

**DETERMINACIÓN DE LOS INDICES DE EMISIONES REGULADAS DE QUINCE
VEHÍCULOS REPRESENTATIVOS DEL PARQUE AUTOMOTOR
COLOMBIANO**

JOSÉ LUIS SARMIENTO VESGA

ROBERT SNEIDER RANGEL GALVIS



UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA

BUCARAMANGA

2015

**DETERMINACIÓN DE LOS INDICES DE EMISIONES REGULADAS DE QUINCE
VEHÍCULOS REPRESENTATIVOS DEL PARQUE AUTOMOTOR
COLOMBIANO**

JOSÉ LUIS SARMIENTO VESGA
ROBERT SNEIDER RANGEL GALVIS

TRABAJO DE GRADO PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO MECÁNICO

DIRECTOR: JAVIER MAURICIO CASTELLANOS OLARTE

UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
BUCARAMANGA

2015

Nota de aceptación

Firma del presidente del jurado

Firma del jurado

Firma del jurado

Bucaramanga, Marzo de 2015

DEDICATORIA

“Pon en manos del SEÑOR todo lo que haces, para que tus planes se hagan realidad”.

Deseo como gesto de agradecimiento, dedicar este trabajo de grado a mi esposa Luisa Fernanda por su amor, permanente cariño y comprensión.

A mis hijos José Luis y Fernanda, porque quiero ser para ellos ejemplo de perseverancia y tenacidad para con lo que queremos ser y hacer.

A mi padre Félix Antonio y mi madre Mariela quienes me formaron en principios y valores y persistentemente me han apoyado con espíritu alentador.

(SARMIENTO VESGA, JOSÉ LUIS)

DEDICATORIA

Dedico éste triunfo a Dios porque estoy totalmente convencido de que cada cosa que sucede en nuestra vida es gracias a él, porque siempre ha sido y será el sustento que necesitaré en cada uno de los desafíos que afrontaré en mi vida.

A mis Padres por ser mis amigos, consejeros y por su apoyo incondicional, por el esfuerzo brindado al permitirme ser formado como profesional en tan excelente universidad como lo es la Universidad de Pontificia Bolivariana. También dedico este logro a mi novia, mis abuelos, mis amigos quienes de alguna u otra forma hicieron parte de este proceso educativo. Finalmente a mis hermanos Leidy y Felipe por su compañía, apoyo emocional y moral.

(RANGEL GALVIS, ROBERT
SNEIDER)

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Pontificia Bolivariana, seccional Bucaramanga por contar con tan altos e importantes elementos y mecanismos de desarrollo para formar profesionales con valores y sentido humano.

A todo el cuerpo de docentes de la facultad de Ingeniería mecánica por su aporte en el desarrollo formativo como profesionales de esta área.

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	17
1. OBJETIVOS	19
1.1 OBJETIVO GENERAL	19
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	19
2. MARCO TEÓRICO	21
2.1 HISTORIA SOBRE LA NORMATIVIDAD DE LAS EMISIONES DE GASES CONTAMINANTES	21
2.2 EMISIONES CONTAMINANTES PRODUCIDAS POR VEHÍCULOS A GASOLINA.....	22
2.3 EFECTOS ADVERSOS A LA SALUD HUMANA Y AL MEDIO AMBIENTE PRODUCIDOS POR LOS CONTAMINANTES DE VEHÍCULOS A GASOLINA.....	23
2.3.1 Monóxido de Carbono (CO)	24
2.3.2 Óxidos de nitrógeno (NO _x)	24
2.3.3 Hidrocarburos no quemados (THC)	26
2.4 METODOS Y CICLOS DE PRUEBA A NIVEL MUNDIAL.....	28
2.4.1 Ciclos de prueba de Estados Unidos	28
2.4.1.1 Prueba FTP 75.....	28
2.4.1.2 FTP Smocke cycle	30
2.4.2 Ciclos de prueba de Unión Europea	32
2.4.2.1 ECE-15+EUDC	32
2.4.2.2 Prueba European Stationary Cycle (ESC)	33
2.5 NORMATIVA PARA EL CONTROL DE LA CONTAMINACIÓN EN COLOMBIA	34
2.5.1 Clasificación de las fuentes móviles.....	35
2.5.2 Límites máximos de emisión permisibles para fuentes móviles en prueba dinámica.....	37

3.	DESARROLLO DE LAS PRUEBAS Y EQUIPOS E INSTRUMENTOS UTILIZADOS	41
3.1	EQUIPOS E INSTRUMENTOS.....	41
3.1.1	Chasis Dinamométrico	41
3.1.2	Sistema de Control del Chasis Dinamométrico	43
3.1.2.1	Parámetros del Dinamómetro	43
3.1.2.2	Medidor de RPM	43
3.1.3	Medidor de Velocidad SmartTach	44
3.1.4	Unidad de Absorción de Potencia (PAU)	44
3.1.5	Vehículos de Prueba.....	45
3.1.5.1	Presión de llenado de las llantas	45
3.1.6	DOES2: Device of Emissions Sampling (Dispositivo de Muestreo de Emisiones) – FSU: Field Sampling Unit (Unidad de Muestreo de Campo) ..	46
3.1.7	SMART 2000.....	47
3.1.7.1	Elaboración de las Bolsas Tedlar.....	48
3.1.7.2	Purga de las Bolsas Tedlar	48
3.1.8	Horiba Mexa 7200.....	49
3.1.9	Otros Equipos, Instrumentos y Accesorios	50
3.2	DESARROLLO DE LAS PRUEBAS.....	51
3.2.1	Preparación del vehículo.....	51
3.2.1.1	Instalación del Vehículo de Pruebas en el Chasis Dinamométrico	51
3.2.1.2	Procedimiento para Acoplar el Tubo de Muestreo de Gases de Escape	53
3.2.1.3	Procedimiento para Acople del Sistema de Medición de Aire de Admisión	54
3.2.2	Procedimiento para determinación de índices de emisiones	55
3.2.2.1	Seguimiento del Ciclo de Manejo.....	55
3.2.2.2	Análisis de Emisiones de Gases de Escape Contenidos en la Bolsa de Muestra y Análisis del Contenido de la Bolsa de Aire	57
3.2.2.3	Determinación de los Índices de Emisión de Gases de Escape	57
4.	RESULTADOS, Y ANALISIS DE RESULTADOS	59
4.1	RESULTADOS DE LAS PRUEBAS	59

4.2	APLICATIVO WEB HTML	69
4.3	ANALISIS DE RESULTADOS.....	73
5.	CONCLUSIONES	76
6.	RECOMENDACIONES	78
	BIBLIOGRAFIA.....	79

LISTA DE TABLAS

Tabla 1.Efectos en la salud humana por exposición a los diferentes contaminantes.	27
Tabla 2. Estándares de emisión FTP 75, g/millas.....	30
Tabla 3.Estándares de emisión FTP 75, g/millas.....	32
Tabla 4. Límites máximos de emisión permisibles para vehículos accionados con gasolina en velocidad de crucero y en condición de marcha mínima, ralentí o prueba estática.	35
Tabla 5. Clasificación de las fuentes móviles para la medición de emisiones conforme a los ciclos de prueba de los Estados Unidos.	36
Tabla 6. Clasificación de las fuentes móviles para la medición de emisiones conforme a los ciclos de prueba de la unión europea.....	37
Tabla 7. Límites máximos de emisión permisibles para vehículos livianos y medianos accionados con gasolina en prueba dinámica, evaluados mediante ciclos de Estados Unidos (FTP-75).....	38
Tabla 8. Límites máximos de emisión permisibles para vehículos pesados accionados con gasolina en prueba dinámica, evaluados mediante ciclos de Estados Unidos (Ciclo Transitorio de Servicio Pesado).....	38
Tabla 9. Límites máximos de emisión permisibles para vehículos livianos y medianos accionados con gasolina en prueba dinámica, evaluados mediante ciclos de la Unión Europea (ECE-15+EUDC).	39
Tabla 10.Características del ciclo NEDC	56
Tabla 11. Cronograma de pruebas	60
Tabla 12. Resultados Vehículo 1	61
Tabla 13. Resultados Vehículo 2	61
Tabla 14.Resultados Vehículo 3	62
Tabla 15.Resultados Vehículo 4	62
Tabla 16. Resultados Vehículo 5	63
Tabla 17. Resultados Vehículo 6	63
Tabla 18. Resultados Vehículo 7	64
Tabla 19. Resultados Vehículo 8	64
Tabla 20. Resultados Vehículo 9	65
Tabla 21.Resultados Vehículo 10	65
Tabla 22. Resultados Vehículo 11	66
Tabla 23.Resultados Vehículo 12	66

Tabla 24. Resultados Vehículo 1367
Tabla 25. Resultados Vehículo 1467
Tabla 26. Resultados Vehículo 1568
Tabla 27. Consolidación de Resultados.....68

TABLA DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Ciclo ECE 15	56
Ilustración 2. Ciclo EUDC y Ciclo EUDC ALT	56
Ilustración 3. Aplicativo web (INICIO)	69
Ilustración 4. Aplicativo web (ESTUDIO)	70
Ilustración 5. Aplicativo web (ESTANDARES)	71
Ilustración 6. Aplicativo web (RESULTADOS)	71
Ilustración 7. Aplicativo web (TABLA DE RESULTADOS)	72
Ilustración 8. Aplicativo web (REFERENCIA BIBLIOGRAFICA)	72
Ilustración 9. Comparativo Resultados índice de emisiones de CO vs Norma Colombiana	73
Ilustración 10. Comparativo Resultados índice de emisiones de THC + NOx vs Norma Colombiana	74

GLOSARIO

ALVW: Adjusted Loaded Vehicle Weight. Promedio numérico del peso neto vehicular y el peso bruto vehicular.

CICLO DE CONDUCCIÓN: intentan simular la forma en que los usuarios de vehículos conducen, tanto en la ciudad como autopistas a través de una composición de distintas velocidades en una escala de tiempo.

CO: monóxido de carbono

CO₂: dióxido de carbono

CVS Constant Volumen Sampler: muestreador a volumen constante

EMISIONES VEHICULARES REGULADAS: emisiones de fuentes móviles referidas al parque automotor, las cuales están reglamentadas por una entidad gubernamental.

LVW: Loaded Vehicle Weight. Peso neto vehicular más 136 kg.

MEZCLA RICA: relación aire combustible donde el oxígeno es insuficiente para producir una combustión completa, con el combustible presente.

MP: material particulado, producto de la combustión incompleta de hidrocarburos

NO_x: óxido de nitrógeno

PESO BRUTO VEHICULAR: Peso máximo de diseño del vehículo cargado, especificado por el fabricante del mismo.

PESO NETO VEHICULAR: Es el peso real del vehículo en condiciones de operación con todo el equipo estándar de fábrica y con combustible a la capacidad nominal del tanque.

PM10: Pequeñas partículas sólidas cuyo tamaño es menor de 10µm.

PM2.5: Pequeñas partículas sólidas cuyo tamaño es menor de 2.5µm.

THC: hidrocarburos totales

QUENCHING: pérdida excesiva de calor por desactivación en la intensidad de la fluorescencia .

ZONAS RICAS: área de la cámara de combustión de un motor donde la mezcla es rica.

RESUMEN GENERAL DE TRABAJO DE GRADO

TITULO: Determinación de los índices de emisiones reguladas de quince vehículos representativos del parque automotor colombiano.

AUTOR(ES): JOSÉ LUIS SARMIENTO VESGA
ROBERT SNEIDER RANGEL GALVIS

FACULTAD: Facultad de Ingeniería Mecánica

DIRECTOR(A): JAVIER MAURICIO CASTELLANOS OLARTE

RESUMEN

Este proyecto nace como una iniciativa de investigación que busca determinar las emisiones vehiculares reguladas de algunos de los vehículos a gasolina representativos del parque automotor colombiano en gramos emitidos por kilómetro recorrido. Para esto se utilizaron vehículos representativos del parque automotor colombiano, montados sobre un dinamómetro de chasis y recorriendo uno de los ciclos de conducción, mientras se conecta al tubo de escape un sistema de muestreo conocido como CVS de flujo parcial, el cual se encarga de recolectar en una bolsa una muestra de los gases. Al terminar el recorrido del ciclo de manejo, la bolsa de muestra se analiza para determinar las concentraciones de CO, CO₂, NO_x y THC que contiene, con estos resultados y los datos tomados durante el muestreo se puede llegar a cuantificar el total de flujo de gases por el tubo de escape y con la distancia recorrida en el ciclo calculamos los gramos/kilómetro de cada uno de los contaminantes emitidos por el vehículo evaluado. Con los resultados obtenidos de los vehículos evaluados se elaboró una base de datos inicial que se podrá visualizar desde la página web de la escuela de ingeniería mecánica para consulta del público en general; esta base de datos podrá seguir siendo alimentada a medida que se tengan más vehículos evaluados, para ampliar su aplicación.

PALABRAS CLAVES:

Emisiones vehiculares reguladas, Concentraciones de CO, CO₂, NO_x y THC.

GENERAL SUMMARY OF WORK OF GRADE

TITLE: Determination of emission index regulated of fifteen representative vehicles of the Colombian fleet.

AUTHOR(S): JOSÉ LUIS SARMIENTO VESGA
ROBERT SNEIDER RANGEL GALVIS

FACULTY: Facultad de Ingeniería Mecánica

DIRECTOR: JAVIER MAURICIO CASTELLANOS OLARTE

ABSTRACT

This project stems as a research initiative to determine vehicle emissions regulated fleet in grams emitted per kilometer of some representative gasoline vehicles of Colombian. For this research were used representative vehicles of the Colombian fleet, mounted on a chassis dynamometer and touring one of the driving cycles while is connected to the exhaust pipe a system known as CVS of partial flow, which were responsible for collecting these gases in a bag. At the end of the driving cycle, the sample bag was analyzed to determine the concentrations of CO, CO₂, NO_x, and THC containing, with these results and the data collected during sampling it was possible to quantify the total flow of gases through the exhaust pipe and the distance traveled in the cycle we can calculate the grams / km of each pollutants emitted by the vehicle evaluated. With the results of the vehicles tested, was developed an initial data base which can be viewed from the website of the mechanical engineering department for general public consultation; this database would continue being fed as more vehicles are tested to extend its application.

KEYWORDS:

Vehicle emissions regulated concentrations of CO, CO₂, NO_x and THC.

INTRODUCCIÓN

La calidad del medio ambiente es una temática de vital importancia para la sociedad actual, siendo los problemas de contaminación del aire por las emisiones provenientes de los motores de combustión interna, uno de los aspectos que más preocupan en las ciudades modernas.

Actualmente, las emisiones vehiculares constituyen una de las mayores fuentes de la contaminación atmosférica en las ciudades modernas¹ y estudios en Korea demuestran que en ese país, la más importante fuente de NO_x es el transporte urbano². Adicionalmente, en un ámbito local se encontró que en Bucaramanga, los contaminantes criterios que más afectan la calidad del aire son el O₃ y los óxidos de nitrógeno NO_x³. En un estudio sobre la contaminación atmosférica y sus efectos en la salud en Bucaramanga, se utilizaron los modelos PMF (Positive Matrix Factorization) y UNMIX⁴ para un análisis receptor-fuente y se encontró que los vehículos automotores aportan entre el 54-61.9% de las emisiones, resaltando la importancia de disminuir estos valores, sumado a que en poblaciones sensibles, la contaminación externa es un determinante importante de la ocurrencia de síntomas respiratorios⁵.

Considerando la temática ambiental que gira en torno a la contaminación del aire proveniente de fuentes móviles, se decidió llevar a cabo un estudio de emisiones vehiculares, realizando pruebas a quince vehículos en el chasis dinamométrico del Laboratorio de Motores del Instituto Colombiano del Petróleo (ICP), obteniendo mediciones de las emisiones de monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono

¹LOPES, M. et.al. Emissions characterization from EURO 5 diesel/biodiesel passenger car operating under the new European driving cycle. 2014. P. 339-340.

²LEE, Taewoo. Variability in operation-based NO_x emission factors with different test routes, and its effects on the real-driving emissions of light diesel vehicles. 2013

³CASTRO O, Henry. Informe Estado de la calidad del aire. Archivo en formato pdf. CDMB [2010]

⁴Modelo de receptor desarrollado por la EPA. Consultado en enero 15 de 2015.

⁵RODRÍGUEZ, Laura Andrea et.al. Contaminación atmosférica y sus efectos en la salud en Bucaramanga. Consultado en enero 22 de 2015.

(CO₂), óxidos de nitrógeno (NO_x) e hidrocarburos no quemados (THC), en vehículos a gasolina.

Si se analiza el proceso de combustión en un motor, este nunca es completo, las cadenas de reacción de los procesos de combustión generalmente son detenidas en algún paso intermedio. Precisamente, el primer producto que aparece como consecuencia de la combustión incompleta es el monóxido de carbono (CO), que es una de las principales fuentes de contaminación del aire por los vehículos con motores a gasolina⁶.

Las condiciones de uso de los vehículos se fijaron acorde al nuevo ciclo europeo de manejo (NEDC), el cual se compone de cuatro segmentos ECE 15 y ECE 4, que se repiten sin interrupción, seguidos por un segmento EUDC (Extra Urban Driving Cycle) o por EUDC ALT (Extra Urban Driving Cycle Alternative)⁷.

El proyecto realizado estuvo orientado a establecer experimentalmente los índices de emisiones contaminantes de 15 vehículos representativos del parque automotor colombiano, con los resultados obtenidos se desarrolló un aplicativo web que fue instalado en la página web de la Facultad de Ingeniería Mecánica de la Universidad Pontificia Bolivariana para su consulta y podrá seguir siendo retroalimentado en el futuro por funcionarios de ECOPETROL en la medida en que se realicen más pruebas para hacerlo más confiable estadísticamente e incluir una mayor variedad de vehículos. Las pruebas se realizaron a vehículos usados con más de 3.500 Km y menos de 100.000 Km, el motor no debería tener reparaciones o modificación alguna y adicionalmente el convertidor catalítico debe estar en buenas condiciones de funcionamiento.

⁶GONZALEZ, Sandro y SARMIENTO, José Luis. Evaluación de emisiones en un vehículo euro IV con formulaciones de diesel de menos de 50 ppm de azufre. Ecopetrol, 2013

⁷MENESES, Martha y GONZALEZ, Sandro. Informe de impacto de calidad de combustibles sobre emisiones vehiculares fase I vehículos euro 2. CTP, 2012

1. OBJETIVOS

1.1 OBJETIVO GENERAL

Determinar los índices de emisiones vehiculares reguladas, de al menos 15 vehículos a gasolina de diversas especificaciones técnicas, a partir de la información experimental obtenida siguiendo los lineamientos de la norma brasilera ABNT NBR 6601 y el ciclo de conducción europeo NEDC, y disponer los resultados al público en general para su consulta.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Registrar experimentalmente la información de los vehículos en la celda de pruebas vehiculares del Instituto Colombiano del Petróleo (ICP), siguiendo los lineamientos de la norma brasilera ABNT NBR 6601 y el ciclo de conducción NEDC europeo. Resultado: Registro físico y electrónico de la información colectada con los instrumentos debidamente calibrados para cada una de las pruebas realizadas. Indicador: los experimentos se realizarán con 15 vehículos diferentes representativos del parque automotor Colombiano.

Cuantificar los índices de emisiones de CO, CO₂, NO_x y THC en gramos de cada contaminante por kilómetro recorrido para cada vehículo. Resultado: Registro electrónico de la información de los cálculos realizados por la macro en formato Excel. Indicador: los índices de emisiones determinados en cada experimento con cada uno de los vehículos no deben tener un coeficiente de variación superior al 20 %.

Discriminar los índices de emisiones de cada vehículo en tablas individuales organizadas adecuadamente para su consulta. Resultado: Base de datos con tablas informativas de cada vehículo. Indicador: Las tablas presentan toda información relevante de manera concreta, bien discriminada y adecuada para la consulta.

Divulgarla información obtenida en la página web de la Facultad de Ingeniería Mecánica de la Universidad Pontificia Bolivariana Seccional Bucaramanga de tal forma que un usuario interesado consulte los índices de emisiones de CO, CO₂, NO_x y THC en g/km que podría producir un vehículo de acuerdo a sus especificaciones técnicas. Resultado: Aplicativo web (HTML) para mostrar la información. Indicador: Adecuada funcionabilidad y prestación de la herramienta por parte de los usuarios web.

2. MARCO TEÓRICO

2.1 HISTORIA SOBRE LA NORMATIVIDAD DE LAS EMISIONES DE GASES CONTAMINANTES

A mediados de los años de 1960, algunos gobiernos federales, estatales y locales de Estados Unidos se reunieron para llevar a cabo estudios en las numerosas fuentes de contaminación del aire. Estos estudios atribuyen en última instancia que una gran parte de la contaminación del aire es producida por el automóvil, llegando así a la conclusión que la contaminación del aire no está restringida por las fronteras políticas locales. Para el año de 1967 el Estado de California fundó el Consejo de Recursos del Aire de California y en 1970 se estableció la Agencia Estadounidense de Protección Ambiental federal. Ambas agencias crean y hacen cumplir las normas de emisiones de vehículos en los Estados Unidos⁸.

Un esfuerzo inicial en el control de la contaminación de los automóviles era el sistema PCV (sistema de ventilación positiva del cárter). Básicamente lo que hace es extraer los gases pesados de hidrocarburos no quemados del cárter. La ventilación positiva del cárter se coloca por primera vez de forma generalizada haciendo cumplir la ley en todos los vehículos nuevos de 1961, para el siguiente año, Nueva York lo pretendía. Ya en 1964, la totalidad de los vehículos nuevos vendidos en los EE.UU. contaban con equipos PCV y este se convirtió en equipamiento de serie en todos los vehículos del mundo⁹.

⁸-----, Control de las Emisiones de Vehículos. http://campodocs.com/articulos-utiles/article_109002.html. [Consultado en enero 8 de 2015]

⁹Ibíd.

Las nascentes leyes y normas de emisiones de gases de escape fueron difundidas por el Estado de California para el año de 1966, seguido por la totalidad de los Estados Unidos en el año de 1968¹⁰.

Hacia el año de 1974, las leyes de emisión de gases de escape se habían endurecido a tal punto que las técnicas utilizadas para cumplir con las mismas estaban minimizando gravemente la eficiencia del motor y al mismo tiempo se aumentaba el uso de combustible, para este entonces las nuevas normas de emisión de gases de escape correspondientes al año de 1975, paralelamente el aumento en el uso de combustible, obligó a la invención y desarrollo del convertidor catalítico para el procesamiento posterior de los gases de escape¹¹.

En el año de 1972, la multinacional General Motors planteó al Instituto Americano del Petróleo la supresión total de los combustibles con plomo. La producción, comercialización y distribución de combustible sin plomo fue un gran reto, pero se cumplió con éxito en el año de 1975. Hoy en día todos los vehículos modernos están equipados con convertidores catalíticos y la gasolina que contenga plomo es casi imposible de vender y comprar en la mayoría de los países del Primer Mundo¹².

2.2 EMISIONES CONTAMINANTES PRODUCIDAS POR VEHÍCULOS A GASOLINA

La gasolina es una mezcla compleja de hidrocarburos volátiles que se emplea como combustible en motores de combustión interna. Los contaminantes que concitan mayor alarma en el caso de los vehículos que usan como combustible la

¹⁰Ibíd.

¹¹Ibíd.

¹²Ibíd.

gasolina son CO, CO₂, THC, NO_x, y sin dejar de lado ciertos hidrocarburos tóxicos tales como el benceno. El procesamiento de los gases de escape mediante convertidores catalíticos requirió la eliminación del plomo de la gasolina¹³.

Una cantidad significativa de benceno emana de la cámara de combustión cuando en ella se produce una combustión incompleta de compuestos de la gasolina, como el tolueno y el xileno, que son químicamente muy semejantes al benceno, este tipo de compuestos se pueden encontrar de forma natural en el petróleo y presentan una mayor concentración cuando este se refina para elaborar una gasolina de alto octanaje¹⁴.

Los vehículos que usan gasolina contribuyen con otros contaminantes tóxicos como el 1.3-butadieno y otros carcinógenos asociados a pequeñas partículas sólidas emitidas por el tubo de escape¹⁵.

2.3 EFECTOS ADVERSOS A LA SALUD HUMANA Y AL MEDIO AMBIENTE PRODUCIDOS POR LOS CONTAMINANTES DE VEHÍCULOS A GASOLINA

Las emisiones contaminantes de muchos de los vehículos automotrices han manifestado tener diversos efectos negativos sobre la salud humana y el medio ambiente, entre los cuales tenemos:

¹³López, E. "Los Carburantes y La Contaminación" Primera Edición. ISBN 968-16-5723-3, México, D.F.

¹⁴Castro. P.C. y Escobar. L.M, "Estimación de Las Emisiones Contaminantes Por Fuentes Móviles a Nivel Nacional y Formulación de Lineamientos Técnicos Para El Ajuste De Las Normas De Emisión" Tesis de Grado, Dpto. Ing. Ambiental y Sanitaria, Univ. De La Salle, Colombia (2006). Consultado en enero 20 de 2015.

¹⁵López, Op. Cit.

2.3.1 Monóxido de Carbono (CO)

Básicamente el monóxido de carbono (CO) es un gas incoloro e inodoro producto de la combustión incompleta de combustibles como la gasolina. Una cuota significativa del CO que es expulsado en zonas urbanas es producto de los vehículos automotores. El CO es un gas venenoso, producto de la combustión incompleta, este es un gas más pesado que el oxígeno y lo desplaza de la atmosfera. En pequeñas cantidades, el CO causa dolores de cabeza, mareos y, en concentraciones altas y tiempos prolongados de exposición puede provocar en la sangre la transformación irreversible de la Hemoglobina, esta es la molécula encargada de transportar el oxígeno desde los pulmones a las células del organismo, por ende el CO en grandes cantidades es mortal, porque despoja al cuerpo humano del oxígeno necesario en sus pulmones¹⁶.

El problema más grande del monóxido de carbono (CO) es que es un compuesto tóxico que al entrar en contacto con el aire se une rápidamente con el oxígeno para formar dióxido de carbono (CO₂), este resultado no llega a ser tóxico pero tiene un gran inconveniente, ya que es uno de los mayores causantes de la generación del efecto invernadero¹⁷.

2.3.2 Óxidos de nitrógeno (NO_x)

Los óxidos de nitrógeno son unos gases de escape conformados básicamente por dos elementos el nitrógeno y el oxígeno. El primero es el elemento más abundante en el aire que respiramos y representa el 78% del mismo. Los NO_x incluyen

¹⁶AS-SL. "Fabricantes de Catalizadores y Filtros de Partículas". Navarra, España[En Línea].http://www.as-sl.com/pdf/tipos_gases.pdf. [Consultado en enero 10 de 2015]

¹⁷-----, Control de las Emisiones de Vehículos. http://campodocs.com/articulos-utiles/article_109002.html. [Consultado en enero 8 de 2015]

compuestos como óxido nítrico (NO) y dióxido de nitrógeno (NO₂). El término NO_x se refiere a la combinación de estas dos sustancias¹⁸.

El óxido nítrico (NO) es relativamente inofensivo, el dióxido de nitrógeno (NO₂) puede causar efectos negativos en la salud y bienestar. En el proceso de combustión, el nitrógeno en el combustible y el aire se oxida para formar óxido nítrico y algo de dióxido de nitrógeno. Los NO emitidos en el aire se convierten en NO₂ mediante reacciones fotoquímicas condicionadas por la luz solar¹⁹.

Si la relación aire/combustible es muy reducida se puede llegar a decir que esta produce altas emisiones de óxidos de nitrógeno. Fundamentalmente las elevadas temperaturas que se registran en el interior de los motores ocasionan la oxidación del nitrógeno atmosférico, produciéndose óxidos de nitrógeno que son expulsados a través del tubo de escape del vehículo²⁰.

Por otra parte el NO_x puede llegar a provocar irritaciones de los órganos respiratorios, también es uno de los primordiales causantes del smog y la lluvia ácida, el primero de ellos se origina por la reacción de los óxidos de nitrógeno con algunos compuestos orgánicos volátiles. En elevadas cantidades, el smog puede llegar a producir problemas respiratorios en las personas asmáticas, accesos de tos en los niños y perturbaciones frecuentes en el sistema respiratorio, mientras que la lluvia ácida afecta la flora y fauna y al mismo tiempo perjudica la composición química del agua de los ríos y lagos²¹.

¹⁸Castro. P.C. y Escobar. L.M, "Estimación de Las Emisiones Contaminantes Por Fuentes Móviles a Nivel Nacional y Formulación de Lineamientos Técnicos Para El Ajuste De Las Normas De Emisión" Tesis de Grado, Dpto. Ing. Ambiental y Sanitaria, Univ. De La Salle, Colombia (2006). Consultado en enero 20 de 2015

¹⁹López, E. "Los Carburantes y La Contaminación" Primera Edición. ISBN 968-16-5723-3, México, D.F.

²⁰Castro. Op. Cit.

²¹-----, Control de las Emisiones de Vehículos. http://campodocs.com/articulos-utiles/article_109002.html. [Consultado en enero 8 de 2015]

2.3.3 Hidrocarburos no quemados (THC)

Entre las emisiones de gases de escape que se encuentran en un vehículo existe una que cabe resaltar y es el THC que básicamente proviene en su mayoría gracias a una gran parte del combustible que no ha logrado quemarse en el interior de la cámara de combustión y este sale al exterior del motor por los conductos de escape, por ende cabe resaltar que los hidrocarburos no quemados (THC) son el contaminante más importante y en mayor cantidad que produce un vehículo durante la vida útil del mismo²².

A continuación se nombrarán cuatro parámetros y tres de ellos son las fuentes más importantes o relevantes de emisiones de hidrocarburos no quemados (THC) procedentes de un automóvil:

- Salida de gases de escape del motor con aproximadamente un 60%.
- Evaporación en el sistema de combustible de gasolina, es decir por el depósito con un 20%.
- Los vapores que emanan del Carter del motor donde se encuentra el cigüeñal (humo de aceite y escapes de gases del cilindro), con aproximadamente un 20%.
- La pintura de los vehículos y las cubiertas de las gomas, también emiten rastros de hidrocarburos²³.

El Benceno que se encuentra presente en los combustibles fósiles, es venenoso por sí mismo, y representa un gran peligro para el ser humano cuando este se expone a este tipo de gas ya que le produciría irritaciones de piel, ojos y conductos respiratorios; además si el nivel es muy alto, le desencadenará depresiones, mareos, dolores de cabeza y náuseas. Cabe destacar muy seriamente que el Benceno es uno de los múltiples causantes de cáncer y su

²²Castro. Op. Cit.

²³Ibíd.

presencia se debe a las reacciones no completas del proceso de combustión, las cuales son también responsables de la producción de Aldehídos y Fenoles²⁴.

Tabla 1.Efectos en la salud humana por exposición a los diferentes contaminantes.

CONTAMINANTE	EFECTO OBSERVADO
MONOXIDO DE CARBONO (CO)	Disminución en la capacidad de realizar un ejercicio máximo en un corto tiempo en individuos jóvenes saludables
	Disminución en la duración de ejercicio, debido a dolor en el pecho (angina), en pacientes con enfermedades al corazón. Disminución del consumo máximo de oxígeno y tiempo para realizar ejercicio, en individuos jóvenes saludables durante ejercicio fuerte.
	Disminución en la percepción visual y auditiva. Pérdida de la capacidad sensorial, motora y de vigilancia.
	Disminución en el consumo máximo de oxígeno durante el ejercicio fuerte, en individuos jóvenes saludables.
	Dolor de cabeza, decaimiento.
	Mareo, náusea, debilidad.
	Confusión, colapso durante el ejercicio
	Pérdida de conciencia y muerte si la exposición continúa.
	Muerte.
MATERIAL PARTICULADO	Disminución capacidad respiratoria
	Aumento de enfermedades respiratorias en ancianos y niños
	Afecta a toda la población
	Aumento de mortalidad en adulto mayor y enfermos
OXIDOS DE NITRÓGENO (NOx)	Individuos normales: Incremento de la resistencia de las vías aéreas, aumento de la hiperreactividad bronquial.
	Individuos normales: Incremento de la resistencia de las vías aéreas.
	Individuos con bronquitis crónica: Incremento de la resistencia de las vías aéreas

Fuente.www.cepis.ops_oms.org

²⁴AS-SL. "Fabricantes de Catalizadores y Filtros de Partículas". Navarra, España[En Línea].http://www.as-sl.com/pdf/tipos_gases.pdf[Consultado en enero 10 de 2015]

2.4 METODOS Y CICLOS DE PRUEBA A NIVEL MUNDIAL

Básicamente las pruebas se diseñan de manera que representen todas las posibles condiciones de manejo que el vehículo asumirá y enfrentará en la calle simulando unos ciclos de manejo complejos y con tiempos de duración relativamente largos, verificando así que el vehículo sea capaz de cumplir con los límites o parámetros de emisiones contaminantes establecidos.

2.4.1 Ciclos de prueba de Estados Unidos

2.4.1.1 Prueba FTP 75

La prueba FTP 75 es utilizada en los Estados Unidos para la certificación de las emisiones de vehículos de tipo livianos, utilizando el ciclo de prueba conocido como LA4, este simula una ruta urbana con unos rangos de velocidad que oscilan entre 0 y 91.2 km/h y una duración aproximada de 2475 segundos y una distancia de 17.77 km. Durante este recorrido se pueden diferenciar cuatro diferentes etapas: la primera es la de arranque en frío (después de mantener el motor apagado por un mínimo de 12 horas), la segunda es la de circulación a temperatura estabilizada, la tercera etapa con el motor apagado, y por último la de arranque en caliente (después de enfriar el motor durante sólo diez minutos). Durante cada una de las etapas de circulación mencionadas anteriormente, existen tiempos o periodos en los que el vehículo se está acelerando, otros en los que el vehículo se mantiene a velocidad constante, otros momentos se presenta el frenando y por último existen momentos en los que el vehículo permanece en neutro simulando las paradas en los semáforos²⁵.

²⁵Castro. Op. cit.

Las emisiones vehiculares de gases de escape que se presentan a lo largo de este recorrido se disuelven, y enfrían en un sistema de volumen constante y al mismo tiempo se recolectan en bolsas para cada una de las fases de circulación por separado, luego de esto pasan a ser analizadas por el equipo de medición y posteriormente se logra obtener un resultado promedio para cada una de las fases en gramos de contaminante emitido por milla recorrida²⁶.

La máxima velocidad de ciclo es de aproximadamente 91.2 km/h, la cual es inferior a la velocidad que la mayoría de los vehículos emplean en las carreteras; también las aceleraciones y las cargas que se emplea son más pequeñas de las que realmente existen en condiciones reales. Esto se debe a que este ciclo fue desarrollado a principios de la década de los 70, cuando la capacidad de los chasis dinamométricos para aguantar condiciones extremas era muy limitada; y de la misma forma el uso de aire acondicionado en los vehículos, que es una carga significativa para el motor no estaba tan difundido en aquella época²⁷.

Las condiciones han cambiado y a partir de los vehículos modelo 2000, ya que para estos es imprescindible en Estados Unidos añadir dos pruebas complementarias para así poder incluir las emisiones producidas a altas velocidades, bajo aceleraciones violentas, oscilaciones rápidas de velocidad y las que son ocasionadas cuando se utiliza el aire acondicionado del vehículo²⁸.

Los ciclos anteriormente mencionados son el *Supplemental Federal Test Procedure* US06 (SFTP– US06) y el *Supplemental Federal Test Procedure* SC03 (SFTP-SC03). El primero de ellos (ciclo SFTP-US06) representa las condiciones de manejo a velocidades altas, aceleraciones violentas y con oscilaciones rápidas; para ello se hace en un recorrido de 12.8 km. con una duración de 596 segundos y una velocidad máxima de 129 km/h. Por otro lado el segundo ciclo nombrado es el

²⁶Ibíd.

²⁷Ibíd.

²⁸Ibíd.

(ciclo SFTP-SC03) y este representa las condiciones de manejo con el aire acondicionado del auto encendido; es un recorrido de 5.8 km con una duración de 596 segundos, una velocidad máxima de 88.2 km y una temperatura ambiente de 35°C²⁹.

En la tabla 2 se observa la clasificación de los vehículos en sus diversas categorías, de igual manera se visualizan los índices de emisiones vehiculares para cada uno de los casos.

Tabla 2. Estándares de emisión FTP 75, g/millas

Categoría	50,000 millas/5 años				100,000 millas/10 años			
	CO	NOx		PM	CO	NOx		PM
		diesel	gasolina			diesel	gasolina	
Carros de pasajeros	3,4	1	0,4	0,08	4,2	1,25	0,6	0,1
Vehículos con peso <3.750 lbs	3,4	1	0,4	0,08	4,2	1,25	0,6	0,1
Vehículos con peso >3.750 lbs	4,4	-	0,7	0,08	5,5	0,97	0,97	0,1
Vehículos con peso <5.750 lbs	4,4	-	0,7	-	6,4	0,98	0,98	0,1
Vehículos con peso >5.750 lbs	5	-	1,1	-	7,3	1,53	1,53	0,12

Fuente. Dieselnet, 2006

2.4.1.2 FTP Smocke cycle

Básicamente este es un ciclo de prueba empleado especialmente en los Estados Unidos para la aprobación de emisiones de gases contaminantes a vehículos pesados que transitan por carreteras como lo son los buses y camiones, simulando así un recorrido que incluye todas las etapas por las que podría atravesar un vehículo de este tamaño en cualquier ciudad de dicho país, en pocas palabras lo que se hace es simular el tráfico urbano, el tráfico en las autopistas y por último el tráfico en carreteras secundarias³⁰.

²⁹Ibíd.

³⁰Ibíd.

Para esto el ciclo se compone de cuatro fases distintas que son:

- La fase *New York Non Freeway* (NYNF). Representa una situación de tráfico urbano liviano con paradas y arranques frecuentes.
- La fase *Los Angeles Non Freeway* (LANF). Representa una situación de tráfico urbano congestionado con pocas paradas.
- La fase *Los Angeles Freeway* (LAF). Representa las condiciones de manejo de una autopista congestionada.
- La cuarta fase es una repetición del NYNF³¹.

Esencialmente el ciclo comienza en el arranque del vehículo en frío después de haber permanecido apagado toda la noche anterior, se continúa con 25 segundos en modo ralentí y después se procede a realizar las cuatro fases anteriormente descritas. Después de cumplidas las cuatro fases se apaga el motor y se mantiene así durante 1200 segundos para luego encenderlo, simulando un encendido en caliente y de forma similar poder repetir las cuatro fases nuevamente³².

La duración total del ciclo es de 3600 segundos, incluyendo aquí el tiempo que dura el motor apagado y la repetición del ciclo después del arranque en caliente; la distancia total recorrida es de 20.6 km y la velocidad promedio durante la prueba es de 30 km/h³³.

En la tabla 3 se muestra el ciclo *Heavy-Duty FTP Transient* donde se observa la cantidad de emisiones de gases contaminantes permitidos por esta norma, adicionalmente se visualiza la clasificación los vehículos por su respectivo peso y kilometraje³⁴.

³¹Ibíd.

³²Ibíd.

³³Ibíd.

³⁴Ibíd.

Tabla 3. Estándares de emisión FTP 75, g/millas

Cantidad de Compartimientos	50.000 millas			120.000 millas		
	CO	NOx	PM	CO	NOx	PM
Vehículos entre 8.500 y 10.000 lbs				7,3	0,9	0,12
10	3,4	0,4	-	4,2	0,6	0,08
9	3,4	0,2	-	4,2	0,3	0,06
8	3,4	0,14	-	4,2	0,2	0,02
7	3,4	0,11	-	4,2	0,15	0,02
6	3,4	0,08	-	4,2	0,1	0,01
5	3,4	0,05	-	4,2	0,07	0,01
4	-	-	-	2,1	0,04	0,01
3	-	-	-	2,1	0,03	0,01
2	-	-	-	2,1	0,02	0,01
1	-	-	-	0	0	0

Fuente. Dieselnets, 2006.

2.4.2 Ciclos de prueba de Unión Europea

2.4.2.1 ECE-15+EUDC

Esta prueba de la Unión Europea es el equivalente a la prueba FTP 75 de Estados Unidos puesto que esta es empleada para la certificación y aprobación de las emisiones de gases contaminantes a vehículos livianos. Los dispositivos y procedimientos de la prueba son básicamente los mismos que se usaron en la prueba FTP 75, es decir, que se utiliza el mismo tipo de chasis dinamómetro, se disuelven y enfrían los gases en un sistema de volumen constante, luego estos se recolectan en bolsas especiales, y por último son analizados en un equipo electrónico con características muy similares, obteniéndose como resultado final los gramos de cada contaminante emitidos por kilómetro recorrido. Existe una diferencia primordial entre la prueba americana y la prueba europea y es entonces

el ciclo de manejo, diseñado en este último para simular las condiciones de manejo en las ciudades y autopistas europeas.

Esta prueba está constituida por cinco ciclos bien definidos: cuatro de estos ciclos llamados ECE 15 se realizan para suponer las condiciones de manejo urbanas de una ciudad típica europea y que adicionalmente se caracteriza por tener bajas velocidades, pequeño nivel de carga en el motor, y por ultimo baja temperatura en la emisión de los gases de escape. El quinto y último ciclo de esta prueba es llamado ciclo extra-urbano (*Extra Urban Driving Cycle, EUDC*) en este se representa las situaciones de manejo de las carreteras europeas, con una velocidad máxima de 120 km/h³⁵.

2.4.2.2 Prueba European Stationary Cycle (ESC)

La prueba ESC fue diseñada fundamentalmente como una sustitución a la prueba ECE R-49 que era anteriormente la encargada de establecer los parámetros de manejo para este tipo de ciclo. Desde Enero del 2000 se implementó esta nueva prueba que se realiza en un dinamómetro de motor, cabe resaltar que es también una prueba dinámica en estado estable, y por ello implica que no existe un ciclo de manejo continuo, sino una serie o secuencia de fases, cada una de ellas con su respectivo tiempo de duración y sus correspondientes condiciones de velocidad y carga constantes a las que se debe operar el motor.

Las emisiones producidas en esta prueba se miden de manera permanente a lo largo de cada una de estas fases, y para el final de la prueba se promedian los resultados obtenidos de todas las fases empleando unos "factores de peso" que revelan la importancia relativa de cada fase dentro de todo el ciclo de prueba.

³⁵Ibíd.

Así mismo a las 13 fases con las que cuenta este ciclo de prueba, el personal encargado de realizar la prueba de certificación puede exigir mediciones de emisiones en fases escogidas en forma aleatoria siempre y cuando se encuentren dentro del área de control de la prueba³⁶.

2.5 NORMATIVA PARA EL CONTROL DE LA CONTAMINACIÓN EN COLOMBIA

Con el fin de disminuir la contaminación ambiental en Colombia se han emprendido acciones para controlar y reducir las emisiones de algunas fuentes móviles terrestres, para esto el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (MAVDT) promueve y reglamenta la Resolución 910 de 2008, la cual establece los niveles máximos permisibles de emisión de contaminantes que deben cumplir las fuentes móviles terrestres, reglamenta los requisitos y certificaciones a las que están sujetos los vehículos y demás fuentes móviles, sean importadas o de fabricación nacional, y se adoptan otras disposiciones.

En el artículo 5° se establecen los límites máximos de emisión permisibles para vehículos a gasolina que se muestran en la Tabla 4³⁷.

³⁶Ibíd.

³⁷Tobón, D. Sánchez, A. y Cárdenas, M. "Regulación Ambiental Sobre La Contaminación Vehicular en Colombia: ¿hacia dónde vamos?" ISSN 1692-2611. Borradores del CIE No. 17. Septiembre de 2006. Centro de Investigaciones Económicas Universidad de Antioquia. Consultado en enero 25 de 2015.

Tabla 4. Límites máximos de emisión permisibles para vehículos accionados con gasolina en velocidad de crucero y en condición de marcha mínima, ralentí o prueba estática.

Año modelo	CO (%)	HC (ppm)
1970 y anterior	5,0	800
1971-1984	4,0	650
1985-1997	3,0	400
1998 y posterior	1,0	200

Fuente. Resolución 0910 de 2008

Parágrafo 1°. Cuando la concentración de O₂ exceda el 5% o la concentración de CO₂ sea inferior al 7%, se entenderá que existe dilución de la muestra y el vehículo automotor deberá ser rechazado³⁸.

Parágrafo 2°. A partir de los vehículos año modelo 2010, los comercializadores representantes de marca, importadores, fabricantes o ensambladores de dichos vehículos deberán garantizar una emisión máxima permisible equivalente al 80% del valor establecido en la Tabla 1 para los vehículos con año modelo 1998 y posterior³⁹.

En el Capítulo. V de la resolución 910 de 2008, se muestra una clasificación de las diversas fuentes móviles de la siguiente manera:

2.5.1 Clasificación de las fuentes móviles

Artículo 18°. Clasificación de vehículos automotores. Para efectos de la presente resolución se adoptará la clasificación de las fuentes móviles para la medición de

³⁸Ibíd.

³⁹Ibíd.

emisiones conforme a los ciclos de prueba de los Estados Unidos contenida en la Tabla 5 y conforme a los ciclos de prueba de la Unión Europea contenida en la Tabla 6.

Tabla 5. Clasificación de las fuentes móviles para la medición de emisiones conforme a los ciclos de prueba de los Estados Unidos.

Categoría	Subcategoría		Capacidad	Peso neto ¹ (Kg)	Peso bruto ² (Kg)	ALVW ³ (Kg)	LVW ⁴ (Kg)		
LDV	-		≤12 Pasajeros	-	-	-	-		
LDT	LLDT	LDT1	>12 Pasajeros	≤ 2.722			≤ 1.701		
		LDT2					> 1.701		
	HLDT	LDT3					> 2.722	≤ 2.608	-
		LDT4					< 3.856	> 2.608	-
HDV	LHDGE		-	>2.722	>3.856	-	-		
					≤ 6.350				
	HHDGE				> 6.350				
	LHDDE				> 3.856			-	-
					< 8.845				
	MHDDE				≥ 8.845				
	HHDDE				≤ 14.969			-	-
Urban bus		< 15 Pasajeros	> 14.969						

Fuente. Resolución 0910 de 2008.Ministerio de ambiente, vivienda y desarrollo territorial.

Tabla 6. Clasificación de las fuentes móviles para la medición de emisiones conforme a los ciclos de prueba de la unión europea.

Categoría	Subcategoría	Capacidad	Peso bruto (Kg)	RW ⁵ (Kg)	
M	M1	≤ 8 Pasajeros	-	-	
	M2	> 8 Pasajeros	≤ 5.000	-	
	M3	> 8 Pasajeros	> 5.000	-	
N	N1	Clase I	-	≤ 3.500	< 1.250
		Clase II	-		≥ 1.250 ≤ 1.700
		Clase III	-		> 1.700
	N2	-	> 3.500 ≤ 12.000	-	
	N3	-	> 12.000		

5 RW. Reference Mass. Peso neto vehicular más un peso de 100 kg.

Fuente. Resolución 0910 de 2008. Ministerio de ambiente, vivienda y desarrollo territorial.

2.5.2 Límites máximos de emisión permisibles para fuentes móviles en prueba dinámica

Artículo 19°. Límites máximos de emisión permisibles para vehículos con motor a gasolina. En la Tabla 7, Tabla 8 y Tabla 9 se establecen los máximos niveles de emisión que podrá emitir toda fuente móvil clasificada como vehículo automotor con motor a gasolina en prueba dinámica, que se ensamble o se importe al país para transitar o circular en el territorio nacional, de acuerdo a su clasificación vehicular y ciclo de prueba utilizado, a partir del año modelo 2010.

Tabla 7. Límites máximos de emisión permisibles para vehículos livianos y medianos accionados con gasolina en prueba dinámica, evaluados mediante ciclos de Estados Unidos (FTP-75).

Categoría	Subcategoría		CO	HC	HCNM	NOx
			(g/km)			
LDV	---		2,11	0,25	0,16	0,25
LDT	LLDT	LDT1	2,11	---	0,16	0,25
		LDT2	2,73	---	0,20	0,44
	HLDT	LDT3	2,73	0,20	---	0,44
		LDT4	3,11	0,24	---	0,68

Fuente. Resolución 0910 de 2008.Ministerio de ambiente, vivienda y desarrollo territorial.

Tabla 8. Límites máximos de emisión permisibles para vehículos pesados accionados con gasolina en prueba dinámica, evaluados mediante ciclos de Estados Unidos (Ciclo Transitorio de Servicio Pesado).

Categoría	Subcategoría	CO	HC	NOx
		(g/BHP-h)		
HDV	LHDGE	14,4	1,1	4,0
	HHDGE	37,1	1,9	4,0

Fuente. Resolución 0910 de 2008.Ministerio de ambiente, vivienda y desarrollo territorial.

Tabla 9. Límites máximos de emisión permisibles para vehículos livianos y medianos accionados con gasolina en prueba dinámica, evaluados mediante ciclos de la Unión Europea (ECE-15+EUDC).

Categoría	Subcategoría	CO	HC + NOx
		(g/km)	
M	M1	2,20	0,50
N	N1	Clase I	2,20
		Clase II	4,00
		Clase III	5,00

Fuente. Resolución 0910 de 2008. Ministerio de ambiente, vivienda y desarrollo territorial.

Parágrafo. Todo vehículo pesado accionado con gasolina deberá cumplir con los límites máximos permisibles en prueba dinámica establecidos en la Tabla 8.

Artículo 20°. Emisiones evaporativas permisibles para vehículos con motor a gasolina. Las emisiones evaporativas de toda fuente móvil clasificada como vehículo automotor con motor a gasolina, que se ensamble o se importe al país para transitar o circular en el territorio nacional, no podrán ser superiores a 2 gramos por prueba.

Artículo 21°. Límites máximos de emisión permisibles para motocicletas, motociclos y moto triciclos con motor a gasolina. En la Tabla 11 y Tabla 12 se establecen los máximos niveles de emisión que podrá emitir toda fuente móvil clasificada como motocicleta, motociclo o moto triciclo con motor a gasolina en prueba dinámica, que se ensamble o se importe al país para transitar o circular en

el territorio nacional, de acuerdo al ciclo de prueba utilizado, a partir del 1° de enero de 2009.

Adicionalmente el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (MAVDT) propone algunas de las acciones que se pueden implementar para el control y regulación de la contaminación por fuentes móviles:

- El mejoramiento tecnológico de los motores de los vehículos.
- El mejoramiento de la calidad de los combustibles líquidos.
- Los programas de inspección.
- La comercialización del uso de combustibles alternativos.
- El mejoramiento de la movilidad urbana⁴⁰.

⁴⁰Ibíd.

3. DESARROLLO DE LAS PRUEBAS Y EQUIPOS E INSTRUMENTOS UTILIZADOS

3.1 EQUIPOS E INSTRUMENTOS

3.1.1 Chasis Dinamométrico

Se conoce como chasis dinamométrico al tipo de dinamómetro que utiliza vehículos de prueba, es decir, que no necesita remover el motor del vehículo para desarrollar una prueba. Los dinamómetros de chasis son capaces de medir muy precisamente la velocidad, torque y potencia que es entregada a ellos. Con el hardware y software apropiados, también son capaces de aplicar una carga bien controlada al vehículo bajo prueba. El modo de carga típica usado con el chasis dinamométrico comprende fuerza constante, velocidad constante, o un valor de simulación del vehículo. Las funciones básicas de un chasis dinamométrico son medir la salida de potencia de un vehículo y aplicar una carga específica al vehículo.

El chasis dinamométrico es un conjunto integrado de subsistemas mecánicos, electromecánicos y eléctrico/electrónicos que trabajan juntos para proveer una simulación de las cargas reales soportadas por un vehículo en tránsito por carretera (entiéndase vías urbanas o extraurbanas). Lo anterior se da mientras el vehículo de pruebas se mantiene de forma segura y controlada en un centro de pruebas (que incluye analizadores de gases, CVS, ventiladores, etc.).

En funcionamiento, el par de ruedas de tracción del vehículo de prueba giran haciendo girar los rodillos del chasis dinamométrico, la Unidad de Absorción de Potencia de corrientes de Eddy (PAU) se opone a esta fuerza mediante la

conversión de la energía cinética del vehículo en calor. Una unidad de control regula la cantidad de energía que es absorbida por la PAU resultando en la cantidad de carga que se impone al vehículo de prueba.

El laboratorio de Motores del Instituto Colombiano del Petróleo cuenta con un dinamómetro marca “*Mustang Dynamometer*” referencia MD-100-M-HD, el cual permite medir torque y potencia transferida al eje motriz, realizar pruebas de componentes del conjunto tren de potencia y otras características como velocidad de crucero, evaluar problemas de manejabilidad, pruebas de evaluación siguiendo ciclos de manejo americanos, europeos, japoneses y el ciclo CCM-ICP-01 (desarrollado en el ICP), pruebas de rendimiento y eficiencia, etc. Este dinamómetro cuenta con un motor eléctrico de 5 HP para calentamiento de los rodillos y rodamientos y para calibración del sensor de torque y velocidad.

Las especificaciones técnicas del MD-100-M-HD son las siguientes:

- Potencia: 450 HP capacidad máxima de medición. 268 HP máxima absorción.
- Carga: Equipo absorbedor de potencia modelo MDK-70 de corrientes Eddy enfriado por aire.
- Rodillos: De maquinado preciso y balanceados dinámicamente. Correas para capacidad bidireccional.
- Velocidad máxima: 200 km/h intermitente o 160 km/h continuo.
- Capacidad del eje: 12000 lb máximo.
- Inercia: 2000 lb base mecánica.

3.1.2 Sistema de Control del Chasis Dinamométrico

Se trata de un sistema compuesto por una caja de control, un computador, control remoto y cables de conexión. El computador soporta el software de manejo del chasis dinamométrico “*Power Dyne PC*”, que junto con los demás equipos controlan el funcionamiento y desempeño del chasis dinamométrico.

3.1.2.1 Parámetros del Dinamómetro

Periódicamente o antes de iniciar las pruebas, se debe chequear los parámetros del dinamómetro. Para esto se identifica los siguientes parámetros y se verifica su valor como sigue:

- Roll Diameter. El diámetro de los rodillos del dinamómetro. Normalmente son de 8,575 pulgadas.
- Equivalent Weight. El valor de la inercia (en masa), en función de la masa del vehículo de pruebas.
- Cal Weight. El valor del peso de calibración, está impreso en la masa de calibración suministrada, en libras o kg. El valor de la masa que se utiliza normalmente es de 22.121 kg (133,0 N-m colocada sobre el brazo).

3.1.2.2 Medidor de RPM

Antes de realizar pruebas en el chasis dinamométrico debe verificarse que tanto la lectura de las RPM del vehículo, medidas en el tablero del mismo, como la indicada en el software sean iguales.

3.1.3 Medidor de Velocidad SmartTach

Se trata de un instrumento con el que se logra la medición precisa de la velocidad de giro del motor en revoluciones por minuto (min^{-1}). Este instrumento debe estar instalado en un sitio en que no esté expuesto a altas o bajas temperaturas, la temperatura de ambiente máxima recomendada a la que se puede encontrar expuesto es de 50 °C. Este instrumento procesa señales provenientes ya sea de un sensor óptico o de uno magnético; la aplicación de uno u otro depende de las facilidades con las que cuente el vehículo, se prefiere la utilización del sensor óptico.

3.1.4 Unidad de Absorción de Potencia (PAU)

Este es un mecanismo de control o dinamómetro para regular la velocidad de rotación en el que la energía se convierte en calor debido a las corrientes parásitas o de Foucault (algunas veces llamadas incorrectamente corrientes de Eddy), también denominado dinamómetro de resistencia magnética. Es un tipo de embrague electromagnético en el que el momento de par de torsión se transmite por medio de corrientes parásitas inducidas por un campo magnético creado por una bobina, por la que circula corriente y situada en un elemento giratorio.

Cuanto más fuerte sea el campo magnético aplicado, la conductividad del conductor o la velocidad relativa en movimiento, mayores serán las corrientes de Foucault y los campos opositores generados.

Las corrientes de Foucault encuentran resistencia mientras circulan a través del metal, y disipan energía en forma de calor, haciendo que las ruedas disminuyan su velocidad. Mientras más rápido giren las ruedas, más fuerte será el efecto, resultando que a medida que disminuyen su velocidad, también lo hará la fuerza de frenado, consiguiéndose un frenado suave y proporcional a la velocidad de las ruedas.

3.1.5 Vehículos de Prueba

Los vehículos utilizados en cada una de las pruebas del proyecto son vehículos representativos del parque automotor colombiano que provienen de terceras personas las cuales mostraban interés en saber qué cantidad de emisiones de gases de escape emiten sus vehículos.

3.1.5.1 Presión de llenado de las llantas

Antes de realizar pruebas, es necesario verificar que el vehículo se encuentre en óptimas condiciones para evitar interferencias que afecten el resultado que se obtenga. Que las llantas mantengan la presión indicada por el fabricante es importante porque con la presión adecuada, las llantas duran más y evitan un mayor consumo de combustible. El desgaste de las llantas se debe a que el motor es obligado a ejercer mayor fuerza para vencer la resistencia de unas llantas bajas de aire. En esta situación se alteran los compuestos químicos de la llanta, sus propiedades, e incluso se rompe parte de la estructura interna de acero de la misma. La presión de inflado debe comprobarse cuando los neumáticos están fríos.

La presión de aire correcta se muestra en la placa de llanta (o estampa) ubicada en un costado de la puerta, en el poste de ésta, en la tapa de la gasolina o en la guantera. También en el manual del vehículo. Esta presenta información sobre la carga máxima del vehículo, las presiones de inflado en frío y el tamaño de llanta recomendado por el fabricante.

Para un buen desempeño de este procedimiento, se seguirá la recomendación dada en el proyecto de norma NBR 6601 de la Asociación Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). En este documento se recomienda lo siguiente:

La presión de inflado de las llantas de tracción del vehículo de pruebas debe ser 310 ± 20 kPa (45 ± 3 psi), cuando se ha montado sobre chasis dinamométrico de rodillos dobles.

Cuando el vehículo de pruebas ha sido montado sobre chasis dinamométrico de rodillo sencillo se debe seguir la recomendación de inflado dada por el fabricante del vehículo.

3.1.6 DOES2: Device of Emissions Sampling (Dispositivo de Muestreo de Emisiones) – FSU: Field Sampling Unit (Unidad de Muestreo de Campo)

Este es un sistema de muestreo portátil que obtiene datos de emisiones vehiculares colectando muestras de las emisiones que fluyen por el tubo de escape de gases de un vehículo operando bajo condiciones determinadas. Este sistema está compuesto por varios equipos. Durante el muestreo el sistema es capaz de tomar datos cada segundo. El flujo de la muestra de gases se mantiene

proporcional a la condición de manejo del vehículo de pruebas y se mantiene constante la temperatura de los gases muestreados. Controlar estas condiciones es importante para minimizar la posibilidad de que ocurra condensación. Los equipos que componen este sistema son descritos a continuación:

- CVS de flujo parcial. (*Constant Volume Sampler*). La unidad de muestreo recoge una cantidad conocida de los gases de escape del vehículo y la diluye con una cantidad conocida de aire ambiente, manteniendo constante el flujo total. La relación de dilución se determina a partir de los dos caudales, flujo total y flujo de la muestra sin diluir. El aire de dilución debe estar a una temperatura de $25\text{ °C} \pm 5\text{ °C}$, con humedad controlada. El túnel de dilución del CVS debe ser lo suficientemente largo para causar la mezcla completa de los gases de escape y el aire de dilución bajo condiciones de flujo turbulento.
- Sistema de bombeo: está compuesto por dos bombas de vacío, que se encargan de mantener los flujos de gases de escape y del aire de dilución que son introducidos al CVS.
- Sistema de Control: computador que soporta el software Cbox (Columbox) que controla y toma los datos durante la realización de una prueba mientras el vehículo está operando.

3.1.7 SMART 2000

Se trata de un módulo portátil para el muestreo del aire de dilución. Este equipo realiza, en un periodo de tiempo determinado, el muestreo del aire de dilución y lo deposita en una bolsa de Tedlar para el posterior análisis de su contenido.

3.1.7.1 Elaboración de las Bolsas Tedlar

Las bolsas de Tedlar son los elementos utilizados para recolectar de forma continua una muestra de la mezcla de los gases de escape con el aire de dilución, es importante el material de la bolsa ya que no debe provocar ninguna reacción que pueda modificar la composición, esta bolsa debió ser cambiada cada vez que se cambió el vehículo para evitar datos erróneos.

- Para la elaboración de la bolsa Tedlar se toma el papel tedlar y se mide aproximadamente 110 cm, se dobla y sella, con la máquina selladora, dos de los lados del mismo para dar forma a la bolsa. Es recomendable sellar dos veces cada lado.
- Seguidamente se coloca el acople que permitirá el llenado y vaciado de la bolsa, para esto se hace un agujero en la bolsa aproximadamente en la mitad horizontal y a un cuarto del tamaño de la bolsa medido desde el borde que está sin sellar.
- Además se sella completamente la bolsa.
- Y por último se revisa que la bolsa mantenga el vacío.

3.1.7.2 Purga de las Bolsas Tedlar

El procedimiento de purga contempla los siguientes aspectos:

- Como se mencionó anteriormente se debe verificar que la bolsa Tedlar mantenga su vacío y para esto se debe conectar la bolsa al acople rápido del Banco de Potencia o del equipo Smart 2000.
- Después se Llena con aire y se desocupa.

- Se Repite el paso anterior, teniendo cuidado de estirar completamente la bolsa para evitar la multiplicación de pliegues.
- Cuando esté desocupada totalmente, se desacopla y se revisa fugas de vacío. Generalmente estas fugas se evidencian por un ruido agudo o porque la bolsa toma nuevamente aire y se sienten sueltas las paredes de la misma. Si la bolsa presenta fugas se repite los pasos anteriores; si después de esto sigue presentando fugas, se resella la bolsa en la máquina selladora y nuevamente se repiten los pasos del 1 al 4.

3.1.8 Horiba Mexa 7200

Este equipo es un analizador de gases de escape compuesto por módulos que incluyen *gas divider*, unidad de preparación de muestras, rack de analizadores y rack selector de electroválvulas. Diseñado para cumplir con el nivel 2 de las regulaciones establecidas por la agencia para la protección del medioambiente (EPA) sobre súper ultra bajas emisiones vehiculares (SULEV). Analiza con precisión niveles extremadamente bajos de CO, CO₂, THC, NO_x y CH₄.

Como parte de la operación y ejecución de la prueba, se debe revisar, mediante el software del equipo, el funcionamiento correcto del mismo. Para ello, se realiza la calibración de cero y span en los rangos correspondientes al nivel de emisiones de gases que se espera encontrar. Esta calibración se realiza antes de comenzar la prueba con el fin de garantizar lecturas precisas. El equipo cuenta, además, con un parámetro llamado "*Linealización*" el cual permite obtener los coeficientes de las curvas de calibración con las que el equipo determina su precisión de acuerdo a la concentración del gas patrón o de calibración.

3.1.9 Otros Equipos, Instrumentos y Accesorios

Se dispone en el chasis dinamométrico de los siguientes elementos:

- Correas que sujetan el vehículo de pruebas a los puntos empotrados en el piso, del cuarto del chasis dinamométrico, para la inmovilización segura del mismo sobre los rodillos.
- Tacos de seguridad para bloquear las llantas del vehículo de pruebas.
- Un tubo para la conducción de los gases de escape del vehículo fuera del cuarto de pruebas del chasis dinamométrico.
- Ventilador axial (blower) marca Dayton, el cual proporciona refrigeración al radiador y al motor del vehículo de pruebas durante la ejecución de las mismas.
- Guardas de seguridad, utilizadas para garantizar que no saldrán disparadas partículas de los rodillos del chasis al exterior del cuarto o hacia los equipos.
- Rodillos de seguridad, que se utilizan para contener movimientos laterales del vehículo de pruebas.
- Sonda de prueba, manguera con calentamiento por resistencias, que se acopla a la salida del tubo de escape de gases del vehículo de pruebas, para tomar la muestra de los mismos.
- Máquina selladora, equipo que es utilizado para la elaboración de las bolsas de muestreo de los gases de escape.
- Anemómetro, equipo de medición de flujo del aire de entrada al motor del vehículo de pruebas, compuesto a su vez, por tres elementos medidores de flujo, acoplados a tres tubos y sus filtros, que se encarga de entregar al software de control del DOES2, la medida del flujo de aire durante todo el tiempo que se esté llevando a cabo el ciclo de manejo.

3.2 DESARROLLO DE LAS PRUEBAS

3.2.1 Preparación del vehículo

Como condición básica, el vehículo debe estar en buen estado mecánico, el dispositivo de control de emisiones (convertidor catalítico, si aplica) en buen funcionamiento y haber acumulado un kilometraje entre 3000 y 100000 kilómetros. La prueba debe hacerse con el vehículo en reposo de por lo menos 12 horas anteriores a la misma. Por lo anterior, es de suma importancia realizar el alistamiento del vehículo de pruebas el día anterior a la ejecución de la misma y verificar todos los ajustes necesarios para garantizar el cumplimiento en el tiempo de reposo. Las siguientes etapas deben ser efectuadas antes de realizar las pruebas:

3.2.1.1 Instalación del Vehículo de Pruebas en el Chasis Dinamométrico

El procedimiento generalizado para la instalación del vehículo comprende:

- Se realiza la verificación de los parámetros del dinamómetro.
- Se debe verificar la presión en las llantas.
- Se debe asegurar que las llantas del vehículo estén limpias, con el fin de evitar que cualquier partícula o partículas puedan ser lanzadas por el chasis dinamométrico durante la realización de una prueba.
- Se debe Instalar el sensor que aplique para medición de revoluciones por minuto del cigüeñal del motor.
- Seguidamente se enciende el módulo de control del chasis dinamométrico iniciando la aplicación *Power Dyne PC*.

- Se desplaza el vehículo lentamente hasta dejar el eje de tracción sobre la rampa de elevación. Se debe verificar la alineación del vehículo con respecto a las líneas de posicionamiento amarillas en el contorno del chasis dinamométrico. Seguidamente se deja el vehículo en neutro, sin freno de mano y con las llantas alineadas hacia el frente. NOTA: Si el vehículo es de tracción delantera SE DEBE ACCIONAR EL FRENO DE MANO en este punto.
- Se enciende el motor del vehículo. No se debe tocar el volante mientras realiza los pasos que siguen.
- Primero se engrana la caja de cambios en su relación más baja (primera marcha).
- Después se suelta el embrague lentamente para evitar sacar el vehículo de los rodillos.
- Seguidamente se mantiene la velocidad lenta hasta que el movimiento lateral de las llantas sobre los rodillos sea mínimo.
- Se Baja a neutro la relación de engranaje de la caja de cambios, después se frena suavemente hasta que los rodillos se detengan y se apaga el motor del vehículo.
- Utilizando correas de sujeción, se asegura un extremo de cada correa a una parte rígida del vehículo, preferiblemente piezas del chasis del vehículo, se evita que sean el tubo de escape y el tanque de la gasolina. Los puntos de amarre deben ser equidistantes entre sí.
- Se aseguran los extremos libres de cada correa a las cadenas ancladas en el piso del laboratorio.
- Se tensionan todas las correas de sujeción, sin llegar al máximo de tensión. todas las correas deben estar aproximadamente con el mismo nivel de tensión.
- Se ubican los bloques de seguridad para inmovilizar las llantas que no están sobre los rodillos del chasis dinamométrico.

- Se debe instalar un ventilador frente a la persiana de toma de aire del vehículo para evitar el recalentamiento.
- Se enciende el motor del vehículo. Asegurándose de no tocar el volante mientras realiza los pasos que siguen a continuación.
- Se engrana la caja de cambios en su relación más baja (primera marcha). Se suelta el embrague y acciona el acelerador, con un desplazamiento normal de arranque en carretera.
- Lentamente, se aumenta la relación de engranaje en la caja de cambios hasta lograr una velocidad de 60 km/h.
- Se mantiene esta velocidad durante un minuto, garantizando un buen asentamiento del vehículo sobre los rodillos del chasis dinamométrico, consecuentemente la inexistencia del movimiento lateral de las llantas sobre los rodillos.
- Se baja a neutro la relación de engranaje de la caja de cambios, se frena suavemente hasta que los rodillos se detengan y se apaga el vehículo.
- Se aprietan las cintas de sujeción hasta quedar tensionadas. Se debe tener en cuenta que esta tensión debe ser normal, mejor algo sueltas. Ahora el vehículo está inmovilizado.

3.2.1.2 Procedimiento para Acoplar el Tubo de Muestreo de Gases de Escape

El procedimiento generalizado para la conexión del tubo de muestreo de gases de escape comprende:

- Se debe asegurar un extremo del tubo de muestreo de gases de escape al tubo de salida de gases de escape del vehículo de pruebas utilizando adaptadores flexibles de tamaño adecuado.

- Se debe asegurar los adaptadores ajustando suficientemente las abrazaderas para evitar fugas. Es importante que TODO el flujo de gases de escape pase a través del tubo de muestreo.
- Se enfrenta el otro extremo del tubo de muestro con la campana del sistema de extracción de gases de escape del chasis dinamométrico.
- A los acoples destinados para tal fin, se conecta la sonda que toma la muestra de gases de escape, la termocupla y la manguera del sensor de presión absoluta; estos elementos hacen parte del sistema de muestreo del equipo DOES2.

3.2.1.3 Procedimiento para Acople del Sistema de Medición de Aire de Admisión

El procedimiento generalizado para la conexión del sistema de medición de aire de admisión comprende:

- Se ubica una manguera flexible, del diámetro adecuado, en el extremo del sistema de anemómetros para registro de consumo de aire del motor.
- Se asegura el otro extremo de la manguera flexible a la toma de aire del motor del vehículo, por medio de adaptadores flexibles de tamaño adecuado.
- Se aseguran los acoples ajustando suficientemente las abrazaderas para evitar fugas. Es importante que TODO el flujo del aire de admisión al motor del vehículo de pruebas pase a través de los anemómetros para garantizar una lectura real y precisa de la cantidad del aire consumido por el motor durante la prueba ya que este dato servirá como base de cálculo para determinar el flujo de aire de dilución, que debe mezclarse con la muestra de gases de escape, en el muestreador DOES2.

- Se debe evitar que la manguera flexible entre en contacto con alguna superficie caliente o pieza en movimiento en la maquinaria del motor.

3.2.2 Procedimiento para determinación de índices de emisiones

3.2.2.1 Seguimiento del Ciclo de Manejo

Para dar inicio a la prueba de determinación de emisiones de gases de escape, el vehículo de pruebas debe haber permanecido en reposo (apagado) durante, por lo menos, 12 horas antes de este evento. Esto implica que el alistamiento del vehículo para la prueba, en cuanto tiene que ver con conexiones de mangueras de alimentación de aire y combustible, el cambio de combustible, el ajuste del vehículo sobre los rodillos del chasis, el acoplamiento del tubo toma muestras y demás ajustes debe hacerse el día anterior a la ejecución de la misma. También implica que el ajuste final de los equipos, el día de la prueba, se haga con el vehículo apagado.

Se deben verificar las siguientes condiciones: la temperatura de la sonda de muestreo de gases de escape en 190 ± 10 °C (NBR 6601); la temperatura del aire de dilución entre 20 °C y 35 °C y la humedad no mayor a 60%, durante toda la prueba. La temperatura de aire de entrada al motor del vehículo debe estar entre 20 °C y 41 °C, la temperatura de entrada de combustible al motor no debe exceder 52 °C.

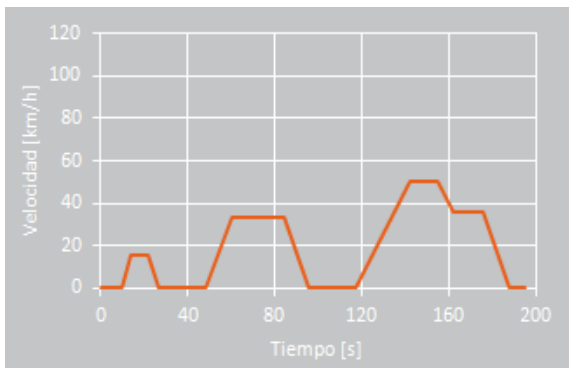
En la tabla 10 se muestran las características principales como la distancia, duración, velocidad promedio y velocidad máxima del ciclo de conducción NEDC utilizado para cada una de la pruebas realizadas en el laboratorio de motores del Instituto Colombiano del Petróleo (ICP) para este proyecto.

Tabla 10. Características del ciclo NEDC

Características	Unidades	ECE 15	EUDC	EUDC ALT
Distancia	Km	4,052	6,955	
Duración	S	780	400	400
Velocidad promedio	Km/h	18,7 (con ralenti)	62,6	
Velocidad máxima	Km/h	50	120	90

Fuente. Elaboración propia.

Ilustración 1. Ciclo ECE 15



Fuente. Elaboración propia.

Ilustración 2. — Ciclo EUDC — Ciclo EUDC ALT



Fuente. Elaboración propia.

Las ilustraciones 1 y 2 muestran la relación que existe entre velocidad y tiempo para cada uno de los ciclos contemplados en el ciclo de conducción NEDC y que adicionalmente se debe cumplir para garantizar el buen resultado de las pruebas.

3.2.2.2 Análisis de Emisiones de Gases de Escape Contenidos en la Bolsa de Muestra y Análisis del Contenido de la Bolsa de Aire

Este procedimiento se ejecuta utilizando el analizador HORIBA MEXA 7200, para ello se debe seguir una serie de pasos:

- Se conecta la bolsa que contiene la muestra de gases en el acople rápido del analizador.
- Se registran los resultados en el formato para la determinación de los índices de emisiones de gases de escape obtenidos en el chasis dinamométrico.
- Se desconecta la bolsa con la muestra de gases de escape y se conecta la bolsa con la muestra de aire de dilución.
- Se registran ahora estos resultados en el formato para la determinación de los índices de emisiones de gases de escape obtenidos en el chasis dinamométrico.
- Finalmente se desconecta la bolsa con la muestra de aire de dilución.

Las metodologías analíticas empleadas por este analizador son:

- Infrarrojo para el análisis de monóxido de Carbono y Dióxido de Carbono.
- Ionización por detección de llama FID para la determinación de los hidrocarburos no quemados.
- Quimioluminiscencia para el análisis de óxidos de nitrógeno.

3.2.2.3 Determinación de los Índices de Emisión de Gases de Escape

Para esta determinación se debe haber observado detalladamente los datos recolectados segundo a segundo, y estos son:

- Tiempo [s]
- Flujo de aire de entrada al motor [SCFM]
- Flujo de mezcla de aire de dilución y gases de escape [slpm] debe ser constante durante toda la prueba
- Flujo de aire de dilución [slpm]
- Flujo de muestra hacia la bolsa de muestra [slpm]
- Flujo total por el túnel de dilución [slpm]
- El error que se tiene entre el punto de ajuste aire de dilución y la cantidad de aire de dilución que realmente está entrando al túnel de dilución.
- El promedio del error en cada segundo.

Para la determinación de los índices de emisiones de gases de escape se debe introducir los datos anteriormente nombrados en la macro existente en el laboratorio de motores del Instituto Colombiano del Petróleo (ICP). En esta macro se encuentra almacenados y relacionadas las formulas necesarias para llevar la concentración medida de los gases recolectados en la bolsa a masa de cada gas y con la distancia recorrida por el vehículo nos calculara la cantidad en masa de cada contaminante por kilómetro recorrido.

4. RESULTADOS, Y ANALISIS DE RESULTADOS

4.1 RESULTADOS DE LAS PRUEBAS

La Tabla 11 presenta el cronograma de las pruebas realizadas mostrando los diversos tipos de motores con su respectivo cilindraje, modelo, placa, combustible utilizado, kilometraje inicial, adicionalmente la fecha y el historial de cada una de las pruebas realizadas.

Tabla 11. Cronograma de pruebas

CRONOGRAMA DE PRUEBAS												
Vehículos de pruebas	Modelo	Placa	Combustible	Kilometraje inicial [km]	1		2		3			
					HISTORIAL	FECHA	HISTORIAL	FECHA	HISTORIAL	FECHA		
1. Motor VTI 2.7	2008	FMF105	Gasolina regular EDS	12393	CD14031	13/02/2014	CD14032	13/02/2014	CD14034	14/02/2014		
2. Motor VTI 2.7	2008	FMF105	Gasolina extra EDS	12470	CD14038	18/02/2014	CD14042	19/02/2014	CD14043	19/02/2014		
3. Motor 1600, 16v	2011	KB0230	Gasolina regular EDS	61832	CD14045	20/02/2014	CD14046	20/02/2014	CD14049	21/02/2014		
4. Motor 1600, 16v	2008	CW8684	Gasolina regular EDS	37460	CD14052	25/02/2014	CD14053	25/02/2014	CD14055	26/02/2014		
5. Motor 2000, 16v	2008	CWH254	Gasolina extra/regular EDS	51066	CD14057	28/02/2014	CD14058	28/02/2014	CD14059	03/03/2014		
6. Motor 1200, 16v	2011	KB0575	Gasolina extra EDS	45893	CD14077	12/03/2014	CD14078	12/03/2014	CD14079	12/03/2014		
7. Motor 1600, 16v	2014	HDQ657	Gasolina regular EDS	930	CD14085	18/03/2014	CD14088	19/03/2014	CD14089	19/03/2014		
8. Motor 2400, 16v	2013	KKV859	Gasolina extra EDS	36137	CD14097	27/03/2014	CD14098	27/03/2014	CD14096	28/03/2014		
9. Motor 1200, 16v	2012	KKV655	Gasolina regular EDS	21129	CD14103	01/04/2014	CD14104	01/04/2014	CD14108	02/04/2014		
10. Motor 2000, 16v	2005	BPG398	Gasolina regular EDS	64871	CD14111	07/04/2014	CD14113	09/04/2014	CD14114	09/04/2014		
11. Motor 1400, 16v	2013	MTQ690	Gasolina regular EDS	25139	CD14117	14/04/2014	CD14118	15/04/2014	CD14120	15/04/2014		
12. Motor 1800, 16v	2007	GIW822	Gasolina extra EDS	80918	CD14131	29/04/2014	CD14133	30/04/2014	CD14135	30/04/2014		
13. Motor 1600, 16v	2013	MTS966	Gasolina Tanque	25237	CD14469	12/12/2014	CD14470	12/12/2014	CD14471	12/12/2014		
14. Motor 2000, 20v	2010	KBW507	Gasolina Tanque	66345	CD14474	17/12/2014	CD14476	18/12/2014	CD14479	19/12/2014		
15. Motor 1800, 8v	2015	MMW049	Gasolina Tanque	1451	CD15109	12/02/2015	CD15110	12/02/2015	CD15112	13/02/2015		

Fuente. Elaboración propia.

En la Tabla 12 se muestran los resultados del vehículo 1 y se observa que este posee un valor promedio de CO₂ bastante elevado.

Tabla 12. Resultados Vehículo 1

Vehículo: 1. Motor VVTi 2.7 c.c.				Combustible: Gasolina Regular EDS			
Repetición	Índice de Emisiones [g/km]				Condiciones de operación		
	THC	NO _x	CO	CO ₂	PR [kw]	RD [L/min]	CR [SCFM]
1	0,1953	0,1538	1,5447	414,0763	16,2	2,0	5,8
2	0,2190	0,1503	1,6038	402,0624	16,2	2,0	5,7
3	0,1927	0,1412	1,6354	408,7852	16,2	2,0	5,8
PROMEDIO	0,2024	0,1484	1,5946	408,3080			
DESVEST	0,015	0,007	0,046	6,021			
C.V.	7,17%	4,39%	2,89%	1,47%			

Fuente. Elaboración propia.

En la Tabla 13 se muestran los resultados del vehículo 2 y se observa que este presenta el valor promedio de CO₂ más elevado en comparación con los demás vehículos.

Tabla 13. Resultados Vehículo 2

Vehículo: 2. Motor VVTi 2.7 c.c.				Combustible: Gasolina Extra EDS			
Repetición	Índice de Emisiones [g/km]				Condiciones de operación		
	THC	NO _x	CO	CO ₂	PR [kw]	RD [L/min]	CR [SCFM]
1	0,2119	0,1481	1,5656	413,0948	16,2	2,0	5,7
2	0,2023	0,1529	1,7887	423,6490	16,2	2,0	5,9
3	0,1955	0,1339	1,4840	409,9091	16,2	2,0	5,9
	0,2032	0,1449	1,6128	415,5510			
DESVEST	0,008	0,010	0,158	7,192			
C.V.	4,08%	6,81%	9,78%	1,73%			

Fuente. Elaboración propia.

En la Tabla 14 se muestran los resultados del vehículo 3 y se observa que este no cumple con la norma Colombiana de CO ni la de THC + NO_x.

Tabla 14. Resultados Vehículo 3

Vehículo: 3. Motor 1600 c.c. 16 V				Combustible: Gasolina Regular EDS			
Repetición	Índice de Emisiones [g/km]				Condiciones de operación		
	THC	NO _x	CO	CO ₂	PR [kw]	RD [L/min]	CR [SCFM]
1	0,2097	0,4924	4,2927	318,8335	10,7	2,0	5,3
2	0,1916	0,4497	3,8074	302,1415	10,7	2,0	5,3
3	0,2012	0,5033	4,6296	315,1378	10,7	2,0	5,3
PROMEDIO	0,2008	0,4818	4,2432	312,0376			
DESVEST	0,009	0,028	0,413	8,767			
C.V.	4,49%	5,88%	9,74%	2,81%			

Fuente. Elaboración propia.

En la Tabla 15 se muestran los resultados del vehículo 4 y se observa que este no cumple con la norma Colombiana de THC + NO_x pero se encuentra muy cerca de los límites máximos permitidos.

Tabla 15. Resultados Vehículo 4

Vehículo: 4. Motor 1600 c.c. 16 V				Combustible: Gasolina Regular EDS			
Repetición	Índice de Emisiones [g/km]				Condiciones de operación		
	THC	NO _x	CO	CO ₂	PR [kw]	RD [L/min]	CR [SCFM]
1	0.0620	0.4681	1.8105	361.2790	10.4	2.0	6.0
2	0.0565	0.4729	1.6627	344.9676	10.4	2.0	6.0
3	0.0591	0.4809	1.8500	351.4442	10.4	2.0	5.7
PROMEDIO	0.0592	0.4740	1.7744	352.5636			
DESVEST	0.003	0.006	0.099	8.213			
C.V.	4.58%	1.36%	5.56%	2.33%			

Fuente. Elaboración propia.

En la Tabla 16 se muestran los resultados del vehículo 5 y se observa que este presenta el valor promedio de CO más pequeño en comparación con los demás vehículos.

Tabla 16. Resultados Vehículo 5

Vehículo: 5. Motor 2000 c.c. 16 V					Combustible: Gasolina Extra/Regular EDS		
Repetición	Índice de Emisiones [g/km]				Condiciones de operación		
	THC	NO _x	CO	CO ₂	PR [kw]	RD [L/min]	CR [SCFM]
1	0.0275	0.3686	0.1971	322.7906	10.7	2.0	5.5
2	0.0175	0.2687	0.1585	320.6774	10.7	2.0	5.5
3	0.0230	0.3145	0.1838	329.1964	10.7	2.0	5.1
PROMEDIO	0.0227	0.3173	0.1798	324.2215			
DESVEST	0.005	0.050	0.020	4.436			
C.V.	22.05%	15.76%	10.90%	1.37%			

Fuente. Elaboración propia.

En la Tabla 17 se muestran los resultados del vehículo 6 y se observa que este no cumple con la norma Colombiana de CO ni la de THC + NO_x pero esta última se encuentra muy cerca de los límites máximos permitidos, adicionalmente posee el valor promedio más pequeño de CO₂ en comparación con los demás vehículos.

Tabla 17. Resultados Vehículo 6

Vehículo: 6. Motor 1200 c.c. 16 V					Combustible: Gasolina Extra EDS		
Repetición	Índice de Emisiones [g/km]				Condiciones de operación		
	THC	NO _x	CO	CO ₂	PR [kw]	RD [L/min]	CR [SCFM]
1	0.3154	0.2099	4.5301	233.3131	9.3	2.0	3.3
2	0.3130	0.2157	4.3452	237.1934	9.3	2.0	3.3
3	0.3172	0.2195	4.5786	231.4688	9.3	2.0	3.3
PROMEDIO	0.3152	0.2150	4.4847	233.9918			
DESVEST	0.002	0.005	0.123	2.922			
C.V.	0.66%	2.26%	2.75%	1.25%			

Fuente. Elaboración propia.

En la Tabla 18 se muestran los resultados del vehículo 7 y se observa que este presenta el valor promedio de THC + NO_x más pequeño en comparación con los demás vehículos, compartiendo así esta posición con el vehículo 8.

Tabla 18. Resultados Vehículo 7

Vehículo: 7. Motor 1600 c.c. 16 V					Combustible: Gasolina Regular EDS		
Repetición	Índice de Emisiones [g/km]				Condiciones de operación		
	THC	NO _x	CO	CO ₂	PR [kw]	RD [L/min]	CR [SCFM]
1	0.0415	0.0347	1.9992	285.8302	10.4	2.0	3.5
2	0.0473	0.0425	2.0685	280.9975	10.4	2.0	3.5
3	0.0403	0.0431	2.2598	274.5714	10.4	2.0	3.5
PROMEDIO	0.0430	0.0401	2.1092	280.4663			
DESVEST	0.004	0.005	0.135	5.648			
C.V.	8.69%	11.77%	6.40%	2.01%			

Fuente. Elaboración propia.

En la Tabla 19 se muestran los resultados del vehículo 8 y se observa que este presenta el valor promedio de THC + NO_x más pequeño en comparación con los demás vehículos, compartiendo así esta posición con el vehículo 7.

Tabla 19. Resultados Vehículo 8

Vehículo: 8. Motor 2400 c.c. 16 V					Combustible: Gasolina Extra EDS		
Repetición	Índice de Emisiones [g/km]				Condiciones de operación		
	THC	NO _x	CO	CO ₂	PR [kw]	RD [L/min]	CR [SCFM]
1	0.0349	0.0521	1.4026	345.0445	12.3	2.0	4.2
2	0.0321	0.0557	1.7685	354.1860	12.3	2.0	4.3
3	0.0341	0.0552	1.6939	352.7829	12.3	2.0	4.4
PROMEDIO	0.0337	0.0543	1.6217	350.6711			
DESVEST	0.001	0.002	0.193	4.923			
C.V.	4.24%	3.55%	11.92%	1.40%			

Fuente. Elaboración propia.

En la Tabla 20 se muestran los resultados del vehículo 9 y se observa que este no cumple con la norma Colombiana de THC + NO_x pero se encuentra muy cerca de los límites máximos permitidos.

Tabla 20. Resultados Vehículo 9

Vehículo: 9. Motor 1200 c.c. 16 V				Combustible: Gasolina Regular EDS			
Repetición	Índice de Emisiones [g/km]				Condiciones de operación		
	THC	NO _x	CO	CO ₂	PR [kw]	RD [L/min]	CR [SCFM]
1	0.1568	0.3839	2.2764	276.9749	9.8	2.0	3.7
2	0.1624	0.3671	2.3152	281.4814	9.8	2.0	3.7
3	0.1562	0.3873	2.5736	274.6577	9.8	2.0	3.5
PROMEDIO	0.1585	0.3794	2.3884	277.7047			
DESVEST	0.003	0.011	0.162	3.470			
C.V.	2.16%	2.86%	6.77%	1.25%			

Fuente. Elaboración propia.

En la Tabla 21 se muestran los resultados del vehículo 10 y se observa que este no cumple con la norma Colombiana de THC + NO_x ni la de CO pero esta última se encuentra muy cerca de los límites máximos permitidos, adicionalmente posee un valor promedio de CO₂ alto en comparación con los demás vehículos.

Tabla 21. Resultados Vehículo 10

Vehículo: 10. Motor 2000 c.c. 16 V				Combustible: Gasolina Regular EDS			
Repetición	Índice de Emisiones [g/km]				Condiciones de operación		
	THC	NO _x	CO	CO ₂	PR [kw]	RD [L/min]	CR [SCFM]
1	0.4007	0.4523	3.5802	387.2593	10.2	2.0	5.7
2	0.4528	0.4084	4.4899	396.5105	10.2	2.0	5.7
3	0.4219	0.4001	4.4558	391.8189	10.2	2.0	5.7
PROMEDIO	0.4251	0.4203	4.1753	391.8629			
DESVEST	0.026	0.028	0.516	4.626			
C.V.	6.16%	6.66%	12.35%	1.18%			

Fuente. Elaboración propia.

En la Tabla 22 se muestran los resultados del vehículo 11 y se observa que este posee unos buenos valores promedios de emisiones de gases contaminantes.

Tabla 22. Resultados Vehículo 11

Vehículo: 11. Motor 1600 c.c. 16 V					Combustible: Gasolina Regular EDS		
Repetición	Índice de Emisiones [g/km]				Condiciones de operación		
	THC	NO _x	CO	CO ₂	PR [kw]	RD [L/min]	CR [SCFM]
1	0.1061	0.0428	3.2362	278.4812	10.2	2.0	3.5
2	0.1140	0.0395	3.2752	287.0651	10.2	2.0	3.5
3	0.1112	0.0445	3.4223	279.0946	10.2	2.0	3.5
PROMEDIO	0.1104	0.0423	3.3112	281.5470			
DESVEST	0.004	0.003	0.098	4.789			
C.V.	3.60%	6.02%	2.96%	1.70%			

Fuente. Elaboración propia.

En la Tabla 23 se muestran los resultados del vehículo 12 y se observa que este no cumple con la norma Colombiana de CO ni la de THC + NO_x ya que el mismo posee los valores promedios más elevados en ambas pruebas en comparación con los demás vehículos.

Tabla 23. Resultados Vehículo 12

Vehículo: 12. Motor 1800 c.c. 16 V					Combustible: Gasolina Extra EDS		
Repetición	Índice de Emisiones [g/km]				Condiciones de operación		
	THC	NO _x	CO	CO ₂	PR [kw]	RD [L/min]	CR [SCFM]
1	0.1375	1.5449	5.1056	398.8088	10.0	2.0	5.2
2	0.1592	1.4511	5.4838	418.0573	10.0	2.0	5.4
3	0.1587	1.4696	5.1920	408.8553	10.0	2.0	5.4
PROMEDIO	0.1518	1.4885	5.2604	408.5738			
DESVEST	0.012	0.050	0.198	9.627			
C.V.	8.14%	3.34%	3.77%	2.36%			

Fuente. Elaboración propia.

En la Tabla 24 se muestran los resultados del vehículo 13 y se observa que este no cumple con la norma Colombiana de CO ni la de THC + NO_x presentando valores promedios bastantes altos en ambas pruebas en comparación con los demás vehículos.

Tabla 24. Resultados Vehículo 13

Vehículo: 13. Motor 1600 c.c. 16 V				Combustible: Gasolina Regular EDS			
Repetición	Índice de Emisiones [g/km]				Condiciones de operación		
	THC	NO _x	CO	CO ₂	PR [kw]	RD [L/min]	CR [SCFM]
1	0.1834	1.1255	4.9745	280.8601	9.9	2.0	3.7
2	0.1952	1.1894	5.2222	283.3066	9.9	2.0	3.8
3	0.2060	1.2294	5.0826	281.0106	9.9	2.0	3.7
PROMEDIO	0.1949	1.1814	5.0931	281.7258			
DESVEST	0.011	0.052	0.124	1.371			
C.V.	5.80%	4.44%	2.44%	0.49%			

Fuente. Elaboración propia.

En la Tabla 25 se muestran los resultados del vehículo 14 y se observa que este presenta el valor promedio de NO_x más pequeño en comparación con los demás vehículos.

Tabla 25. Resultados Vehículo 14

Vehículo: 14. Motor 2000 c.c. 20 V				Combustible: Gasolina Regular EDS			
Repetición	Índice de Emisiones [g/km]				Condiciones de operación		
	THC	NO _x	CO	CO ₂	PR [kw]	RD [L/min]	CR [SCFM]
1	0.0929	0.0244	0.3142	333.2667	10.1	2.0	4.3
2	0.0999	0.0206	0.2685	333.5357	10.1	2.0	4.8
3	0.0925	0.0218	0.2382	353.0885	10.1	2.0	4.8
PROMEDIO	0.0951	0.0223	0.2736	339.9636			
DESVEST	0.004	0.002	0.038	11.367			
C.V.	4.38%	8.72%	13.98%	3.34%			

Fuente. Elaboración propia.

En la Tabla 26 se muestran los resultados del vehículo 15 y se observa que este presenta el valor promedio de THC más pequeño en comparación con los demás vehículos.

Tabla 26. Resultados Vehículo 15

Vehículo: 15. Motor 1800 c.c. 8 V					Combustible: Gasolina Regular EDS		
Repetición	Índice de Emisiones [g/km]				Condiciones de operación		
	THC	NO _x	CO	CO ₂	PR [kw]	RD [L/min]	CR [SCFM]
1	0.0117	0.0886	1.4299	285.4292	10.5	2.0	5.0
2	0.0111	0.1146	1.3293	285.1806	10.5	2.0	5.0
3	0.0098	0.0883	1.0998	274.5518	10.5	2.0	5.0
PROMEDIO	0.0109	0.0972	1.2863	281.7205			
DESVEST	0.001	0.015	0.169	6.210			
C.V.	8.94%	15.54%	13.15%	2.20%			

Fuente. Elaboración propia.

En la Tabla 27 se presenta la consolidación de los promedios de cada una de las pruebas de los índices de emisiones en [g/km] realizadas a cada uno de los vehículos.

Tabla 27. Consolidación de Resultados

	Vehículo	Combustible	Índice de Emisiones [g/km]			
			THC	NO _x	CO	CO ₂
1	1. Motor VVTi 2.7	Gasolina regular EDS	0,2024	0,1484	1,5946	408,3080
2	2. Motor VVTi 2.7	Gasolina extra EDS	0,2032	0,1449	1,6128	415,5510
3	3. Motor 1600, 16v	Gasolina regular EDS	0,2008	0,4818	4,2432	312,0376
4	4. Motor 1600, 16v	Gasolina regular EDS	0,0592	0,4740	1,7744	352,5636
5	5. Motor 2000, 16v	Gasolina extra/regular EDS	0,0227	0,3173	0,1798	324,2215
6	6. Motor 1200, 16v	Gasolina extra EDS	0,3152	0,2150	4,4847	233,9918
7	7. Motor 1600, 16v	Gasolina regular EDS	0,0430	0,0401	2,1092	280,4663
8	8. Motor 2400, 16v	Gasolina extra EDS	0,0337	0,0543	1,6217	350,6711
9	9. Motor 1200, 16v	Gasolina regular EDS	0,1585	0,3794	2,3884	277,7047
10	10. Motor 2000, 16v	Gasolina regular EDS	0,4251	0,4203	4,1753	391,8629
11	11. Motor 1400, 16v	Gasolina regular EDS	0,1104	0,0423	3,3112	281,5470
12	12. Motor 1800, 16v	Gasolina extra EDS	0,1518	1,4885	5,2604	408,5738
13	13. Motor 1600, 16v	Gasolina Tanque	0,1949	1,1814	5,0931	281,7258
14	14. Motor 2000, 20v	Gasolina Tanque	0,0964	0,0223	0,2736	339,9636
15	15. Motor 1800, 8v	Gasolina Tanque	0,0109	0,0972	1,2863	281,7205

Fuente. Elaboración propia.

4.2 APLICATIVO WEB HTML

Como resultado final de este estudio se obtuvo en un aplicativo web (HTML) que fue publicado en la página web de la facultad de ingeniería mecánica y adicionalmente en la página web del docente Javier Mauricio Castellanos Olarte, en ella se puede visualizar en la parte superior un menú donde se indica los diferentes objetivos, resultados y estándares que se tuvieron en cuenta al realizar las pruebas.

Para poder ingresar al aplicativo web se deben seguir los siguientes pasos:

- Se ingresa al link <http://mecanica.upbbga.edu.co/>
- Luego se da clic en Proyectos de Grado ubicado en el menú lateral izquierdo
- Seguidamente se puede visualizar el título de proyecto (DETERMINACIÓN DE LOS INDICES DE EMISIONES REGULADAS DE QUINCE VEHÍCULOS REPRESENTATIVOS DEL PARQUE AUTOMOTOR COLOMBIANO) se da clic en el mismo.
- Finalmente se visualiza el menú principal del aplicativo web.

Ilustración 3. Aplicativo web (INICIO)

En la ilustración 3 se visualiza la sección de inicio, en ella se puede observar una pequeña introducción sobre el desarrollo del aplicativo web y los objetivos planteados al inicio del proyecto.

UNIVERSIDAD PONTIFICA BOLIVARIANA SECCIONAL BUCARAMANGA 2015

El sitio Web MOVED (motor vehicle emissions database) ha sido desarrollado como parte del proyecto de grado DETERMINACION DE LOS INDICES DE EMISIONES REGULADAS DE QUINCE VEHICULOS REPRESENTATIVOS DEL PARQUE AUTOMOTOR COLOMBIANO, cuyo propósito fundamental fue la determinación de los índices de emisiones vehiculares reguladas, de al menos 15 vehículos a gasolina de diversas especificaciones técnicas, a partir de la información experimental obtenida siguiendo los lineamientos de la norma brasilera ABNT NBR 6601 y el ciclo de conducción europeo NEDC.

Colombia es un país que tiene aproximadamente 3.5 millones de vehículos y aun así no se cuenta con una herramienta que permita conocer la cantidad de gases contaminantes que están siendo expulsados por el tubo de escape hacia el medioambiente, con este aplicativo web se pretende generar conciencia ambiental sobre cada uno de los usuarios de vehículos para que regulen su uso y al mismo tiempo mejore la calidad del aire.

OBJETIVOS DEL PROYECTO

Fuente. Elaboración propia.

Ilustración 4. Aplicativo web (ESTUDIO)

ESTUDIO 2015

Este proyecto nace como una iniciativa de investigación que busca determinar las emisiones vehiculares reguladas de algunos de los vehículos a gasolina representativos del parque automotor colombiano en gramos emitidos por kilómetro recorrido.

Para esto se utilizaron vehículos representativos del parque automotor colombiano, montados sobre un dinamómetro de chasis y recorriendo uno de los ciclos de conducción, mientras se conecta al tubo de escape un sistema de muestreo conocido como CVS de flujo parcial, el cual se encarga de recolectar en una bolsa una muestra de los gases, al terminar el recorrido del ciclo de manejo, la bolsa de muestra es analizada para determinar las concentraciones de CO, CO₂, NO_x y THC que contiene, con estos resultados y los datos tomados durante el muestreo podemos llegar a cuantificar el total de flujo de gases por el tubo de escape y con la distancia recorrida en el ciclo calculamos los gramos/kilómetro de cada uno de los contaminantes emitidos por el vehículo evaluado.

Con los resultados obtenidos de los vehículos evaluados se elaboro una base de datos inicial que se muestra en el menú principal para consulta del público en general, esta base de datos podrá seguir siendo alimentada a medida que se tengan más vehículos evaluados para ampliar su aplicación.

Fuente. Elaboración propia.

Ilustración 5. Aplicativo web (ESTANDARES)

The screenshot shows a web browser at the URL jmcastellanos.docentes.upbbga.edu.co/Emissiones/NOR.html. The page features a navigation menu with 'HOME', 'ESTUDIO', 'ESTANDARES', 'RESULTADOS', and 'REFERENCIAS'. The 'ESTANDARES' section is highlighted in orange. Below the navigation, there is a sub-header 'ESTANDARES' with the year '2015' on the right. The main content is titled '1. EMISIONES Y CICLOS DE PRUEBA DE COMBUSTIBLE'. It explains that current laws are designed to limit the emission of gases from vehicle engines. It lists pollutants: Carbon monoxide (CO), Hydrocarbons (HC), Nitrogen oxides (NOx), and Particulate Matter (PM). It also describes the testing method on a chassis dynamometer.

Fuente. Elaboración propia.

Ilustración 6. Aplicativo web (RESULTADOS)

En la ilustración 6 se visualiza la sección de resultados en la misma se pueden observar todos los resultados obtenidos en las diversas pruebas realizadas y su clasificación por los diversos cilindrados de los vehículos utilizados.

The screenshot shows a web browser at the URL jmcastellanos.docentes.upbbga.edu.co/Emissiones/RES.html. The page features a navigation menu with 'HOME', 'ESTUDIO', 'ESTANDARES', 'RESULTADOS', and 'REFERENCIAS'. The 'RESULTADOS' section is highlighted in orange. Below the navigation, there is a sub-header 'RESULTADOS'. The main content is titled 'Todos los resultados de las pruebas estan organizados inicialmente teniendo en cuenta la cilindrada del motor. La relación se presenta a continuación:'. It lists engine categories: 'Motores hasta 1200 cm^3' and 'Motores entre 1200 cm^3 y 1600 cm^3'. Under each category, there are links for 'Motor 1200' and 'Motor 1600'.

Fuente. Elaboración propia.

Ilustración 7. Aplicativo web (TABLA DE RESULTADOS)

← → jmcastellanos.docentes.upbbga.edu.co/Emissiones/VE6.html ★ ES

MOVED
BY R. RANGEL & J. L. SARMIENTO

HOME ESTUDIO ESTANDARES RESULTADOS REFERENCIAS

TABLA DE RESULTADO 2015

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL MOTOR		INDICE DE EMISIONES							CONDICIONES DE LA PRUEBA
CILINDRAJE (c.c)	1149	Ciclo:	NEDC	Combustible:	Gasolina extra	Modelo:	2011	1. El vehículo debe tener mas de 3.500 Km y menos de 100.000 Km. 2. El motor del vehículo no debe haber sido reparado. 3. El convertidor	
N° DE CILINDROS	4	Vehículo:	6. MOTOR 1200 cc.	Lugar:	Chasis Dinamométrico	Pot. resistiva [kw]	9,3		
N° DE VALVULAS	16	Índice de Emisiones [g/km]							
POTENCIA (HP/r.p.m)	75/5550	THC	NOX	CO	CO2				
TORQUE (N·m/r.p.m)	108/4300	0.3154	0.2099	4.5301	233.3131				
RELACION DE COMPRESION	9.8:1	0.3130	0.2157	4.3452	237.1934				
		0.3172	0.2195	4.5786	231.4688				
		Promedio	0.3152	0.2150	4.4847	233.9918			
		Desviación Estándar	0,0021	0,0049	0,1232	2,9220			
		C.V.	0,7%	2,3%	2,7%	1,2%			

jmcastellanos.docentes.upbbga.edu.co/Emissiones/RES.html

Fuente. Elaboración propia.

Ilustración 8. Aplicativo web (REFERENCIA BIBLIOGRAFICA)

← → jmcastellanos.docentes.upbbga.edu.co/Emissiones/REFE.html

MOVED
BY R. RANGEL & J. L. SARMIENTO

HOME ESTUDIO ESTANDARES RESULTADOS REFERENCIAS

REFERENCIA BIBLIOGRAFICA 2015

[1] OWEN, Keith y COLEY Trevor. Automotive Fuels Reference Book. 2 ed. Society of Automotive Engineers, Inc. USA. pp. 697-699.

[2] Field Sampling Unit Operating Manual and Smart 2000 Portable Emission Analyzer User's Manual, Version 1.0/2002. CANADA. pp. 3-4.

[3] ABNT NBR 6601 Veículos rodoviários automotores leves – Determinação de hidrocarbonetos, monóxido de carbono, óxidos de nitrogênio, dióxido.

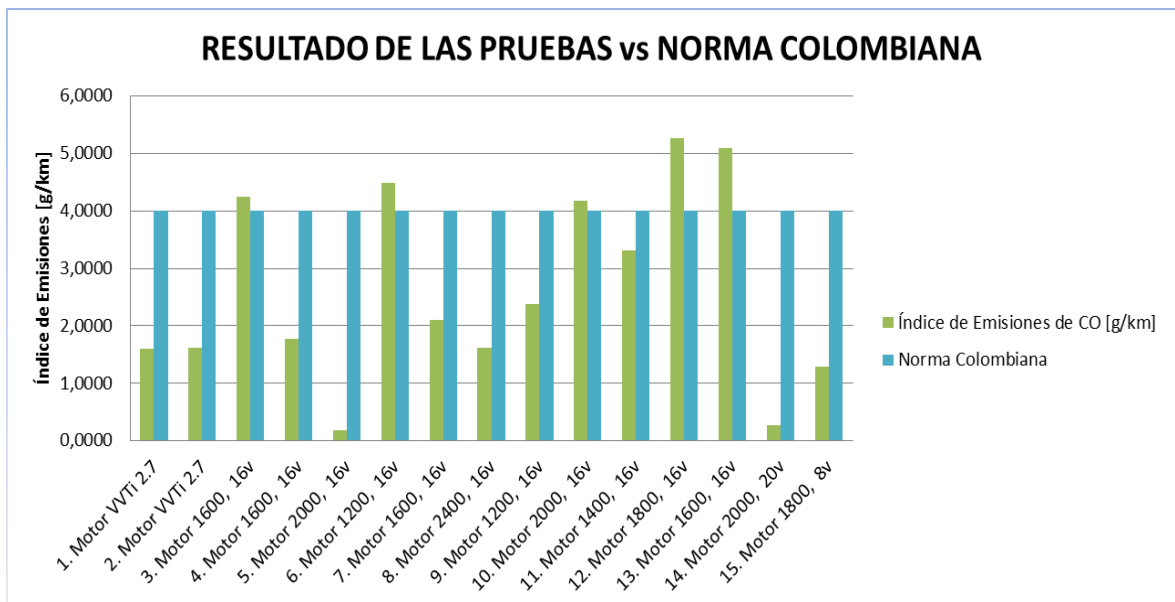
Copyright © 2015 Modified version of Clean Type by Free CSS Templates.
Privacy Policy | Terms of Use

Fuente. Elaboración propia.

4.3 ANALISIS DE RESULTADOS

Todos los vehículos incluidos en este proyecto se clasificaron en la tabla 6 como M-M1 y N-N1-clase1 y según la resolución 0910 de 2008 los automóviles no deben sobrepasar índices de emisiones de CO = 2,20 [g/km] y HC + NO_x = 0,50 [g/km].

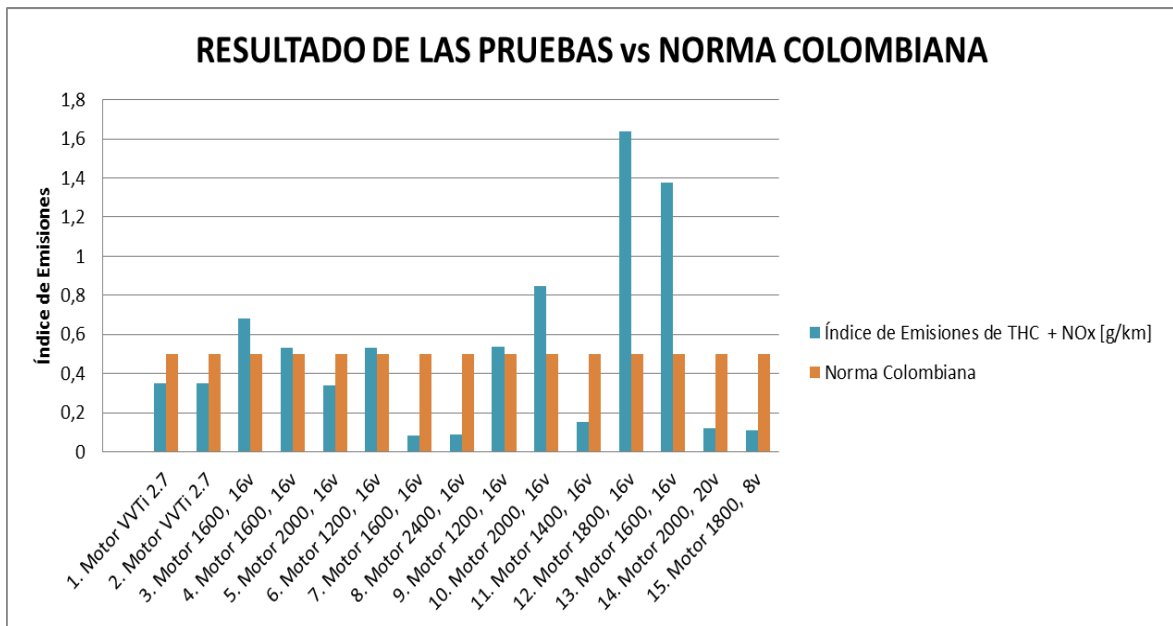
Ilustración 9. Comparativo Resultados índice de emisiones de CO vs Norma Colombiana



Fuente. Elaboración propia.

Observando los resultados obtenidos en el laboratorio de motores del Instituto Colombiano del Petróleo se puede analizar la gráfica anterior concluyendo que aproximadamente un 33% de los vehículos no están cumpliendo con las exigencias de la normatividad Colombiana siendo este un porcentaje bastante alto si se lleva este estudio al ámbito nacional.

Ilustración 10. Comparativo Resultados índice de emisiones de THC + NOx vs Norma Colombiana



Fuente. Elaboración propia.

Un tema más preocupante sucede ahora con esta nueva grafica de resultados puesto que en ella se muestra como un 47% de los vehículos analizados no cumplen con la normatividad Colombiana y aún más si se habla de los dos índices de emisiones de gases contaminantes que más presentan afectaciones en la salud humana y el medio ambiente como lo son el THC y el NO_x.

Realizando un análisis comparativo de los resultados obtenidos en la tabla 27 se puede decir que entre los vehículos #5 (Motor 2.000 c.c) y el vehículo # 6 (Motor 1.200 c.c) se puede observar que no siempre el vehículo con menor cilindraje es aquel que menos gases contaminantes como el THC y CO va a producir puesto que se debería profundizar en la tecnología que posee cada uno de ellos siendo

esta mejor para el vehículo # 5, sin dejar de mencionar que su consumo de combustible es considerablemente alto.

Una observación relevante para crear conciencia ambiental es aquella que se saca del valor promedio de las emisiones vehiculares de THC y NO_x que es igual a 0,5157 [g/km], ahora si este se multiplica por un valor promedio de 40 Km que sería el recorrido normal diario de una persona con su vehículo, obtendremos así un valor de 20,628 [g/veh.*día] y si en Colombia existen aproximadamente 3,5 millones de vehículos se estaría emitiendo a la atmosfera un total de 72,198 toneladas diarias de los dos contaminantes más nocivos para la salud humana y el medio ambiente. Paralelamente si se analiza esta misma situación pero esta vez con el CO₂ se obtendría un total de 46.114,6 toneladas diarias de este gas contaminante, hoy por hoy si se llegara a pensar en remediar esta alarmante cifra se tendrían que plantar aproximadamente 150.000 árboles.

5. CONCLUSIONES

Inicialmente se concluye que se alcanzaron los objetivos propuestos y planteados en el proyecto, puesto que se cuantificaron las emisiones de quince vehículos a gasolina en índices de emisiones [g/Km] y que el coeficiente de variación de los resultados obtenidos en cada una de las repeticiones de las pruebas no sobrepasó el 20%. Con los resultados se elaboró un aplicativo web que fue puesto a disposición del público en general en la página web de ingeniería mecánica de la Universidad Pontificia Bolivariana.

Aproximadamente el 50% de los vehículos que participaron de este estudio no cumplen con la normativa colombiana de emisiones, situación muy importante y de la cual las autoridades deben tomar cartas en el asunto haciendo un llamado a los fabricantes de autos, los productores y distribuidores de combustible, los mantenedores de los vehículos y el público en general a cumplir con estas reglamentaciones, actualmente el estado colombiano le exige a los fabricantes o ensambladores de vehículos un certificado de emisiones de los vehículos que van a vender en Colombia este se obtiene enviando el vehículo para ser evaluado en el exterior porque no se cuenta con la infraestructura necesaria para realizar las certificaciones en el país.

Una de las razones por las que el 50% de los vehículos no estén cumpliendo con la normatividad colombiana podría ser que la eficiencia del convertidor catalítico este reducido.

Los vehículos con niveles de emisiones más altos tienen kilometraje de uso superiores a los 45.000 km, esto es un indicio de un mantenimiento deficiente.

En la realización de estos ensayos se trabajaron vehículos con cilindraje desde los 1200 c.c., hasta los 2400 c.c. y no necesariamente los automotores de mayor cilindraje son los más contaminantes.

6. RECOMENDACIONES

Es muy importante generar conciencia en todas las personas de la magnitud en que se está contaminando el aire por el uso de los automotores, para esto se podría elaborar una tabla con cada uno de los medios de transporte y que tanto contamina cada uno, para que las personas tengan las herramientas y los argumentos y así poder decidir la forma en que se van a transportar.

Se deben implementar políticas que incentiven el uso del transporte masivo ya que es una forma de disminuir la contaminación ambiental de las fuentes móviles.

BIBLIOGRAFIA

AS-SL. “Fabricantes de Catalizadores y Filtros de Partículas”. Navarra, España[En Línea]. Consultado en enero 10 de 2015.Disponible en:<http://www.as-sl.com/pdf/tipos_gases.pdf>

BOGOTÁ. 2014. MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL. Resolución 0910 (5, junio, 2008). Por la cual se reglamentan los niveles permisibles de emisión de contaminantes que deberán cumplir las fuentes móviles terrestres, se reglamenta el artículo 91 del Decreto 948 de 1995 y se adoptan otras disposiciones. [En Línea]. Consultado en enero 11 de 2015.Disponible en:

<<http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=31146>>

CASTRO O, Henry. Informe Anual de Calidad del Aire de Bucaramanga 2010. Publicado febrero de 2011. Consultado en enero 15 de 2015. Disponible en: <http://caracoli.cdmb.gov.co/cai/cai2/docs/Informe_Calidad_Aire_2010.pdf>

CASTRO. P.C. y Escobar. L.M, “Estimación de Las Emisiones Contaminantes Por Fuentes Móviles a Nivel Nacional y Formulación de Lineamientos Técnicos Para El Ajuste De Las Normas De Emisión” Tesis de Grado, Dpto. Ing. Ambiental y Sanitaria, Univ. De La Salle, Colombia (2006) [En Línea]. Consultado en enero 20 de 2015.Disponible en:

<<http://repository.lasalle.edu.co/bitstream/handle/10185/14781/00798220.pdf?sequence=1>>

GONZALEZ, Sandro y SARMIENTO, José Luis. Evaluación de emisiones en un vehículo euro IV con formulaciones de diesel de menos de 50 ppm de azufre. Ecopetrol, 2013.

LEE, Taewoo. et al. Variability in operation-based NOx emission factors with different test routes, and its effects on the real-driving emissions of light diesel vehicles. 2013. Science of the total Environment. Pag 377-385.

LOPES, M. et.al. Emissions characterization from EURO 5 diesel/biodiesel passenger car operating under the new European driving cycle. 2014. Atmospheric Environment. Pag. 339-348.

MENESES, Martha y GONZALEZ, Sandro. Informe de impacto de calidad de Combustibles sobre emisiones vehiculares fase I vehículos euro 2. CTP, 2012.

RODRÍGUEZ, Laura Andrea et.al. Contaminación atmosférica y sus efectos en la salud en Bucaramanga. Consultado en enero 22 de 2015. Disponible en: http://caracoli.cdm.gov.co/cai/cai2/docs/La_contaminacion_del_aire_y_sus_efectos_en_la_salud_2007_-_2010.pdf

TOBÓN, D. Sánchez, A. y Cárdenas, M. *“Regulación Ambiental Sobre La Contaminación Vehicular en Colombia: ¿hacia dónde vamos?”* ISSN 1692-2611. [En Línea]. Consultado en enero 25 de 2015. Disponible en: http://www.udea.edu.co/portal/page/portal/bibliotecaSedesDependencias/unidadesAcademicas/FacultadCienciasEconomicas/ElementosDiseno/Documentos/BorradoresEconomia/BorradCIE_17.pdf