (On Board Diagnostic - OBD) para los vehículos vendidos en California, comenzando con los modelos del año 1988.

La primera norma implantada fue la OBD I en 1988, donde se monitorizaban los parámetros de algunas partes del sistema como:

- La sonda lambda
- El sistema EGR y
- ECM (Modulo de control).

Una lámpara indicadora de mal funcionamiento (MIL), denominada Check Engine o Service Engine Soon, era requerida para que se iluminara y alertara al conductor del mal funcionamiento y de la necesidad de un servicio de los sistemas de control de emisiones.

Un código de falla (Diagnostic Trouble Code - DTC) era requerido para facilitar la identificación del sistema o componente asociado con la falla. Para modelos a partir de comienzos de 1994, ambos, CARB y la Agencia de Protección del Medio Ambiente (Environmental Protection Agency - EPA) aumentaron los requerimientos del sistema OBD, convirtiéndolo en el hoy conocido OBD II (2ª generación). A partir de 1996 los vehículos fabricados e importados por los USA tendrían que cumplir con esta norma.

Según esto OBD II es un conjunto de normalizaciones que procuran facilitar el diagnostico de averías y disminuir el índice de emisiones de contaminantes de los vehículos. La norma OBD II es muy extensa y está asociada a otras normas como SAE e ISO.

Estos requerimientos del sistema OBDII rigen para vehículos alimentados con gasolina, gasoil (diesel) y están comenzando a incursionar en vehículos que utilicen combustibles alternativos.

El sistema OBD II controla virtualmente todos los sistemas de control de emisiones y componentes que puedan afectar los gases de escape o emisiones evaporativas. Si un sistema o componente ocasiona que se supere el umbral máximo de emisiones o no opera dentro de las especificaciones del fabricante, un DTC (Diagnostic Trouble Code) debe ser almacenado y la lámpara MIL deberá encenderse para avisar al conductor de la falla. El sistema de diagnóstico de abordó no puede apagar el indicador MIL hasta que se realicen las correspondientes reparaciones o desaparezca la condición que provocó el encendido del indicador.

Un DTC es almacenado en la Memoria de Almacenamiento Activa (PCM Keep Alive Memory - KAM) cuando un mal funcionamiento es inicialmente detectado. En muchos casos la MIL es iluminada después de dos ciclos de uso consecutivos en los que estuvo presente la falla. Una vez que la MIL se ha iluminado, deben transcurrir tres ciclos de uso consecutivos sin que se detecte la falla para que la MIL se apague.

El DTC será borrado de la memoria después de 40 ciclos de arranque y calentamiento del motor después que la MIL se halla apagado. En adición a las especificaciones y estandarizaciones, muchos de los diagnósticos y operaciones de la MIL requieren en OBD II el uso de Conector de Diagnóstico standard (Diagnostic Link Connector - DLC), enlaces de comunicaciones y mensajes standard, DTCs y terminologías estandarizados.

Monitores de Emisiones OBDII

Una parte importante del sistema OBDII de los vehículos, son los Monitores de Emisiones (autodiagnóstico de los elementos que intervienen en la combustión del motor y por lo tanto en las emisiones de escape), que son indicadores usados para averiguar si todos los componentes de emisiones, han sido evaluados por el sistema OBDII. Estos monitores procesan periódicamente pruebas en sistemas específicos

y componentes, para asegurar que se están ejecutando dentro de límites permisibles.

Actualmente, hay 11 Monitores de Emisiones (o Monitores I/M) definidos por la Agencia de Protección Ambiental U.S (EPA). No todos los monitores están soportados por todos los vehículos y el número exacto de monitores en cada vehículo depende de la estrategia de control de emisiones de los fabricantes de motores de vehículos.

Monitores Continuos

Algunos de los componentes o sistemas de un vehículo se comprueban continuamente por el sistema OBDII del vehículo, mientras que otros son comprobados solo bajo condiciones específicas de operación del vehículo. Los componentes continuamente monitorizados enumerados a continuación están siempre listos:

- Fallos del Encendido
- Sistemas del Combustible
- Componentes Globales (CCM)

Una vez que el vehículo se pone en marcha, el sistema OBDII está continuamente comprobando los componentes citados anteriormente, monitoriza los sensores clave del motor, vigilando los fallos de encendido del motor, y monitorizando las demandas de combustible.

Monitores no Continuos

A diferencia de los monitores continuos, muchas emisiones y componentes del sistema del motor, requieren que el vehículo esté funcionando bajo condiciones específicas antes de que el monitor esté listo. Estos monitores son llamados monitores no-continuos y se enumeran a continuación:

- Sistema EGR
- Sensores O2
- Catalizador
- Sistema Evaporativo
- Calentador Sensor O2
- Aire Secundario
- Catalizador calentamiento
- Sistema A/C
- Estado Monitores de Emisiones OBDII

Los sistemas OBDII deben indicar en cualquier caso, si el sistema de monitor PCM del vehículo ha completado las pruebas en cada componente. Los componentes que han sido comprobados se reportarán como “LISTO”, o “COMPLETO”, significando que han sido comprobados por el sistema OBDII. El propósito de registrar el estado de los monitores de Emisiones es permitir inspecciones para determinar si el sistema OBDII del vehículo ha comprobado todos los componentes y/o sistemas.

El módulo de motor y transmisión (PCM) pone el monitor a “LISTO” o “COMPLETO” después de que un ciclo de conducción apropiado, ha sido realizado. El ciclo de conducción que habilita un monitor y activa los códigos de emisiones a “LISTO” varía para cada monitor individualmente. Una vez que un monitor es puesto a “LISTO” o “COMPLETO”, permanecerá en ese estado. Un número de factores,

incluyendo borrado de códigos de averías (DTC) con un escáner o una desconexión de la batería, pueden ocasionar que los monitores de emisiones se pongan en estado “NO LISTO”. Puesto que los 3 monitores continuos, están constantemente siendo evaluados, se encontrarán en estado “LISTO” en todo momento. Si la comprobación de un monitor no-continuo soportado, no ha sido completada, el estado del monitor se indicará como “NO COMPLETO” o “NO LISTO”.

Para que el sistema de monitores OBD se encuentre listo, el vehículo debería conducirse bajo una variedad de condiciones normales. Estas condiciones pueden incluir una mezcla de conducción por carretera, paradas y marchas, conducción por ciudad, y al menos un periodo de conducción nocturna. Para información específica, sobre cómo conseguir que los monitores de emisiones estén listos, consulte el manual de su vehículo.

Un ciclo de conducción debería realizar un diagnóstico de todos los sistemas. Normalmente tarda menos de 15 minutos y requiere de los siguientes pasos:

Arranque en frío: El motor debe estar a menos de 50 °C y con una diferencia no mayor a 6 °C de la temperatura ambiente. No deje la llave en contacto antes del arranque en frío o el diagnóstico del calentador de la sonda de oxígeno puede fallar,

Ralentí: El motor debe andar por 2 minutos y medio con el aire acondicionado y el desempañador de la luneta trasera conectados. A mayor carga eléctrica mejor. Esto prueba el calentador de la sonda de O₂, Purga del Canister, Falla en el Encendido, y si se entra en ciclo cerrado, el ajuste de combustible.

Acelerar: Apague el aire acondicionado y todas las cargas eléctricas, y aplique medio acelerador hasta que se alcancen los 85 km/h

Mantenga la velocidad: Mantenga una velocidad constante de 85 km/h durante 3 minutos. Durante este periodo se prueba la respuesta de la sonda de O₂, EGR, Purga, Encendido y Ajuste de combustible

Desacelere: Suelte el pedal del acelerador No reduzca marchas, ni pise el freno o embrague. Es importante que el vehículo disminuya su velocidad gradualmente hasta alcanzar los 30 km/h.

Acelere: Acelere 3/4 de acelerador hasta alcanzar los 85 - 95 km/h.

EOBD (European On Board Diagnostic)

El EOBD es un conjunto de normas parecida a la OBD II que ha sido implantada en Europa a partir del año 2000. Una de las características innovadoras es el registro del tiempo de demora o kilometraje desde la aparición de un defecto hasta su diagnóstico. La normativa Europea obliga a los fabricantes a instalar sistemas de diagnosis compatibles con los americanos, con conectores e interfaces estandarizados. Los fabricantes también estarán obligados a publicar detalles de las partes importantes de sus sistemas de diagnóstico, de los cuales hasta ahora han sido propietarios. Las directrices de la Unión Europea se aplican a motores de explosión (motores de gasolina) registrados en el 2000 y posteriores y a motores Diesel registrados en 2003 y posteriores.

Hoy en día ya que los fabricantes estando obligados a instalar estos puertos de diagnóstico, han ampliado sus funciones para poder controlar y gestionar muchos más aspectos cotidianos del vehículo. A través de dicho puerto, se puede leer cualquier código de error que haya registrado la centralita, activar o desactivar funciones del vehículo, solicitar a la centralita del vehículo que realice testeos en todos los sistemas: cuadro de mandos, ABS, inyección, encendido, etc., reduciendo así los tiempos de taller para la búsqueda de un problema. Además de varias utilidades más que se pueden suponer y no están confirmadas (ej.: reprogramación de la centralita para aumento de potencia).

- Control en los motores de gasolina
- Vigilancia del rendimiento del catalizador
- Diagnóstico de envejecimiento de sondas lambda
- Prueba de tensión de sondas lambda
- Sistema de aire secundario (si el vehículo lo incorpora)
- Sistema de recuperación de vapores de combustible (cánister)
- Prueba de diagnóstico de fugas
- Sistema de alimentación de combustible
- Fallos de la combustión - Funcionamiento del sistema de comunicación entre unidades de mando, por ejemplo el Can-Bus
- Control del sistema de gestión electrónica
- Sensores y actuadores del sistema electrónico que intervienen en la gestión del motor o están relacionados con las emisiones de escape
- Control en los motores diesel
- Fallos de la combustión
- Regulación del comienzo de la inyección
- Regulación de la presión de sobrealimentación
- Recirculación de gases de escape
- Funcionamiento del sistema de comunicación entre unidades de mando, por ejemplo el Can-Bus
- Control del sistema de gestión electrónica
- Sensores y actuadores del sistema electrónico que intervienen en la gestión del motor o están relacionados con las emisiones de escape
- Protocolos de comunicación

Básicamente existen 3 protocolos de comunicación del sistema OBDII con los lectores de fallas. Los fabricantes han escogido que protocolo utilizar y todos los vehículos que salen de su fábrica salen con el mismo protocolo, por tanto, es fácil saber qué tipo de protocolo funcionan las comunicaciones de nuestro coche.

ISO 9141-2 en vehículos Europeos, Asiáticos y Chrysler con variantes (Key Word Protocol = Palabra Clave)

SAE J1850 VPW que significa Ancho de Pulso Variable (Variable Pulse Width) y lo utiliza GM USA (General Motors)

SAE J1850 PWM que indica Modulación Ancho de Pulso (Pulse Width Modulación) utilizado por Ford USA.

KWP 1281 y KWP 2000 utilizado por el grupo VAG.

ISO 14230 que lo utiliza Renault, etc.

Como es fácil deducir, cada uno de estos protocolos, requiere de un tratamiento de la información diferente, antes de conectar el OBDII con el PC. Y por tanto, se requieren interfaces de conexión diferentes. Esto no es del todo exacto, ya que existe la posibilidad de fabricar un interfaz de conexión del OBDII con el PC, capaz de utilizar todos los protocolos e incluso seleccionar automáticamente cual es el protocolo utilizado por el vehículo a conectar.

Aficionados a la mecánica. (2014) [En línea]. México, disponible en: <http://www.aficionadosalamecanica.com/obd2.htm> [Accesado el día 21 de diciembre del 2018]

2.8 SENSORES DEL AUTOMÓVIL

Los automóviles actuales tienen una cantidad importante de sensores (de 60 a 70 sensores en algunos casos). Estos sensores son necesarios para la gestión electrónica del automóvil y son utilizados por las unidades de control (centralitas) que gestionan el funcionamiento del motor, así como la seguridad y el confort del vehículo.

Definición

El sensor (también llamado sonda o transmisor) convierte una magnitud física (temperatura, revoluciones del motor, etc.) o química (gases de escape, calidad de aire, etc.) que generalmente no son señales eléctricas, en una magnitud eléctrica que pueda ser entendida por la unidad de control. La señal eléctrica de salida del sensor no es considerada solo como una corriente o una tensión, sino también se consideran las amplitudes de corriente y tensión, la frecuencia, el periodo, la fase o asimismo la duración de impulso de una oscilación eléctrica, así como los parámetros eléctricos "resistencia", "capacidad" e "inductancia".

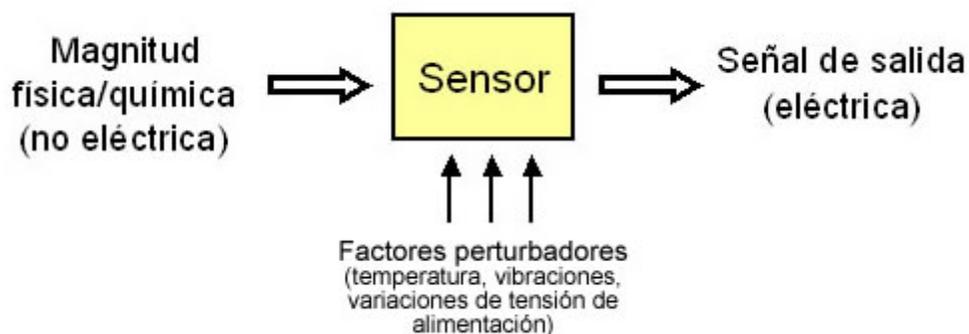


Ilustración 2.8.0 Activación del sensor del Automóvil. Fuente: universidad del país vasco 2017

El sensor se puede presentar como un "sensor elemental" o un "sensor integrado" este último estaría compuesto del sensor propiamente dicho más la parte que trataría las señales para hacerlas comprensibles por la unidad de control. La parte que trata las señales generadas por el sensor (considerada como circuitos de adaptación), se encarga en general de dar a las señales de los sensores la forma normalizada necesaria para ser interpretada por la unidad de control.

Existen un gran número de circuitos de adaptación integrados, a la medida de los sensores y ajustados a los vehículos respectivos.

Clasificación

Los sensores para automóviles pueden clasificarse teniendo en cuenta distintas características como son:

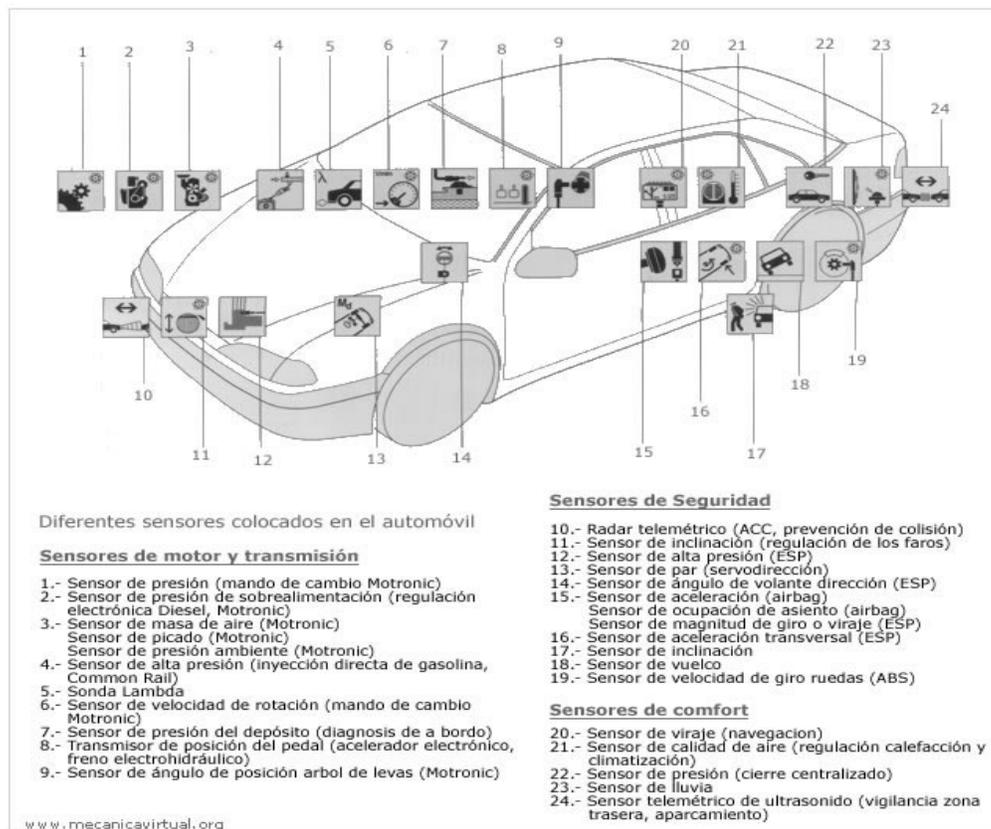


Ilustración 2.8.1 sensores del Automóvil. Fuente: Mecanicavirtual.org

Función y aplicación según esta característica los sensores se dividen en:

- Sensores funcionales, destinados principalmente a tareas de mando y regulación
- Sensores para fines de seguridad y aseguramiento (protección antirrobo)
- Sensores para la vigilancia del vehículo (diagnóstico de a bordo, magnitudes de consumo y desgaste) y para la información del conductor y de los pasajeros.

Según la señal de salida Teniendo en cuenta esta característica los sensores se pueden dividir en:

Los que proporcionan una señal analógica (ejemplo: la que proporciona el caudalímetro o medidor de caudal de aire aspirado, la presión del turbo, la temperatura del motor etc.)

Los que proporcionan una señal digital (ejemplo: señales de conmutación como la conexión/desconexión de un elemento o señales de sensores digitales como impulsos de revoluciones de un sensor Hall)

Los que proporcionan señales pulsatorias (ejemplo: sensores inductivos con informaciones sobre el número de revoluciones y la marca de referencia)

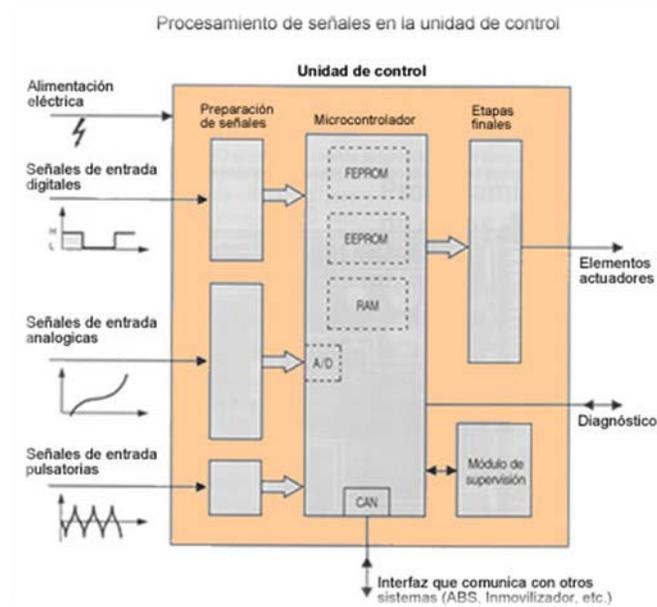


Ilustración 2.8.2 Procesamiento de las señales de unidad de Control.
Fuente: Aficionados a la mecánica 2014

Aficionados a la mecánica. (2014) [En línea]. México, disponible en: <http://www.aficionadosalamecanica.net/sensores.htm> [Accesado el día 21 de diciembre de 2018]

CAPÍTULO 3. EQUIPO ANALIZADOR DE GASES

El módulo de análisis de *gases M-P* es un analizador de gases portátil fabricado por OTC, empresa integrante del grupo *Bosch Automotive Service Solutions*. El modelo de análisis de *gases M-P*, se usa para realizar pruebas estáticas de diagnóstico del vehículo y para medir los niveles de emisión de gases que se encuentran en los gases de escape de todos los motores de combustión interna, excepto motores de dos tiempos y diésel.

El analizador de gases mide los niveles de emisión de dióxido de carbono (CO₂), monóxido de carbono (CO), Hidrocarburos (HC), oxígeno (O₂) y óxidos de Nitrógeno (NO_x).

Para utilizar el analizador de gases con el software de *gas M - P* es necesario utilizar el escáner automotriz Genesys *NGIS*, un conjunto de manguera de muestreo o sonda, y un tubo de escape. Cuando el equipo está configurado correctamente, los gases de escape entran en el analizador de gas a través del conjunto de sonda y manguera de muestreo.

La sonda analiza la composición de los gases y envía los datos al escáner automotriz Genesys *NGIS*, lo que permite analizar los datos y controlar las funciones del analizador de *gases M – P*. El arreglo general del escáner automotriz Genesys *NGIS*, y el analizador de *gases M – P* se muestran en la Ilustración 3.0. y a la izquierda el scanner automotriz y a la derecha el analizados de gases M-P. Ilustración 3.0.1



Ilustración 3.0. Escáner Automotriz Genesys NGIS

Fuente: fotografía propia



Ilustración 3.0.1 Módulo de Análisis de Gases M-P. Fuente:

Fuente: fotografía propia

3.1 ANÁLISIS DE PRODUCTOS DE LA COMBUSTIÓN

Los productos de combustión son principalmente gaseosos. Cuando se toma una muestra para análisis, se enfría usualmente a una temperatura que está por debajo de la temperatura de saturación del vapor presente. Por lo tanto, el contenido de vapor no se incluye en el análisis, que se cita a continuación como el análisis de los productos secos. Dado que los productos son gaseosos, es usual citar el análisis en volumen. Un análisis que incluye el vapor en el escape se llama análisis húmedo.

Análisis práctico de los productos de combustión:

El medio más común de análisis de los productos de combustión es el aparato Orsat que se describe a continuación:

Construcción. Un aparato de Orsat consta de lo siguiente:

- (i) Una bureta
- (ii) Un limpiador de gas
- (iii) Cuatro pipetas de absorción 1, 2, 3, 4.

Las pipetas están interconectadas por medio de un colector provisto de grifos S1, S2, S3 Y S4 y contienen diferentes productos químicos para absorber dióxido de carbono (CO₂), monóxido de carbono (CO) y oxígeno (O₂). Cada pipeta también está equipada con un número de pequeños tubos de vidrio que proporcionan una mayor cantidad de superficie. Estos tubos se humedecen por los agentes absorbentes y se exponen al gas en análisis. La burette de medición está rodeada por una camisa de agua para evitar, cambios en la temperatura y densidad del gas. Las pipetas 1, 2, 3, 4 contienen los siguientes productos químicos:

Pipeta 1: Contiene 'KOH' (sosa cáustica) para absorber CO₂ (dióxido de carbono)

Pipeta 2: Contiene una solución alcalina de 'ácido pirogalínico' para absorber O₂ (oxígeno)

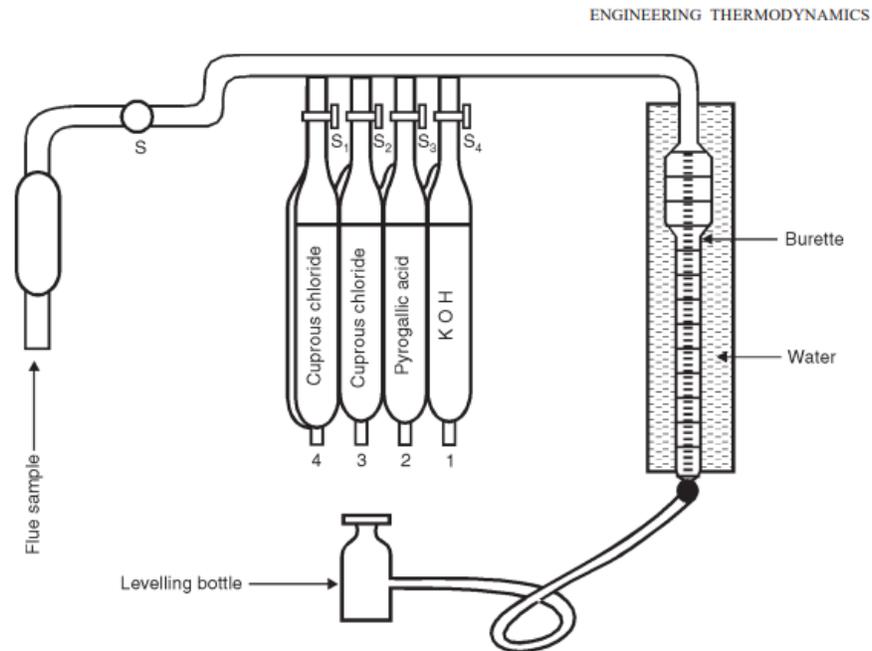


Ilustración 3.1.0 Aparato de Orsat.

Fuente: Ingeniería Termodinámica. 2011

Pipeta 3, 4: Contener una solución ácida de "cloruro cuproso" para absorber CO (monóxido de carbono).

Además, el aparato tiene una botella de nivelación y un grifo de tres vías para conectar el aparato a los gases o a la atmósfera.

Procedimiento. 100 cm³ de gas cuyo análisis se va a realizar se introduce en la botella bajando la botella niveladora. Entonces se abre el grifo de parada S₄ y todo el gas de combustión es forzado a pipetear 1. El gas permanece en esta pipeta durante algún tiempo y la mayor parte del dióxido de carbono es absorbido. La botella de nivelación se baja luego para permitir que el producto químico llegue a su nivel original. El volumen de gas así absorbido se lee en la escala de la botella de

medición. A continuación, el gas de combustión es forzado a través de la pipeta 1 durante un número de veces para asegurar que la totalidad del CO₂ es absorbida. Además, el gas de combustión restante es entonces forzado a la pipeta 2 que contiene ácido pirogalínico para absorber todo el O₂. La lectura en la bureta de medición será la suma del volumen de CO₂ y O₂. El contenido de oxígeno puede entonces ser descubierto por sustracción. Finalmente, como antes, la muestra de gas es forzada a través de las pipetas 3 y 4 para absorber completamente el monóxido de carbono. La cantidad de nitrógeno en la muestra puede determinarse restando del volumen total de gas la suma de los contenidos de CO₂, CO y O₂.

El aparato de Orsat da un análisis de los productos secos de la combustión. Pueden tomarse medidas para eliminar el vapor de la muestra por condensación, pero cuando la muestra se recoge sobre el agua se satura con agua. El análisis resultante es, sin embargo, un verdadero análisis de los productos secos. Esto se debe a que las lecturas de volumen se toman a una temperatura y presión constantes, y la presión parcial del vapor es constante. Esto significa que las sumas de las presiones parciales de los constituyentes restantes son constantes. El vapor ocupa entonces la misma proporción del volumen total en cada medición. Por lo tanto, el vapor no afecta el resultado del análisis.

Rajput R. Ingeniería Termodinámica. 2011 por Cengage Learning Editores, S.A. de C.V.

3.2 CONFIGURACIÓN DE SOFTWARE DE ANÁLISIS DE GASES

Con ayuda del escáner automotriz Genesys NGIS, se puede configurar el software del analizador de gases M-P, previamente preinstalado en la memoria del escáner. Donde se pueden configurar diferentes ajustes entre ellos:

a) Límites de emisiones contaminantes

El ajuste de los límites de emisión de gases le permite introducir límites máximos para HC, CO, O₂, y NO_x y un límite mínimo para el CO₂. Entonces, cuando se utiliza la pantalla de visualización en directo de gas, los niveles de emisión de gas superiores a los límites máximos (o menores que el límite mínimo para CO₂) aparecen en color rojo.

En el menú principal para configurar los límites máximos de emisiones se muestran en la figura 5.0

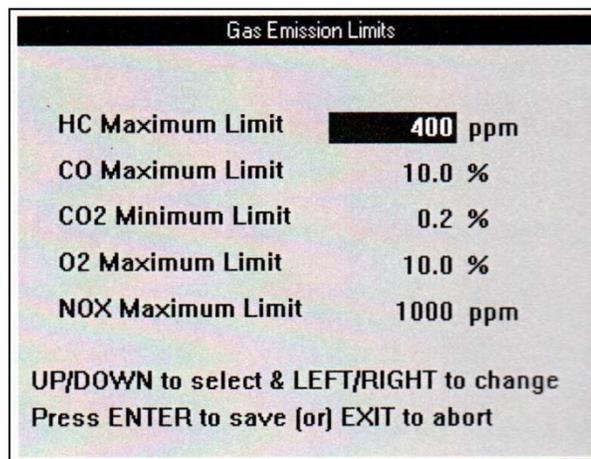


Ilustración 3.2.0 Configuración del límite de emisiones contaminantes.

Fuente: Elaboración propia

b) Especificaciones del vehículo

El ajuste Específico para el vehículo le permite seleccionar el tipo de gas para las pruebas, incluyendo: gas natural, Propano, Metano, y combustible variable.

c) Configuración de 4 o 5 de gas

El ajuste de la configuración de gas permite seleccionar los gases de incluir en la prueba. Para el módulo de gas de rendimiento, se selecciona si se debe incluir tres gases (CO₂ , CO , y O₂), cuatro gases (CO₂ , CO , HC , y O₂), o los cinco gases (CO₂ , CO , HC , O₂ , y NO_x) .

d) Configuración AFR/Lambda

El programa de instalación AFR / Lambda permite seleccionar la relación de AFR (aire- combustible) o el valor lambda en la pantalla de visualización en directo de gas.

Lambda es una medida utilizada para determinar si la relación aire- combustible es rica o pobre. Lambda (λ) es un único punto determinado dividiendo la relación combustible (C) y aire (A) real suministrado en la proporción de combustible estequiométrico (14.1) de aire- combustible, esto es:

$$\lambda = \frac{\text{Actual } C / A}{\text{Real } C / A}$$

(1.0)

Por lo que en una combustión ideal $\lambda=1$. Un intervalo de Lambda aceptable es entre 0.9 a 1.1. Un Lambda menos que 0.9 indica una mezcla aire combustible rica y una lambda superior a 1.1 indica una condición pobre de combustible. El efecto del factor λ , sobre las emisiones de O₂, CO₂, CO, HC y NO_x, se muestra en la figura 6.0

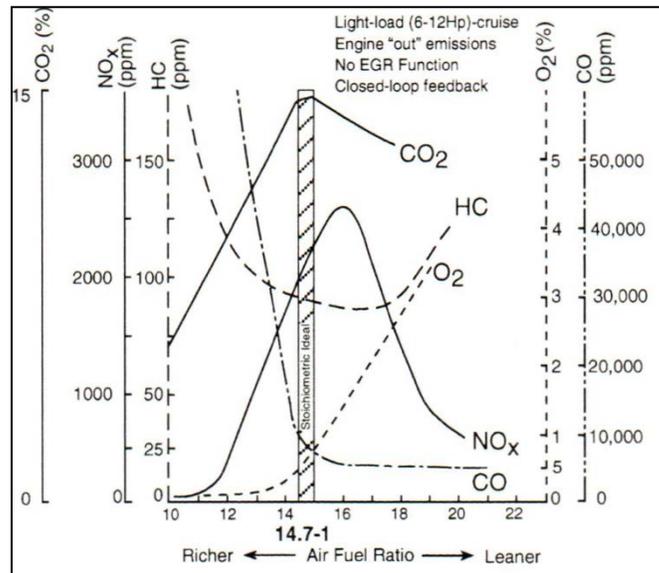


Ilustración 3.2.1 Relación estequiometría de aire combustible.

Fuente: Gas M-P Software, OTC

Con ayuda de la figura 6.0, es de esperarse que las emisiones contaminantes provenientes de los escapes de los vehículos automotrices, debe de mantenerse alrededor del 0.2- 1.5% en volumen para el O₂, por debajo del 14% volumétrico para el CO₂, entre el 0.2 -1.5% Volumétrico como rango aceptable para el CO, los hidrocarburos no quemados deben de permanecer por debajo de las 90 ppm y los NO_x deben estar alrededor de las 2000 ppm.

Gas M-P Software, OTC an spx Brand, 2006 all rights reserved.

3.3 PREPARACIÓN Y CALIBRACIÓN DEL EQUIPO

El equipo de medición de gases M-P software funciona en conjunto con un escáner automotriz, el cual muestra la interfaz para el funcionamiento del analizador de gases M-P, el analizador de gases se acopla al escáner Automotriz por la parte trasera de la siguiente manera.

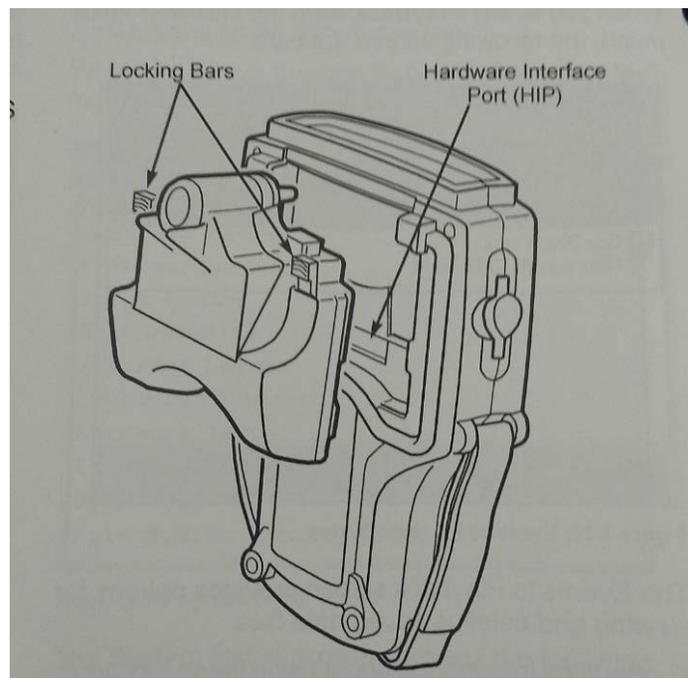


Ilustración 3.3.0 conexión del módulo de gas de alto rendimiento.

Fuente: NGIS tool shown

Después de acoplar el módulo gas M-P, se realiza la conexión a la energía eléctrica por medio del cargador incluido en el escáner automotriz Génesis y se conecta la sonda por medio de la manguera de caucho de la siguiente manera.

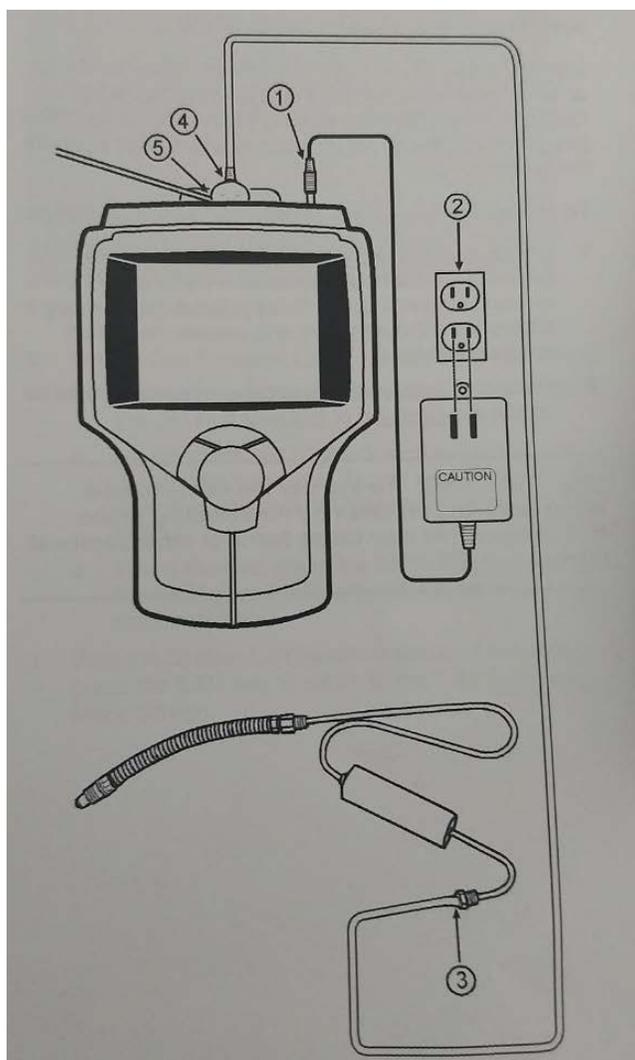


Ilustración 3.3.1 Configuración del módulo de rendimiento.

Fuente: NGIS tool shown

Después de tener todo el equipo conectado, es necesario seleccionar en la interfaz del escáner Automotriz la opción herramientas de diagnóstico>Gas M-P>Pantalla de gases en vivo. Después de seleccionar estas opciones en la pantalla el escáner pedirá presionar enter para realizará una puesta a cero del módulo analizador de gases y una purga de todo el sistema para realizar una medición correcta.

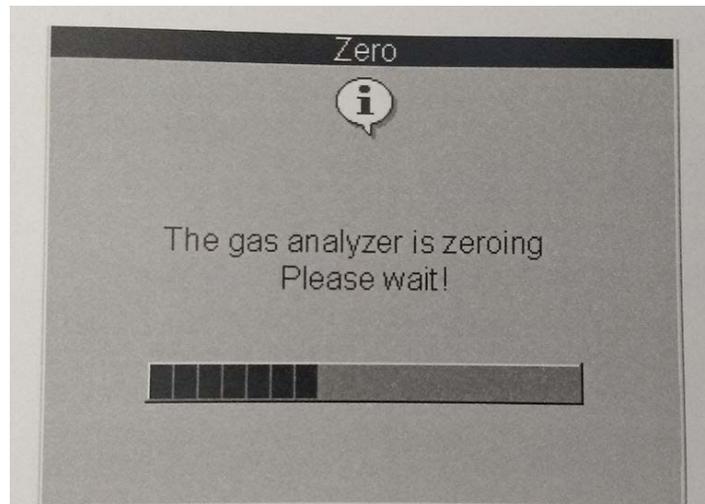


Ilustración 3.3.2. pantalla de espera cero

Fuente: NGIS tool shown

Después de realizar la puesta a cero el analizador permitirá realizar las mediciones de los gases de escape poniendo en la interfaz de la pantalla presione enter para inicial el análisis de los gases, al presionarlo el analizador comenzará a medir los gases captados por la sonda.

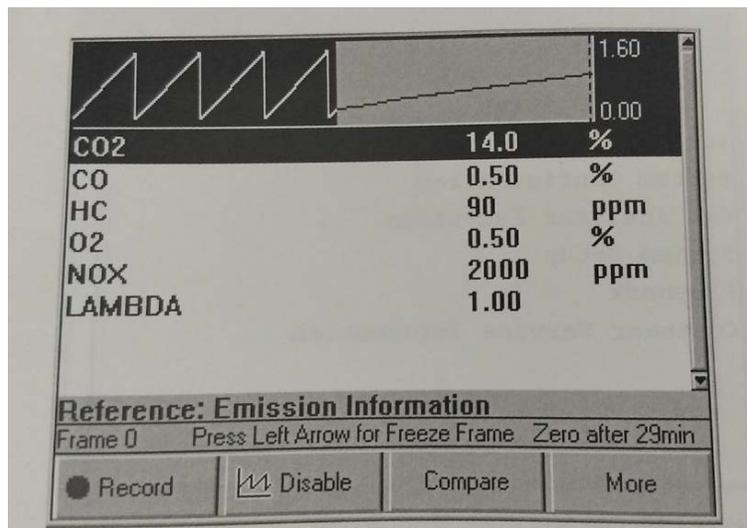


Ilustración 3.3.3. pantalla de gas en vivo

Fuente: NGIS tool shown

CAPÍTULO 4. DETERMINACIÓN DEL FACTOR LAMBDA

El factor lambda, comúnmente designado con la letra griega " λ ", designa la proporción aire / combustible (en peso) en forma de mezcla que entra al cilindro de un motor de combustión interna a gasolina, comparada con la proporción estequiométrica de la mezcla ideal, 14,7 partes de aire por 1 parte de combustible, todo ello en peso.

4.1 DESARROLLO TECNOLÓGICO

En la época del carburador, en el automóvil y la motocicleta, estos ajustes se lograban mediante la trampilla de arranque en frío, más conocida como ahogador, y la bomba de aceleración para obtener mezcla rica. La mezcla pobre se lograba mediante el econostato, un tubo con orificios calibrados consecutivo al surtidor o calibre de alta, llamado tubo mezclador ubicado en el sistema de marcha mínima de carburador.

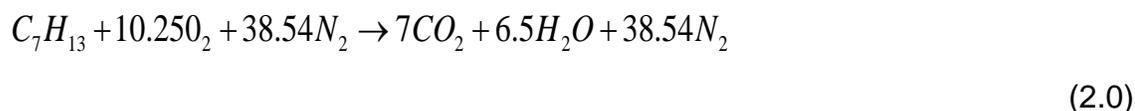
Desde que existe la inyección electrónica de combustible, los ajustes se logran aumentando o disminuyendo el tiempo de inyección básico que es controlado por una unidad de control electrónico denominada ECM por sus siglas en inglés (Engine Control Module) que recibe información de ciertos sensores que le informan las RPM del motor y el caudal de aire de admisión, temperatura del líquido refrigerante del motor, y la posición de la mariposa o válvula de aceleración. Alimentado el ECM con esta información, éste determina qué tiempo de inyección es el más apropiado en función de las condiciones de temperatura y carga del motor.

Con la introducción del catalizador, el factor lambda se mantiene en valores muy cercanos a 1 con objeto de obtener el máximo rendimiento del motor con el

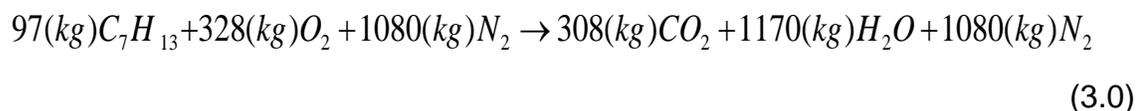
menor porcentaje de emisiones contaminantes, gracias a la utilización de la sonda lambda mejor conocida como sensor de oxígeno, la cual está detectando permanentemente el valor del oxígeno residual de la combustión, en los gases de escape, enviando esta señal al ECM para también, además de los otros componentes mencionados, ajustar el tiempo de inyección básico de modo permanente.

4.2 INTERPRETACIÓN DEL FACTOR LAMBDA

En el motor convencional de gasolina de encendido por chispa, una mezcla de aire y gasolina, suministrada por el múltiple de admisión es admitida al cilindro a través de la válvula de admisión durante la carrera de admisión del émbolo, que luego es comprimida y encendida por la chispa de la bujía de encendido, durante la carrera de compresión. La mezcla se quema y productos de la combustión se expanden cuando el pistón viaja hacia abajo durante la carrera de expansión. Los productos de la combustión son expulsados del cilindro a través de las válvulas y tubos de descarga, durante la carrera de expulsión para llegar al sistema de escape. Se puede estimar la cantidad teórica de aire requerida para quemar completamente el combustible, si se escribe la ecuación de la reacción química total empleando un combustible teórico para representar la mezcla real de los hidrocarburos. Por ejemplo, sobre una base molar (Warner, 2010).



Y sobre una base de masa, como libras o kilogramos (Warner , 2010),



La combustión completa o teórica, mostrada por las reacciones anteriores, se define como la total conversión del carbón a CO_2 y el hidrogeno al H_2O . Dicha reacción se conoce frecuentemente como reacción *estequiometria*. Resulta provechoso definir la razón de mezcla, o relación entre el aire y el combustible (A/C). Esta es la relación de la masa de aire requerida por masa unitaria del combustible que se ha de generar. Esto es:

$$\text{Relación o cociente de mezcla} = A/C - \text{masa de aire} / \text{masa de combustible} \quad (4.0)$$

Se observa, con fines comparativos, que la relación estequiometria combustible-aire es muy útil. En términos de la ecuación (4.0), esto será (Warner , 2010)

$$(A/C)_{\text{estequiométrica}} = \frac{328 + 1080}{97} = 14.5 \quad (5.0)$$

Este valor es típico de las relaciones estequiometrias entre el aire y el combustible para muchos hidrocarburos individuales o mezclas de los mismos. La relación entre el combustible y el aire (C/A) es el valor recíproco.

La relación entre la masa de aire realmente suministrada a la masa de combustible puede ser mayor o menor que la relación estequiometria. Es práctica común emplear el cociente de equivalencia, ϕ .

Para expresar la relación real entre el aire y el combustible.

$$\phi = \frac{(A/C)_{estequio.}}{(A/C)_{actual}} = \frac{(C/A)_{actual}}{(C/A)_{estequio.}} \quad (6.0)$$

Cuando (ϕ) sea menor de 1, se suministra más aire del requerido para la combustión, o existe un exceso de aire y la mezcla se conoce como mezcla pobre. Por el contrario, cuando el valor de (ϕ) sea mayor de 1, la masa del aire suministrado es menor que la requerida para el consumo total del combustible y se dice que la mezcla es rica (un exceso de combustible).

Los gases producto de combustión completa o estequiométrica son: H₂O (Vapor de agua) y CO₂ (Dióxido de carbono). Lo que se puede apreciar en la figura 4.2.0

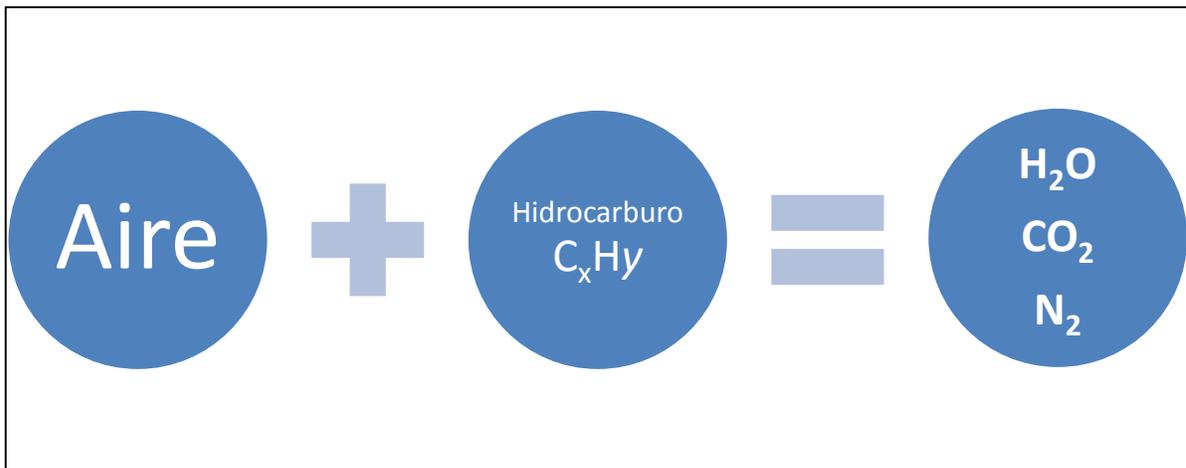


Ilustración 4.2.0 productos de la combustión estequiometria.
Fuente: Warner 2010

Estos gases son considerados como no contaminantes, aunque el calentamiento global de la Tierra se le atribuye en parte a las emisiones de dióxido de carbono CO₂ no controladas o excesivas.

En la mayoría de los casos, por diversos factores (ya sean atmosféricos como de temperatura, diseño y construcción de los motores, entre otros) que influyen en el proceso de quema de combustible, se da lugar a una combustión incompleta o real, de la cual se generan la mayor parte de elementos contaminantes que resultan dañinos para el medio ambiente y perjudiciales para la salud de las personas.

En este proceso se obtienen gases contaminantes como: Monóxido de carbono (CO); hidrocarburos sin quemar (HC); óxidos de nitrógeno (NO_x); material particulado (MP); sulfuro de hidrógeno (H₂S), (SO₂), entre otros. Además de dióxido de carbono CO₂ y vapor de agua H₂O. Lo que se puede apreciar en la figura 4.2.1

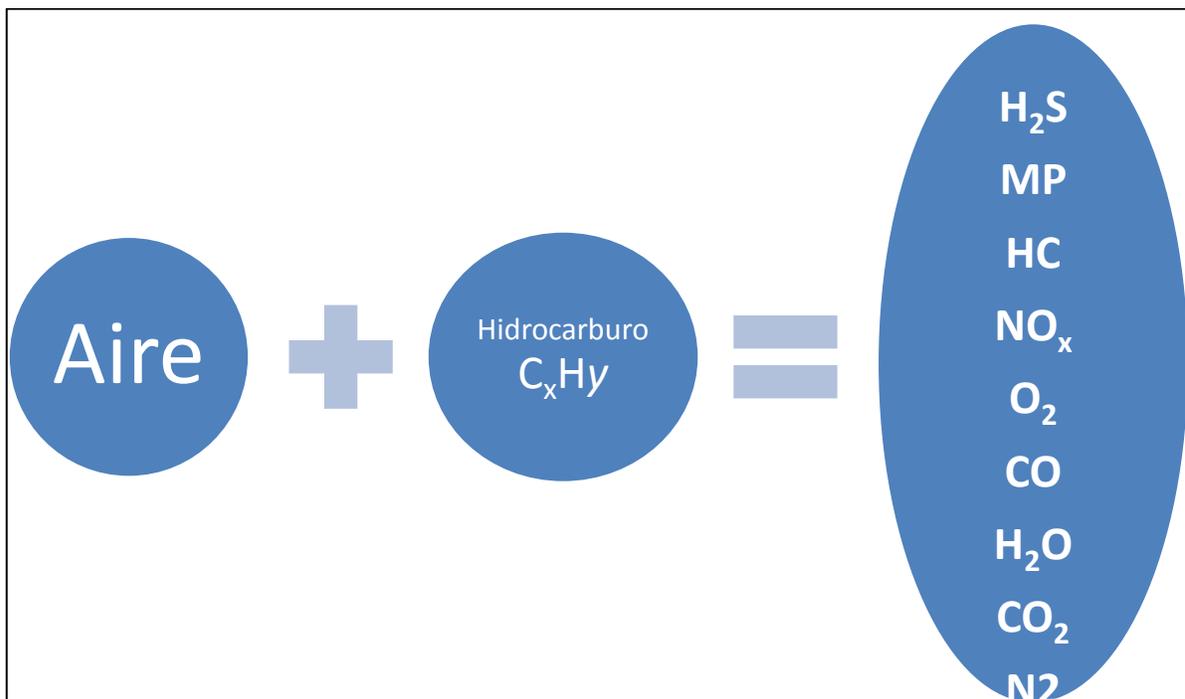


Ilustración 4.2.1 productos de la combustión estequiometria.
Fuente: Warner 2010

4.3 FACTOR LAMBDA (λ)

Se define como factor lambda (λ) a 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.

$$\text{Lambda } (\lambda) = \frac{\text{masa real de aire}}{\text{Masa teorica de aire}} \quad (7.0)$$

Durante el funcionamiento del motor el factor lambda debe variar dentro de unos límites máximo y mínimo establecidos ya que el motor no puede estar alimentado constantemente con una mezcla en relación estequiométrica teórica, esto es lambda igual a uno ($\lambda = 1$), puesto que en estas condiciones el motor no proporcionaría ni su potencia máxima ni el máximo rendimiento térmico. El factor lambda puede conocerse mediante una sonda de oxígeno (sonda lambda) colocada en la salida de escape.

4.4 NORMA Oficial Mexicana NOM-167-SEMARNAT-2017

La norma Oficial mexicana en materia de emisiones contaminantes, menciona lo siguiente:

Que establece los niveles de emisión de contaminantes para los vehículos automotores que circulan en la Ciudad de México, Hidalgo, Estado de México, Morelos, Puebla y Tlaxcala; los métodos de prueba para la certificación de dichos niveles y las especificaciones de los equipos que se utilicen para dicha certificación, así como las especificaciones para los equipos tecnológicos que se utilicen para la medición de emisiones por vía remota y para la realización de dicha medición, publicada en el Diario Oficial de la Federación el 7 de junio de 2016 y en vigor a partir del 1 de julio del mismo año, fue elaborada para coadyuvar a las acciones implementadas por el gobierno federal en conjunto con los gobiernos estatales, pertenecientes a la Megalópolis, para disminuir

las altas concentraciones de ozono en la Zona Metropolitana del Valle de México, zona en la que se observaron las primeras contingencias ambientales con afectaciones a las entidades de Estado de México, Hidalgo, Morelos, Puebla, Tlaxcala, pertenecientes todas a la Megalópolis, pues debido a su tamaño y cercanía geográfica con dicha zona, comparten población, parque vehicular y actividades económicas que, entre otras consecuencias, ha propiciado la circulación continua y constante de vehículos que aportan emisiones que deterioran la calidad del aire y afectan a la población.

Que durante el primer semestre del año 2016, se decretaron ocho Fases I del Programa para Contingencias Ambientales Atmosféricas, mientras que en el segundo semestre del mismo año, una.

Que la NOM-EM-167-SEMARNAT-2016 establece que los cambios tecnológicos deben servir de base para definir los métodos de prueba y los procedimientos de evaluación de emisiones de contaminantes que resulten proporcionales a dichos cambios tecnológicos, así como el establecimiento de límites de emisión más estrictos para una flota vehicular en la Megalópolis, estimada en más de 5.3 millones de vehículos automotores, de los cuales 75% son particulares.

Que con el antecedente que plantea la NOM-EM-167-SEMARNAT-2016, la presente Norma Oficial Mexicana, además de establecer límites máximos permisibles de emisión más estrictos, establece mecanismos centralizados hacia las autoridades competentes para el procesamiento, almacenamiento, evaluación de datos derivados de los métodos de prueba aplicados que serán controlados por las autoridades responsables de los Programas de Verificación Vehicular Obligatorio (PVVO) y los requerimientos mínimos de seguridad que deberán contener las Constancias de Verificación Vehicular que emitan los Centros de Verificación Vehicular y Unidades de Verificación, sin que ello exima de responsabilidad a dichos Centros y Unidades en la aplicación de la Norma Oficial Mexicana y en la realización de las acciones de verificación que este instrumento les confiere.

Que la autoridad federal, con base a lo señalado en el párrafo anterior, podrá realizar análisis estadísticos de datos, monitorear de forma integral el proceso de verificación vehicular, evaluar las políticas públicas en la materia para finalmente, robustecer las vigentes.

Que dado que el método de prueba al que se alude anteriormente, es el de detección remota bajo un principio óptico, se logra la detección del monóxido de nitrógeno (NO), compuesto químico que en conjunto con el dióxido de nitrógeno

(NO₂) constituyen dos de los óxidos de nitrógeno más importantes en términos de salud. Así, la tecnología óptica aplicada en la detección de los vehículos ostensiblemente contaminantes, logra la medición de la concentración del NO proveniente del escape de un vehículo automotor tanto a gasolina como a diésel en circulación.

Que, aunque en la calidad del aire inciden múltiples factores, la presente Norma Oficial Mexicana contribuye a la mitigación de las emisiones contaminantes provenientes de los vehículos automotores en circulación que constituyen una de las fuentes de emisiones a la atmósfera que afectan la calidad del aire.

Que considerando que el comportamiento de los contaminantes en la atmósfera está estrechamente relacionado con las condiciones meteorológicas propias del lugar y el volumen de emisiones contaminantes a la atmósfera y que, por ello, en la Zona Metropolitana del Valle de México las concentraciones de ozono se incrementan entre los meses febrero y junio cuando los días se alargan, la intensidad de la radiación solar aumenta y la falta de nubosidad y viento favorece la estabilidad de la atmósfera baja, por lo que es necesario establecer medidas regulatorias como las contenidas en la presente Norma Oficial Mexicana que, de manera permanente garanticen que la disminución de las concentraciones de contaminantes provenientes de las fuentes móviles reguladas en el presente instrumento.

Que dado que las tecnologías de los vehículos nuevos cumplen con los límites de emisión y estándares de durabilidad previstos en la regulación vigente, éstos quedarán exentos de la verificación vehicular obligatoria y

será prorrogable en función de las evidencias de que las emisiones de certificación se mantienen conforme a la regulación vigente.

Que se considera necesaria la publicación de una regulación definitiva para prevenir y continuar con la mitigación de las altas concentraciones de ozono en la Ciudad de México, Hidalgo, Estado de México, Morelos, Puebla y Tlaxcala, y de la contaminación atmosférica en general, generada por vehículos automotores en circulación.

La NOM –ER.- 167, Establece que

3.13 Factor Lambda (λ): *también conocido como coeficiente de aire. Es el resultado de dividir el volumen de aire aspirado entre la necesidad teórica de aire y se obtiene al correlacionar los gases de escape mediante la fórmula de Brettschneider:...*

$$\lambda = \frac{CO_2 + \frac{CO}{2} + \frac{NO}{2} + O_2 + \left[0.45425 \left[\frac{3.5}{3.5 + \frac{CO}{CO_2}} \right] (CO + CO_2) \right]}{1.45425(CO_2 + CO + HC)} \quad (8.0)$$

En la presente investigación se aplicará la ecuación (1.0), para determinar el factor Lambda de cada vehículo y compararlo con el obtenido de mediciones directas con el analizador de gases M-P, y determinar dicho factor para cada vehículo.

4.5 FÓRMULA DE BRETTSCHEIDER

La ecuación de Brettschneider es el método estándar de facto utilizado para calcular la Balance de aire / combustible normalizado (Lambda) para inspección nacional e internacional de I&M programas Tomado de un documento escrito por el Dr. Johannes Brettschneider, en Robert Bosch en 1979 y publicado en "Bosch technische Berichte", Vol. 6 (1979) N0. 4, Pgs 177-186. En el documento, el Dr. Brettschneider estableció un método para calcular Lambda (Balance de oxígeno a combustible) comparando la relación de moléculas de oxígeno a carbono y Moléculas de hidrógeno en el escape. Ha sido la ecuación estándar utilizada en NDIR. instrumentos de medición de gases de escape desde principios de los años ochenta. El trabajo realizado por Brett C. Singer y Robert A. Harley publicado en 1998 indica un error en la ecuación convencionalmente aceptada, en la que Brettschneider asumió que (ya que los vapores de gasolina se miden como "hexano equivalente"; simplemente podría multiplicar HC por 6 para tener en cuenta los átomos de carbono representados por% HC. Cantante y harley descubierto a través de la correlación de la medición de carbono FTIR con la medición NDIR HC que las técnicas de medición NDIR convencionales perdieron alrededor del 50% del carbono en el Mezcla de gases de escape HC, debido a la baja absorción NDIR de los rodamientos de carbono de doble enlace compuestos. La siguiente ecuación de Brettschneider modificada corrige este error al multiplicando el NDIR HC reportado por un factor de 12 en lugar de 6. Tenga en cuenta que solo la gasolina se efectúa mediante esta modificación, ya que los vapores de gasolina son una mezcla de compuestos de hidrocarburos, mientras que el propano y el metano no lo son.

Detalles de la ecuación de Brettschneider

Aunque esta ecuación puede ser difícil de entender en teoría, es fácil de usar en práctica. La ecuación refleja directamente el "grado de inclinación" de la mezcla de aire / combustible: y es en gran medida independiente de la eficiencia con la que se oxida el combustible, un factor muy importante para que Tenga en cuenta cuando se trata específicamente de problemas de equilibrio de aire / combustible. Sin embargo, la manera en que se va a utilizar esta ecuación es estrictamente una función de la aplicación, y es una Excelente reemplazo para las convenciones más utilizadas, como la medición de CO para aplicaciones de lado enriquecido (ajuste de rendimiento), 'sensores lambda de amplio rango', que están no solo muy no lineal, sino también muy sensible a los combustibles en la corriente de escape, o EGT, que es una combinación de temperatura de la llama y volumen (potencia). La única medida de relación aire / combustible estable que hemos encontrado hasta la fecha es la primera realiza una medición precisa de los gases constituyentes en la corriente de escape (al menos los cuatro gases de HC, CO, CO₂ y O₂) y calcula el contenido de oxígeno y combustibles y luego la lambda y el valor de A / F como arriba.

La relación entre la relación Lambda y A / F

Porque Lambda = 1.000 cuando el oxígeno y los combustibles están en perfecta estequiometría. En equilibrio, Lambda puede usarse fácilmente para calcular la relación A / F para combustibles particulares. La relación A / F activa es simplemente la cantidad Lambda calculada multiplicada por la relación A / F estequiométrica para el combustible específico utilizado (14.71 para la gasolina, pero otros combustibles tienen valores diferentes) $AFR = (\text{Stoich AFR}) \times \text{Lambda}$ Por lo tanto, si Stoich AFR = 14.71, y Lambda = 0.950, AFR = 13.97. Este método es muy superior a otros enfoques que utilizan solo un gas (CO u oxígeno) para aproximar la relación A / F -

ya que el método Brettschneider usa todo el oxígeno y Gases carboníferos para calcular la relación aire a combustible. Hemos encontrado que proporcionar un método uniforme para relacionar los gases de escape específicos los componentes del equilibrio aire / combustible (independientemente de la calidad del proceso de combustión o la potencia producida) hace que el trabajo del sintonizador del motor sea mucho más fácil y más fácil de entender también. Es importante utilizar realmente el valor Lambda como se calcula arriba en la práctica para ver lo bien que se correlaciona con el mundo real. Un poco de experiencia va un largo camino en la construcción. Confianza en cuanto a la eficacia de este parámetro.

La relación entre Lambda y la relación de equivalencia

La relación de equivalencia también se utiliza para evaluar el equilibrio entre el oxígeno disponible y Oxígeno requerido para la combustión completa. La relación de equivalencia es simplemente la relación de oxígeno requerido para el oxígeno disponible, por lo que es efectivamente un cálculo de la demanda de oxígeno, y es lo inverso de Lambda.

$$ER = 1 / \text{Lambda}$$

Por lo tanto, si Lambda es 0.950, ER sería $1 / 0.950 = 1.053$

El efecto de NOx en Lambda

El NO tiene un efecto relativamente inmaterial en el cálculo de lambda, ya que 1.000 ppm de NO es solo equivalente a una utilización de oxígeno (O2) de 0.05%, lo que arroja un error de 0.002 en la lambda Cálculo si se ignora. Por lo tanto, un EGA de 4 gases es adecuado para lambda precisa Cálculo, pero se deben medir al menos 4 gases

El efecto de los combustibles oxigenados en Lambda

Los combustibles oxigenados contienen una cantidad muy pequeña de oxígeno en el combustible, que se libera como el combustible se quema. La equivalencia total de O₂ en el combustible oxigenado típico es del orden de 0.10% O₂, por lo que este efecto también es muy pequeño.

El efecto de varias mezclas de combustible "octanaje" en Lambda

Varias mezclas de gasolina contienen diferentes proporciones de cadenas de hidrocarburos cortas y largas, dando como resultado una variación de los combustibles de octanaje. Esto tiene un pequeño efecto en la proporción de hidrógeno a carbono en el combustible, pero estas variaciones tienen un efecto trivial en la lambda cálculo.

R. Schrader (2013)[En línea]. Lambda Brettschneider modificado. Archivo: \\MIISRV1 \ Metrón \ Bridge_Analyzers \ Customer_Service_Documentation \ White_Papers \ 01A_, disponible en: http://www.bridgeanalyzers.com/wp-content/uploads/2016/07/01A_Modified-Lambda-Brettschneider.pdf [Accesado el día 14 de enero del 2019]

CAPÍTULO 5. RESULTADO DE EMISIONES Y FACTOR LAMBDA

La medición se realizó en el parque vehicular de la UAEM, el cual se realizó de modo aleatorio tomando los datos de cada vehículo en una tabla 5.0 que se mostrara a continuación.

N o	Model o	Marca	ID	Versi ón	Kilometra je	No de cilindro s	Cilindrad a
1	2002	CHEVROLET	CHEVY	SEDA N	202469	4 cilindros	1.6
2	2007	CHEVROLET	OPTRA	SEDA N	99459	4 cilindros	2.0
3	2007	VOLKSWAG EN	JETTA	SEDA N	131842	4 cilindros	2.0
4	2007	NISSAN	SENTRA	SEDA N	131743	4 cilindros	2.0
5	2013	HYUNDAI	H100	SUV	131262	4 cilindros	2.4
6	2014	DODGE	JOURNEY	SUV	49733	4 cilindros	2.4
7	2015	NISSAN	X-TRAIL	SUV	44077	4 cilindros	2.5
8	2016	NISSAN	SENTRA (TERE)	SEDA N	48718	5 cilindros	2.5
9	2017	VOLKSWAG EN	JETTA	SEDA N	14982	5 cilindros	2.5

Tabla 5.0 Datos de los vehículos para la medición de gases contaminantes.

Fuente: Elaboración Propia

Las mediciones que se realizaron fueron aplicadas a 9 vehículos de distintos modelos, se realizaron 4 pruebas que son las más sobresalientes en un uso normal, la primera prueba es en frío cuando el vehículo arranca teniendo una temperatura baja, la segunda es a 1000 rpm cuando el vehículo tiene una temperatura óptima de trabajo, la tercera es a 2000 rpm cuando el vehículo tiene una temperatura óptima de trabajo, la cuarta es a 3000 rpm cuando el vehículo tiene una temperatura óptima de trabajo y los datos que se obtuvieron se muestran en la tabla 5.01, 5.0.2, 5.0.3, 5.0.4.

Prueba en frío				
CO ₂	CO	HC	O ₂ %	NOX
10.37	0.15	358.00	11.75	48.00
14.74	0.05	63.00	19.05	2.00
14.9	0.00	15.00	10.5	0.00
14.68	0.00	5.00	11.83	96.00
14.8	0.00	5.00	6.54	2.00
14.56	0.01	11.00	4.37	2.00
15.5	0.01	10.00	22.95	2.00
15.11	0.00	5.00	0.37	0.00
15.06	0.00	15.00	2.5	3.00

Tabla 5.0.1 Datos en prueba en frío.
Fuente: Elaboración Propia

Prueba a 1000 rpm				
CO2	CO	HC	O2%	NOX
12.77	0.33	268.00	12.65	130.00
15.16	0.02	53.00	18.5	178.00
14.89	0.03	31.00	5.49	0.00
13.49	0.06	12.00	1.64	24.00
14.86	0.3	30.00	6.57	41.00
14.52	0.11	14.00	8.28	0.00
15.27	0.13	38.00	21.55	0.00
14.67	0.00	3.00	0.26	0.00
15.02	0.00	15.00	1.45	7.00

Tabla 5.0.2 Datos en prueba a 1000rpm.
Fuente: Elaboración Propia

Prueba a 2000 rpm				
CO2	CO	HC	O2%	NOX
12.95	0.39	241.00	10.87	81.00
14.77	0.01	34.00	16.18	304.00
14.09	0.03	31.00	5.49	0.00
14.7	0.01	8.00	0.59	87.00
14.68	0.06	29.00	5.8	30.00
14.6	0.01	15.00	4.2	0.00
15.34	0.08	53.00	21.78	0.00
14.99	0.00	2.00	0.11	0.00
15.19	0.00	21.00	1.12	15.00

Tabla 5.0.3. Datos en prueba a 2000rpm.
Fuente: Elaboración Propia

Prueba a 3000 rpm				
CO2	CO	HC	O2%	NOX
13.45	1.07	129.00	8.83	339.00
14.8	0.42	31.00	15.16	872.00
14.95	0.01	25.00	4.56	1.00
14.97	0.00	6.00	0.36	27.00
14.49	0.09	23.00	5.14	197.00
15.25	0.27	12.00	5.76	9.00
15.27	0.13	38.00	21.55	0.00
14.61	0.00	1.00	0.03	0.00
15.16	0.01	28.00	0.92	4.00

Tabla 5.0.4. Datos en prueba a 3000rpm.
Fuente: Elaboración Propia

5.1 RESULTADOS DEL FACTOR LAMBDA

El equipo de medición de emisiones MP, está diseñado para entregar un factor lambda, lo cual se puede apreciar en la ilustración 3.3.3 y sus resultados se muestran en la tabla 5.1.0.

Factor Lambda de los resultados obtenidos de equipo de emisiones MP				
Modelo	Ralentí	1000 rpm	2000 rpm	3000 rpm
2002	1.73	1.64	1.53	1.38
2007	1.88	1.79	1.75	1.67
2007	1.43	1.25	1.25	1.21
2007	1.56	1.08	1.03	1.02
2013	1.9	1.29	1.27	1.24
2014	1.21	1.39	1.34	1.25
2015	2.02	1.96	1.97	1.96
2016	1.02	1.01	1.01	1
2017	1.1	1.07	1.05	1.04

Tabla 5.1.0. Resultados Factor Lambda.
Fuente: Elaboración Propia

5.2 APLICACIÓN DE LA ECUACIÓN DE BRETTSCHEIDER

Por otra parte, teniendo los resultados de los gases contaminantes que el equipo de medición de emisiones MP se calculó el factor lambda con la aplicación la fórmula de BRETTSCHEIDER, establecida en la NOM EM-167, 2017 en la cual podemos observar los resultados de obtenido en la tabla 5.2.0.

Factor Lambda para los resultados obtenidos según la fórmula de BRETTSCHEIDER				
Modelo	Ralentí	1000 rpm	2000 rpm	3000 rpm
2002	0.095	0.236	0.191	0.952
2007	0.367	1.307	2.674	7.037
2007	0.740	0.407	0.396	0.461
2007	2.836	0.896	1.983	1.168
2013	1.009	0.745	0.663	2.283
2014	0.714	0.708	0.591	0.809
2015	1.253	0.565	0.444	0.557
2016	0.764	0.840	0.887	0.937
2017	0.593	0.614	0.584	0.398

Tabla 5.2.0. Resultados Factor Lambda aplicamos la ecuación de brettscneider.

Fuente: Elaboración Propia

Dado los resultados obtenidos del equipo de gases MP, con los resultados de la aplicación de la fórmula de BRETTSCHEIDER, se realizó una comparativa en la cual los resultados se muestran en la tabla 5.2.1

Diferencia de "AFR" del Equipo y el Calculado					
Modelo	RALENTÍ (%)	1000 RPM (%)	2000 RPM (%)	3000 RPM (%)	Promedio
2002	5.5	14.4	12.5	69.0	25.34
2007	19.5	73.0	152.8	421.4	166.68
2007	51.7	32.5	31.7	38.1	38.53
2007	181.8	83.0	192.5	114.5	142.96
2013	53.1	57.8	52.2	184.1	86.81
2014	59.0	51.0	44.1	64.7	54.70
2015	62.1	28.8	22.5	28.4	35.45
2016	74.9	83.2	87.8	93.7	84.91
2017	53.9	57.4	55.6	38.3	51.26

Tabla 5.2.1. Diferencia de "AFR" del Equipo y el Calculado.

Fuente: Elaboración Propia

5.3 CRITERIOS DE ACEPTACIÓN O RECHAZO

El criterio de uso y aceptación de la verificación vehicular se toma con los siguientes rangos:

Gas o factor a considerar	Aceptable	No aceptable	Causas probables
CO₂	Mayor al 14% de los gases de combustión.	Menor al 14% de los gases de combustión.	Fallo en el catalizador catalítico.
CO	De 0-14% de los gases de combustión.	Mayor de 14% de los gases de combustión.	Fallo en el catalizador catalítico.
HC	Menor de 90 ppm.	Mayor de 90 ppm.	Problemas en los sistemas de combustión del vehículo.
O₂	De 0.2-1.5% de los gases de combustión.	-	Problemas en los sistemas de combustión del vehículo.
NOX	Menor de 2000 ppm.	Mayor de 2000 ppm.	Fallo en el catalizador catalítico.
Factor lambda	De 0.9-1.1.	Superior a 1.1 y menor de 0.8.	Fallo en la sonda lambda del vehículo.

Tabla 5.3.0. Criterios para la aceptación de la verificación Vehicular.

Fuente: Elaboración Propia

5.4 RECOMENDACIONES GENERALES PARA REDUCIR LA EMISIONES CONTAMINANTES

Las estrategias de control de emisiones a la atmosfera pretende la eliminación, o la reducción hasta niveles aceptables, de aquellos agentes (gases, partículas en suspensión, elementos físicos y hasta cierto punto agentes biológicos) cuya presencia en la atmósfera puede ocasionar efectos adversos en la salud de las personas (irritación, aumento de la incidencia o prevalencia de enfermedades respiratorias, morbilidad, cáncer, exceso de mortalidad) o en su bienestar (efectos sensoriales, interferencias con la visibilidad), efectos perjudiciales sobre la vida de las plantas y de los animales, daños a materiales de valor económico para la sociedad y daños al medio ambiente (por ejemplo modificaciones climatológicas). Los graves riesgos asociados a los contaminantes radiactivos, así como los procedimientos especiales para su control y evacuación, exigen que se les preste la mayor atención (Maystre, 2010)

La estrategia de reducción de emisiones generadas por el transporte incluye las siguientes componentes (INE, 2003):

a) Modernización y mejoramiento tecnológico (reducción de emisiones por kilómetro recorrido):

En el caso de los vehículos en circulación se requiere:

- El fortalecimiento de la verificación vehicular, de vehículos a gasolina y sobre todo de los vehículos a diésel.
- La retroadaptación de sistemas de control de emisiones.
- La instalación de convertidores catalíticos en vehículos a gasolina.

- La retroadaptación de trampas de partículas en vehículos a diésel.
- La sustitución de motores y trenes motrices en vehículos a diésel.
- La conversión a gas natural comprimido con sistemas certificados.
- La regularización del uso de gas licuado de petróleo.
- La detención y retiro de vehículos ostensiblemente contaminantes.
- La sustitución de vehículos de servicio público que no cumplan con requerimientos ambientales, de seguridad y otros.

Vehículos nuevos

- Introducción de vehículos a gasolina que cumplan con límites de emisión gradualmente más estrictos, en el corto plazo.
- Establecimiento de normas de emisión más estrictas en el mediano plazo.
- Establecimiento de normas e incentivos para acelerar la introducción de vehículos de emisiones ultra bajas (híbridos, GNC, etc.) y emisiones cero.
- Introducción de gasolina de menor contenido de azufre (Magna de 300 ppm en el corto plazo y Premium de 50 ppm).
- Introducción de vehículos a diésel que cumplan con límites de emisión gradualmente más estrictos, en el corto plazo.
- Establecimiento de normas de emisión de vehículos a diésel equivalentes a EPA 2004 y Euro IV.
- Introducción de diésel de menor contenido de azufre.

Mejoramiento de la capacidad de transporte público de pasajeros:

- Sustitución de microbuses por autobuses.
- Ordenamiento del transporte público de superficie.
- Mejoramiento del transporte masivo (metro, tren ligero, trenes suburbanos, Autobuses urbanos, etc).

Racionalización y regulación del transporte de carga:

- Regulación espacial y temporal del tránsito de vehículos de carga, como parte del estudio integral para el mejoramiento del transporte de carga.
- Definición de mecanismos para optimizar la distribución de carga (vehículos pesados para transporte interurbano, vehículos de menor capacidad para transporte intraurbano articulados con centros de consolidación de carga).

b) Mejoramiento de las condiciones de vialidad (incremento de la velocidad de circulación):

- Instrumentación de corredores viales para agilizar la circulación del transporte público, mejoramiento de infraestructura y señalización vial.

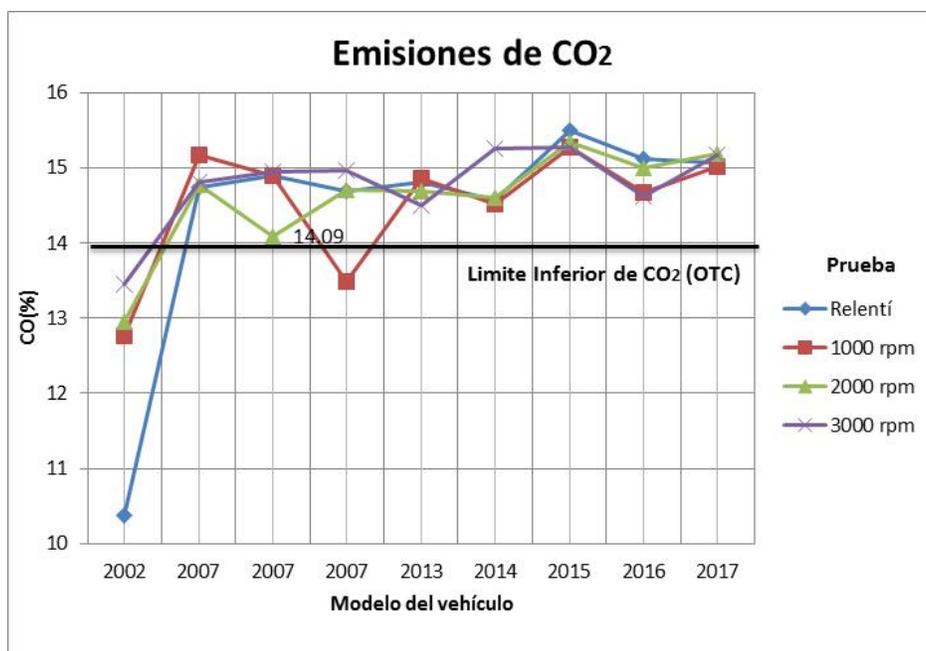
c) Reducción de la tasa de crecimiento de viajes por persona y distancias recorridas por viaje:

- Integración de las políticas metropolitanas de desarrollo urbano, transporte y medio ambiente, vinculación con las políticas de desarrollo sustentable a nivel federal, del
- Estado de México y la Ciudad de México.

CAPÍTULO 6. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Al realizar el análisis de las emisiones en cada uno de los modelos de los vehículos verificados se obtuvieron las siguientes gráficas que a continuación se presentan.

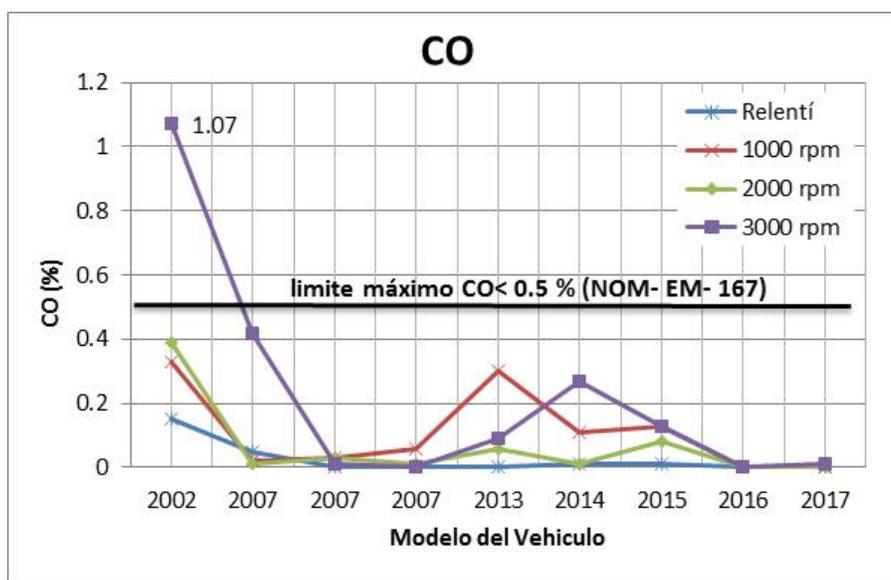
En la gráfica 6.0, se muestran las emisiones de CO₂, para los vehículos estudiados. Se aprecia que a partir el modelo 2007, las emisiones de CO₂ se encuentran en un rango aceptable, según el criterio de aceptación del CO₂ > 14%.



Grafica 6.0 Emisiones de CO₂ de los vehículos analizados a diferentes condiciones de operación.

Fuente: Elaboración Propia

En la gráfica 6.1, se muestran las emisiones de CO, de los vehículos analizados a diferentes condiciones de operación. Se observa que la lectura de emisiones de CO máxima ocurre en el vehículo modelo 2002 a 3000 rpm que es de 1.07%, que no supera el criterio establecido en la NOM- EM- 167 SEMARNAT 2017, de $CO < 0.5\%$. Sin embargo, todos los demás vehículos se encuentran dentro del rango de aceptación de $CO < 14\%$. (OTC, 2006) Y del criterios $CO < 0.5\%$.

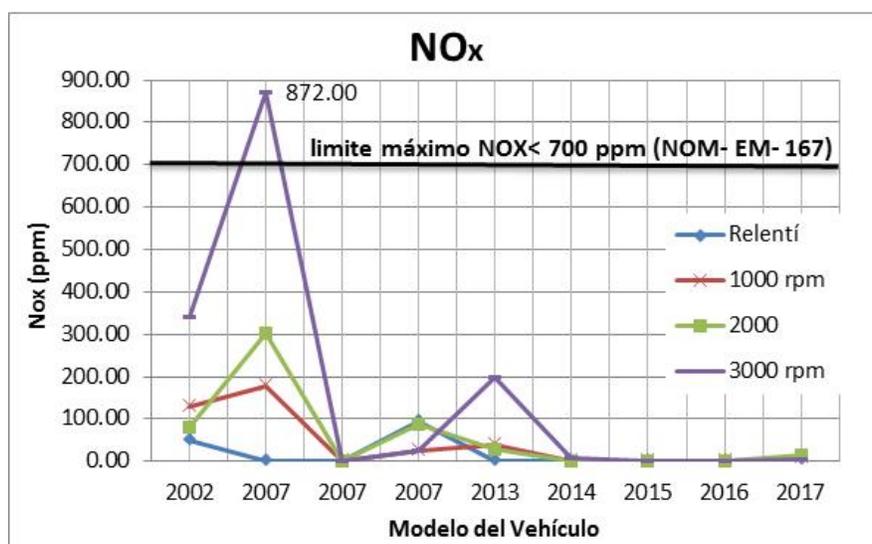


Grafica 6.0.1 Emisiones de CO de los vehículos analizados a diferentes condiciones de operación.

Fuente: Elaboración Propia

En la gráfica 6.2 se muestran las emisiones de NO_x, a diferentes regímenes de operación de los vehículos analizados, se observa que la emisión máxima de NO_x ocurre en uno de los vehículos 2007 a 3000 rpm, que es de 872 ppm, lo cual supera el criterios de NO_x < 2000 ppm (OTC, 2006), pero no supera el criterio de la NOM-EM- 167 SEMARNAT 2017, que es de NO_x < 700 ppm. Por otra parte, todas las lecturas obtenidas para los vehículos analizados cumplen con ambos criterios establecidos.

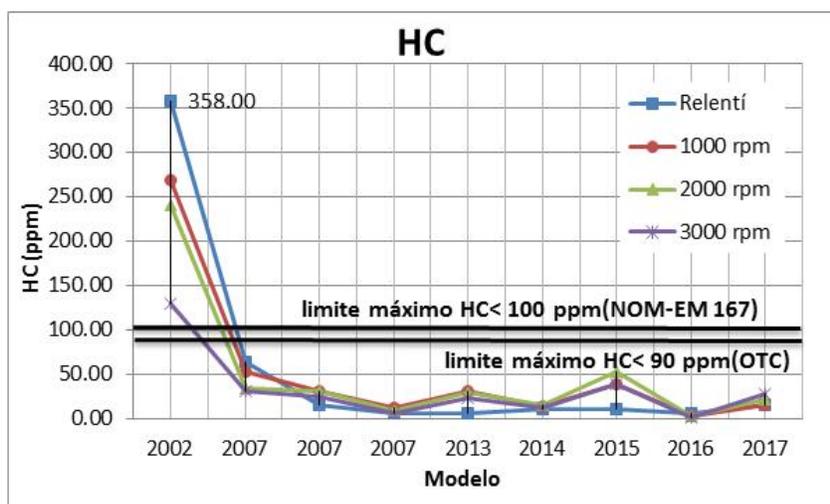
Se aprecia también, en la gráfica 3.0 que al incrementar el régimen de operación los vehículo, las emisiones de los NO_x tienden a incrementarse como lo muestra la gráfica 3.0 para la operación a 3000 rpm.



Grafica 6.0.2. Emisiones de NO_x de los vehículos analizados a diferentes condiciones de operación.

Fuente: Elaboración Propia

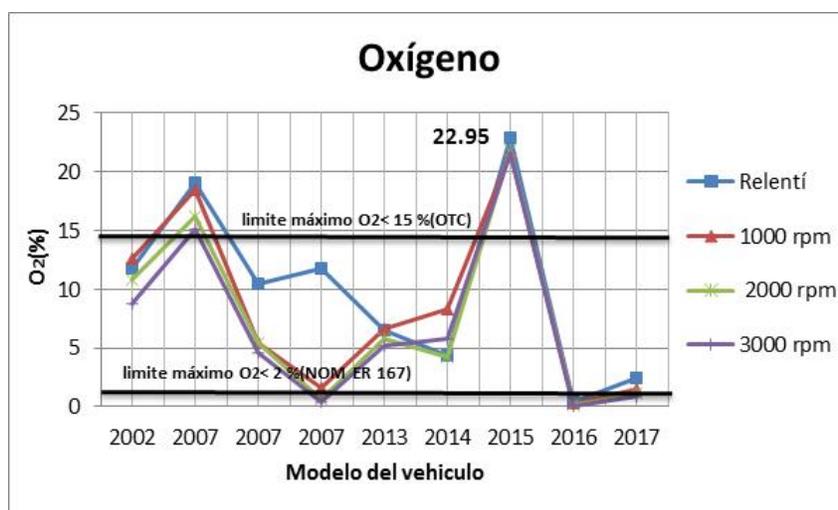
Las emisiones de hidrocarburos no quemados, de los vehículos analizados se muestran en la gráfica 6.3. Se aprecia que la lectura de emisiones de hidrocarburos no quemados máxima fue de 358 ppm, del vehículo modelo 2002 a 3000 rpm. Se aprecia que el vehículo, modelo 2002 no supera ninguna de las pruebas de emisiones de HC a las que fue sometida y que las emisiones de HC del resto de los vehículos estudiados se mantienen dentro del criterio de aceptación que es de HC < 90 ppm.



Grafica 6.0.3. Emisiones de HC de los vehículos analizados a diferentes condiciones de operación.

Fuente: Elaboración Propia

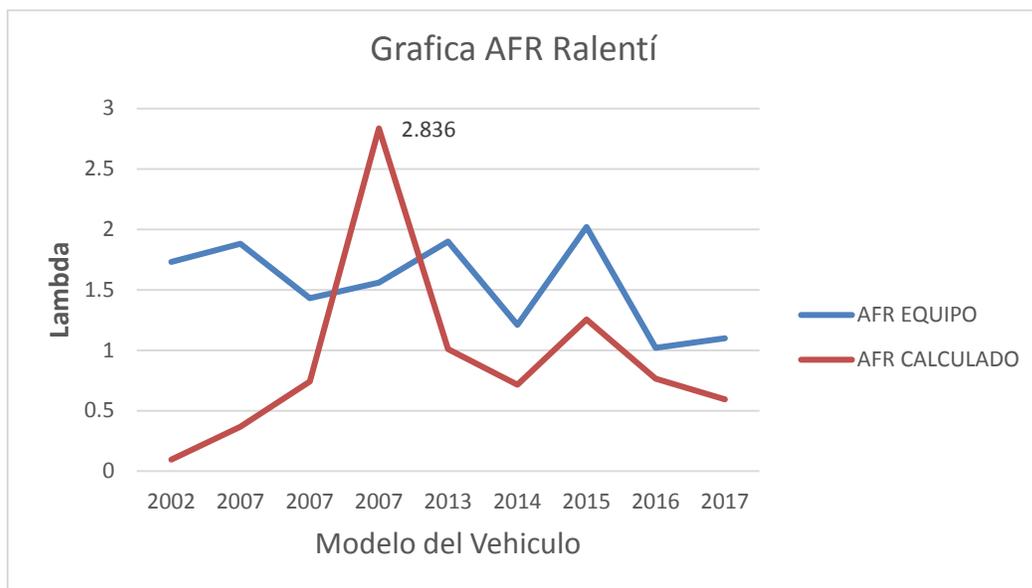
La grafica 6.0.4, muestra el porcentaje de Oxígeno presente en los gases de escape de los automóviles analizados. Se aprecia que la máxima lectura de oxígeno presente en los gases de escape de los vehículos analizados es de 22.95%, para el vehículo 2015, de hecho, éste vehículo junto con el modelo 2007 no superan el criterio de aceptación de O₂ presente en los gases de escape que es de O₂ < 14%.



Grafica 6.0.4. Emisiones de O₂ de los vehículos analizados a diferentes condiciones de operación.
Fuente: Elaboración Propia

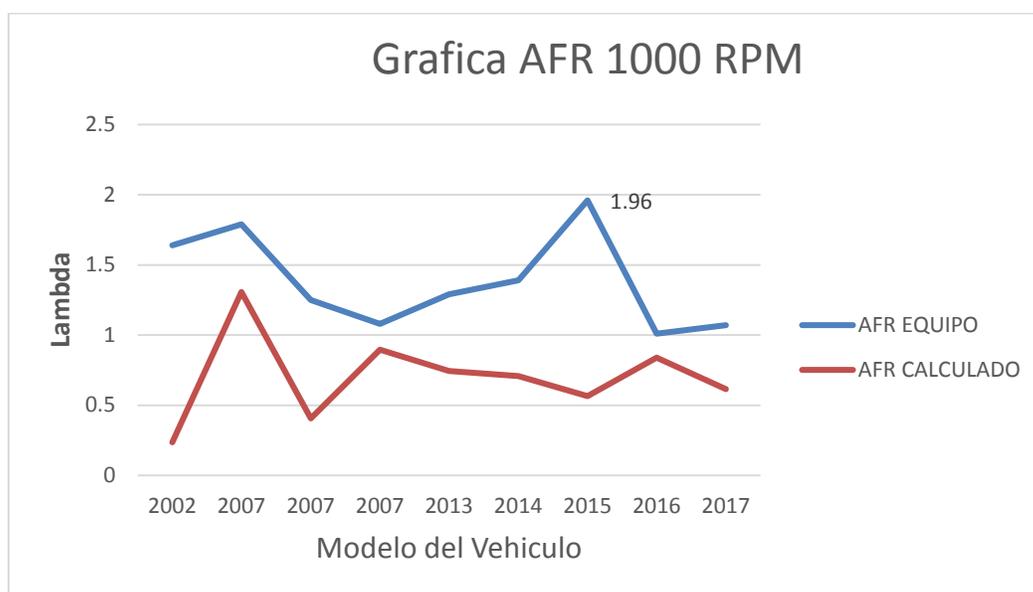
6.1 RESULTADOS “AFR” RELACIÓN AIRE COMBUSTIBLE

En la gráfica 6.1 muestra el porcentaje de la relación aire combustible, cuando el vehículo se encuentra en Ralentí, en el cual se muestra los resultados obtenidos, ya que los comportamientos son similares con la ecuación de Brettschneider y con los datos obtenidos del equipo analizador de gases M-P. En el cual se apreció la similitud de las dos pruebas analizadas y se determinó que el AFR de la ecuación de Brettschneider es menor al AFR del equipo analizador de Gases M-P, por otra parte, tenemos un comportamiento del efecto lambda de la relación aire combustible en el automóvil 2007 ya que supera más de 2 lambda.



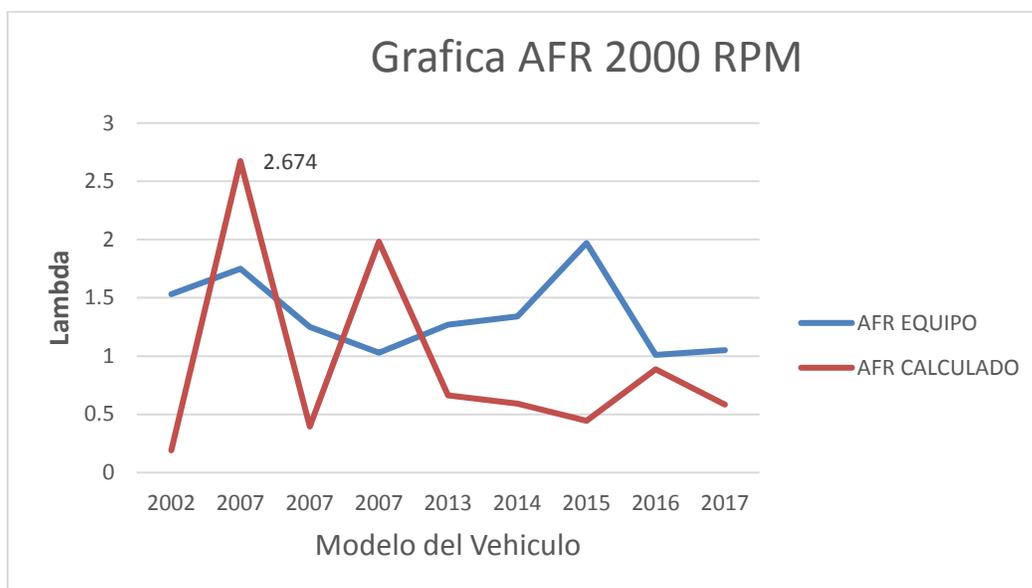
Gráfica 6.1 AFR Ralentí. Fuente: Elaboración Propia

En la gráfica 6.1.2 muestra el porcentaje de la relación aire combustible, cuando el vehículo se encuentra a 1000 RPM (revoluciones por minuto) en la cual se apreció que los comportamientos son similares con la ecuación de Brettschneider y con los datos obtenidos del equipo analizador de gases M-P. En la cual se parecía una lectura en el modelo 2015 en el porcentaje de la relación aire combustible esta por arriba de los demás modelos de automóviles ya que a 1000 revoluciones es por minuto ese vehículo en específico tiene una mayor porción de aire combustible, y que los resultados obtenidos por la mediación del equipo de gases MP está por arriba de la ecuación de Brettschneider.



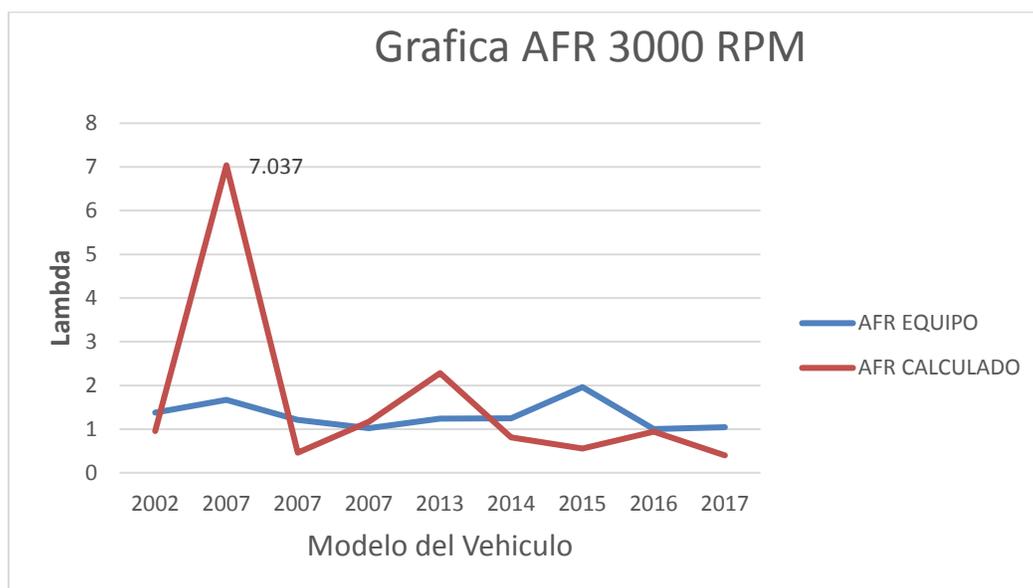
Grafica 6.1.2 AFR 1000 rpm. Fuente: Elaboración Propia

En la gráfica 6.1.3 muestra el porcentaje de la relación aire combustible, cuando el vehículo se encuentra a 2000 RPM (revoluciones por minuto) en la cual se apreció que los comportamientos son similares con la ecuación de Brettschneider y con los datos obtenidos del equipo analizador de gases M-P, pero en este caso los vehículos de modelo 2007, muestran un comportamiento que sobre pasa el porcentaje de los datos obtenidos del equipo analizador de gases M-P en el cual tiene 2.67 y 2.0 de lambda en la relación aire combustible en lo vehículos con los años 2007, así como también en el vehículo del año 2015 se muestra una baja de la relación aire combustible ya que la ecuación de Brettschneider, muestra un 0.5 de lambda.



Grafica 6.1.3 AFR 2000 rpm. Fuente: Elaboración Propia

En la gráfica 6.1.4 muestra el porcentaje de la relación aire combustible, cuando el vehículo se encuentra a 3000 RPM (revoluciones por minuto) en la cual se apreció que los comportamientos son similares con la ecuación de Brettschneider y con los datos obtenidos del equipo analizador de gases M-P, en el cual os comportamientos de las gráficas obtenidas se apreció un porcentaje de 7.03% lambda, con la ecuación de Brettschneider en el año 2007 ya que en el dato calculado por el equipo analizador de gases MP está por debajo del 2 de lambda, por otra parte en el vehículo del año 2013 tiene una relación de aire combustible que está por arriba del 2 de lambda, y en este vehículo tenía resultados similares en las diferentes pruebas relacionadas.

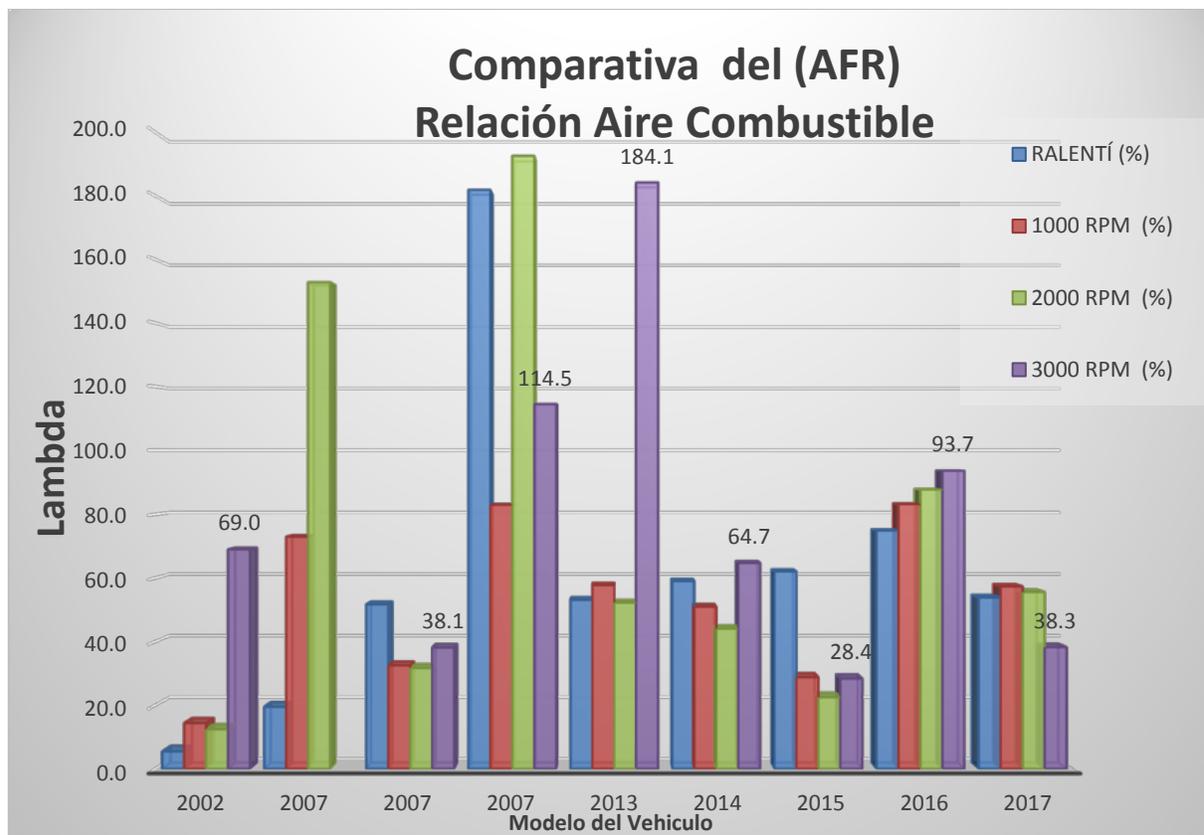


Grafica 6.1.4 AFR 3000 rpm. Fuente: Elaboración Propia

6.2 COMPARATIVA DE LA RELACIÓN AIRE COMBUSTIBLE

En la gráfica 6.2 se tiene una relación de la comparativa de las pruebas realizadas del efecto lambda en las cuales se realizaron las pruebas a los vehículos con modelo (2002, 2007, 2013, 2014, 2015, 2016, 2017) en la cual las pruebas sometidas fueron en: (Ralentí, 1000rpm, 2000rpm, 3000rpm.) y se detectó la similitud con la que el porcentaje de la relación aire combustible es similar a la de las pruebas ya que como se mostró en los resultados obtenidos en la tabla 5.2.1 en el modelo 2007 se tiene una mayor Relación de aire combustible, que a diferencia a los demás años esta tiene un porcentaje mayor con la de los demás vehículos, en la cual determinamos que hay un problema en ese vehículo en específico, ya que sus lecturas son muy altas y se compara la similitudes en las gráficas (6.1 a 6.1.4).

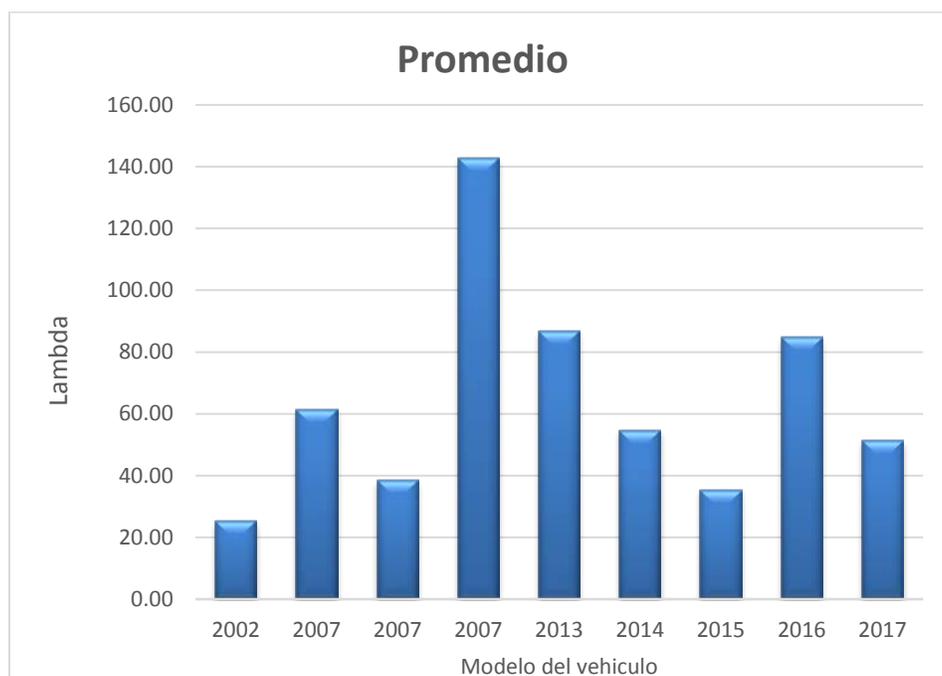
Por otra parte cabe mencionar que el equipo analizador de gases M-P tiene un pequeño error de paralaje, en el cual las mediciones obtenidas no son del todo reales ya que las condiciones de los vehículos, no son las mismas, en el cual pide influir las condiciones de temperatura de la máquina de combustión interna y del ambiente ya que las mediciones influyen bastante con las condiciones de cada vehículo, es donde el error de paralaje se expresa con la lectura en el momento exacto y las mediciones no se realizaron al mismo tiempo ya que solo se contaba con un equipo analizador de gases M-P.



Grafica 6.2. Comparativa del AFR. Fuente: Elaboración Propia

6.3 PROMEDIOS

En la gráfica 6.3 se muestran los promedios de las diferencias porcentuales (%) entre lambda (λ), de los datos obtenidos a través del equipo de emisiones contaminantes y el cálculo de la ecuación de Brettschneider, se observa que existen diferencias porcentuales y significativas en específico para el modelo 2007 y el 2016, cuyas diferencias porcentuales llegan a ser mayores a 140% y 80% respectivamente. Esto se debe en esencia a que la lectura del equipo de medición de gases es dinámica, pues depende del régimen del motor de combustión interna lo que provoca variaciones en la lectura obtenida, sin embargo, la tendencia de comportamiento de las gráficas del factor lambda (6.1, 6.1.2, 6.1.3, 6.1.4,) Muestran un comportamiento similar donde el equipo de medición por lo general calcula una lambda mayor que el de la ecuación de Brettschneider.



Grafica 6.3 Promedio Lambda. Fuente: Elaboración Propia

6.4 RESULTADOS DE LAS PRUEBAS ANALIZADAS

La tabla 6.4., muestra el número de pruebas aceptadas (A) o rechazo(R), de los vehículos analizados, tomando en consideración los criterios de aceptación o rechazo de la tabla 6.0. Por recomendación del fabricante del analizador de gases. (OTC, 2006).

Modelo	CO2	CO	NOx	HC	O2
2002	3R	A	A	4R	4R
2007	A	A	A	A	4R
2007	A	A	A	A	A
2007	A	A	A	A	A
2013	A	A	A	A	A
2014	A	A	A	A	A
2015	A	A	A	A	4R
2016	A	A	A	A	A
2017	1R	A	A	A	A

Tabla 6.4 Aceptación o rechazo de los vehículos analizados.

Fuente: Elaboración Propia

Considerando los criterios más estrictos establecidos en la NOM-ER-167 SEMARNAT 2017, concentrados en la tabla 5.0, se establece que los niveles más estrictos de emisiones contaminantes considerando: HC< 100 ppm, CO<0.5%, NOx< 700 ppm y O2< 2%, la tabla 6.2.2 muestra la aceptación o rechazo de la verificación bajo estos nuevos parámetros.

Modelo	CO	NOx	HC	O2
2002	1R	A	4R	4R
2007	A	1R	A	4R
2007	A	A	A	4R
2007	A	A	A	1R
2013	A	A	A	4R
2014	A	A	A	4R
2015	A	A	A	4R
2016	A	A	A	A
2017	A	A	A	1R

Tabla 6.4.1 Aceptación o rechazo de los vehículos analizados, bajo los criterios de la NOM ER- 167 SEMARNAT.

Fuente: Elaboración Propia

CONCLUSIONES

Se realizó la medición de las emisiones contaminantes de vehículos a gasolina de manera aleatoria del parque vehicular del CU Nezahualcóyotl, los niveles de emisiones se evaluaron bajo dos recomendaciones, las del fabricante del analizador de gases OTC, y las establecidas en la NOM- EM- 167 SEMARNAT.

Considerando el criterio de aceptación del fabricante del analizador de gases, se concluye que cuatro de los vehículos no aprobaron la verificación vehicular, los cuales fueron los modelos 2002 (no aprobó la emisión de CO₂ en 3 pruebas y las cuatro pruebas de emisiones de HC), un modelo 2007 (no aprobó el nivel de O₂ en las 4 pruebas), el modelo 2015 no aprobó el nivel de O₂ en las 4 pruebas) y el modelo 2017(no aprobó la emisión de CO₂ en la prueba de ralenti).

Por otra parte, considerando los niveles establecidos en la NOM- EM- 167 SEMARNAT, se encontró que todos los vehículos no superan la prueba del oxígeno presente al menos en alguna de las pruebas a las que fueron sometidos a excepción de la unidad modelo 2016, quien aprobó todas las pruebas de verificación vehicular a las que fue sometido.

Respecto a las emisiones contaminantes máximas encontradas fueron: 1.07% CO del vehículo 2002 en la prueba a 3000 rpm, 872 ppm NO_x, para uno de los vehículos 2007 en la prueba de 3000 rpm, 358 ppm HC del vehículo modelo 2002 en la prueba de ralenti, y la presencia de O₂, máximo en los gases de escape de los vehículos analizados fue de 22.95% del vehículo 2015 para todas las pruebas a las que fue sometido.

Por otra parte, en el análisis del efecto lambda (λ), en comparativa con el resultado que el equipo de emisiones contaminantes generaba una similitud en los resultados esperados a comparación de la ecuación de Brettschneider, mostraban semejanza entre ellas, pero a pesar de ello la medición del equipo de gases M-P, por lo general calculaba una lambda mayor que en la ecuación del Brettschneider. Respecto a la diferencia porcentuales del efecto lambda significativas en específico al modelo 2007, el cual presenta una mayor relación aire combustible, la cual al ser sometida las pruebas de (ralentí, 1000rpm, 2000rpm, 3000rpm) su valor lambda es mayor en el cálculo de la ecuación de Brettschneider que en la del equipo de gases M-P.

Con los resultados obtenidos, se concluye que el nivel de las emisiones contaminantes de los vehículos analizados depende en gran medida del programa de mantenimiento (afinación), de las condiciones mecánicas del motor, del sistema de combustión y del sistema de escape.

El hecho de que un vehículo apruebe la verificación de emisiones contaminantes establece su buen estado físico mecánico, sin embargo, durante el periodo exento de verificación (regularmente seis meses) sus condiciones físicas mecánicas pueden deteriorarse por el uso contantes y su nivel de emisiones contaminantes se puede elevar. Para ello, se recomiendas las siguientes acciones:

1. Realizar el mantenimiento según lo indique el fabricante del vehículo.
2. Realizar los servicios de limpieza del sistema de carburación y afinación del vehículo, como lo establece el programa de mantenimiento del fabricante.
3. Sustituir el convertidor catalítico, cuando el distribuidor lo considere pertinente a fin de reducir las emisiones contaminantes asociados a su mal funcionamiento.

4. Para reducir las emisiones contaminantes en la zona metropolitana de la ciudad de México, se recomienda la circulación de vehículos modelo 2007 en adelante, dado que presentan de manera global, un nivel de emisiones contaminantes menor que los modelos anteriores.

Los resultados esperados, de las lecturas obtenidas se concluye que:

El rango aceptable de O_2 presente en los gases de combustión a la salida del escape de los vehículos automotrices es $\leq 2\%$. Para el caso del CO_2 , presente en los gases de combustión a la salida del escape de los vehículos automotrices debe ser $CO_2, \leq 14\%$. Las lecturas esperadas de CO , deben de ser de $CO \leq 0.5\%$. La cantidad de HC , no debe de exceder las 90 PPM.

Finalmente, las emisiones de NO_x remanentes de la combustión no deben de superar las 700 PPM. Las recomendaciones anteriores tomando el criterio más estricto presentado en la investigación.

REFERENCIAS

- Cengel , Y. A., & Boles, M. A. (2012). Termodinámica (6 ed.). México: Mc Graw Hill.
- De Regil , M. (23 de 06 de 2014). 32% del Parque vehicular va que vuela para carcacha. México, México, México.
- EPA. (05 de 05 de 2016). EPA Unite States American Protection Agency. Obtenido de EPA Sources of Greenhouse Gas Emissions: <https://www3.epa.gov/climatechange/ghgemissions/sources/transportation.html>
- European Commission. (15 de 04 de 2015). European Commission, Climate Accion, EU Action, Transport. Obtenido de http://ec.europa.eu/clima/policias/transport/index_en.htm
- Navarro, I. (20 de 07 de 2014). Autos Primera fuente de contaminación en el país . Milenio.Com México, págs. http://www.milenio.com/region/Autos-primera-fuente-contaminacion-pais-Mexico-enfermedades-humo-ozono_troposferico_0_338966122.html.
- NOM-EM-167-SEMARNAT-2016, que establece los niveles de emisiones contaminantes para vehículos automotores que circulan en la Megalópolis, los métodos de prueba y la especificación de los equipos para dicha certificación, así como la especificación de los equipos tecnológicos para la medición de emisiones por vía remota y para la realización de dicha medición.
- NOM-041-SEMARNAT-2011 Establece los límites máximos permisibles de emisiones de gases contaminantes provenientes del escape de los vehículos automotores en circulación que usan gasolina como combustible
- NOM-042-SEMARNAT-2003 Establece los límites máximos permisibles de emisiones de hidrocarburos totales o no metano, monóxido de carbono, óxido de nitrógeno y partículas provenientes del escape de los vehículos automotores nuevos cuyo peso bruto vehicular no exceda los 3,857 kilogramos, que usan

gasolina, gas licuado de petróleo, gas natural y diésel, así como de las emisiones de hidrocarburos evaporativos provenientes del sistema de combustible de dichos vehículos.

- NOM-044-SEMARNAT-2006 Establece los límites máximos permisibles de emisiones de hidrocarburos totales, hidrocarburos no metano, monóxido de carbono, óxido de nitrógeno, partículas y opacidad de humo que se utilizaran para la propulsión de vehículos automotores nuevos con peso bruto vehicular mayor de 3,857 kilogramos, así como para unidades nuevas con peso bruto vehicular mayor de 3,857 kilogramos equipadas con este tipo de motores.
- NOM-076-SEMARNAT-2012 Establece los niveles máximos permisibles de hidrocarburos no quemados, monóxido de carbono y óxido de nitrógeno provenientes del escape, así como de hidrocarburos evaporativos provenientes del sistema de combustible, que usan gasolina, gas licuado de petróleo, gas natural y otros combustibles alternos y que se utilizaran para la propulsión de vehículos automotores, con peso bruto vehicular mayor de 3,857 kilogramos nuevos en planta.
- NOM-077-SEMARNAT-1995 Establece el procedimiento de medición para la verificación de los niveles de emisión de la opacidad del humo proveniente del escape de los vehículos automotores en circulación que usa diésel como combustible.
- Manual de Usuario: Gas M-P, User Guide Software for the performance gas module, SPX. 2006
- Pazo, F. (16 de 03 de 2016). Parque vehicular Amenaza: SEMOVI; Hay 5.5 Millones de Autos. (Excelsior, Ed.) México, México, México.
- Warner, W. (2010). Contaminación del Aire. México: Ciudad de México.
- Contaminación del aire, origen y control, Wark K, Warner C, 2010 editorial LIMUSA, S.A de C. V

- Sbarato, Darío, and Sbarato, Viviana M.. Contaminación del aire. Córdoba, AR: Editorial Brujas, 2006. ProQuest ebrary. Web. 27 June 2017. Copyright © 2006. Editorial Brujas. All rights reserved.
- Miriam E. Téllez Ballesteros (2011) "Emisiones contaminantes", *Balance Energético del Transporte en el distrito Federal*, Enero 2011.
- Agencia Europea de Medio Ambiente (AEMA). (2018) [En línea]. México, disponible en: <https://www.eea.europa.eu/es/about-us/who> [Accesado el día 20 de Diciembre de 2018]
- Diario Oficial de la Federación. (2016) [En línea]. México, disponible en: http://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5440157&fecha=07/06/2016 [Accesado el día 20 de diciembre del 2018]
 - CESVIMAP 94. [En línea]. México, disponible en: <http://www.cultsock.ndirect.co.uk/MUHome/cshtml/index.html> [Accesado el día 21 de diciembre de 2017]
 - Secretaría del Medio Ambiente del Gobierno de la Ciudad de México. [En línea]. México, disponible en: <http://www.aire.cdmx.gob.mx/descargas/publicaciones/flippingbook/inventario-emisiones-cdmx2014-2/mobile/index.html#p=1> [Accesado el día 21 de diciembre de 2018]
 - CDMX (2012) [En línea]. México, disponible en: <http://www.aire.cdmx.gob.mx/default.php?opc=%27ZaBhtml=&dc=%27Yw> [Accesado el día 21 de diciembre de 2018]
 - Rajput R. Ingeniería Termodinámica. 2011 por Cengage Learning Editores, S.A. de C.V.
 - Biblioteca digital del ILCE (2017) [En línea]. México, disponible en: http://bibliotecadigital.ilce.edu.mx/sites/ciencia/volumen1/ciencia2/39/html/sec_10.html [Accesado el día 21 de diciembre de 2018]
 - CIE Universidad Nacional Autónoma de México. (2007) [En línea]. México, disponible en:

- <http://www.cie.unam.mx/~ojs/pub/Termodinamica/node45.html> [Accesado el día 21 de diciembre de 2018]
- Aficionados a la mecánica (2014) [En línea]. México, disponible en: http://www.aficionadosalamecanica.net/inyeccion_directa1.htm [Accesado el día 21 de diciembre del 2018]
 - Sabelotodo.org. (2017) [En línea]. México, disponible en: <http://www.sabelotodo.org/automovil/sisescape.html> [Accesado el día 21 de diciembre de 2018]
 - Universidad del País Vasco. (2017) [En línea]. México, disponible en: <http://www.ehu.eus/zorrilla/juanma/automovil/catalitico> [Accesado el día 21 de diciembre de 2018]
 - Gas M-P Software, OTC an spx Brand, 2006 all rights reserved.
 - Respira Mexico (2018) [En línea]. México, disponible en: <http://respiramexico.org.mx/por-que-respira-mexico/> [Accesado el día 14 de enero de 2019]
 - Fundación Crama (2018) [En línea]. México, disponible en: http://www.crana.org/es/contaminacion/mas-informacion_3/medidas-para-reduccion-emisiones-sector-transporte [Accesado el día 10 de enero de 2019]
 - Measurement of polluting emissions of vehicles with gasoline engines, using static test (2018) [En línea]. México, disponible en: https://www.ecorfan.org/republicofnicaragua/journal/vol4num6/ECORFAN_Journal_Republic_of_Nicaragua_V4_N6_1.pdf [Accesado el día 10 de enero de 2019]