

^C
**EVALUACIÓN DE LAS EMISIONES DE GASES CONTAMINANTES DE UN
MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA EXPERIMENTAL CON DIFERENTES
TIPOS DE GASOLINAS MEDIANTE PRUEBAS ESTÁTICAS**



UNIVERSIDAD INTERNACIONAL SEK

FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES Y AMBIENTALES

Trabajo de Fin de Carrera Titulado:

**“EVALUACIÓN DE LAS EMISIONES DE GASES
CONTAMINANTES DE UN MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA
EXPERIMENTAL CON DIFERENTES TIPOS DE GASOLINAS
MEDIANTE PRUEBAS ESTÁTICAS”**

Realizado por:

ANA ELIZABETH CHECA RAMÍREZ

Director del proyecto:

Ing. Edilberto Antonio Llanes Cedeño, Ph.D.

Como requisito para la obtención del título de:

**MAGÍSTER EN ECOEFICIENCIA
INDUSTRIAL MENCIÓN EFICIENCIA
ENERGÉTICA**

Quito, 03 de septiembre de 2020

^C**EVALUACIÓN DE LAS EMISIONES DE GASES CONTAMINANTES DE UN MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA EXPERIMENTAL CON DIFERENTES TIPOS DE GASOLINAS MEDIANTE PRUEBAS ESTÁTICAS**

DECLARACIÓN JURAMENTADA

Yo, ANA ELIZABETH CHECA RAMÍREZ, con cédula de identidad # 100250999-8, declaro bajo juramento que el trabajo aquí desarrollado es de mi autoría, que no ha sido previamente presentado para ningún grado a calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración, cedo mis derechos de propiedad intelectual correspondientes a este trabajo, a la UNIVERSIDAD INTERNACIONAL SEK, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su reglamento y por la normativa institucional vigente.



100250999-8

^C
EVALUACIÓN DE LAS EMISIONES DE GASES CONTAMINANTES DE UN MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA EXPERIMENTAL CON DIFERENTES TIPOS DE GASOLINAS MEDIANTE PRUEBAS ESTÁTICAS

DECLARATORIA

El presente trabajo de investigación titulado:

“EVALUACIÓN DE LAS EMISIONES DE GASES CONTAMINANTES DE UN MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA EXPERIMENTAL CON DIFERENTES TIPOS DE GASOLINAS MEDIANTE PRUEBAS ESTÁTICAS”

Realizado por:

ANA ELIZABETH CHECA RAMÍREZ

como Requisito para la Obtención del Título de:

MAGÍSTER EN EFICIENCIA ENERGÉTICA

ha sido dirigido por el profesor

EDILBERTO ANTONIO LLANES CEDEÑO

quien considera que constituye un trabajo original de su autor



FIRMA

^C**EVALUACIÓN DE LAS EMISIONES DE GASES CONTAMINANTES DE UN MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA EXPERIMENTAL CON DIFERENTES TIPOS DE GASOLINAS MEDIANTE PRUEBAS ESTÁTICAS**

LOS PROFESORES INFORMANTES

Los Profesores Informantes:

MSc. Paolo Salazar

MSc. Juan Carlos Jima

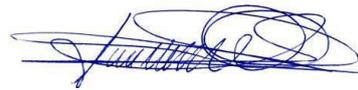
Después de revisar el trabajo presentado,

lo han calificado como apto para su defensa oral ante

el tribunal examinador



MSc. Paolo Salazar



MSc. Juan Carlos Jima

Quito, 03 de septiembre de 2020

^C
**EVALUACIÓN DE LAS EMISIONES DE GASES CONTAMINANTES DE UN
MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA EXPERIMENTAL CON DIFERENTES
TIPOS DE GASOLINAS MEDIANTE PRUEBAS ESTÁTICAS**

DEDICATORIA

A Dios,

A mis padres

Segundito y Anita Luisa

mi esposo Adrián, y a

mis hijos Sebastián, Benjamín e Isabella.

A mis hermanos Xavier, Andrés y Santiago

^C
**EVALUACIÓN DE LAS EMISIONES DE GASES CONTAMINANTES DE UN
MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA EXPERIMENTAL CON DIFERENTES
TIPOS DE GASOLINAS MEDIANTE PRUEBAS ESTÁTICAS**

AGRADECIMIENTO

Dios, por darme siempre fortaleza y sabiduría.

A mis padres

Segundito y Anita Luisa por sus consejos y su apoyo incondicional
en todo momento de mi vida.

A mi esposo Adrián, y

mis hijos Sebastián, Benjamín e Isabella por apoyarme en mis
estudios.

A mis hermanos Xavier, Andrés y Santiago por acompañarme y siempre cuidarme.

A mi tutor Edilberto Llanes, profesor su apoyo y colaboración en el desarrollo de
este trabajo.

Felicitar a la UISEK por adquirir los bancos de pruebas experimentales ya que permiten poner en práctica
lo aprendido durante los estudios de posgrado.

Ana Elizabeth Checa

^C
EVALUACIÓN DE LAS EMISIONES DE GASES CONTAMINANTES DE UN MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA EXPERIMENTAL CON DIFERENTES TIPOS DE GASOLINAS MEDIANTE PRUEBAS ESTÁTICAS

30/09/2020 05:13:00

Para someter a:

To be submitted:

Evaluación de las emisiones de gases contaminantes de un motor de combustión interna experimental con diferentes tipos de gasolinas mediante pruebas estáticas.

Ana Elizabeth Checa¹, Edilberto Llanes Cedeño^{1*}

¹ Universidad Internacional SEK, Facultad de Ciencias Naturales y Ambientales, Quito,
Ecuador.

*AUTOR DE CORRESPONDENCIA: Edilberto Llanes Cedeño PhD, Universidad Internacional
SEK, Facultad de Mecánica, Quito, Ecuador.

Teléfono: +593-; email: antonio.llanes@uisek.edu.ec

Título corto o Running title: Tesis Ana Checa

^C **EVALUACIÓN DE LAS EMISIONES DE GASES CONTAMINANTES DE UN MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA EXPERIMENTAL CON DIFERENTES TIPOS DE GASOLINAS MEDIANTE PRUEBAS ESTÁTICAS**

Resumen.

La contaminación ambiental se produce cuando los componentes nocivos para la salud del ser humano alcanzan niveles mayores al estándar de la calidad de aire y les ocasionan daños. Desde hace varios años se encuentra en constante revisión e investigación las emisiones contaminantes de un vehículo con el fin de obtener motores más eficientes y con niveles bajos de emisiones contaminantes. Razón por la cual el objeto de estudio de esta investigación es la evaluación de las emisiones de gases contaminantes de un motor CT150 experimental a gasolina de 4 tiempos con tres combustibles utilizados principalmente por vehículos livianos en el Ecuador como son: gasolina Súper con 93 octanos, gasolina Extra con 87 octanos y gasolina Ecopaís 85 octanos. Con ayuda del modelo simplificado de combustión se calculó los factores de emisión (*FE_i*) en gramos de contaminante por segundo debido a que es un motor experimental estático. Los resultados obtenidos son: para el CO de la gasolina extra y ecopaís se encuentra entre 0,144 g/s y 0,155 g/s, siendo el menor para la gasolina súper. El factor de emisión de hidrocarburos no combustionados (HC) el combustible que más alta emisiones presenta es la gasolina ecopaís siendo sus valores entre 0,141 g/s a 0,147 g/s. Para el caso del factor de emisión Óxidos de Nitrógeno (NO_x) el valor más bajo se obtiene para la gasolina súper que se encuentra entre 0,005 g/s y 0,007 g/s. Siendo el combustible menos contaminante la gasolina Súper.

Palabras clave: polución, gasolina, emisiones, euro III, motor de encendido provocado.

^C EVALUACIÓN DE LAS EMISIONES DE GASES CONTAMINANTES DE UN MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA EXPERIMENTAL CON DIFERENTES TIPOS DE GASOLINAS MEDIANTE PRUEBAS ESTÁTICAS

Summary.

Environmental pollution occurs when components that are harmful to human health reach levels higher than the air quality standard and cause damage. For several years the polluting emissions of a vehicle have been constantly reviewed and investigated in order to obtain more efficient engines with low levels of polluting emissions. Reason for which the object of study of this research is the evaluation of polluting gas emissions from an experimental CT150 4-stroke gasoline engine using three fuels used mainly by light vehicles in Ecuador such as: Super gasoline with 93 octane, Extra gasoline with 87 octane and 85 octane Ecopaís gasoline. With the help of the simplified combustion model, the emission factors (FE_i) were calculated in grams of pollutant per second because it is a static experimental engine. The results obtained are: for the CO of extra gasoline and eco-country it is between 0.144 g / s and 0.155 g / s, being the lowest for super gasoline. The emission factor for unburned hydrocarbons (HC), the fuel with the highest emissions, is ecopaís gasoline, its values ranging from 0.141 g / s to 0.147 g / s. For the case of the Nitrogen Oxides (NO) emission factor, the lowest value is obtained for super gasoline, which is between 0.005 g / s and 0.007 g / s. Being the least polluting fuel Super gasoline.

Key words: pollution, gasoline, emissions, EURO 3, ignition motor induced.

EVALUACIÓN DE LAS EMISIONES DE GASES CONTAMINANTES DE UN MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA EXPERIMENTAL CON DIFERENTES TIPOS DE GASOLINAS MEDIANTE PRUEBAS ESTÁTICAS

Introducción.

La contaminación ambiental se produce cuando los componentes nocivos para el ser humano alcanza niveles mayores al estándar de calidad de aire y causa daños en su salud (Ubilla, C., et al; 2017); sin embargo, en la sociedad humana la causa principal de la contaminación ambiental son las actividades antropogénicas que realiza el ser humano (Belis et al., 2013). Combustibles fósiles como los derivados del petróleo y carbón, son combustionados para producir energía y conducir automóviles y camiones, volar aviones, generar electricidad y operar fábricas.

En el proceso de combustión de fósiles se producen contaminantes como: material particulado (PM), dióxido de carbono (CO_2), dióxido de azufre (SO_2) y óxidos de nitrógeno (NO_x) que se liberarán al ambiente incrementan el efecto invernadero y provocan graves efectos sobre el ecosistema (Wang, 2018). En todas las sociedades e independientemente del nivel de desarrollo socioeconómico de una ciudad, país o continente, las emisiones contaminantes de vehículos son una fuente importante de contaminación del aire y el consumo de combustible (Antamba G., et al, 2016). Por lo cual en Ecuador el Distrito Metropolitano de Quito (DMQ) relaciona que existe mayor contaminación del aire cuando se producen con arranques en frío del motor del vehículo, puesto que las mayores concentraciones de contaminantes se las encuentran en las horas y meses con temperaturas bajas del año (WHO, 2016).

En el año 2008, el Directorio del INEN aprobó el Reglamento Técnico Ecuatoriano RTE INEN 017:2008, en donde se establecen los procedimientos para el control de las emisiones contaminantes de fuentes móviles terrestres, con el fin de proteger la vida y la salud humana, animal y vegetal, y al ambiente, sin perjuicio de la eficiencia de los vehículos automotores (RTE INEN 017, 2008). Con el fin de cumplir con los límites de emisiones producidas por fuentes móviles terrestres de gasolina no sólo en el Ecuador sino en todo el mundo, se encuentran en constante análisis y revisión los automotores para mejorar la tecnología

EVALUACIÓN DE LAS EMISIONES DE GASES CONTAMINANTES DE UN MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA EXPERIMENTAL CON DIFERENTES TIPOS DE GASOLINAS MEDIANTE PRUEBAS ESTÁTICAS

haciéndoles más eficientes y con niveles bajos de emisiones contaminantes (Rojas R., et al, 2019).

De estudios realizados en el año 2012 y 2013 por la Organización Mundial de la Salud (OMS) expresa que existen algunas ciudades de Ecuador que sobrepasan los niveles internacionales de contaminación ambiental (El comercio, 2016; Rocha-Hoyos, Tipanluisa, Reina, y Ayabaca, 2017).

En la matriz energética de Ecuador el 49 % del consumo energético corresponde al sector del transporte, el mismo que produce el 25 % de las emisiones de gases efecto invernadero por efectos de la combustión de diésel y gasolina (BEN, 2017).

En la Universidad Internacional SEK, no existe la evaluación de las emisiones de gases contaminantes del motor de combustión interna CT 150 de cuatro tiempos y los consumo de combustible; por tal razón, se realiza el presente estudio para tener una línea base sobre el funcionamiento del mismo.

Los gases de escape de los vehículos como el dióxido de carbono (CO) y los hidrocarburos no combustionados (HC) son excelentes indicadores de cómo está funcionando el motor y constituyen la base para el sistema de prueba y diagnóstico de emisiones ; (Lambert y Tesfa, 2016).

Según NTE INEN 2341:2016, el octanaje o número de octano es la medida de la calidad y capacidad antidetonantes de las gasolinas para evitar las detonaciones y explosiones en las máquinas de combustión interna con el fin de producir la máxima cantidad de energía útil, expresada en volumen de iso-octano en una mezcla de iso-octano y n-heptano que tengan las mismas características antidetonantes de la gasolina ensayado en un motor monocilíndrico (NTE INEN 2341, 2016).

El análisis de los factores de emisión vehicular de CO, NO_x y HC, se establecieron en experimentos dinamométricos siguiendo ciclos de conducción estándar; los mismos que permiten examinar factores de emisión en varias situaciones experimentales como son pruebas

EVALUACIÓN DE LAS EMISIONES DE GASES CONTAMINANTES DE UN MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA EXPERIMENTAL CON DIFERENTES TIPOS DE GASOLINAS MEDIANTE PRUEBAS ESTÁTICAS

estáticas o en ruta (Rocha-Hoyos y Erazo, 2018).

Las normas son herramientas primarias que establecen los límites de emisiones de vehículos para mitigar las emisiones vehiculares (Tipanluisa, et al, 2017) y se basan en la normativa emitida por el Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN) que cuya misión es la normalización, la certificación y la metrología, mediante el Reglamento Técnico Ecuatoriano RTE INEN 136 (1R) “motocicletas” se establece los límites máximos de emisiones permitidas para motocicletas y tricimotos mediante prueba estática en ralentí, dicha norma tiene sus fundamentos en regulaciones europeas y americanas adaptadas a la Política Nacional Ecuatoriana.

Según el Departamento de Asuntos Económicos y Sociales de las Naciones Unidas, en 1950 un 6% de la población mundial vivía en grandes ciudades, en 2016 este porcentaje ya superaba el 54%, y la previsión es que en 2050 alcance el 66%, este incremento de la población urbana ha ido acompañado además de un aumento del consumo energético per cápita a escala global (un 60% entre 1965 y 2010), causando a su vez que las emisiones de CO₂ se incrementen de un 65% en entre 1960 y 2014; este consumo energético es debido, en gran parte, al incremento del número de vehículos a motor. Todo ello, ha dado lugar a la concentración espacial de emisiones atmosféricas en las grandes ciudades de Europa y de todo el mundo, lo que ha provocado problemas importantes de contaminación y deterioro de la calidad del aire (Banco Mundial, 2018).

Una estrategia del Grupo Banco Mundial es trabajar con los países en desarrollo y los asociados para el desarrollo con el fin de reducir la contaminación, implementar una gestión adecuada de los desechos, mejorar la calidad del aire y del agua, y promover el desarrollo limpio para una vida más sana y mejores oportunidades económicas (Banco Mundial, 2018).

En el Distrito Metropolitano de Quito, se han tomado diversas medidas, para mitigar la contaminación ambiental, tales como, la Revisión Técnica Vehicular, Licenciamientos ambientales a las industrias de alto impacto y el progreso de los combustibles (Guasgua et al.,

EVALUACIÓN DE LAS EMISIONES DE GASES CONTAMINANTES DE UN MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA EXPERIMENTAL CON DIFERENTES TIPOS DE GASOLINAS MEDIANTE PRUEBAS ESTÁTICAS

2016) lo que permite la introducción de mejoras en la tecnología vehicular como EURO III próximamente (DMQ, 2015). Por tanto, el objetivo de estudio es evaluar las emisiones producidas en el banco de pruebas experimentales CT150 motor de gasolina de 4 tiempos mediante la experimentación de las gasolinas extra, ecopaís y súper para la selección de la mejor variante a 2800 msnm. Los objetivos específicos son: (1) Cuantificar los diferentes gases contaminantes para cada tipo de gasolina por medio del analizador de gases, (2) Determinar el factor de emisiones de gases contaminantes mediante modelos matemáticos para su interrelación con el trabajo realizado y (3) evaluar el comportamiento de los diferentes tipos de combustibles en el banco de pruebas experimentales mediante el análisis estadístico en el software STATGRAPHICS para la selección de la mejor propuesta.

EVALUACIÓN DE LAS EMISIONES DE GASES CONTAMINANTES DE UN MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA EXPERIMENTAL CON DIFERENTES TIPOS DE GASOLINAS MEDIANTE PRUEBAS ESTÁTICAS

Materiales y Métodos.

En el presente trabajo, se utilizó el enfoque de la investigación cuantitativa, por cuanto se realizó mediciones de los gases contaminantes con tres tipos de combustibles para evaluar las emisiones de gases en el banco de pruebas experimentales CT150 motor de gasolina de 4 tiempos y se utilizó la estadística para determinar la relación entre los factores de emisión con cada tipo de combustible. La investigación también fue exploratoria por cuanto se realizó una revisión sistemática de la investigación y se ejecutó un resumen de los resultados obtenidos en el banco de pruebas experimentales de un motor de combustión interna de propiedad de la Universidad Internacional SEK.

Se evaluó los factores de emisión de tres combustibles utilizados como son gasolina Súper con 92 octanos; gasolina Extra con 87 octanos; y gasolina Ecopaís en el motor de combustión interna experimental CT150 a gasolina de 4 tiempos, mediante la aplicación de modelos matemáticos, se analizó los resultados obtenidos en las pruebas estáticas y con ayuda del análisis estadístico, se logró evaluar las emisiones de gases contaminantes con el objetivo de seleccionar la mejor variante.

Las pruebas estáticas se realizaron con ayuda del analizador de gases marca KANE y de acuerdo con el Reglamento Técnico Ecuatoriano RTE INEN 136 (1R) con tres repeticiones para cada tipo de combustible para garantizar la repetitividad de la experimentación.

Descripción del banco experimental

El motor de gasolina de 4 tiempos CT 150 permitió realizar análisis y ensayos en máquinas motrices y de trabajo (ver figura 1).

El motor CT 150 se trata de un motor de gasolina de 1 cilindro y 4 tiempos de refrigerado por aire con conformación externa de la mezcla. Para la refrigeración del motor se emplea la masa volante equipada con aspas de ventilador. El arranque del motor se efectúa por medio de un cable Bowden. El motor de gasolina de potencia aproximada de 2 kW está equipado con: un

EVALUACIÓN DE LAS EMISIONES DE GASES CONTAMINANTES DE UN MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA EXPERIMENTAL CON DIFERENTES TIPOS DE GASOLINAS MEDIANTE PRUEBAS ESTÁTICAS

sensor de temperatura para la medición de la temperatura de los gases de escape, un freno dinamométrico necesario para los ensayos se encuentra en la unidad de frenado y accionamiento universal HM 365 y se lleva a cabo por medio de una correa trapezoidal, también tiene una conexión para la tensión de encendido y la tubería de alimentación de combustible, éste se conecta al módulo básico de motores de combustión CT 150.



Figura 1. *Esquema del motor de gasolina de 4 tiempos CT 150*

Descripción de la estructura del equipo

El motor se encuentra montado sobre una placa base (1) que se emplea sobre el alojamiento del módulo básico de motores de combustión CT 150. Los amortiguadores (2) atenúan las vibraciones originadas por el funcionamiento del motor. En el cárter del cigüeñal (3) se encuentra el orificio de llenado de aceite (4). La camisa (6) del cilindro está provista de aletas de enfriamiento (según la figura 2).

EVALUACIÓN DE LAS EMISIONES DE GASES CONTAMINANTES DE UN MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA EXPERIMENTAL CON DIFERENTES TIPOS DE GASOLINAS MEDIANTE PRUEBAS ESTÁTICAS

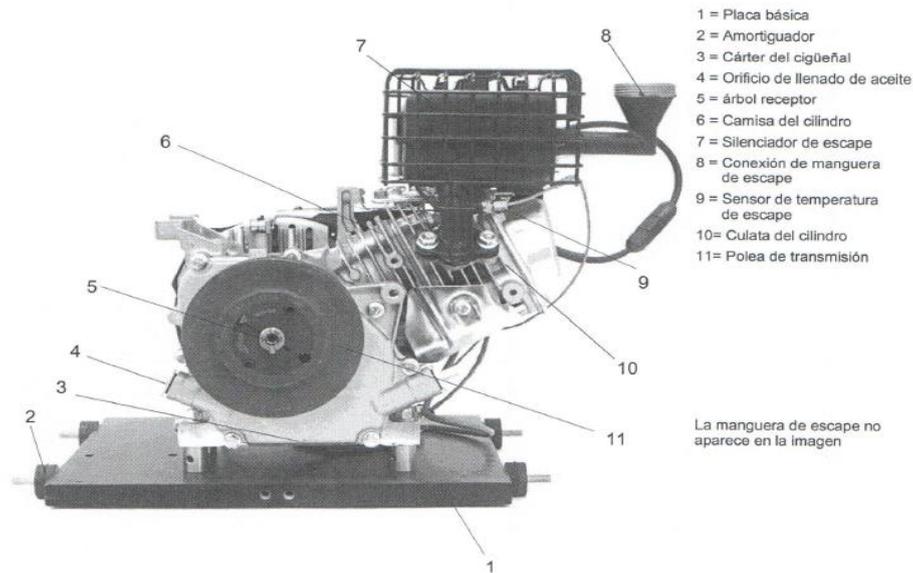


Figura 2. Esquema del motor CT 150 vista frontal

En la culata del cilindro (10) del motor se encuentra la cavidad para la bujía de encendido (20). Para la medición de la temperatura de gases de escape, el motor está equipado con un sensor de temperatura (9), montado en el área del silenciador de escape (7). En el silenciador se encuentra también la conexión (8) de la manguera de escape. El motor se pone en marcha activado por una cuerda de arranque (16). Durante esta acción, el estrangulador (17) debe encontrarse activado. En la rueda volante (13) se han integrado aletas para el enfriamiento del motor. Está provista de una cubierta (14). En el árbol receptor del motor (5) se ha montado una polea de transmisión (11) por medio de la cual el motor se acopla al freno dinámico del HM 365.

A través del conector (15), la bujía de encendido del motor recibe la alimentación necesaria para el encendido. La tubería de combustible (19) está dotada de un filtro. La tubería desemboca en el carburador (18), en el que se encuentra la conexión de la manguera de aire (21), como muestra la figura 3.

EVALUACIÓN DE LAS EMISIONES DE GASES CONTAMINANTES DE UN MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA EXPERIMENTAL CON DIFERENTES TIPOS DE GASOLINAS MEDIANTE PRUEBAS ESTÁTICAS

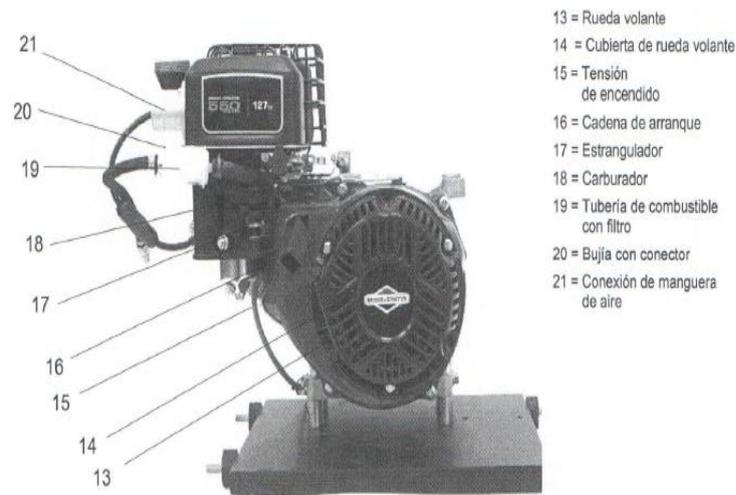


Figura 3. Esquema del motor CT 150 vista posterior

Diseño experimental:

En el programa *STATGRAPHICS Centurion XVI*, se creó el diseño unifactorial de la evaluación de las emisiones de gases contaminantes de un motor de combustión interna experimental con tres variantes como son la gasolina súper, gasolina extra y gasolina ecopaís mediante pruebas estáticas; como se muestra:

Tabla 1.

Diseño de la experimentación con las tres gasolinas a considerar

<i>NIVELES</i>	<i>BAJO</i>	<i>ALTO</i>	<i>RÉPLICAS</i>
Gasolina Súper	-1,0	1,0	3
Gasolina Extra	-1,0	1,0	3
Gasolina Ecopaís	-1,0	1,0	3

Las variables de respuesta a obtener son:

EVALUACIÓN DE LAS EMISIONES DE GASES CONTAMINANTES DE UN MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA EXPERIMENTAL CON DIFERENTES TIPOS DE GASOLINAS MEDIANTE PRUEBAS ESTÁTICAS

Tabla 2.

Variables de respuesta del diseño experimental

<i>RESPUESTAS</i>	<i>UNIDADES</i>
CO ₂	%
CO	%
O ₂	%
HC	%
NO _x	%

En el diseño unifactorial se tiene como factor la gasolina la cual posee 3 niveles y un número de respuestas de 5 (emisiones), dando un total de 45 ensayos, el cual se ejecutó en un solo bloque con un orden de experimentos completamente aleatorizado.

Arranque del motor

Antes del arranque del motor se debe revisar que se encuentren llenas las tuberías de combustible y el tubo de medición del módulo básico CT 150.



Figura 4. Verificación de combustible en los depósitos antes del arranque del motor CT 150

EVALUACIÓN DE LAS EMISIONES DE GASES CONTAMINANTES DE UN MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA EXPERIMENTAL CON DIFERENTES TIPOS DE GASOLINAS MEDIANTE PRUEBAS ESTÁTICAS

Se verificó que la válvula encargada del suministro de combustible del CT 150 debe estar en la posición de medición (*Messen*). También se verificó que el encendido del motor debe estar activo por medio de interruptor de arranque del motor (*Motor start*) del módulo básico del motor de gasolina de 4 tiempos. Seguidamente se revisó que la manguera de aire y la de gases de escape deben encontrarse conectadas y ésta última debe salir al exterior del recinto. Se aseguró que el cubre correas se encuentre aislado.

Pruebas Estáticas

La evaluación de las emisiones de gases contaminantes del motor de combustión interna experimental con diferentes tipos de gasolinas mediante pruebas estáticas se realizó de conforme el procedimiento la norma INEN 2203:2000 “Gestión Ambiental. Aire. Vehículos Automotores. Determinación de la Concentración de Emisiones de Escape de Condiciones de Marcha mínima o ‘Ralentí’. Prueba Estática” en el apartado 5.4 Procedimiento de medición y en los métodos de ensayo para verificar el cumplimiento de las emisiones de gases en motocicletas son los establecidos en la Directiva 2002/51/CE del Parlamento Europeo y del Consejo del 19 de julio del 2002, anexo II, literal 2.2.1.2. Ensayo tipo II para ralentí alto (>2000 revoluciones) (INEN, 2203, 2000; Rocha et al., 2018, Directiva 2002/51/CE, 2002).

Protocolo de Pruebas Estáticas

Se encendió el motor de gasolina 4 tiempos con dinamómetro incorporado, hasta las 2500 revoluciones del motor a una temperatura normal de operación y una temperatura del aceite del motor constante de 94 °C, según lo referido por Directiva 2002/51/CE del Parlamento Europeo y del Consejo del 19 de julio del 2002, anexo II, literal 2.2.1.2. Ensayo tipo II para ralentí alto.

EVALUACIÓN DE LAS EMISIONES DE GASES CONTAMINANTES DE UN MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA EXPERIMENTAL CON DIFERENTES TIPOS DE GASOLINAS MEDIANTE PRUEBAS ESTÁTICAS



Figura 5. Encendido del motor de gasolina de 4 tiempos

Seguidamente, se colocó la sonda de prueba dentro de la manguera de escape del motor CT 150 y se realizaron las mediciones de los gases contaminantes asegurándose que la sonda permanezca fija adentro del sistema de escape mientras dure el ensayo (Miranda, 2016). Se registró el valor de los datos proporcionados por el equipo de medición para su posterior análisis estadístico.

Las pruebas de medición de emisiones de gases fueron realizadas con un analizador portátil marca Kane, las características técnicas se describen a continuación:

Tabla 3.

Características técnicas del Analizador de Gases marca Kane

VARIABLE	RANGO DE MEDICIÓN	SISTEMA
Monóxido de carbono (CO)	0 - 10%	sistema infrarrojo
Dióxido de carbono	0 - 16%	sistema infrarrojo
Hidrocarburos (HC)	0 - 5000 ppm	sistema infrarrojo
Oxígeno (O ₂)	0 - 21%	celda electro-química

EVALUACIÓN DE LAS EMISIONES DE GASES CONTAMINANTES DE UN MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA EXPERIMENTAL CON DIFERENTES TIPOS DE GASOLINAS MEDIANTE PRUEBAS ESTÁTICAS

Óxido de nitrógeno (NO _x)	0 - 5000 ppm	con sensor
Lambda (λ)	0,8 - 1,2	
Temperatura	5°C - 45°C	
Humedad relativa	10% - 90%	

Fuente: (Globaltech, 2018, pág. 3)

Con ayuda del analizador de gases portátil, se determinó monóxido de carbón (CO), Dióxido de carbono (CO₂), Oxígeno (O₂), hidrocarburos no combustionados (HC) y los óxidos de nitrógenos NO_x.



Figura 6. *Analizador de gases contaminantes marca KANE*

Se permaneció la duración de respuesta del equipo de medición dado por el fabricante; se tomó muestras en aceleraciones de 2500 rpm y se repitió el proceso durante tres veces. Se registró el valor de los datos por el equipo de medición para su posterior análisis.

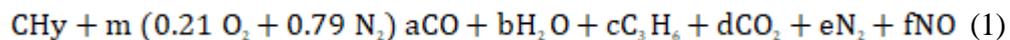
EVALUACIÓN DE LAS EMISIONES DE GASES CONTAMINANTES DE UN MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA EXPERIMENTAL CON DIFERENTES TIPOS DE GASOLINAS MEDIANTE PRUEBAS ESTÁTICAS



Figura 7. Mediciones de gases contaminantes en la manguera de escape

Análisis de factores de emisión de gases contaminantes

El ecuación 1, se presenta un modelo resumido de la combustión en donde se representa la transformación de la mezcla aire/combustible en sus principales productos de la combustión como son: CO₂, CO, y HC y que contienen carbono dentro de su fórmula química; y en donde las variables a, b, c, d, e, f y m son factores estequiométricos desconocidos. Entonces es posible realizar un balance de masa general respecto al total de carbono presente en el combustible siendo el CO₂, CO y HC son los compuestos químicos fundamentales para el análisis de las emisiones y las características medias de los combustibles, cuyo resultado se presenta en la ecuación 1 y 2 (Cedeño et al., 2018; Frey, et al, 2003).



$$1 = a + 3c + d \quad (2)$$

Los gases contaminantes son medidos en el sistema de escape y se analizan según la ecuación 3, en donde R_{CO} es la proporción en porcentaje de CO respecto a CO₂ y R_{HC} es la proporción en porcentaje de HC respecto a CO₂. El equipo de comprobación de gases compara el volumen de todos los resultados de la combustión, y aplicando las relaciones anteriores se obtiene la porción de CO₂ (Cedeño et al., 2018).

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

EVALUACIÓN DE LAS EMISIONES DE GASES CONTAMINANTES DE UN MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA EXPERIMENTAL CON DIFERENTES TIPOS DE GASOLINAS MEDIANTE PRUEBAS ESTÁTICAS

Con ayuda de la ecuación 4, se determinan los factores de emisión (FE_i) donde el subíndice i se relaciona con los contaminantes CO, HC y NO_x; y MW_{comb} es el peso molecular equivalente del combustible, MW_i es el peso molecular equivalente de los contaminantes, ρ_{comb} es la densidad del combustible en g/m³ y c.c. es el consumo de combustible por distancia recorrida en m³/km (Calero, 2018; Cedeño et al., 2018).

$$FE_i = \frac{R_i}{R_{CO}+3R_{HC}+1} * \frac{MW_i}{MW_{comb}} * \rho_{comb} * C.C \quad \left[\frac{g}{km} \right] \quad (4)$$

Debido a que los ensayos experimentales se realizaron en un motor de combustión interna experimental mediante pruebas estáticas no es posible determinar el consumo de combustible en función de los kilómetros recorridos por lo cual en la ecuación 4, el consumo de combustible se midió volumen consumido en función del tiempo de funcionamiento del motor experimental (m³/s), por lo que las unidades del Factor de Emisión (FE_i) serán en g/s.

$$FE_i = \frac{R_i}{R_{CO}+3R_{HC}+1} * \frac{MW_i}{MW_{comb}} * \rho_{comb} * C.C \quad \left[\frac{g}{s} \right] \quad (5)$$

Para determinar el nivel de consumo del motor, se encendió el medidor de nivel del equipo y se midió el volumen consumido de acuerdo con la figura 4.



EVALUACIÓN DE LAS EMISIONES DE GASES CONTAMINANTES DE UN MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA EXPERIMENTAL CON DIFERENTES TIPOS DE GASOLINAS MEDIANTE PRUEBAS ESTÁTICAS

Figura 8. Motor de combustión interna experimental

EVALUACIÓN DE LAS EMISIONES DE GASES CONTAMINANTES DE UN MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA EXPERIMENTAL CON DIFERENTES TIPOS DE GASOLINAS MEDIANTE PRUEBAS ESTÁTICAS

Resultados y Discusión.

Se presenta en la tabla 4, la recopilación de resultados obtenidos de las mediciones de gases contaminantes en el tubo de escape de un motor de combustión interna experimental que se realizó con diferentes tipos de gasolinas mediante pruebas estáticas, a 2 500 rpm:

Tabla 4.

Resultados obtenidos de las mediciones de gases contaminantes

TIPO DE COMBUSTIBLE	No. MEDICIÓN	% CO₂	% CO	% O₂	% HC	% NO_x
Gasolina súper	1	5,1	12,78	0,32	6,23	0,42
	2	4,9	12,8	0,32	6,57	0,69
	3	5	12,79	0,32	6,40	0,56
Gasolina extra	1	5	12,63	0,4	6,83	0,35
	2	5,1	12,61	0,35	6,63	0,48
	3	5	12,53	0,43	7,27	0,39
Gasolina ecopaís	1	4,9	12,19	0,52	7,72	0,25
	2	5	12,36	0,39	7,49	0,34
	3	4,7	12,35	0,59	8,08	0,30

Los resultados de los factores de emisión de la evaluación de los tres tipos de combustibles en el motor monocilíndrico de combustión interna se presentan a continuación:

Tabla 5.

Factores de Emisión para CO, HC y NO en g/s

FACTOR EMISIÓN	No. MEDICIÓN	SÚPER	EXTRA	ECOPAÍS
EFCO	1	0,147	0,153	0,152

EVALUACIÓN DE LAS EMISIONES DE GASES CONTAMINANTES DE UN MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA EXPERIMENTAL CON DIFERENTES TIPOS DE GASOLINAS MEDIANTE PRUEBAS ESTÁTICAS

	2	0,144	0,155	0,155
	3	0,146	0,147	0,150
EFHC	1	0,108	0,124	0,144
	2	0,111	0,122	0,141
	3	0,110	0,128	0,147
EFNOx	1	0,005	0,124	0,144
	2	0,008	0,122	0,141
	3	0,007	0,128	0,147

De la figura 9, se observa que el Factor de Emisión del CO para la gasolina extra y ecopaís se encuentra entre 0,144 g/s y 0,155 g/s, siendo el menor para la gasolina súper, esto debido a que el octanaje es de 92 y favorece la combustión del combustible en el motor disminuyendo las emisiones de CO. El factor de emisión de hidrocarburos no combustionados (HC) el combustible que más alta emisiones presenta es la gasolina ecopaís siendo sus valores entre 0,141 g/s a 0,147 g/s. Para el caso del factor de emisión Óxidos de Nitrógeno (NOx) el valor más bajo se obtiene para la gasolina súper que se encuentra entre 0,005 g/s y 0,007 g/s.

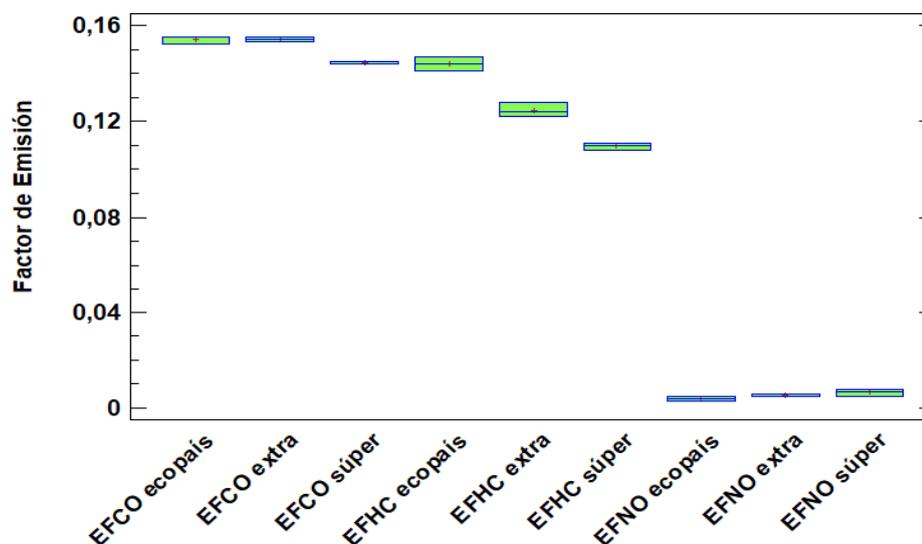


Figura 9. Factores de Emisión de CO para los tres tipos de combustible

EVALUACIÓN DE LAS EMISIONES DE GASES CONTAMINANTES DE UN MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA EXPERIMENTAL CON DIFERENTES TIPOS DE GASOLINAS MEDIANTE PRUEBAS ESTÁTICAS

En la tabla 6, se muestra el resultado al aplicar la prueba LSD con el 95 %, se evidencia que para el caso de las emisiones de NO_x de la gasolina Súper, Extra y Ecopaís no poseen diferencia significativa lo que no concuerda con Toala, et. al (2019); Quezada et. al (2017) y cuyo valor medio más bajo es de la gasolina Ecopaís (0,0040 g/s). En el caso de las emisiones de HC existen diferencias significativas entre las 3 gasolinas experimentadas presentando mejores resultados en la gasolina súper (0,1097 g/s) contrario a lo que sucede en Toala, et. al (2019); Quezada, et. al (2017). Finalmente, en el caso de CO no existe diferencias significativas entre la gasolina extra y ecopaís, pero si existe diferencia significativa para la gasolina súper; teniéndose los mejores resultados de factores de emisión para la gasolina Súper con 0,1457 g/s contrario a lo que menciona Toala, et. al (2019); Quezada et. al (2017).

Tabla 6.

Prueba de Múltiple Rangos

Factores de Emisión	Casos	Media	Grupos Homogéneos
EFNO _x ecopaís	3	0,0040	X
EFNO _x extra	3	0,0053	X
EFNO _x súper	3	0,0067	X
EFHC súper	3	0,1097	X
EFHC extra	3	0,1247	X
EFHC ecopaís	3	0,1440	X
EFCO súper	3	0,1457	X
EFCO extra	3	0,1517	X
EFCO ecopaís	3	0,1523	X

Los resultados obtenidos en la presente experimentación muestran una marcada diferencia con otros estudios como de Toala, et. al (2019); Quezada et. al (2017); Gómez, et. al (2019), esto

EVALUACIÓN DE LAS EMISIONES DE GASES CONTAMINANTES DE UN MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA EXPERIMENTAL CON DIFERENTES TIPOS DE GASOLINAS MEDIANTE PRUEBAS ESTÁTICAS

debido a que las pruebas se realizaron en ruta y pruebas estáticas, pero en motores de combustión interna de motocicletas de 2T y 4T con catalizador y como en el caso de estudio que es un motor monocilíndrico sin catalizador. Como menciona Toala, (2019), el utilizar catalizadores en motores monocilíndricos disminuye un 80,56% de CO y del 47,03% en NOx pero en pruebas en ruta.

Los valores más bajos de las medias obtenidas en el cálculo de los Factores de emisión son: 0,0040g/s para NOx con la gasolina ecopaís, 0,1097 g/s para HC con la gasolina súper y 0,1457 g/s para CO con la gasolina súper.

En la tabla 7., se comparan las emisiones de gases contaminantes del motor de combustión interna experimental CT 150 con los límites según la Empresa Pública de Movilidad (MOVILDELNOR):

Tabla 7.

Comparación de emisiones contaminantes del motor CT 150

		Según MOVILDERNOR	Pruebas experimentales (valores medios) para la gasolina			
Categoría	Estado	Emisiones contaminantes	Límites	Súper	Extra	Ecopaís
Motos ralentí alto	Ok		$0 \leq x < 4$			
	1	CO (%)	$4 \leq x < 7,5$			
	2		$7,5 \leq x < 11$			
	3		$x > 11$	12,79	12,59	12,30
	Ok		$0 \leq x < 2000$	640	691	776,33
	1	HC (ppm)	$2000 \leq x < 6000$			
	2		$6000 \leq x \leq 10000$			
3	$x > 10000$					

EVALUACIÓN DE LAS EMISIONES DE GASES CONTAMINANTES DE UN MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA EXPERIMENTAL CON DIFERENTES TIPOS DE GASOLINAS MEDIANTE PRUEBAS ESTÁTICAS

Dando como resultado que el motor de combustión interna CT 150, presenta un defecto de estado tipo 3, que se lo puede determinar con la Revisión Técnico Vehicular en el % CO por cuanto los valores obtenidos son mayores al 11 % esto se debe a que el motor no posee catalizador (MEP-DRTV-0002-2018; 2018).

EVALUACIÓN DE LAS EMISIONES DE GASES CONTAMINANTES DE UN MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA EXPERIMENTAL CON DIFERENTES TIPOS DE GASOLINAS MEDIANTE PRUEBAS ESTÁTICAS

Conclusiones

Los factores de emisión permiten determinar que en el caso de CO no existe diferencias significativas entre las medias de los factores de emisión entre la gasolina extra (0,1517 g/s) y ecopaís (0,1523 g/s), pero si existe diferencia significativa para la gasolina súper (0,1457 g/s) siendo esta la de mejor comportamiento.

Los factores de emisión de HC poseen diferencias significativas entre las tres gasolinas experimentadas, siendo la media de la gasolina extra (0,1247 g/s), ecopaís (0,1440 g/s) y para la gasolina súper (0,1097 g/s); siendo esta la de mejor comportamiento.

Los factores de emisión de NOx de los tres tipos de gasolinas no experimentan diferencias significativas, siendo la media de la gasolina extra (0,0053 g/s), ecopaís (0,0040 g/s) y para la gasolina súper (0,0067 g/s).

De la evaluación de gases contaminantes en el motor de combustión interna experimental de los tres tipos de gasolina súper, extra y ecopaís el combustible que menos variación contaminante presentó fue la gasolina súper.

El banco de pruebas experimentales no cumple con el porcentaje de CO que establece MOVILDELNOR para motores de motocicletas a altas revoluciones, por cuanto los valores promedio para los 3 tipos de combustibles superan el 11 %.

EVALUACIÓN DE LAS EMISIONES DE GASES CONTAMINANTES DE UN MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA EXPERIMENTAL CON DIFERENTES TIPOS DE GASOLINAS MEDIANTE PRUEBAS ESTÁTICAS

Recomendaciones.

Continuar con ensayos en el banco de pruebas experimentales CT150 motor de gasolina de 4 tiempos con el fin de involucrar a más estudiantes en esta investigación con otras variantes de combustibles.

EVALUACIÓN DE LAS EMISIONES DE GASES CONTAMINANTES DE UN MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA EXPERIMENTAL CON DIFERENTES TIPOS DE GASOLINAS MEDIANTE PRUEBAS ESTÁTICAS

Bibliografía.

- (PDF) Estimación de la potencia de un motor de combustión interna empleando múltiples combustibles (etanol-gasolina-hidrógeno). (n.d.). Retrieved November 21, 2019, from https://www.researchgate.net/publication/276276261_Estimacion_de_la_potencia_de_un_motor_de_combustion_interna_empleando_multiples_combustibles_etanol-gasolina-hidrogeno
- Albán, E., & López, J. (2010). *Desarrollo Y Validación De Un Método Para La Determinación De Factores De Emisión Vehicular Mediante Pruebas a Bordo En La Ciudad De Quito*. Retrieved from <http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/2514/1/CD-3209.pdf>
- Caiza Jácome, P. G., & Portilla Aguilar, Á. A. (2011). *Determinación de la Influencia de la Altura en Emisiones Contaminantes de un Vehículo con Motor de Ciclo Otto, de Inyección Electrónica de Gasolina*.
- El Comercio, EC. (2016). OMS Fichas de las ciudades más contaminadas del Ecuador: Disponible en: <http://www.elcomercio.com/tendencias/ciudades-ecuador-polucionenfermedades-contaminacion.html>.
- Fernando, J., & Revelo, L. (n.d.). *ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA DESARROLLO Y VALIDACIÓN DE UN MÉTODO PARA LA DETERMINACIÓN DE FACTORES DE EMISIÓN VEHICULAR MEDIANTE PRUEBAS A BORDO EN LA CIUDAD DE QUITO PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO MECÁNICO EDWIN ESTUARDO ALBÁN MARTÍNEZ*.
- Massa Sánchez, P., Ochoa-Ordóñez, O. F., & Ochoa-Moreno, W. S. (2018). Emisiones de CO₂, crecimiento económico y escolaridad: análisis subnacional para Ecuador. *Ciencia y Tecnología*, 11(2), 69–76. <https://doi.org/10.18779/cyt.v11i2.186>
- Recalde, M., & Revelo, R. (2015). *Análisis De Emisiones En Vehículos a Gasolina Utilizando Pruebas Estacionaria Y Dinámica Mediante Ciclo Im-240*. 1–10.

EVALUACIÓN DE LAS EMISIONES DE GASES CONTAMINANTES DE UN MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA EXPERIMENTAL CON DIFERENTES TIPOS DE GASOLINAS MEDIANTE PRUEBAS ESTÁTICAS

Rocha-Hoyos, J., & Erazo, G. (2018). *Análisis de Gases del Motor de un Vehículo a través de*

Pruebas Estáticas y Dinámicas. <https://doi.org/10.29076/issn.2528-7737vol11iss28.2018pp97-108p>

Ubilla, D. C., & Karla Yohannessen, D. (2016). *OUTDOOR AIR POLLUTION RESPIRATORY HEALTH EFFECTS IN CHILDREN.*

Van Mierlo, J., Maggetto, G., Van De Burgwal, E., & Gense, R. (2004). Driving style and traffic measures - Influence on vehicle emissions and fuel consumption. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part D: Journal of Automobile Engineering*, 218(1), 43–50. <https://doi.org/10.1243/095440704322829155>

Wang, Z. (2018). Energy and Air Pollution. In *Comprehensive Energy Systems* (Vol. 1–5, pp. 909–949). <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-809597-3.00127-9>

Calero E. (2018). Evaluación de los Sistemas de Catalización de Vehículos a Gasolina en Condiciones de Arranque en Frío (Tesis de maestría) Universidad Internacional SEK, Quito, Ecuador.

Cast Armijo J. (2001). Modelos de estado no estacionario y pseudoestacionario en el cálculo de tiempo de escurrimiento, 4, 38–43. ellazzi, L., Tonoli, A., Amati, N., y Galliera, E. (2017). A study on the role of powertrain system dynamics on vehicle driveability. *Vehicle system dynamics*, 55(7), 1012-1028. doi: 10.1080/00423114.2017.1294699

Cedeño, E. A. L., Rocha-Hoyos, J. C., Zurita, D. B. P., y Milla, J. C. L. (2018). Evaluación de emisiones de gases en un vehículo liviano a gasolina en condiciones de altura. Caso de estudio Quito, Ecuador. *Enfoque UTE*, 9(2), 149-158.

Transport and Environment. (2018) Mind the Gap! Why official car fuel economy figures don't match up to reality. Recuperado de <https://www.transportenvironment.org/publications/mind-gap-why-official-car-fuel-economy-figures-don%E2%80%99t-match-reality>

EVALUACIÓN DE LAS EMISIONES DE GASES CONTAMINANTES DE UN MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA EXPERIMENTAL CON DIFERENTES TIPOS DE GASOLINAS MEDIANTE PRUEBAS ESTÁTICAS

Secretaría de Ambiente (2016) Actualización del Plan de Manejo de la Calidad del

Aire 2005 – 2010. Recuperado de <http://www.quitoambiente.gob.ec/ambiente/index.php/bibliotecadigital/category/61-politicas-y-planeacion-ambiental?download=529:calidad-del-aire-final>.

BEN, (2017). Balance Energético Nacional 2017. Ministerio de Energía y Recursos Naturales no Renovables. Ecuador.

Belis, C. A., Karagulian, F., Larsen, B. R., & Hopke, P. K. (2013). Critical review and meta-analysis of ambient particulate matter source apportionment using receptor models in Europe. *Atmospheric Environment*.

INEN, (2002). NTE INEN 2204:2002. Límites permitidos de emisiones producidos por fuentes móviles terrestres a gasolina. Quito: INEN.

WHO, (2016). AMBIENT AIR POLLUTION. Disponible en: http://www.who.int/gho/publications/world_health_statistics/2016/whs2016_AnnexA_AmbientAirPollution.pdf?ua=1&ua=1.

Tipanluisa, L. E., Reina, S. W., & Ayabaca, C. R. (2017). Evaluación del Sistema de Tracción en un Vehículo Eléctrico Biplaza de Estructura Tubular. *Información tecnológica*.

Guasgua, J. F. A., Campaña, G. G. R., & Paredes, M. E. G. (2016). Estudio comparativo de gases contaminantes en un vehículo M1, utilizando gasolina de la Comunidad Andina. *Enfoque UTE*, (3).

Lambert, M. M., & Tesfa, B. (2016). Robust Application of CBE and OBE for Engine Testing System Diagnosis. *SAE Technical Paper*. No. 2016-01-0987.

Miranda, D. (2016). Metodología de pruebas y su aplicación para el diagnóstico de convertidores catalíticos mediante ciclo ASM en vehículos con motores de encendido provocado (tesis de maestría). Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador.

INEN, (2000) NTE INEN 2203:2000. Gestión Ambiental. Aire. Quito: INEN.