

Universidad Internacional del Ecuador



Escuela de Ingeniería Mecánica Automotriz

Trabajo de Integración Curricular
Artículo Investigación para la obtención del Título de Ingeniera en Mecánica
Automotriz

Análisis del contenido de azufre en la gasolina ecuatoriana y su incidencia en las
emisiones contaminantes.

Stephano Priscilo Orellana Romazzo

Director: Msc. Denny J. Guanuche L.

Quito, noviembre 2021

CERTIFICACIÓN

Por medio del presente certificado doy a conocer que el artículo presentado es la autoría de Stephano Priscilo Orellana Romazzo declaro bajo juramento que el trabajo presentado aquí es de mi propiedad intelectual, este documento no ha sido presentado anteriormente en ningún grado o certificado profesional y que sea consultado la bibliografía detallada.



Stephano Priscilo Orellana Romazzo
C.I. 070415484-8

Yo, Ing. Denny Guanuche, certifico que conozco al autor de la presente investigación siendo el responsable exclusivo tanto de su originalidad y de su autenticidad, como de su contenido.



Firma del Director de trabajo de grado
Denny Javier Guanuche
C.I. 171588245-0

DEDICATORIA

El presente trabajo de investigación se lo dedico a mis padres quienes me han dado los consejos, la guía y la sabiduría para seguir adelante con mis objetivos de vida, quienes con su trabajo, esfuerzo y sacrificio me han traído hasta donde estoy, mas que todo dedicarles este trabajo de investigación porque sin ellos no fuera la persona que soy hoy en día.

A mi abuela que me ha apoyado durante todo este tiempo durante mi carrera universitaria con sus consejos y su sabiduría.

A mi hermano quien me dio el gusto por los vehículos automotrices y siempre otorgarme de conocimientos prácticos que desconocía los cuales entre libros no se aprende.

A mi novia y su familia quienes siempre me aconsejaron para bien durante toda mi carrera y siempre me abrieron las puertas de su hogar como uno mas de su familia cuando yo estuve a kilómetros de distancia de mis padres y hermanos.

AGRADECIMIENTO

Agradezco a mi padre Washington Orellana quien me ha dado su apoyo para cumplir esta meta en mi vida, quien, aunque estrictamente, me ha guiado a lo largo de estos años, le agradezco por todos sus consejos a lo largo de los años y porque sin su empuje inicial no hubiera puesto en marcha mi carrera universitaria.

A mi madre Priscilla Romazzo quien siempre ha estado pendiente de mí, día y noche cuidándome a lo lejos, aconsejándome, guiándome cuando había momento en los que quise rendirme cuando las cosas se ponían duras.

A mi hermano Ricardo Orellana en quien siempre pude contar cuando lo he necesitado durante cualquier complicación en mi carrera.

A mi novia Estefania Cupacam quien siempre me ha puesto los pies sobre la tierra aconsejándome, creando un mejor hombre, mejor persona y profesional de mi.

A mi tutor Denny Guanuche y a mis profesores a lo largo de mis años de estudio quienes me han dado las herramientas y conocimientos de un Ingeniero Automotriz.

A mis compañeros y amigos Isaac Moreno, David Del Castillo y Kevin Carrillo con los que siempre pude contar en todo durante la carrera cuando me existía alguna dificultad.

INDICE DE CONTENIDO

	Pag
DEDICATORIA	iv
AGRADECIMIENTO	v
RESUMEN	1
ABSTRACT	1
1. INTRODUCCION	2
2. FUNDAMENTO TEORICO	2
2.1. Combustible del país	2
2.2. Gases emitidos por el MCI	3
2.2.1. Monóxido de carbono (CO)	3
2.2.2. Dióxido de carbono (CO₂)	3
2.2.3. Hidrocarburos no combustionados (HC)	3
2.2.4. Óxidos de nitrógeno (NO_x)	4
2.2.5. Oxido de azufre (SO_x)	4
2.3. Sistema catalítico del vehículo	4
2.4. Afectación por absorción del azufre	4
2.4.1. Efectos a corto plazo del azufre sobre el catalizador	5
2.4.2. Efectos a largo plazo del azufre sobre el catalizador	5
2.4.3. Efectos irreversibles del azufre sobre el catalizador	6
2.4.4. Efectos del azufre combinados a corto plazo, a largo plazo e irreversible	6
3. Materiales y métodos	6
3.1. Materiales	6
3.2. Metodología	7
3.2.1. Obtención de la cantidad de azufre real por medio de dispersión de energía por espectrometría de rayos x	7
3.2.2. Comprobación cualitativa de datos mediante espectrofotometría de transmitancia	7
3.2.3. Pruebas de emisiones para los combustibles de Quito y Lago Agrio	8
3.2.4. Calculo del efecto del azufre en las emisiones contaminantes basado en el algoritmo del software MOVES (Motor Vehicle Emission Simulator)	8
3.2.4.1. Afectación del azufre a corto plazo	9
3.2.4.2. Afectación del azufre a largo plazo	10

3.2.4.3. Afectación del azufre en un caso irreversible	10
3.2.4.4. Determinación de los valores porcentuales totales de la afectación del azufre 11	11
4. Resultados y discusión.....	12
4.1. Obtención de la huella de carbono para cada escenario analizado	12
5. Conclusiones	14
6. Referencias	14
ANEXOS.....	16
ANEXOS FUNDAMENTACION TEORICA	16
ANEXOS MATERIALES Y METODOS.....	32
PRUEBAS DE GASES PARA NISSAN ALMERA	43
ANOVA.....	82
ANEXOS RESULTADOS Y DISCUSION	92

Índice de ilustraciones

	Pag
Ilustración 1: Muestras de combustibles	6
Ilustración 2: Envases de recolección de muestras.....	6
Ilustración 3: Analizador Bosch FSA 740	6
Ilustración 4: Espectrometría de rayos X.....	7
Ilustración 5: Absorbancia del azufre Quito	7
Ilustración 6: Absorbancia del azufre Lago Agrio	8

Índice de Ecuaciones

	Pag
Ecuación 1	5
Ecuación 2	5
Ecuación 3	5
Ecuación 4	5
Ecuación 5	5
Ecuación 6	5
Ecuación 7	6
Ecuación 8	6
Ecuación 9.....	13

Índice de Tablas

Pag

Tabla 1: Afectación a corto plazo Ralenti Lago agrio	9
Tabla 2: Afectación a corto plazo Ralenti Quito	9
Tabla 3: Afectación a corto plazo Velocidad alto de motor Lago Agrio	9
Tabla 4: Afectación a corto plazo altas revoluciones Quito	10
Tabla 5: Afectación a largo plazo ralenti Lago Agrio	10
Tabla 6: Afectación a largo plazo ralenti Quito	10
Tabla 7: Afectación a largo plazo altas revoluciones Lago Agrio	10
Tabla 8: Afectación a largo plazo altas revoluciones Quito	10
Tabla 9: Afectación Irreversible Ralenti	10
Tabla 10: Afectación irreversible altas revoluciones.....	11
Tabla 11: Porcentajes de afectación Tier 0 en Ralenti	11
Tabla 12: Porcentajes de afectación Tier 1 en ralenti	11
Tabla 13: Porcentajes de afectación Tier 0 Altas revoluciones.....	11
Tabla 14: Porcentajes de afectación Tier 1 Altas revoluciones.....	12
Tabla 15: Comparativa de HC total en ralenti	12
Tabla 16: Comparativa de CO total en Ralenti	12
Tabla 17: Comparacion de HC en altas revoluciones	12
Tabla 18: Comparacion de CO en altas revoluciones	12
Tabla 19: Resultados de CO para la huella de carbono.....	13
Tabla 20: Resultados de HC para la huella de carbono.....	13
Tabla 21: Resultados de CO2 para la huella de carbono.....	13
Tabla 22: CO2 para la huella de carbono a 10000 km.....	13

Análisis del contenido de azufre en la gasolina ecuatoriana y su incidencia en las emisiones contaminantes.

Ing. Denny Guanuche¹, Stephano Orellana²

¹Ingeniería automotriz – Universidad internacional del Ecuador, eguanuchela@uide.edu.ec

²Ingeniería automotriz – Universidad internacional del Ecuador, storellanaro@uide.edu.ec

RESUMEN

Introducción: La desulfuración del combustible es uno de los asuntos menos tomados en cuenta en Ecuador causando una contaminación ambiental elevada de parte del sector automotriz ecuatoriano.

Metodología: Para determinar el contenido de azufre se llevo a cabo un análisis de espectrometría de rayos X en la gasolina de dos regiones de Ecuador, así realizar una comparación por medio de pruebas de gases y simulaciones sobre el contenido de azufre de Estados Unidos y la normativa NTE INEN 935.

Resultados: El análisis del contenido de azufre de las regiones selectas en Ecuador muestran resultados inesperados en comparación a lo estipulado por la normativa vigente NTE INEN 935 así como variaciones en las emisiones contaminantes al comparar con el combustible estadounidense, se demuestra un incremento en los polutantes como HC, CO y CO₂ emitidos por el MCI en comparación a un combustible con menor contenido de azufre. **Conclusiones:** El estudio demuestra la importancia de la desulfuración del combustible para así reducir la contaminación ambiental ya que según la percepción social no existe ninguna variación en las emisiones contaminantes obtenidas en diferentes regiones del país, así como un pequeño porcentaje de variación del azufre en el combustible de diferentes regiones puede generar una mayor contaminación a largo plazo entre las dos regiones.

Palabras clave: Azufre, Gasolina, Emisiones, Ecuador, Afectación.

ABSTRACT

Introduction: Fuel desulfurization is one of the least taken into account issues in Ecuador causing high environmental pollution on the part of the Ecuadorian automotive sector. **Methodology:** To determine the sulfur content, an X-ray spectrometry analysis was carried out on gasoline from two regions of Ecuador, in order to make a comparison by means of gas tests and simulations on the sulfur content of the United States and the NTE INEN 935 standard. **Results:** The analysis of the sulfur content of the selected regions in Ecuador show unexpected results compared to what is stipulated by the current regulation NTE INEN 935 as well as variations in pollutant emissions when compared to the U.S. fuel, it shows an increase in pollutants such as HC, CO and CO₂ emitted by the MCI compared to a fuel with lower sulfur content. **Conclusions:** The study demonstrates the importance of fuel desulfurization to thus reduce environmental pollution since according to social perception there is no variation in pollutant emissions obtained in different regions of the country, as well as a small percentage variation of sulfur in fuel from different regions can generate higher pollution in the long term between the two regions.

Key words: Sulfur, Gasoline, Emissions, Ecuador, Affectation

1. INTRODUCCION

En Ecuador una de las cuestiones ambientales sin tomar en cuenta en el transcurso de los años ha sido la calidad del combustible que se distribuye por las diferentes regiones de este país, el combustible distribuido actualmente no cuenta con las normas internacionales como para ser apto en el uso de los motores actuales, aunque cumple con las normativas locales, el combustible de Ecuador tiene una gran cantidad de azufre en comparación a otros países como son Estados Unidos el cual ha reducido el contenido de azufre del combustible a 10 PPM mientras que Ecuador donde se dicta que el combustible debe tener un máximo de 650 PPM de azufre, esto equivale a estar entre una normativa Tier 0 o Tier 1 [1].

Este exceso de contenido de azufre conlleva a algunos problemas ambientales generados por la combustión del MCI ya que teóricamente la combustión debería ser completa pero esto no sucede en la práctica en donde la combustión es incompleta y se generan gases como son el monóxido de carbono en mayor cantidad el cual es un gas nocivo para la salud del ser humano, esto se incrementa aún más por el exceso de azufre en la combustión, al combustionar el azufre este se transforma en óxido de azufre el cual tiende a obstaculizar el catalizado por lo tanto este deja de cumplir su función el cual es disminuir la cantidad de gases nocivos que emite el MCI. Por lo tanto, en el presente artículo se realizará una comparación del combustible estadounidense y el combustible ecuatoriano por medio de simulaciones y pruebas realizadas en laboratorio para determinar la cantidad exacta de azufre en el combustible de Ecuador.

Dentro del análisis se realizarán pruebas de dispersión de energía por espectrometría de fluorescencia de rayos X según la norma ASTM D4294 [2] para determinar la cantidad exacta de azufre en el combustible de las regiones Sierra y Oriente seguido de un análisis de gases para determinar la variación de gases de escape

presente con las dos muestras, los gases a analizar principalmente serán los Hidrocarburos no combustionados (HC) así como el monóxido de carbono (CO), esta prueba de gases de escape se realizará basándose en la normativa NTE INEN 2203 [3] donde se usará un vehículo con motor 1.6 litros, un estándar de cilindrada presente en el país ya que la mayoría de automóviles son equipados con un motor de este rango.

Para la comparación se usará una simulación computarizada usando parte de un algoritmo del software MOVES (Motor Vehicle Emission Simulator), este software mide la afectación del azufre a corto y largo plazo, así como en una situación irreversible para el sistema catalítico, los valores que entregará son porcentuales los cuales serán comparados con las mediciones obtenidas en la prueba de gases de escape ya mencionada.

A partir de los resultados obtenidos en las pruebas de gases de escape y en la simulación computarizada se podrá evaluar la diferencia que existe entre el combustible de Ecuador y Estados Unidos, así como el porcentaje de contaminación que se genera a causa del incremento de azufre que dicta la norma y el azufre existente real en el combustible, todo esto con el propósito de generar conciencia para una mejora del combustible ecuatoriano.

2. FUNDAMENTO TEORICO

2.1. Combustible del país

El combustible de Ecuador a lo largo de los años se ha preferido la cantidad a la calidad al existir precios bajos subsidiados, hoy en día tal subsidio se dejó de otorgar, gracias a esta medida los combustibles han comenzado a subir de precio [4] todo esto sin un incremento en su calidad, según la normativa NTE INEN 935 la cual establece que el combustible de 85 octanos (Extra – Ecopaís) debe tener un porcentaje máximo de fracción de masa de 0,065 esto es 650

ppm para el azufre que se encuentra en el combustible ecuatoriano [5] esto es una cantidad exuberante en comparación al combustible estadounidense en donde la EPA en la normativa Tier 3 dicta que este debe tener entre 10 ppm hasta máximo 85 ppm. [6]

La cantidad de azufre que dicta la normativa NTE INEN 935 se puede mejorar por medio de procesos de desulfuración y disminuir los límites máximos de azufre para así aminorar la contaminación producida por los MCI y llegar a un combustible que justifique el precio actual.

2.2. Gases emitidos por el MCI

Se ha demostrado que el contenido de azufre afecta al sistema catalítico de emisiones contaminantes del vehículo, el azufre al ser combustionado en la cámara de combustión se transforma en óxido de azufre el cual se adhiere a las paredes de los metales preciosos utilizados en el sistema, esto causa que aminore la eficiencia del sistema catalítico y causa de efectos adversos como, un incremento en los gases de escape, parte de estos gases son nocivos para el ser humano y el medio ambiente, por lo tanto una mayor cantidad de azufre en el combustible comprometerá el funcionamiento adecuado del sistema catalítico. [7]

Los gases emitidos por un MCI y los mismos que se incrementarían por una ineficiencia del sistema catalítico sería el monóxido de carbono (CO), Dióxido de carbono (CO₂), Hidrocarburos no combustionados (HC), Óxidos de nitrógeno (NO_x).

2.2.1. Monóxido de carbono (CO)

Este es un gas inoloro e incoloro el cual es tóxico para el ser humano, teniendo estas características usualmente pasa desapercibido por el ser humano, con fórmula química CO en donde existe la unión de un átomo de oxígeno (O) junto a un átomo de carbono (C) en una unión covalente.

Este gas se genera por una combustión incompleta de los MCI, al no tener suficiente oxígeno este no logra transformarse en dióxido de carbono, así como también puede suceder al no tener el suficiente tiempo para la oxidación suficiente a causa de altas revoluciones del MCI. La inhalación de este gas puede causar dolores de cabeza, náuseas, así como una exposición prolongada puede causar hasta la muerte. [8]

2.2.2. Dióxido de carbono (CO₂)

Este es un gas incoloro, denso y poco reactivo el cual forma parte de la composición de la troposfera en una proporción de 350 ppm, aunque no es dañino para el ser humano, es un gas de efecto invernadero por lo tanto debe ser regulado ya que según análisis hechos en Groenlandia, el dióxido de carbono está relacionado por el cambio de temperatura en nuestro planeta, en menor cantidad de este gas se ha detectado menores temperaturas así mismo cuando existe una mayor cantidad de este gas se han detectado temperaturas más elevadas. [9] El dióxido de carbono es producto normal de la combustión completa de un MCI, cuando el monóxido de carbono completa su proceso de oxidación.

2.2.3. Hidrocarburos no combustionados (HC)

Los hidrocarburos no combustionados o no quemados representan el combustible que no logra combustionar, en una combustión completa esta no sucedería, pero en la práctica un MCI siempre produce una combustión incompleta por ende el combustible no llega a quemarse en su totalidad produciendo HC y así expulsando estos por el escape, estos se miden en partes por millón (ppm).

2.2.4. Óxidos de nitrógeno (NOx)

Estos son gases compuestos de nitrógeno y oxígeno, estos gases no son inflamables, pero sí son perjudiciales para la salud, son gases inodoros e incoloros a temperatura ambiente.

Estos gases se producen a partir de las altas temperaturas del MCI, siendo el monóxido de nitrógeno y el dióxido de nitrógeno los más tóxicos para la salud. En pequeñas cantidades los óxidos de nitrógeno se pueden evaporar desde el agua, pero a mayores cantidades al reaccionar con el agua se produce ácido nítrico. [10, 2]

2.2.5. Óxido de azufre (SOx)

Los óxidos de azufre son un grupo de gases compuestos por trióxido de azufre y dióxido de azufre, estos son inodoros y no inflamables, tienen un olor fuerte e irritante. Al estar expuestos a la atmósfera su vida es corta de entre unos 2 a 4 días y casi la mitad de estos se deposita en la superficie el restante se transforma en iones de sulfato, se genera una solución ácida al ser soluble en agua.

En la combustión el azufre se transforma en trióxidos de azufre el cual se puede transformar en ácido sulfúrico, al mezclarse de manera rápida con el agua este puede generar una reacción violenta. [11]

2.3. Sistema catalítico del vehículo

El catalizador básicamente se compone de un contenedor de acero el cual en su interior contiene un monolito hecho de cordierita ($2\text{MgO} \cdot 2\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{SiO}_2$) o de metal, hoy en día los dos tipos de monolitos son usados, aunque la fabricación de monolito metálico tiene sus ventajas al existir una mejor conductividad térmica logra llegar a las temperaturas de funcionamiento más rápido que un monolito de cordierita, aunque es más extenso el uso de monolito de cordierita por su bajo costo de producción.

El monolito es montado en el contenedor metálico con un material resiliente para asegurar la resistencia a las vibraciones, el monolito es sumergido en un baño del catalizador activo que se adhiere a las paredes de este, el exceso de esta capa de catalizador activo es removida con aire caliente para finalizar con la calcinación del monolito y así obtener el catalizador final.

Este baño al que es sometido el monolito está formado de diferentes metales nobles los cuales serán los encargados de que la oxidación y reducción de gases ocurran, metales nobles como el Rodio (Rh), Paladio (Pd) y Platino (Pt).

El Rodio es el metal que se encargará de realizar una reducción del NOx causando una reacción en donde el Nitrógeno se separa del oxígeno para así formar CO₂ por medio de la unión del CO producido por la combustión al Oxígeno del NOx, el nitrógeno restante de esta reducción se transforma en N₂ (Di Nitrógeno).

El Paladio se usan para la fase de oxidación del catalizador en donde como su nombre lo indica, oxida los gases, añadiendo oxígeno a los gases de la combustión, los CO se les añade otro átomo de oxígeno transformándolos en CO₂, así como los HC en donde el carbono de este también pasa a ser CO₂ mientras que el hidrógeno al añadirle dos átomos de oxígeno se transforman en H₂O.

Para que todo este proceso de reducción y oxidación se genere dentro del sistema catalítico este debe estar en una temperatura de entre 250-350 °C, si la temperatura es menor el catalizador no cumplirá con su función de una eficiencia del 95-98% así mismo para una función óptima del sistema, el MCI deberá funcionar en una mezcla estequiométrica. [12]

2.4. Afectación por absorción del azufre

Es conocido que el contenido de azufre en los combustibles afecta el rendimiento de los tratamientos catalíticos sobre las emisiones contaminantes en vehículos ligeros, donde el azufre o su óxido es absorbido por los metales usados en el monolito del catalizador con esto

causa una disminución en la eficiencia sobre la reducción de los gases contaminantes dañinos para el ser humano que genera un incremento de las emisiones contaminantes.

Para cuantificar este incremento existen algoritmos los cuales nos dan un porcentaje de la diferencia en emisiones con diferentes contenidos de azufre, hay diferentes casos en donde el azufre tiene un efecto negativo sobre el catalizador a corto plazo, a largo plazo, así como en un caso donde el efecto es irreversible.

2.4.1. Efectos a corto plazo del azufre sobre el catalizador

Para el cálculo del porcentaje de afectación a corto plazo a causa de la absorción del azufre en las paredes del catalizador se utilizan dos ecuaciones para Tier 0 y dos para Tier 1, una que tiene la función de dar una base de las emisiones designadas utilizando la cantidad de azufre basen la cual es 30 ppm para vehículos Tier 0.

$$C_{\text{short,basis}} = \exp(\beta \ln x_{\text{S,basis}})$$

Ecuación 1

Fuente: [13]

$$C_{\text{short,basis}} = \exp(\gamma x_{\text{S,basis}})$$

Ecuación 2

Fuente: [13]

Mientras que la segunda ecuación es la que calcula la afectación para el contenido de azufre en el combustible a examinar.

$$C_{\text{short,target}} = \exp(\beta \ln x_{\text{S}})$$

Ecuación 3

Fuente: [13]

$$C_{\text{short,target}} = \exp(\gamma x_{\text{S}})$$

Ecuación 4

Fuente: [13]

En donde:

$\beta - \gamma$ es el coeficiente de recesión. [7]

X_{S} es la cantidad de azufre (Para $C_{\text{short, basis}}$ la cantidad de azufre es de 30 ppm)

Para terminar de calcular la afectación del azufre a corto plazo se utiliza una ecuación donde se agrupan los rangos obtenidos de las dos ecuaciones anteriores, esto nos otorga un porcentaje de la afectación. [13]

$$A_{\text{S,short}} = \frac{C_{\text{short,target}} - C_{\text{short,basis}}}{C_{\text{short,basis}}}$$

Ecuación 5

Fuente: [13]

2.4.2. Efectos a largo plazo del azufre sobre el catalizador

Los efectos del azufre en el catalizador se calculan por medio de la multiplicación del porcentaje de afectación a corto plazo para la función de cada gas contaminante [13] cuyos valores son:

HC: 2,50

CO: 2,36

NOx: 1,47

$$A_2 = A_{\text{s,short}} \times A_{\text{s,long}}$$

Ecuación 6

Fuente: [13]

2.4.3. Efectos irreversibles del azufre sobre el catalizador

En la afectación del azufre sobre las emisiones y el sistema catalítico también tenemos efectos irreversibles los cuales son a largo plazo, esto causa un daño irreparable al catalizador independientemente si se comienza a hacer uso de combustible con bajo o alto contenido de azufre.

Este análisis de los efectos irreversibles solo se toma en cuenta si el contenido de azufre es mayor a 30 ppm así mismo para los tres gases ya mencionados en la afectación a largo plazo, los cuales son HC, CO, NOx. [13]

Para esto se usa la siguiente ecuación matemática dada por el algoritmo del simulador MOVES.

$$A_{S,Irr} = \exp(\phi \ln x_{S,cap})$$

Ecuación 7

Fuente: [13]

2.4.4. Efectos del azufre combinados a corto plazo, a largo plazo e irreversible

En los efectos combinados se describe un efecto final y total de la afectación del azufre en donde por medio de una ecuación se adjunta todos los efectos que ya se menciono anteriormente. [13]

$$A_{S,3} = 1.0 + \left[w_{IR} \left(\frac{A_{S,Irr} - C_{short,basis}}{C_{short,basis}} \right) + (1.0 - w_{IR}) A_2 \right]$$

Ecuación 8

Fuente: [13]

3. Materiales y métodos

3.1. Materiales

- 50 ml de gasolina extra (Lago Agrio y Quito)



Ilustración 1: Muestras de combustibles

Fuente: [14]

- 2 gal de gasolina extra (Lago Agrio y Quito)
- Envases de recolección de muestras



Ilustración 2: Envases de recolección de muestras

Fuente: [14]

- Normativa de medición azufre en gasolina ASTM 4294
- Analizador de gases FSA 740



Ilustración 3: Analizador Bosch FSA 740

Fuente: [14]

- Vehículo de prueba (Nissan Almera 1600 cc)
- Envase esterilizado para combustible

- Manguera de combustible
- Algoritmo del Software MOVES-EPA
- Microsoft Office Excel

3.2. Metodología

3.2.1. Obtención de la cantidad de azufre real por medio de dispersión de energía por espectrometría de rayos x

Para el presente documento se realizó una prueba de espectrometría de rayos x para determinar la cantidad exacta de azufre presente en el combustible ecuatoriano.

Esta prueba es tomada de la normativa ASTM D4294 [2], la cual se basa en la excitación de los átomos por medio de rayos x primarios los cuales generan otra radiación secundaria para así detectar cuantitativamente los elementos presentes en la muestra a analizar, en este caso las muestras fueron los combustibles de la región Oriental y región Sierra, el elemento a analizar es el azufre presente en cada muestra, por medio de la radiación secundaria dada se obtiene los elementos que componen la muestras, con la intensidad de tal radiación se puede determinar la cantidad de azufre que contiene el combustible de manera precisa. [15]

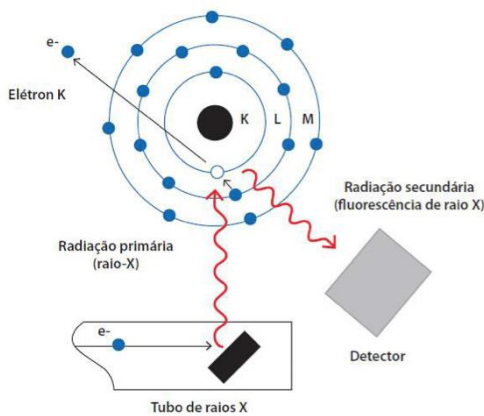


Ilustración 4: Espectrometría de rayos X

Fuente: [15]

En el caso del combustible de Lago Agrio por medio de esta prueba se obtuvo una cantidad de azufre de 337 ppm, así como en el combustible de Quito se obtuvo una cantidad de 365 ppm, se comprueba que cada combustible está dentro de la norma NTE INEN 935. [15]

3.2.2. Comprobación cualitativa de datos mediante espectrofotometría de transmitancia

Para corroborar la prueba realizada con la espectrometría de rayos x se realizó otra prueba mas la cual es una espectrofotometría de transmitancia la cual nos da un espectro visible en donde se muestra una curva de cada elemento encontrado en las muestras, dando una diferencia del espectro en el azufre para las dos muestras de combustibles examinadas, nótese la curva en la longitud de onda de entre 350 a 400 nm.

En la ilustración 5 se muestra la absorbancia para el contenido de azufre del combustible de Quito.

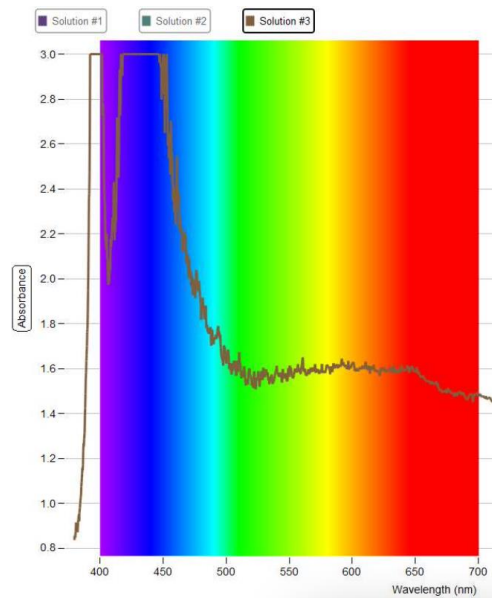


Ilustración 5: Absorbancia del azufre Quito

Fuente: [14]

Se puede observar la diferencia cualitativa del contenido de azufre en comparación con el combustible de Lago Agrio como se observa en la ilustración 6, así corrobora el anterior análisis del contenido de azufre por medio de la espectrometría de rayos x.

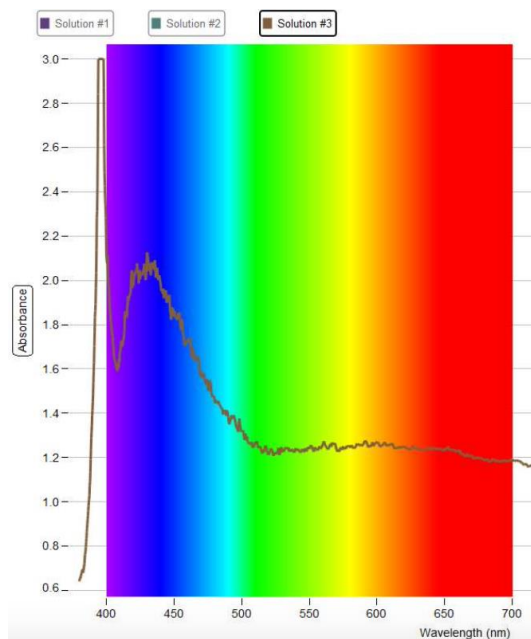


Ilustración 6: Absorbancia del azufre Lago Agrio

Fuente: [14]

3.2.3. Pruebas de emisiones para los combustibles de Quito y Lago Agrio

Para el procedimiento de la prueba de gases de escape se utilizó un vehículo Nissan Almera con un motor de 1600 cc, junto con el procedimiento dictado por la normativa NTE INEN 2203, el cual consta de realizar la prueba con el motor a temperatura de trabajo (90°C) para insertar la sonda en el escape del vehículo. Esta prueba se realizó en dos tipos de situaciones, para ralentí entre 500 RPM a 700 RPM y para circulación en donde la velocidad del motor se fijó a 2500 RPM [3].

Se realizaron 10 pruebas de emisiones para cada combustible (Quito y Lago Agrio) esto para corroborar una variación considerable entre los

dos combustibles mediante un análisis de varianzas (ANOVA), dicho análisis resultó en dar una variación considerable entre los dos combustibles, lo que demuestra que entre las dos muestras de combustibles existe una diferencia de emisiones contaminantes dentro del país entre las dos regiones analizadas en este documento.

3.2.4. Cálculo del efecto del azufre en las emisiones contaminantes basado en el algoritmo del software MOVES (Motor Vehicle Emission Simulator)

La comparativa de la afectación del azufre se realizó por medio del algoritmo un software usado por la EPA el cual calcula por medio del contenido de azufre el efecto en las emisiones contaminantes en un MCI en tres situaciones donde se ve afectado el sistema catalítico, estas situaciones son a corto plazo, a largo plazo y en un escenario irreversible cuando el sistema catalítico se ve dañado por el óxido de azufre.

Este algoritmo otorga valores porcentuales de la afectación causada por el óxido de azufre el cual absorbe el sistema catalítico.

Se utilizó el software Microsoft Excel para el uso del algoritmo y los cálculos en donde se comparan los diferentes efectos del azufre con los rangos de azufre dictados por la EPA y las normativas ecuatorianas (NTE INEN 935) las cuales especifican un contenido de azufre de 30 y 650 ppm respectivamente.

Estos cálculos se hicieron para vehículos Tier 0 y Tier 1 ya que el contenido de azufre de las muestras examinadas es de 337 ppm para Lago Agrio y 365 ppm para Quito, según el software MOVES de la EPA especifica que los valores para vehículos Tier 0 y Tier 1 es de un rango de entre 30 ppm a 600 ppm de azufre [7] por lo tanto el contenido de azufre analizado en las muestras entra en estas categorías.

3.2.4.1. Afectación del azufre a corto plazo.

Para el análisis porcentual de la afectación del azufre a corto plazo en el combustible de Lago Agrio se obtuvieron los siguientes resultados para la simulación en ralentí.

Tabla 1: Afectación a corto plazo Ralenti Lago agrio

TIER 0		TIER 1	
HC tar	2,43089878	HC tar	2,26201287
HC bas	1,68049895	HC bas	1,07649458
% cambio	44,65%	% cambio	110,13%
HC As Short	0,44653395	HC As Short	1,10127661
CO tar	3,03685071	CO tar	1,78715861
CO bas	1,91391816	CO bas	1,0537761
% cambio	58,67%	% cambio	69,60%
CO As Short	0,58671921	CO As Short	0,69595667
NOx tar	1,12888715	NOx tar	1,23450963
NOx bas	1,07341692	NOx bas	1,01919286
% cambio	5,17%	% cambio	21,13%
NOx As Short	0,05167632	NOx As Short	0,21126205

Fuente: [14]

Estos datos son una comparativa de la afectación del azufre con una base de 30 ppm llegando hasta los 337 ppm de la muestra de Lago Agrio.

Se observan los valores porcentuales de la afectación a corto plazo de los HC, CO y NOx. Así mismo para el combustible de Quito se obtuvieron diferentes valores con una mayor afectación a corto plazo en situación de ralentí.

Tabla 2: Afectación a corto plazo Ralenti Quito

TIER 0		TIER 1	
HC tar	2,46069132	HC tar	2,30908058
HC bas	1,68049895	HC bas	1,07649458
% cambio	46,43%	% cambio	114,50%
HC As Short	0,46426233	HC As Short	1,14499973
CO tar	3,08346637	CO tar	1,8176031
CO bas	1,91391816	CO bas	1,0537761
% cambio	61,11%	% cambio	72,48%
CO As Short	0,61107535	CO As Short	0,72484752
NOx tar	1,13076553	NOx tar	1,24180085
NOx bas	1,07341692	NOx bas	1,01919286
% cambio	5,34%	% cambio	21,84%
NOx As Short	0,05342622	NOx As Short	0,21841596

Fuente: [14]

Se observa que en los dos casos en ralentí existe un incremento de casi 50% para HC en Tier 0

comparado con un combustible con contenido de azufre de 30 ppm y un incremento del 61% para el CO.

Para Tier 1 el incremento de HC es de un 110% y para CO es de casi un 70%.

Para una velocidad alta del motor (2500 RPM) un uso en movimiento del vehículo se obtuvieron los siguientes datos para la muestra de Lago Agrio como se observa en la tabla 3.

Tabla 3: Afectación a corto plazo Velocidad alto de motor Lago Agrio

TIER 0		TIER 1	
HC tar	1,42837621	HC tar	1,30704432
HC bas	1,23165322	HC bas	1,02445319
% cambio	15,97%	% cambio	27,58%
HC As Short	0,1597227	HC As Short	0,27584581
CO tar	1,55596122	CO tar	1,23291676
CO bas	1,29479833	CO bas	1,01906445
% cambio	20,17%	% cambio	20,99%
CO As Short	0,20170159	CO As Short	0,20985161
NOx tar	1,19612116	NOx tar	1,11159889
NOx bas	1,11032731	NOx bas	1,00958868
% cambio	7,73%	% cambio	10,10%
NOx As Short	0,07726897	NOx As Short	0,10104135

Fuente: [14]

Para la muestra de Quito se observa que el incremento de emisiones se mantiene a velocidades altas del motor con un porcentaje de un 16,54% para HC en Tier 0 y 28,57% para Tier 1 existiendo una diferencia para HC de 0,57% entre las dos muestras para Tier 0 y de un 1% para Tier 1.

Para el CO existe una diferencia del 0,73% para Tier 0 y 0,76% para Tier 1.

Tabla 4: Afectación a corto plazo altas revoluciones Quito

TIER 0		TIER 1	
HC tar	1,43537726	HC tar	1,31710128
HC bas	1,23165322	HC bas	1,02445319
% cambio	16,54%	% cambio	28,57%
HC As Short	0,16540697	HC As Short	0,28566272
CO tar	1,5654232	CO tar	1,24066468
CO bas	1,29479833	CO bas	1,01906445
% cambio	20,90%	% cambio	21,75%
CO As Short	0,20900928	CO As Short	0,21745458
NOx tar	1,19906231	NOx tar	1,11509596
NOx bas	1,11032731	NOx bas	1,00958868
% cambio	7,99%	% cambio	10,45%
NOx As Short	0,07991788	NOx As Short	0,10450521

Fuente: [14]

3.2.4.2. Afectación del azufre a largo plazo

Con la obtención de la afectación a corto plazo se pudo calcular la afectación a largo plazo por medio del coeficiente dado por el algoritmo MOVES.

Para Lago Agrio en ralentí nos dio los siguientes resultados como podemos observar en la tabla 5.

Tabla 5: Afectación a largo plazo ralenti Lago Agrio

TIER 0		TIER 1	
As+H HC	1,11633486	As+H HC	2,75319152
As+H CO	1,38465734	As+H CO	1,64245774
As+H Nox	0,07596419	As+H Nox	0,31055521

Fuente: [14]

Para Quito se puede observar un incremento en la afectación a largo plazo como se observa en la tabla 6.

Tabla 6: Afectación a largo plazo ralenti Quito

TIER 0		TIER 1	
As+H HC	1,16065584	As+H HC	2,86249933
As+H CO	1,44213783	As+H CO	1,71064015
As+H Nox	0,07853655	As+H Nox	0,32107146

Fuente: [14]

Los siguientes datos mostrados en la tabla 7 son en altas revoluciones del motor para Lago Agrio

Tabla 7: Afectación a largo plazo altas revoluciones Lago Agrio

TIER 0		TIER 1	
As+H HC	0,39930676	As+H HC	0,68961454
As+H CO	0,47601576	As+H CO	0,4952498
As+H Nox	0,11358539	As+H Nox	0,14853079

Fuente: [14]

Y para Quito también podemos observar un incremento de la afectación a largo plazo, así como se observa en la tabla 8.

Tabla 8: Afectación a largo plazo altas revoluciones Quito

TIER 0		TIER 1	
As+H HC	0,41351744	As+H HC	0,71415679
As+H CO	0,49326191	As+H CO	0,5131928
As+H Nox	0,11747928	As+H Nox	0,15362267

Fuente: [14]

3.2.4.3. Afectación del azufre en un caso irreversible

En el caso de la afectación del azufre en una situación irreversible se utilizó el caso de la normativa NTE INEN 935 [5] en donde especifica que el contenido de azufre para Ecuador debe ser de 650 ppm ya que es un límite máximo tomado en cuenta para este documento, así como el contenido de azufre de la EPA (30 ppm) es la base.

Los siguientes cálculos de la tabla 9 son hechos en un estado de ralentí.

Tabla 9: Afectación Irreversible Ralenti

TIER 0		TIER 1	
HC tar	2,68724236	HC tar	2,66699698
HC bas	1,68049895	HC bas	1,07649458
% cambio	59,91%	% cambio	147,75%
HC As Irr	0,59907411	HC As Irr	1,47748297
CO tar	3,44248965	CO tar	2,05207968
CO bas	1,91391816	CO bas	1,0537761
% cambio	79,87%	% cambio	94,74%
CO As Irr	0,79866084	CO As Irr	0,94735834
NOx tar	1,14443989	NOx tar	1,29488009
NOx bas	1,07341692	NOx bas	1,01919286
% cambio	6,62%	% cambio	27,05%
NOx As Irr	0,06616531	NOx As Irr	0,27049565

Fuente: [14]

Se observa el porcentaje de cambio entre las 30 ppm y las 650 ppm para los gases HC, CO, NOx. Los siguientes cálculos mostrados en la tabla 10 son hechos usando el coeficiente de regresión específico para un vehículo en movimiento.

Tabla 10: Afectación irreversible altas revoluciones

TIER 0		TIER 1	
HC tar	1,48702775	HC tar	1,39129682
HC bas	1,23165322	HC bas	1,02445319
% cambio	20,73%	% cambio	35,81%
HC As Short	0,20734288	HC As Short	0,35808726
CO tar	1,63556911	CO tar	1,29810341
CO bas	1,29479833	CO bas	1,01906445
% cambio	26,32%	% cambio	27,38%
CO As Short	0,26318444	CO As Short	0,27381875
NOx tar	1,22054373	NOx tar	1,1406377
NOx bas	1,11032731	NOx bas	1,00958868
% cambio	9,93%	% cambio	12,98%
NOx As Short	0,0992648	NOx As Short	0,12980437

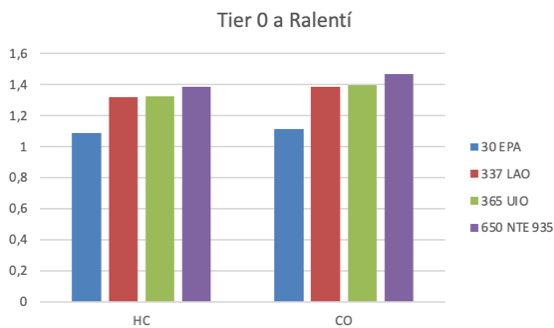
Fuente: [14]

3.2.4.4. Determinación de los valores porcentuales totales de la afectación del azufre

Los valores porcentuales totales de la afectación son una combinación de todos los datos anteriores para así obtener un resultado general de cuanto efecto tiene el contenido de azufre en su totalidad para cada polutante.

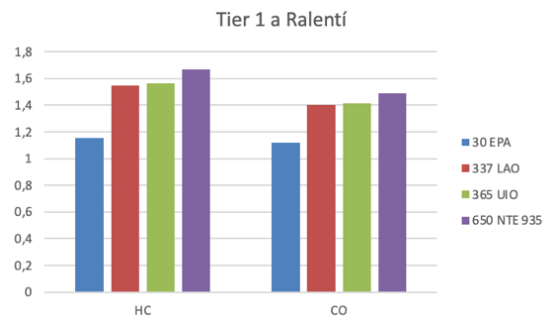
Los siguientes datos calculados en la tabla 11 y 12 son para ralentí.

Tabla 11: Porcentajes de afectación Tier 0 en Ralentí



Fuente: [14]

Tabla 12: Porcentajes de afectación Tier 1 en ralentí



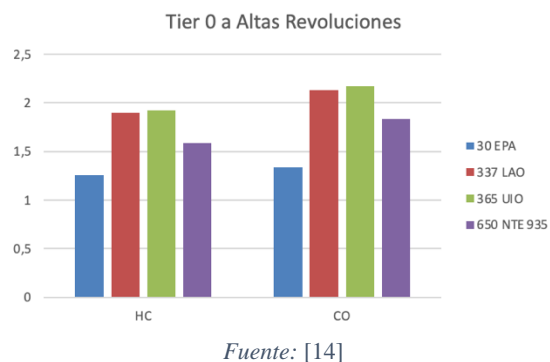
Fuente: [14]

Se observa en las tablas 11 y 12, la comparación de polutantes entre los diferentes niveles de azufre, son considerables siendo mas notables entre los dos puntos base y máximos que son la EPA y la NTE INEN 935, mientras que entre los combustibles de Lago Agrio y Quito la contaminación varia en un aspecto muy reducido.

Para alto giro del motor se encuentra un caso muy similar donde los polutantes son mayores mientras el azufre aumenta como se observa en las tablas 13 y 14.

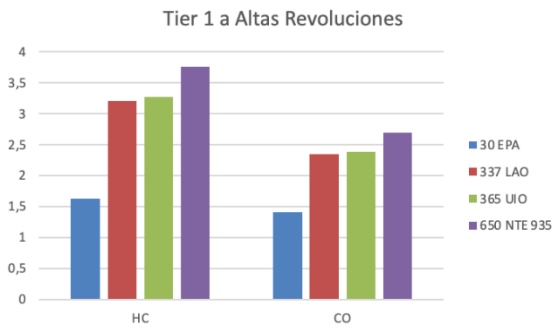
Cabe recalcar que estos datos son cálculos del algoritmo MOVES donde no se ha tomado en cuenta las pruebas reales de emisiones de los combustibles de Ecuador.

Tabla 13: Porcentajes de afectación Tier 0 Altas revoluciones



Fuente: [14]

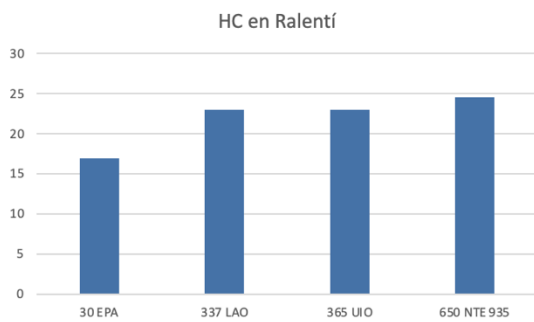
Tabla 14: Porcentajes de afectación Tier 1 Altas revoluciones



Fuente: [14]

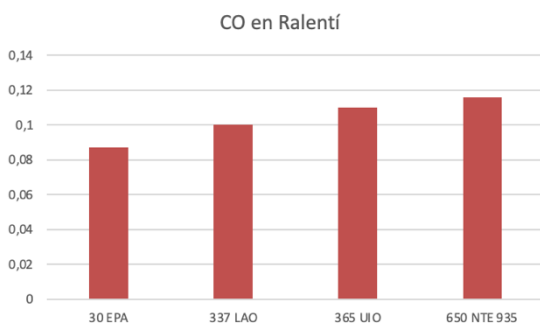
En los siguientes datos de las tablas 15 y 16 podemos observar la comparativa de HC y CO en un estado de ralentí para una relación de la simulación del combustible de la EPA y NTE INEN 935 junto a los datos reales de las muestras de Lago Agrio y Quito.

Tabla 15: Comparativa de HC total en ralentí



Fuente: [14]

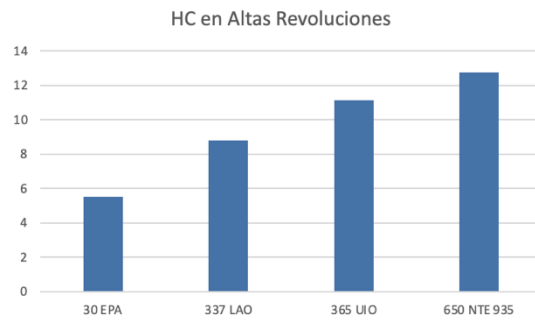
Tabla 16: Comparativa de CO total en Ralentí



Fuente: [14]

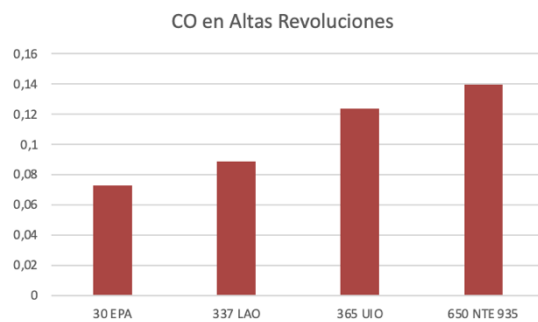
En las tablas 15 y 16 se puede apreciar un incremento entre los diferentes contenidos de azufre, esto comprueba que a mayor contenido de azufre va a existir mayor daño catalítico por lo tanto existe un mayor porcentaje de emisiones gracias a este contenido de azufre elevado. Para un estado de altas revoluciones se observa un incremento incluso mayor en los HC y CO.

Tabla 17: Comparacion de HC en altas revoluciones



Fuente: [14]

Tabla 18: Comparacion de CO en altas revoluciones



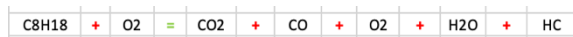
Fuente: [14]

4. Resultados y discusión

4.1. Obtención de la huella de carbono para cada escenario analizado

Con los datos ya analizados se calculo la huella de carbono causada por estos polutantes en los diferentes escenarios y contenidos de azufre. Para este método se utilizo la ecuación de combustión en conjunto del consumo especificado por el fabricante del vehículo Nissan Almera 1600cc.

En donde la ecuación de combustión nos da resultados precisos de las emisiones generadas por la combustión incompleta (HC, CO, CO₂) según el combustible usado, en nuestro caso es C₈H₁₈, gasolina.



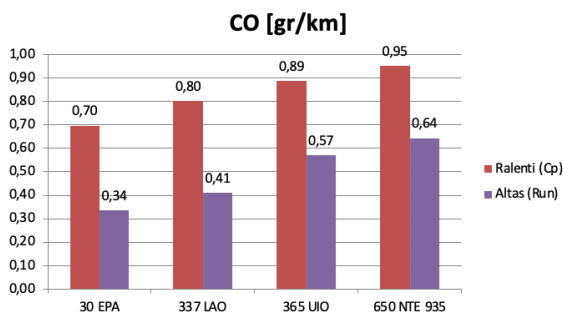
Ecuación 9

Fuente: [14]

Con el resultado obtenido para cada polutante se obtuvo una huella de carbono generada por el consumo en ralentí y en movimiento del vehículo al cual se le realizaron las pruebas de emisiones contaminantes.

Esta huella de carbono genero los siguientes resultados para el CO, CO₂ y HC como se observa en las tablas 19, 20, 21.

Tabla 19: Resultados de CO para la huella de carbono

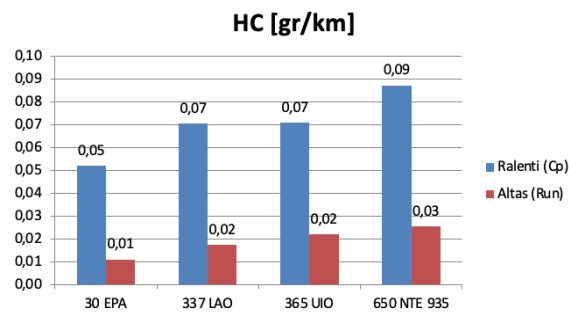


Fuente: [14]

En el monóxido de carbono se observa como existe un incremento substancial entre la base y el máximo contenido de azufre analizado, este incremento es mayor en ralentí ya que a altas revoluciones del motor la emisión de CO disminuye.

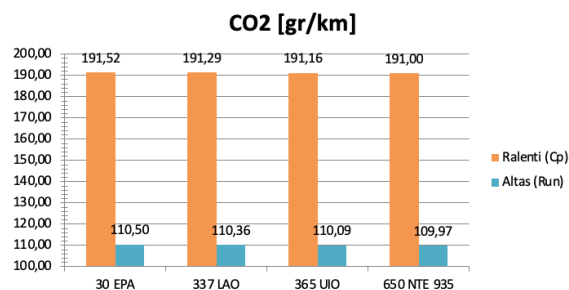
Para los hidrocarburos no combustionados se observa un incremento mientras existe un incremento de azufre, esto se da por la absorción del oxido de azufre en el catalizador producto de que no pueda oxidar el combustible sobrante.

Tabla 20: Resultados de HC para la huella de carbono



Fuente: [14]

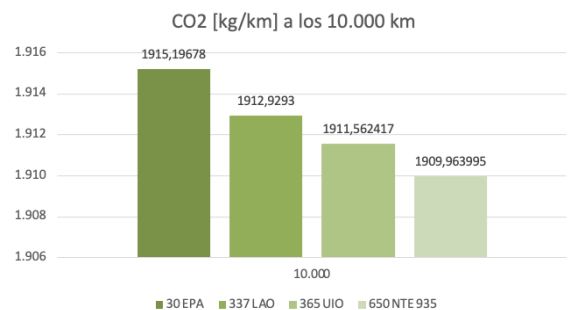
Tabla 21: Resultados de CO₂ para la huella de carbono



Fuente: [14]

En los resultados del dióxido de carbono como se esperaba se observa un incremento de este en cada combustible con menos contenido de azufre, un incremento poco perceptible en bajos kilómetros, pero a grandes kilómetros se observa de manera mas notoria, como muestra la siguiente tabla en donde se demostró en un escenario mas real la emanación de CO₂ en 10000 km.

Tabla 22: CO₂ para la huella de carbono a 10000 km



Fuente: [14]

5. Conclusiones

Con el estudio realizado de la afectación del azufre sobre las emisiones contaminantes se ha determinado por medio de la normativa ASTM D4294 al realizar el análisis de las muestras de Lago Agrio y Quito que el combustible distribuido en las dos regiones difiere en 28 ppm un dato que no es perceptible socialmente, pero a nivel micro se ha demostrado que esa diferencia causa el aumento de emisiones contaminantes en la ciudad de Quito en un 28% para el CO cuyo daño para el ser humano es mayor al de los otros dos polutantes, siendo estos el CO₂ y el HC.

Dichas muestras analizadas demostraron que existe una diferencia considerable entre lo estipulado por la normativa NTE INEN 935 y el combustible actual distribuido en el país con una diferencia del contenido de azufre de un 44%, esto demuestra que existe un margen de seguir con una mejora en el combustible del país por medio de la exigencia de mejorar la normativa NTE INEN 935 ya que los valores estipulados por esta están en un rango muy lejano al real en donde existe una oportunidad de mejora para la desulfuración del combustible en Ecuador ya que aunque existe un 44% de mejora todavía se esta muy atrás de países como Estados Unidos en donde el combustible tiene 30 ppm de azufre, esto es una diferencia del 92% entre el combustible de Ecuador y el combustible de Estados Unidos en donde las emisiones son estrictamente reguladas.

Con los resultados de la huella de carbono se llevo a determinar que existe un aumento en las emisiones contaminantes de un 23% para HC y un 19% para el CO si comparamos los contenidos de azufre de la gasolina de Lago Agrio y lo estipulado por la normativa NTE INEN 935, tomando en cuenta que estos dos contenidos de azufre son los máximos y mínimos dentro del país siendo la gasolina de Lago Agrio con menor particulado de azufre.

Si se adoptara en Quito un contenido de azufre como el estipulado por la EPA el cual es de 30 ppm se reducirían las emisiones de HC y de CO en un 23% y un 13% respectivamente, así se evidencia la importancia de la desulfuración del combustible utilizado en el país para lograr una reducción de las emisiones contaminantes producidas por el sector automotriz.

6. Referencias

- [Office of Transportation and Air Quality, 1 «United States Environmental
] Protection Agency,» Marzo 2016. [En línea]. Available: <https://nepis.epa.gov/Exe/ZyPDF.cgi?Dockey=P100O9ZL.pdf>.
- [American society for testing and 2 materials, «ASTM D4294: Standard Test
] Method for Sulfur in Petroleum and Petroleum Products by Energy-Dispersive X-Ray Fluorescence Spectrometry,» 1998.
- [NTE INEN 2203, 3 «Normalizacion.gob.ec,» 17 Junio 1998.
] [En línea]. Available: <https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/2203.pdf>. [Último acceso: 17 Febrero 1998].
- [D. Expreso, «Nuevos precios de los 4 combustibles entrarán en vigencia el 12
] de septiembre,» *Nuevos precios de los combustibles entrarán en vigencia el 12 de septiembre*, p. 1, 11 Septiembre 2021.
- [NTE INEN 935, «Control hidrocarburos,» 5 Febrero 2016. [En línea]. Available: <https://www.controlhidrocarburos.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2016/06/n-te-inen-935-9.pdf>. [Último acceso: 29 Octubre 2015].

- [EPA, «EPA,» 14 Marzo 2014. [En línea].
6 Available:
] <https://nepis.epa.gov/Exe/ZyPDF.cgi/P100HVZV.PDF?Dockey=P100HVZV.PDF>.
- [Rao Venkatesh, «Fuel sulfur effects on
7 exhaust emissions,» 2001.
]
- [«Ministerio para la transicion
8 ecologica,» [En línea]. Available:
] <https://prtr-es.es/CO-Monoxido-de-carbono,15589,11,2007.html>.
- [Liliana Braga, «Centro científico
9 tecnológico CONICET Mendoza,» [En
] línea]. Available:
<https://www.mendoza.conicet.gov.ar/portal/enciclopedia/terminos/DioxiCar.htm>.
- [Agencia para sustancias toxicas y el
1 registro de enfermedades, «Agencia
0 para sustancias toxicas y el registro de
] enfermedades,» 6 Mayo 2016. [En
línea]. Available:
https://www.atsdr.cdc.gov/es/toxfaqs/es_tfacts175.html. [Último acceso: 6
Mayo 2016].
- [«Ministerio para la transicion
1 ecologica,» [En línea]. Available:
1 <https://prtr-es.es/SOx-oxidados-de-azufre,15598,11,2007.html>.
]
- [P. F. N. H. Jan Kašpar, «Automotive
1 catalytic converters: current status and
2 some perspectives,» *ELSEVIER*, vol. 77,
] nº 14, pp. 419-449, 2003.
- [EPA, «Calculating the Effects of Gasoline
1 Sulfur on Exhaust Emissions,» EPA,
3 2016.
]
- [Stephano Orellana, Interviewee,
1 *Afectacion del Azufre sobre las*
4 *emisiones contaminantes*. [Entrevista].
] 8 Julio 2021.
- [E. De La Cruz, «Fluorescencia de rayos X
1 y su aplicacion en la determinacion de
5 elementos quimicos en deterinadas
] muestras. Tesis. Lic. Fisica.,» de
Fluorescencia de rayos X y su aplicacion en la determinacion de elementos quimicos en deterinadas muestras.,
Lima, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, 2018, pp. 25-27.
- [J. V. Edison Utreras, Regeneracion de
1 catalizadores automotrices de motores
6 a gasolina a partir de sustancias polares,
] Ibarra: Universidad tecnica del norte, 2021.
- [Mayra Pacheco, «El Comercio,» 18
1 Noviembre 2020. [En línea]. Available:
7 <https://www.elcomercio.com/actualidad/negocios/analisis-calidad-derivados-ecuador-inicio.html>.

ANEXOS

ANEXOS FUNDAMENTACION TEORICA

1. Efectos del azufre en las emisiones

1. Introduction

This chapter describes how MOVES2014 adjusts exhaust emissions of hydrocarbons (HC), carbon monoxide (CO), and nitrogen oxides (NOx) in response to varying levels of fuel sulfur in gasoline. MOVES2014 assumes that there is no direct impact of fuel sulfur on criteria emissions from diesel vehicles.

Fuel sulfur content has long been understood to affect the performance of emission aftertreatment catalysts in light duty vehicles, where the sulfur and/or its oxides adsorb to the active precious metal sites, reducing the catalyst's efficiency in destroying harmful pollutants. This can severely impair the effectiveness of the catalyst to convert the products of combustion, leading to increase in emissions relative to a "clean" catalyst. Because the quantity of sulfur present on the catalyst at any given time is primarily a function of its temperature and the fuel sulfur level, the effects of gasoline sulfur content are modeled as though independent of the effects of other fuel properties.

The sulfur effects modeled in MOVES2014 are based on two separate fuel effect models. The two models are MOBILE6 Fuel Sulfur Model (M6Sulf) and Tier 2 Low Sulfur Model.

The MOBILE6 Fuel Sulfur Model (M6Sulf) applies to (1) all model years for sulfur level above 30 ppm, and (2) pre-2001 model years for sulfur level equal to and below 30 ppm. Section 2 details the M6Sulf algorithm and discusses the minor changes and assumptions applied to adapt the M6Sulf model into MOVES framework.

The Tier 2 Low Sulfur Model applies only to 2001-and-later model year vehicles operating on sulfur levels equal to or below 30 ppm. Section XX describes how the results of a study specifically designed to measure sulfur effects on Tier 2 gasoline vehicles were applied in MOVES2014. Previously, in MOVES2010, only the M6Sulf model was used to model sulfur effects.

2. The MOBILE6 Sulfur Model (M6Sulf)

The M6Sulf model was developed based on the analysis of several studies examining the effect of sulfur on exhaust emissions, conducted by the US Auto/Oil Air Quality Improvement Research Program (AQIRP)^{1,2,3}, US Environmental Protection Agency (EPA)^{4,5,6}, and American Petroleum Institute (API)⁷. All data sources and the details of the analysis used to develop the M6Sulf model are documented in "Fuel Sulfur Effects on Exhaust Emissions for MOBILE6".⁸ The vehicle technologies included in the analysis were Tier 0, Tier 1, Low-Emitting Vehicles (LEVs), and Ultra Low-Emitting Vehicles (ULEVs).

In MOVES, we apply the M6Sulf model for (1) all model years for sulfur levels above 30 ppm, and (2) pre-2001 model years for sulfur levels equal to and below 30 ppm. The M6Sulf model contains separate fuel sulfur effects (coefficients) and equations (i.e., log-log and log-linear) for "normal" and "high" emitters. In MOBILE6, a "high emitter" was defined as a vehicle emitting twice the applicable HC or NOx standards or three times the applicable CO standard.

Because MOVES does not distinguish between “normal” and “high” emitters, and because the weights applied to effects for both classes were frequently about equal, an unweighted arithmetic average of the “normal” and “high” effects was calculated and used in MOVES.

The M6Sulf algorithm as programmed into MOVES contains four separate steps.

1. Short Term Sulfur Effects
2. Long Term Sulfur Effects
3. Sulfur Irreversibility Effects
4. Effects of Sulfur geographical phase-in areas (GPA)

2. Efectos del azufre a corto plazo

2.1 Short-Term Sulfur Effects

In MOVES, the M6Sulf model data are stored as a set of equation coefficients in “*sulfurmodelcoeff*” table. It has the following table structure:

pollutantID
processID
M6emitterID
sourceTypeID
fuelMYGroupID
SulfurFunctionID
SulfurCoefficient

The M6emitterID is designated as either “normal” or “high” and the SulfurFunctionID is designed as either “Log-Log” or “Log-Linear”. The “Log-Log” designation refers to a model with a natural log - natural log form and the “log-linear” refers the natural log-linear model.

The Short Term Sulfur Effect estimates the short-term effects on emissions due to sulfur’s adsorption onto the catalyst surface by calculating an adjustment to the base emissions as a function of the sulfur volume of the gasoline. The initial calculations use Equation 1 and Equation 2. These equations are used in cases where the log-log relationship is required (the variable SulfurFunctionID is set to ‘log-log’). This relationship applies to Tier 0, and LEV+ vehicles. The variable “sulfShortTarget” ($C_{\text{short,target}}$) is the correction factor for the sulfur level of the fuel being modeled, for which the sulfur content (x_S) is expressed in ppm. The parameter, $C_{\text{short,basis}}$, is the correction factor for the base sulfur (sulfurBasis variable in “*SulfurBase*” table) level. The sulfur basis ($x_{S,\text{basis}}$) is always 30 ppm – even for model year groups that use 90 ppm sulfur as the base.

$$C_{\text{short,target}} = \exp(\beta \ln x_S) \quad \text{Equation 1}$$

$$C_{\text{short,basis}} = \exp(\beta \ln x_{\text{S,basis}}) \quad \text{Equation 2}$$

The short-term Sulfur effects for Tier 1 vehicles (i.e. model years 1994-2000) use a log-linear algorithm as in Equation 3 and Equation 4. Again, the sulfur basis ($x_{\text{S,basis}}$) is 30 ppm. The variable SulfurFunctionID in “*sulfurmodelcoeff*” table shows which form of the equation is used.

$$C_{\text{short,target}} = \exp(\gamma x_{\text{S}}) \quad \text{Equation 3}$$

$$C_{\text{short,basis}} = \exp(\gamma x_{\text{S,basis}}) \quad \text{Equation 4}$$

The Short-term sulfur effect (SulfAdj, $A_{\text{S,short}}$) for all groups is computed using Equation 5.

$$A_{\text{S,short}} = \frac{C_{\text{short,target}} - C_{\text{short,basis}}}{C_{\text{short,basis}}} \quad \text{Equation 5}$$

3. Efectos del azufre a largo plazo

2.2 Long Term Sulfur Effects

The Long-term Sulfur effects ($A_{\text{S,long}}$) are intended to account for the effects of prolonged exposure to sulfur in the catalyst that are reversible. The values used in MOVES are stored in the sulfurLongCoeff variable in “*M6SulfurCoeff*” table. The values for sulfurLongCoeff are a function of pollutant. They are:

HC	2.50
CO	2.36
NOx	1.47

These short-term and long-term effects are multiplied to produce the variable sulfAdj2 (A_2), as shown in Equation 6. Sulfur levels of 30 ppm or less are assumed to have no long-term sulfur effects.

$$A_2 = A_{s,short} \times A_{s,long} \quad \text{Equation 6}$$

Long-term Sulfur Effects

As discussed above, in addition to adsorbing onto the surface of the catalyst and acting as a poison, sulfur can also penetrate into the precious metal layer, especially into palladium (the metal of choice for LEV catalysts), and into the oxygen storage material and poison the catalyst further. Full penetration may not have occurred during the very few miles of operation prior to short term emission testing on high sulfur fuel. The short-term exposure in the test programs (evaluated previously) typically consisted only of running several emission tests (FTP or LA4). Since each FTP is approximately 18 miles in length, short-term exposure usually amounted to just under 100 miles of operation, all of which was in a controlled laboratory environment.

To address this concern, API and EPA conducted test programs on a total of six light-duty vehicles (see Table 15 for listing of the vehicles) for sulfur sensitivity after both short-term and long-term exposure to sulfur. The long-term exposure consisted of between 1,500 and 4,000 miles of in-use operation over urban, rural, and highway roads. Two of the vehicles were 1999 models, while the other four were all 1998 models. All six were either LEV or ULEV vehicles. As listed in Table 15, three of the vehicles were equipped with catalyst systems aged to either 50,000 or 100,000 miles. The other three vehicles had low mileage catalyst systems aged to only about 4,000 miles.

All of the vehicles were tested for short-term exposure prior to the long-term testing. Each vehicle was tested using a FTP baseline tested on low sulfur fuel (30 or 40 ppm). The number of tests used to establish the baseline varied from two to four. The vehicles were then tested with the high sulfur fuel (EPA @ 350 ppm, API @ 540 ppm). Sulfur sensitivity was determined by calculating the percent increase in average emissions with the high sulfur fuel compared to the average emissions with the low sulfur fuel. Table 23 lists both the short-term and the long-term sulfur sensitivity data for all six vehicles.

Background for Long-Term and Irreversibility Effects

Fuel sulfur impacts vehicle emissions in three basic ways: 1) short-term effects due to sulfur's adsorption onto the catalyst surface, 2) longer-term effects due to sulfur's penetration into the precious metal layer of the catalyst and oxygen-storage material in the catalyst, and 3) a more lasting impact, referred to as irreversibility. Generally, items 1 and 2 are referred to as "sulfur sensitivity" and item 3 is referred to as "sulfur irreversibility."

The immediate impact (or "short-term" effects) of sulfur on emissions (item 1 above) is discussed in the previous sections of this report. From the "short-term" effects it was shown that operation on typical conventional gasoline containing 330 ppm sulfur increases exhaust VOC and NOx emissions from LEV and Tier 2 vehicles, on average, by 40% and 139% respectively compared to operation on 30 ppm sulfur fuel. New data generated since the draft version of this report was completed on similar LEVs and ULEVs show that when these vehicles were driven on high sulfur (330 ppm) fuel for a few thousand miles, the NMHC and NOx emission increase due to high sulfur fuel increased by a greater margin than what was estimated with the "short-term" data; these effects are referred to as "long-term" effects. These new data will be used to generate new estimates (both for "short-term" and "long-term" effects) for sulfur-sensitivity of LEV, ULEV, and cleaner vehicles.

Sulfur's irreversibility on LEV/ULEV vehicles also affects emissions. Sulfur "irreversibility" refers to the decreased ability of a vehicle to return to low emissions on low sulfur fuel after temporary use of high sulfur fuel. Sulfur has an almost immediate effect on catalyst performance, with the sulfur level of the fuel primarily impacting the speed with which the catalyst is affected. One tankful of fuel containing high levels of sulfur will inhibit catalyst performance to essentially the same degree as several tankfuls of fuel with somewhat lower sulfur content. However, the return of catalyst performance upon refueling on low sulfur fuel is not as prompt with the higher sulfur fuel. This could have substantial consequences for the design of a commercial sulfur control program. For this reason API carried out a study to begin to investigate

4. Efectos irreversibles

2.3 Sulfur Irreversibility Effects

In this step, the permanent effects of sulfur on emissions are computed. These effects are intended to represent long-term emission impact of past exposure to high sulfur fuels, even when current fuels have lower sulfur levels. The irreversibility effects apply to only Tier 2 and later (2004+ model year vehicles), and apply only to target fuel sulfur level greater than 30 ppm sulfur. For model years 2003 and earlier and for fuel sulfur levels ≤ 30 ppm, the model does not calculate permanent effects. The same effects are applied to all three pollutants (HC, CO and NOx) and processes (start and running).

The SulfurCap is a function of model year group.

Model Year Group	SulfurCap
2004 – 2005	303 ppm
2006 – 2007	87 ppm
2008 +	80 ppm

If the fuel sulfur level is greater than 30 ppm but less than the SulfurCap ($x_{S, \text{cap}}$), Equation 7 is used to compute the “irreversible sulfur effect” ($A_{S, \text{Irr}}$, SulfIRR) effects, and the effect is applied as a function of model year group.

$$A_{S, \text{Irr}} = \exp(\phi \ln x_{S, \text{cap}}) \quad \text{Equation 7}$$

Sulfur Irreversibility

In addition to the sulfur sensitivity (short and long term emission effects) issue discussed above, fuel sulfur can also impact vehicle emissions in a more lasting fashion, ranging from 20 or more miles to potentially permanent. This lasting effect of sulfur on emissions is termed irreversibility, referring to the fact that the emission impact of high sulfur fuel does not reverse when low sulfur fuel is used. The EPA Staff Paper on Gasoline Sulfur Issues (U.S. EPA, May 1998, EPA420-R-98-005) summarizes conditions required to remove sulfur from the catalyst once a vehicle has been exposed to high sulfur fuel.

In particular, the results of a number of studies have shown that generally high temperatures (in excess of 700 F) are required to remove sulfur from both the surface of the catalyst and from the internal catalyst matrix. In addition to high temperature, a rich exhaust (absence of oxygen coupled with presence of HC and CO, or a low air-to-fuel ratio) or an alternating sequence of rich and lean exhaust is often needed to fully regenerate the catalyst.

However, the two changes in conditions necessary to reverse sulfur poisoning--hotter catalyst temperatures and variable air-to-fuel ratios--both run counter to other design criteria aimed at achieving stringent emission standards in-use. Thus, EPA believes that sulfur reversibility effects should be included when assessing sulfur's total impact on exhaust emissions in MOBILE6.

The incorporation of sulfur irreversibility effects into the MOBILE6 model is similar to the steps used in the Tier 2 model¹⁶. As in the Tier 2 model, MOBILE6 applies a sulfur correction to 2004-and-later vehicles that is based on the vehicle's maximum sulfur level exposure, as well as the short- and long-term corrections for the current sulfur level. However, for MOBILE6, the Tier 2 methodology was simplified, as follows:

5. Efectos combinados del azufre

2.3.1 Combining Short-Term, Long-Term and Irreversibility Sulfur Effects

Equation 8 combines all the sulfur effects described into a final sulfur effect, designated as $A_{S,3}$ or "sulfAdj3." The effect is calculated as a multiplicative adjustment, and includes the short-term effects applied to the fuel basis ($C_{\text{short,basis}}$) from Equation 2 or Equation 4, the combined short-term and long-term adjustment (A_2 , Equation 6) and the irreversibility effect $A_{S,\text{Irr}}$ (Equation 7). The two main terms in the expression are weighted by the factor w_{IR} (irreversibility factor), which takes a value of 0.425.⁹

$$A_{S,3} = 1.0 + \left[w_{\text{IR}} \left(\frac{A_{S,\text{Irr}} - C_{\text{short,basis}}}{C_{\text{short,basis}}} \right) + (1.0 - w_{\text{IR}}) A_2 \right] \quad \text{Equation 8}$$

6. Coeficiente de regresion Tier 0

Analysis of Tier 0 Normal Emitters

The sulfur impacts for normal-emitting Tier 0 vehicles are based on analysis of the entire Auto/Oil database, the API extension fuel set, and the EPA Phase I and Phase II RFG data sets. The SAS “ABSORB” procedure was applied to the Tier 0 data and regressed using the two non-

linear schemes discussed above. It was found that the log-log fit was consistently better than the log-linear fit. The resulting correlations are shown below in Table 6 and the emission effects resulting from these correlations are shown in Table 7:

Table 6
Regression Analysis for Tier 0 Normal Emitting Vehicles

Pollutant	Emissions Mode	Type of Regression Fit	Regression Coefficient	R ²
HC	Composite	Ln-Ln	0.06126	0.963
NMHC	Composite	Ln-Ln	0.05502	0.959
CO	Composite	Ln-Ln	0.07596	0.950
NOx	Composite	Ln-Ln	0.03077	0.939
HC	Running	Ln-Ln	0.15262	0.947
NMHC	Running	Ln-Ln	0.15187	0.918
CO	Running	Ln-Ln	0.19086	0.886
NOx	Running	Ln-Ln	0.02083	0.944
HC	Start	Ln-Ln	0.0027436	0.959
NMHC	Start	Ln-Ln	0.0037181	0.961
CO	Start	Ln-Ln	-0.01792	0.860
NOx	Start	Ln-Ln	0.04772	0.862

Table 7
Emission Effects from Varying Sulfur for Tier 0 Normal Emitting Vehicles

Pollutant	Emissions Mode	% Increase in Emissions when Sulfur is Increased from 30 ppm to:			
		75	150	330	600
HC	Composite	5.77	10.4	15.8	20.1
NMHC	Composite	5.17	9.26	14.1	17.9
CO	Composite	7.21	13.0	20.0	25.6
NOx	Composite	2.86	5.08	7.66	9.66
HC	Running	15.0	27.8	44.2	58.0
NMHC	Running	14.9	27.7	43.9	57.6
CO	Running	19.1	36.0	58.0	77.1
NOx	Running	1.93	3.41	5.12	6.44
HC	Start	0.25	0.44	0.66	0.83
NMHC	Start	0.34	0.60	0.90	1.12
CO	Start	-1.63	-2.84	-4.21	-5.23
NOx	Start	4.47	7.98	12.1	15.4

The Tier 0 analysis summarized in Tables 6 and 7 will apply to all normal emitters of Tier 0 or earlier (pre-Tier 0) categorization (all vehicles equipped with a catalyst) since very little data is available to support an evaluation of sulfur's effect on pre-Tier 0 vehicles. Pre-catalyst vehicles are treated separately because sulfur will have no direct effect on exhaust emissions from those vehicles.

For comparison, Table 8 shows estimated emission effects of reducing sulfur from 450→50 ppm using the regressions listed in Table 6 for Tier 0 normal emitters and the effects computed from the Complex Model¹² for normal emitters. The results are similar for CO but the HC and NOx effects estimated in this EPA analysis are smaller when compared to the NOx and HC effects predicted by the Complex Model. This is most likely due to inclusion of the T50/T90 heavy-hydrocarbon Auto/Oil data set in the current analysis. The T50/T90 heavy-hydrocarbon Auto/Oil data was not available at the time the Complex Model was constructed. Inspection of the T50/T90 heavy-hydrocarbon data shows somewhat muted HC effects and much lower NOx effects for sulfur variations. Thus, the overall HC and NOx effects of reducing sulfur are much lower in this analysis than those estimated by the Complex Model.

Table 19
Regression Analysis for Tier 0 High Emitting Vehicles

Pollutant	Emissions Mode	Type of Regression Fit	Regression Coefficient	R ²
HC	Composite	Ln-Linear	3.727E-5	0.997
NMHC	Composite	Ln-Linear	3.727E-5	0.997
CO	Composite	Ln-Linear	6.317E-6	0.997
NOx	Composite	Ln-Linear	3.046E-4	0.996
HC	Running	Ln-Linear	1.138E-4	0.996
NMHC	Running	Ln-Linear	9.614E-5	0.996
CO	Running	Ln-Linear	1.111E-4	0.993
NOx	Running	Ln-Linear	2.848E-4	0.998
HC	Start	Ln-Linear	-2.227E-4	0.985
NMHC	Start	Ln-Linear	-1.824E-4	0.989
CO	Start	Ln-Linear	-5.336E-4	0.962
NOx	Start	Ln-Linear	2.519E-4	0.889

7. Coeficiente de regresion Tier 1

Analysis of Tier 1 Normal Emitters

Only one set of data³ has examined the effects of sulfur on emissions from certified Tier 1 vehicles. Two sulfur data points were tested in this analysis (~ 30 ppm and ~ 330 ppm) at high and low levels of T90. Because only two sulfur data points were available, the log-linear version of the fits were chosen to represent the data. Log-linear regressions were run using the procedures outlined earlier and the regression coefficients and effects obtained are shown respectively in Tables 9 and 10. It is interesting to note that for Tier 1, percent change benefits from reducing sulfur are generally larger than the benefits for Tier 0 for CO and HC, and are about the same for NOx.

Table 9
Regression Analysis for Tier 1 Normal Emitting Vehicles

Pollutant	Emissions Mode	Type of Regression Fit	Regression Coefficient	R ²
HC	Composite	Ln-Linear	8.053E-4	0.765
NMHC	Composite	Ln-Linear	7.223E-4	0.748
CO	Composite	Ln-Linear	6.295E-4	0.907
NOx	Composite	Ln-Linear	3.181E-4	0.903
HC	Running	Ln-Linear	2.457E-3	0.818
NMHC	Running	Ln-Linear	2.897E-3	0.785
CO	Running	Ln-Linear	1.746E-3	0.911
NOx	Running	Ln-Linear	6.337E-4	0.853
HC	Start	Ln-Linear	9.516E-5	0.941
NMHC	Start	Ln-Linear	9.172E-5	0.936
CO	Start	Ln-Linear	-2.338E-4	0.820
NOx	Start	Ln-Linear	8.023E-4	0.692

Table 10
Emission Effects from Varying Sulfur for Tier 1 Normal Emitting Vehicles

Pollutant	Emissions Mode	% Increase in Emissions when Sulfur is Increased from 30 ppm to:			
		75	150	330	600*
HC	Composite	3.69	10.1	27.3	34.8
NMHC	Composite	3.30	9.05	24.2	30.7
CO	Composite	2.87	7.85	20.8	26.6
NOx	Composite	1.44	3.89	10.0	12.6
HC	Running	11.7	34.3	109.0	143.0
NMHC	Running	13.9	41.6	138.5	181.7
CO	Running	8.17	23.3	68.8	91.4
NOx	Running	2.90	7.90	20.9	26.3
HC	Start	0.43	1.15	2.90	3.65
NMHC	Start	0.41	1.11	2.79	3.47
CO	Start	-1.05	-2.77	-6.77	-8.41
NOx	Start	3.68	10.1	27.2	34.6

* Please see explanation below about how the effects at 600 ppm were estimated.

Since the available Tier 1 data only extends to 330 ppmW sulfur, it would be inaccurate to use the log-linear regression equations listed in Table 6 all the way out to 600 ppm, which will be the valid high end of the sulfur range in MOBILE6. Instead, the equations listed in Table 6 will be applicable only for sulfur values between 30 and 330 ppm; for any sulfur level above 330 ppm, the following equation will be used to estimate Tier 1 effects for a given pollutant and a given emissions mode (start vs. running) and emitter classification:

$$\text{Tier 1 Effect at any sulfur level "X" above 330 ppm} = [(\text{Tier0}_x)/(\text{Tier0}_{330})] * (\text{Tier1}_{330})$$

where,

Tier0_x = Tier 0 percent emission change at level X using a 30 ppm as baseline
 (can be estimated from Table 6)

Tier0₃₃₀ = Tier 0 percent emission change at 330 ppm using 30 ppm as baseline
 (available in Table 7)

Tier1₃₃₀ = Tier 1 percent emission change at 330 ppm using 30 ppm as baseline
 (available in Table 10)

8. Sistema Catalítico

420

J. Kašpar et al. / Catalysis Today 77 (2003) 419–449

Table 1
Example of exhaust conditions for two- and four-stroke, diesel and lean-four-stroke engines [9,155,176,231]

Exhaust components and conditions ^a	Diesel engine	Four-stroke spark ignited-engine	Four-stroke lean-burn spark ignited-engine	Two-stroke spark ignited-engine
NO _x	350–1000 ppm	100–4000 ppm	≈1200 ppm	100–200 ppm
HC	50–330 ppm C	500–5000 ppm C	≈1300 ppm C	20,000–30,000 ppm C
CO	300–1200 ppm	0.1–6%	≈1300 ppm	1–3%
O ₂	10–15%	0.2–2%	4–12%	0.2–2%
H ₂ O	1.4–7%	10–12%	12%	10–12%
CO ₂	7%	10–13.5%	11%	10–13%
SO _x	10–100 ppm ^b	15–60 ppm	20 ppm	≈20 ppm
PM	65 mg/m ³			
Temperatures (test cycle)	r.t.–650 °C (r.t.–420 °C)	r.t.–1100 °C ^c	r.t.–850 °C	r.t.–1000 °C
GHSV (h ⁻¹)	30,000–100,000	30,000–100,000	30,000–100,000	30,000–100,000
λ (A/F) ^d	≈1.8 (26)	≈1 (14.7)	≈1.16 (17)	≈1 (14.7) ^e

^a N₂ is remainder.

^b For comparison: diesel fuels with 500 ppm of sulphur produce about 20 ppm of SO₂ [16].

^c Close-coupled catalyst.

^d λ defined as ratio of actual A/F to stoichiometric A/F, λ = 1 at stoichiometry (A/F = 14.7).

^e Part of the fuel is employed for scavenging of the exhaust, which does not allow to define a precise definition of the A/F.

As shown in Table 1, the exhaust contains principally three primary pollutants,¹ unburned or partially burned hydrocarbons (HCs), carbon monoxide (CO) and nitrogen oxides (NO_x), mostly NO, in addition to other compounds such as water, hydrogen, nitrogen, oxygen, etc. Sulphur oxides, though polluting, are normally not removed by the post-combustion treatments, since the only effective way is to reduce them to elemental sulphur, which would accumulate in the system. Accordingly, it is preferred to minimise sulphur emissions by diminishing the sulphur content in the fuel. Given the different nature of the three classes of pollutants, i.e. reducing or oxidising agents, it is necessary to simultaneously carry out both reduction and oxidation reactions over the exhaust catalyst, which can occur by a variety of reactions. Some of these are summarised in Table 2. Importantly, this table reports only the desirable reactions, in that many other reactions could occur in the complex mixtures described in Table 1, such as, for example, reduction of NO_x to ammonia, partial oxidation of HC to give aldehydes and other toxic compounds, etc. Given the complexity of the exhaust media, a high selectivity is required in order to promote only the reactions reported in Table 2.

A perusal of the exhaust compositions reported in Table 1 for the different type of engines reveals some

¹ The ability of the TWCs to simultaneously eliminate three classes of pollutants is at the origin of their name.

significant differences: (i) even if relatively diluted, the concentration of the various pollutants can change even by an order of magnitude, according to the type of engine; (ii) with the exception of the four-stroke spark ignited-engine, which, being equipped with a TWC, is run at stoichiometry, the other type of engines can be run under lean conditions, i.e. in excess of O₂; (iii) extremely high temperatures are reached in the four-stroke spark ignited-engine, particularly in the close-coupled catalyst (CCC).

In general, the emissions depend on air-to-fuel (A/F) ratio, as exemplified in Fig. 1. Tuning of the engine to rich feed gives the highest power output, which, however, occurs at expenses of high fuel consumption. Under lean conditions lower combustion

Table 2
Reactions occurring on the automotive exhaust catalysts, which may contribute to the abatement of exhaust contained pollutants [4]

Oxidation	2CO + O ₂ → 2CO ₂ HC + O ₂ → CO ₂ + H ₂ O ^a
Reduction/three-way	2CO + 2NO → 2CO ₂ + N ₂ HC + NO → CO ₂ + H ₂ O + N ₂ ^a 2H ₂ + 2NO → 2H ₂ O + N ₂
WGS	CO + H ₂ O → CO ₂ + H ₂
Steam reforming	HC + H ₂ O → CO ₂ + H ₂ ^a

^a Unbalanced reaction.

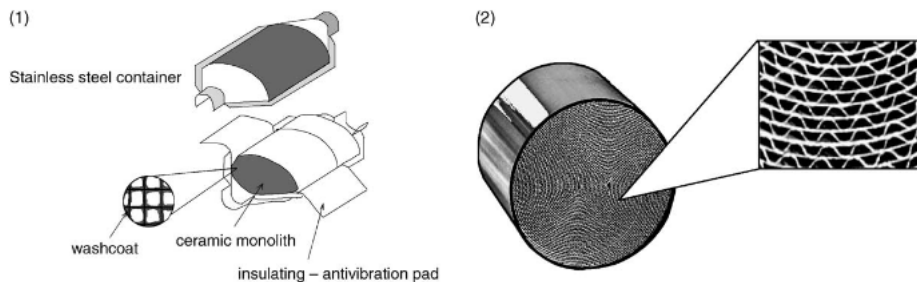


Fig. 5. Diagram of a typical catalytic converter (1) and a metallic honeycomb (a monolith from Emitec GmbH; adapted with permission) (2).

steel container which incorporates a honeycomb monolith made of cordierite ($2\text{MgO}\cdot 2\text{Al}_2\text{O}_3\cdot 5\text{SiO}_2$) or metal [9]. Although this aspect is sometimes neglected in the scientific literature, it must be underlined that the choice and geometrical characteristics of the honeycomb monolith play a key role in determining the efficiency of the converter. In fact, high conversion must be achieved in the converter and therefore the catalyst works under conditions where severe mass and heat transfer limitations apply. Typically, both metal and ceramic monoliths are employed nowadays. The major advantage of the metallic substrate is that the wall thickness is limited by the steel rolling mill's capabilities, not strength. In a typical automotive 400 cell/in.^2 application, the frontal flow area in a ceramic monolith is 69% open (31% closed), while the metallic version has 91% open area. This is due to the higher wall thickness of ceramic monoliths (0.007 in. (0.178 mm)) compared to metallic ones (0.002 in. (0.050 mm)) [17,18]. However, even in this field there has been a strong improvement of the technology, cell densities as high as 900 cell/in.^2 or even higher are now commonly available on the market for both types of monoliths [19]. Traditionally, cordierite monoliths have been employed quite extensively, primarily due to their lower production cost. However, a major advantage of the metal monoliths resides in their high thermal conductivity and low heat capacity, which allow very fast heating of the CCCs during the phase-in of the engine, minimising the light-off time.

The monolith is mounted in the container with a resilient matting material to ensure vibration resistance [10,20]. The active catalysts is supported (washcoated)

onto the monolith by dipping it into a slurry containing the catalyst precursors. The excess of the deposited material (washcoat) is then blown out with hot air and the honeycomb is calcined to obtain the finished catalyst. This is clearly a very simplified and schematic description of the washcoating process as multiple layer technology, or multiple catalyst-bed converters are also employed [10,21]. The exact method of deposition and catalyst composition is therefore highly proprietary and specific for every washcoating company. For example, the metallic honeycombs are non-porous, which makes adhesion of the washcoat difficult. Accordingly a FeCrAl based alloy is employed, which contains up to 5 wt.% of aluminium; after an appropriate pre-treatment this element then acts as an anchoring centre for adhesion of the washcoat [19].

However, there are some common components, which represent the state-of-art of the washcoating composition:

- Alumina, which is employed as a high surface area support.
- $\text{CeO}_2\text{-ZrO}_2$ mixed oxides, principally added as oxygen storage promoters.
- Noble metals (NM = Rh, Pt and Pd) as active phases.
- Barium and/or lanthana oxides as stabilisers of the alumina surface area.

3.1. Al_2O_3

The choice of Al_2O_3 as carrier is dictated by the necessity of increasing the surface area of the honeycomb monolith which is typically below $2\text{-}4\text{ m}^2\text{ l}^{-1}$,

ECONOMÍA

Nuevos precios de los combustibles entrarán en vigencia el 12 de septiembre

Mañana, las gasolineras de Ecuador distribuirán el diesel y la gasolina super y extra con nuevos precios





án a cobrar los nuevos precios desde mañana. **ARCHIVO**

Los precios del **diésel** y las **gasolina extra y super** experimentarán un nuevo incremento a partir del 12 de septiembre de 2021. Así lo informó la Agencia de Regulación y Control de Energía y Recursos Naturales No Renovables (**ARC**), quién hizo pública la tarifa de estos derivados de petróleo.



Llori califica de chantaje el llamado a las urnas

[Leer más](#) →

Los nuevos valores dispuestos este 11 de septiembre fijan que el galón de diésel tendrá un costo de **\$ 1,65**, la gasolina super subirá a

\$3,24, y las gasolinas extra y extra con etanol (ecopaís) se expondrá en **\$ 2,39**. Este incremento se mantendrá vigente hasta el próximo **11 de octubre**.

Esta alza oscila entre los once y cinco centavos. Hasta este 11 de septiembre, el precio de del galón de diésel era de \$ 1,60; y de la extra era de \$ 2,28.

A través de estos **incrementos graduales**, el Gobierno espera que los precios de estos derivados alcancen los valores internacionales. Para esta nueva fijación de precios se continuó con la utilización del sistema de bandas referenciales.

ANEXOS MATERIALES Y METODOS

Ilustración 1. Muestras de combustible.



Ilustración 2. Envase de recolección de muestra.



Ilustración 3. Analizador de gases FSA 740



Ilustración 4. Espectrometría de rayos x

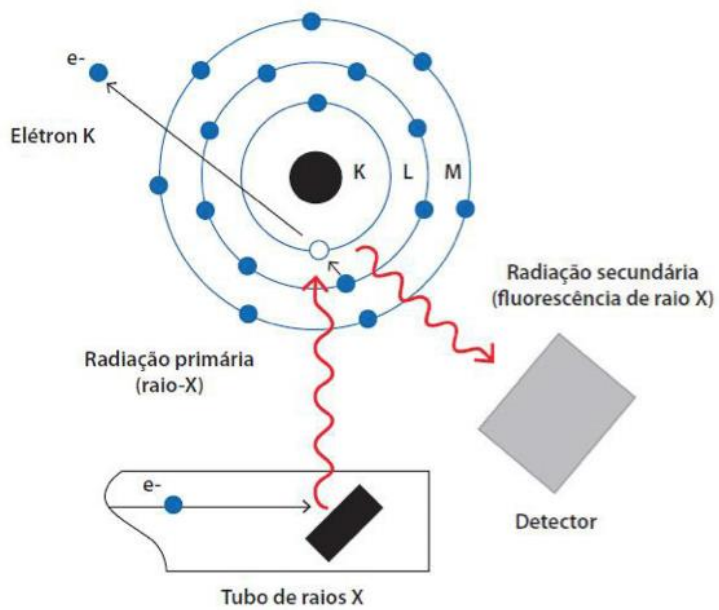


Ilustración 5. Absorbancia de azufre Quito

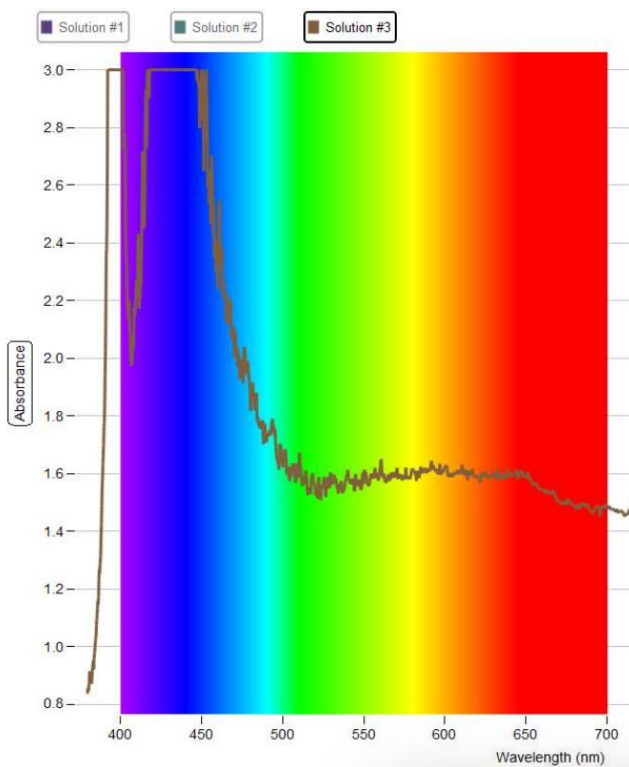


Ilustración 6. Absorbancia de azufre Lago Agrio

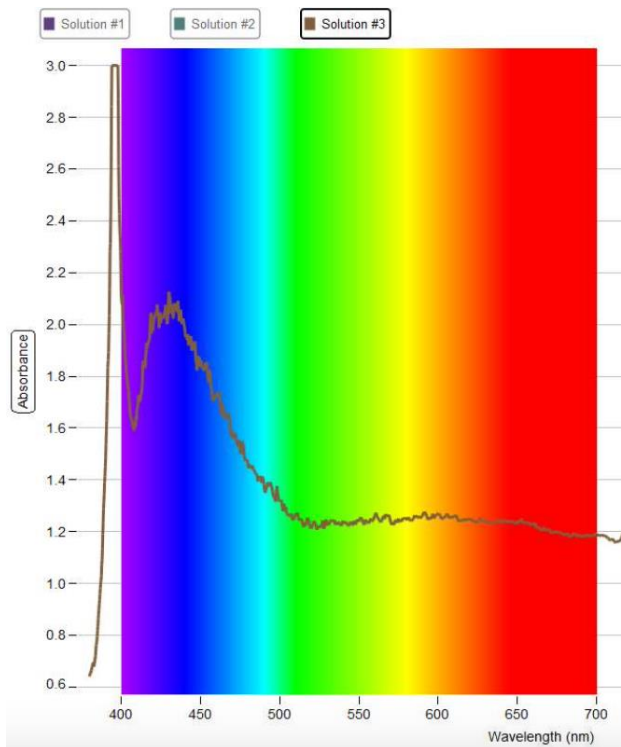


Tabla 1. Afectación a corto plazo Ralentí Lago Agrio

TIER 0		TIER 1	
HC tar	2,43089878	HC tar	2,26201287
HC bas	1,68049895	HC bas	1,07649458
% cambio	44,65%	% cambio	110,13%
HC As Short	0,44653395	HC As Short	1,10127661
CO tar	3,03685071	CO tar	1,78715861
CO bas	1,91391816	CO bas	1,0537761
% cambio	58,67%	% cambio	69,60%
CO As Short	0,58671921	CO As Short	0,69595667
NOx tar	1,12888715	NOx tar	1,23450963
NOx bas	1,07341692	NOx bas	1,01919286
% cambio	5,17%	% cambio	21,13%
NOx As Short	0,05167632	NOx As Short	0,21126205

Tabla 2. Afectación a corto plazo Ralentí Quito

TIER 0		TIER 1	
HC tar	2,46069132	HC tar	2,30908058
HC bas	1,68049895	HC bas	1,07649458
% cambio	46,43%	% cambio	114,50%
HC As Short	0,46426233	HC As Short	1,14499973
CO tar	3,08346637	CO tar	1,8176031
CO bas	1,91391816	CO bas	1,0537761
% cambio	61,11%	% cambio	72,48%
CO As Short	0,61107535	CO As Short	0,72484752
NOx tar	1,13076553	NOx tar	1,24180085
NOx bas	1,07341692	NOx bas	1,01919286
% cambio	5,34%	% cambio	21,84%
NOx As Short	0,05342622	NOx As Short	0,21841596

Tabla 3. Afectación a corto plazo alta velocidad de motor Lago Agrio

TIER 0		TIER 1	
HC tar	1,42837621	HC tar	1,30704432
HC bas	1,23165322	HC bas	1,02445319
% cambio	15,97%	% cambio	27,58%
HC As Short	0,1597227	HC As Short	0,27584581
CO tar	1,55596122	CO tar	1,23291676
CO bas	1,29479833	CO bas	1,01906445
% cambio	20,17%	% cambio	20,99%
CO As Short	0,20170159	CO As Short	0,20985161
NOx tar	1,19612116	NOx tar	1,11159889
NOx bas	1,11032731	NOx bas	1,00958868
% cambio	7,73%	% cambio	10,10%
NOx As Short	0,07726897	NOx As Short	0,10104135

Tabla 4. Afectación a corto plazo alta velocidad de motor Quito

TIER 0		TIER 1	
HC tar	1,43537726	HC tar	1,31710128
HC bas	1,23165322	HC bas	1,02445319
% cambio	16,54%	% cambio	28,57%
HC As Short	0,16540697	HC As Short	0,28566272
CO tar	1,5654232	CO tar	1,24066468
CO bas	1,29479833	CO bas	1,01906445
% cambio	20,90%	% cambio	21,75%
CO As Short	0,20900928	CO As Short	0,21745458
NOx tar	1,19906231	NOx tar	1,11509596
NOx bas	1,11032731	NOx bas	1,00958868
% cambio	7,99%	% cambio	10,45%
NOx As Short	0,07991788	NOx As Short	0,10450521

Tabla 5. Afectación a largo plazo ralenti Lago agrio

TIER 0		TIER 1	
As+I HC	1,11633486	As+I HC	2,75319152
As+I CO	1,38465734	As+I CO	1,64245774
As+I Nox	0,07596419	As+I Nox	0,31055521

Tabla 6. Afectación a largo plazo ralenti Quito

TIER 0		TIER 1	
As+I HC	1,16065584	As+I HC	2,86249933
As+I CO	1,44213783	As+I CO	1,71064015
As+I Nox	0,07853655	As+I Nox	0,32107146

Tabla 7. Afectación a largo plazo alta velocidad de motor Lago agrio

TIER 0		TIER 1	
As+I HC	0,39930676	As+I HC	0,68961454
As+I CO	0,47601576	As+I CO	0,4952498
As+I Nox	0,11358539	As+I Nox	0,14853079

Tabla 8. Afectación a largo plazo alta velocidad de motor Quito

TIER 0		TIER 1	
As+I HC	0,41351744	As+I HC	0,71415679
As+I CO	0,49326191	As+I CO	0,5131928
As+I Nox	0,11747928	As+I Nox	0,15362267

Tabla 9. Afectación irreversible Ralentí

TIER 0		TIER 1	
HC tar	2,68724236	HC tar	2,66699698
HC bas	1,68049895	HC bas	1,07649458
% cambio	59,91%	% cambio	147,75%
HC As Irr	0,59907411	HC As Irr	1,47748297
CO tar	3,44248965	CO tar	2,05207968
CO bas	1,91391816	CO bas	1,0537761
% cambio	79,87%	% cambio	94,74%
CO As Irr	0,79866084	CO As Irr	0,94735834
NOx tar	1,14443989	NOx tar	1,29488009
NOx bas	1,07341692	NOx bas	1,01919286
% cambio	6,62%	% cambio	27,05%
NOx As Irr	0,06616531	NOx As Irr	0,27049565

Tabla 10. Afectación irreversible altas revoluciones

TIER 0		TIER 1	
HC tar	1,48702775	HC tar	1,39129682
HC bas	1,23165322	HC bas	1,02445319
% cambio	20,73%	% cambio	35,81%
HC As Short	0,20734288	HC As Short	0,35808726
CO tar	1,63556911	CO tar	1,29810341
CO bas	1,29479833	CO bas	1,01906445
% cambio	26,32%	% cambio	27,38%
CO As Short	0,26318444	CO As Short	0,27381875
NOx tar	1,22054373	NOx tar	1,1406377
NOx bas	1,11032731	NOx bas	1,00958868
% cambio	9,93%	% cambio	12,98%
NOx As Short	0,0992648	NOx As Short	0,12980437

Tabla 11. Porcentajes de afectación Tier 0 Ralentí

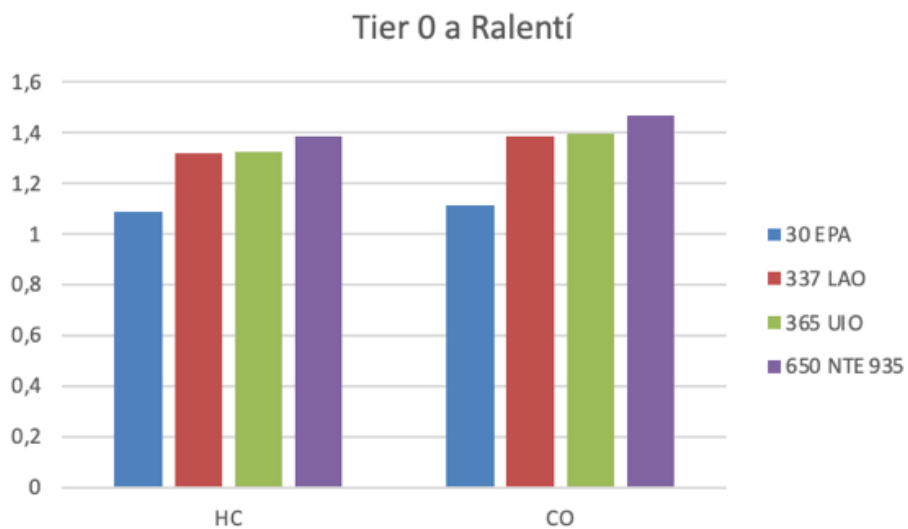


Tabla 12. Porcentajes de afectación Tier 1 Ralentí

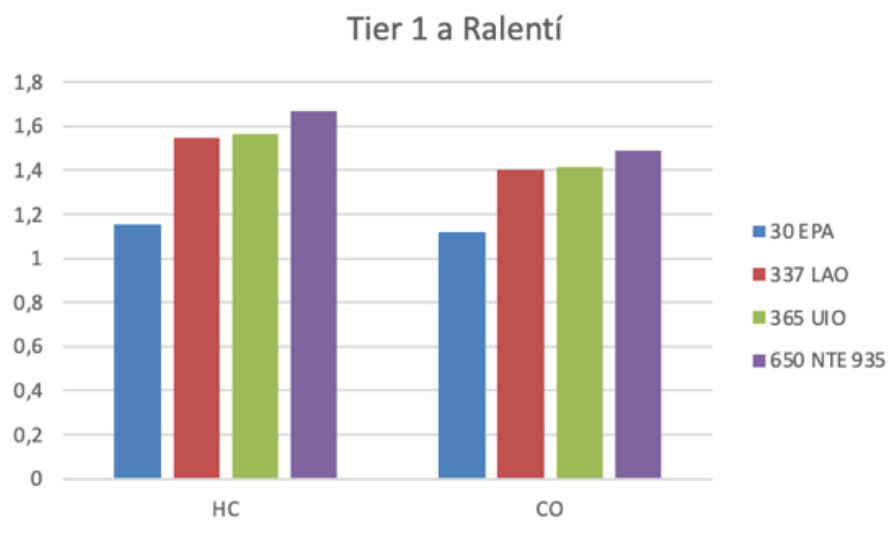


Tabla 13. Porcentaje de afectación Tier 0 Altas revoluciones

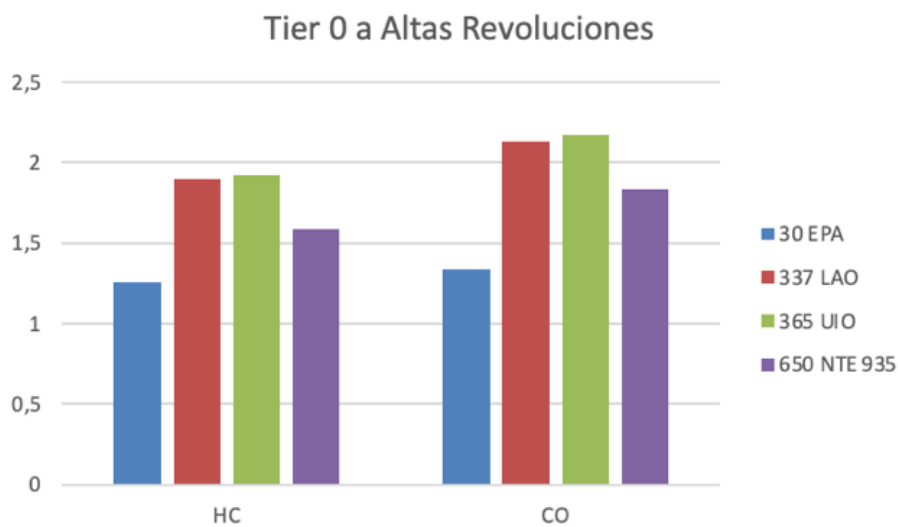


Tabla 14. Porcentaje de afectación Tier 1 Altas revoluciones

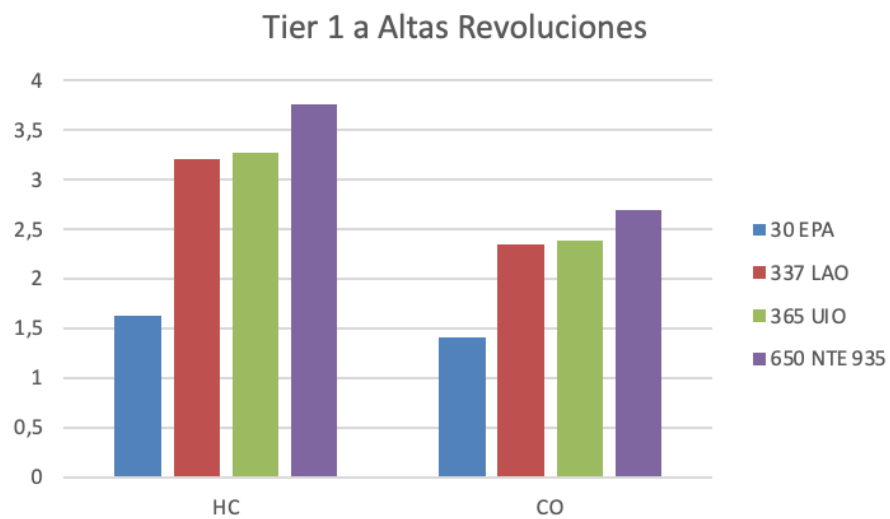


Tabla 15. Comparativa total de HC en Ralentí

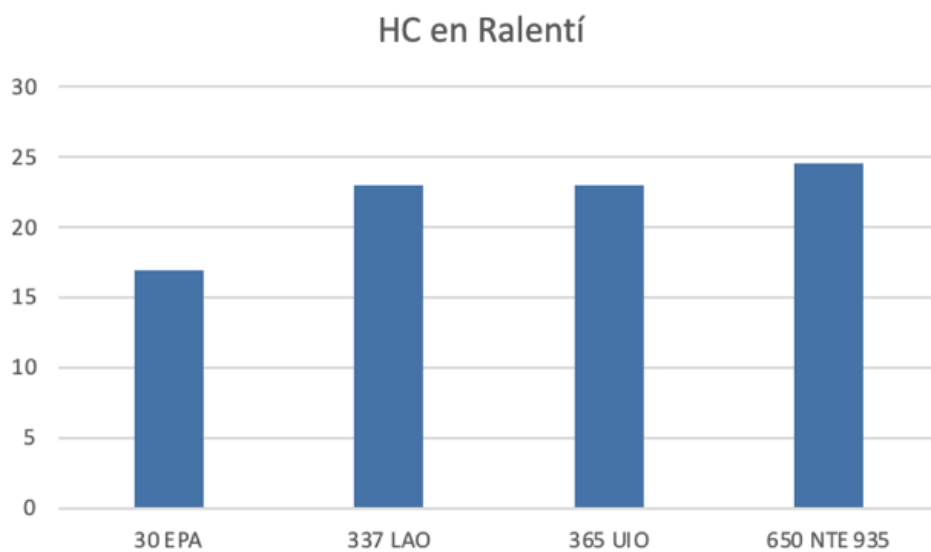


Tabla 16. Comparativa total de CO en ralentí

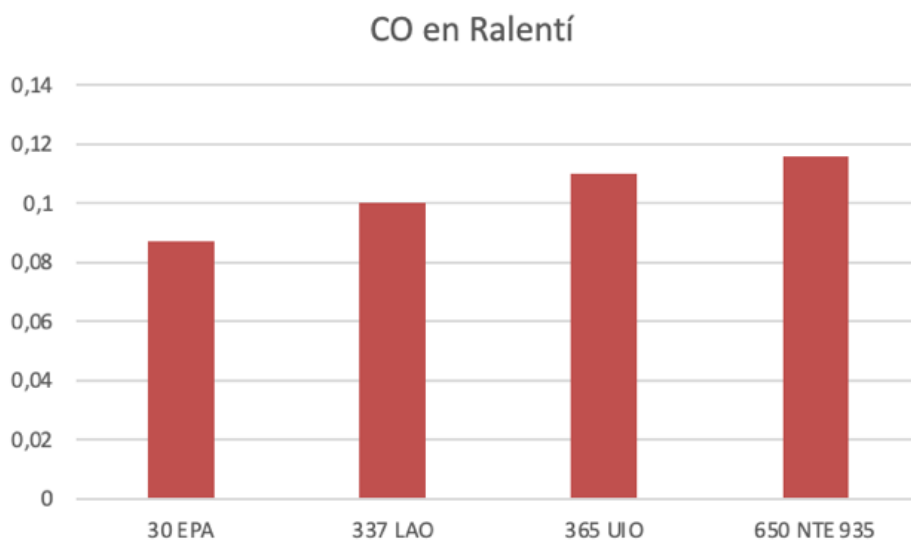
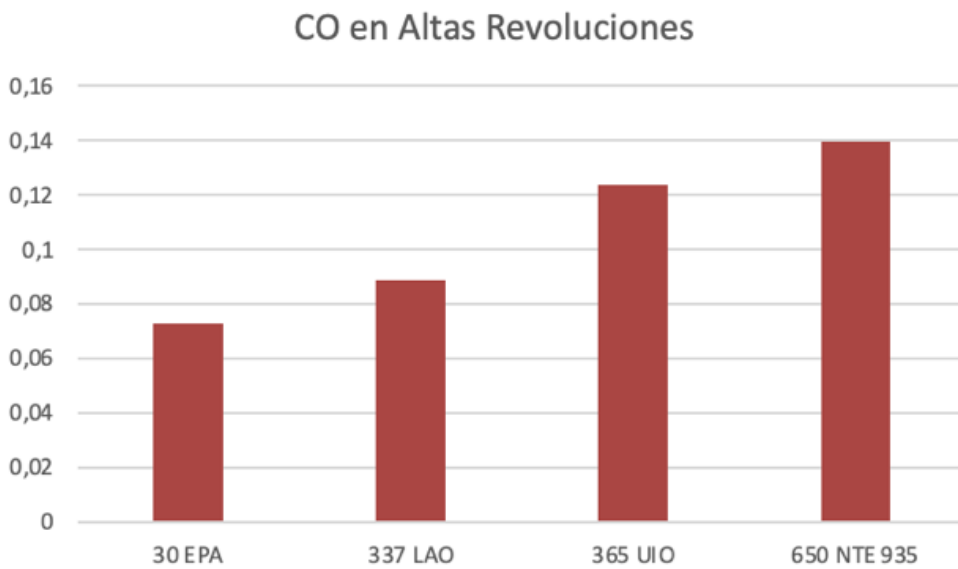


Tabla 17. Comparativa de HC en altas revoluciones



Tabla 18. Comparativa de CO en altas revoluciones



PRUEBAS DE GASES PARA NISSAN ALMERA

Lago Agrio a ralentí

Prueba: escape/gasolin

escape/gasolin

cilindro(s) 1

Resultado	Unidad	Mín.	Máx.	Medido
número revoluciones	1/min	----	----	0
temperatura aceite	°C	----	----	88.3
CO	%vol	----	----	0.03
CO2	%vol	----	----	15.18
HC	ppm vol	----	----	37
O2	%vol	----	----	0.02
Lambda		----	----	0.998
NO	ppm vol	----	----	----

Prueba: escape/gasolin

escape/gasolin

cilindro(s) 1

Resultado	Unidad	Mín.	Máx.	Medido
número revoluciones	1/min	----	----	0
temperatura aceite	°C	----	----	91
CO	%vol	----	----	0.07
CO2	%vol	----	----	15.18
HC	ppm vol	----	----	24
O2	%vol	----	----	0
Lambda		----	----	0.997
NO	ppm vol	----	----	----

Prueba: escape/gasolin

escape/gasolin

cilindro(s) 1

Resultado	Unidad	Mín.	Máx.	Medido
número revoluciones	1/min	----	----	0
temperatura aceite	°C	----	----	92.8
CO	%vol	----	----	0.09
CO2	%vol	----	----	15.16
HC	ppm vol	----	----	23
O2	%vol	----	----	0
Lambda		----	----	0.996
NO	ppm vol	----	----	----

Prueba: escape/gasolin

escape/gasolin

cilindro(s) 1

Resultado	Unidad	Mín.	Máx.	Medido
número revoluciones	1/min	----	----	0
temperatura aceite	°C	----	----	93.7
CO	%vol	----	----	0.1
CO2	%vol	----	----	15.14
HC	ppm vol	----	----	27
O2	%vol	----	----	0
Lambda		----	----	0.996
NO	ppm vol	----	----	----

Prueba: escape/gasolin

escape/gasolin

cilindro(s) 1

Resultado	Unidad	Min.	Máx.	Medido
número revoluciones	1/min	----	----	0
temperatura aceite	°C	----	----	94.1
CO	%vol	----	----	0.11
CO2	%vol	----	----	15.13
HC	ppm vol	----	----	23
O2	%vol	----	----	0
Lambda		----	----	0.996
NO	ppm vol	----	----	----

Prueba: escape/gasolin**escape/gasolin****cilindro(s) 1**

Resultado	Unidad	Min.	Máx.	Medido
número revoluciones	1/min	----	----	0
temperatura aceite	°C	----	----	93.9
CO	%vol	----	----	0.11
CO2	%vol	----	----	15.12
HC	ppm vol	----	----	22
O2	%vol	----	----	0
Lambda		----	----	0.996
NO	ppm vol	----	----	----

Prueba: escape/gasolin
escape/gasolin

cilindro(s) 1

Resultado	Unidad	Mín.	Máx.	Medido
número revoluciones	1/min	----	----	0
temperatura aceite	°C	----	----	93.2
CO	%vol	----	----	0.1
CO2	%vol	----	----	15.03
HC	ppm vol	----	----	18
O2	%vol	----	----	0
Lambda		----	----	0.996
NO	ppm vol	----	----	----

Prueba: escape/gasolin

escape/gasolin

cilindro(s) 1

Resultado	Unidad	Mín.	Máx.	Medido
número revoluciones	1/min	----	----	0
temperatura aceite	°C	----	----	94.2
CO	%vol	----	----	0.1
CO2	%vol	----	----	15.03
HC	ppm vol	----	----	16
O2	%vol	----	----	0
Lambda		----	----	0.996
NO	ppm vol	----	----	----

Prueba: escape/gasolin

escape/gasolin

cilindro(s) 1

Resultado	Unidad	Mín.	Máx.	Medido
número revoluciones	1/min	----	----	0
temperatura aceite	°C	----	----	94.3
CO	%vol	----	----	0.1
CO2	%vol	----	----	15.02
HC	ppm vol	----	----	16
O2	%vol	----	----	0
Lambda		----	----	0.996
NO	ppm vol	----	----	----

Prueba: escape/gasolin

escape/gasolin

cilindro(s) 1

Resultado	Unidad	Mín.	Máx.	Medido
número revoluciones	1/min	----	----	0
temperatura aceite	°C	----	----	94.9
CO	%vol	----	----	0.1
CO2	%vol	----	----	15.03
HC	ppm vol	----	----	15
O2	%vol	----	----	0
Lambda		----	----	0.996
NO	ppm vol	----	----	----

Lago Agrio Altas revoluciones

Prueba: escape/gasolin

escape/gasolin

cilindro(s) 1

Resultado	Unidad	Mín.	Máx.	Medido
número revoluciones	1/min	----	----	0
temperatura aceite	°C	----	----	92
CO	%vol	----	----	0.09
CO2	%vol	----	----	15.18
HC	ppm vol	----	----	9
O2	%vol	----	----	-0.03
Lambda		----	----	0.996
NO	ppm vol	----	----	----

Prueba: escape/gasolin

escape/gasolin

cilindro(s) 1

Resultado	Unidad	Mín.	Máx.	Medido
número revoluciones	1/min	----	----	0
temperatura aceite	°C	----	----	94.4
CO	%vol	----	----	0.07
CO2	%vol	----	----	15.19
HC	ppm vol	----	----	7
O2	%vol	----	----	-0.05
Lambda		----	----	0.995
NO	ppm vol	----	----	----

Prueba: escape/gasolin

escape/gasolin

cilindro(s) 1

Resultado	Unidad	Mín.	Máx.	Medido
número revoluciones	1/min	----	----	0
temperatura aceite	°C	----	----	95.5
CO	%vol	----	----	0.07
CO2	%vol	----	----	15.21
HC	ppm vol	----	----	6
O2	%vol	----	----	-0.03
Lambda		----	----	0.996
NO	ppm vol	----	----	----

Prueba: escape/gasolin

escape/gasolin

cilindro(s) 1

Resultado	Unidad	Min.	Máx.	Medido
número revoluciones	1/min	----	----	0
temperatura aceite	°C	----	----	95.5
CO	%vol	----	----	0.09
CO2	%vol	----	----	15.21
HC	ppm vol	----	----	8
O2	%vol	----	----	-0.05
Lambda		----	----	0.995
NO	ppm vol	----	----	----

Prueba: escape/gasolin

escape/gasolin

cilindro(s) 1

Resultado	Unidad	Mín.	Máx.	Medido
número revoluciones	1/min	----	----	0
temperatura aceite	°C	----	----	95.9
CO	%vol	----	----	0.08
CO2	%vol	----	----	15.23
HC	ppm vol	----	----	7
O2	%vol	----	----	-0.05
Lambda		----	----	0.995
NO	ppm vol	----	----	----

Prueba: escape/gasolin
escape/gasolin

cilindro(s) 1

Resultado	Unidad	Mín.	Máx.	Medido
número revoluciones	1/min	----	----	0
temperatura aceite	°C	----	----	94.7
CO	%vol	----	----	0.03
CO2	%vol	----	----	15.14
HC	ppm vol	----	----	4
O2	%vol	----	----	-0.03
Lambda		----	----	0.997
NO	ppm vol	----	----	----

Prueba: escape/gasolin
escape/gasolin

cilindro(s) 1

Resultado	Unidad	Mín.	Máx.	Medido
número revoluciones	1/min	----	----	0
temperatura aceite	°C	----	----	95
CO	%vol	----	----	0.03
CO2	%vol	----	----	15.16
HC	ppm vol	----	----	4
O2	%vol	----	----	-0.03
Lambda		----	----	0.997
NO	ppm vol	----	----	----

Prueba: escape/gasolin
escape/gasolin

cilindro(s) 1

Resultado	Unidad	Mín.	Máx.	Medido
número revoluciones	1/min	----	----	0
temperatura aceite	°C	----	----	96
CO	%vol	----	----	0.02
CO2	%vol	----	----	15.15
HC	ppm vol	----	----	2
O2	%vol	----	----	-0.03
Lambda		----	----	0.998
NO	ppm vol	----	----	----

Prueba: escape/gasolin

escape/gasolin

cilindro(s) 1

Resultado	Unidad	Mín.	Máx.	Medido
número revoluciones	1/min	----	----	0
temperatura aceite	°C	----	----	95.6
CO	%vol	----	----	0.02
CO2	%vol	----	----	15.15
HC	ppm vol	----	----	3
O2	%vol	----	----	-0.03
Lambda		----	----	0.998
NO	ppm vol	----	----	----

Prueba: escape/gasolin

escape/gasolin

cilindro(s) 1

Resultado	Unidad	Mín.	Máx.	Medido
número revoluciones	1/min	----	----	0
temperatura aceite	°C	----	----	97
CO	%vol	----	----	0.04
CO2	%vol	----	----	15.08
HC	ppm vol	----	----	1
O2	%vol	----	----	-0.06
Lambda		----	----	0.996
NO	ppm vol	----	----	----

Quito a ralentí

Prueba: escape/gasolin

escape/gasolin

cilindro(s) 1

Resultado	Unidad	Mín.	Máx.	Medido
número revoluciones	1/min	----	----	0
temperatura aceite	°C	----	----	77.1
CO	%vol	----	----	0.11
CO2	%vol	----	----	15.17
HC	ppm vol	----	----	133
O2	%vol	----	----	0.19
Lambda		----	----	0.999
NO	ppm vol	----	----	----

Prueba: escape/gasolin

escape/gasolin

cilindro(s) 1

Resultado	Unidad	Mín.	Máx.	Medido
número revoluciones	1/min	----	----	0
temperatura aceite	°C	----	----	86.9
CO	%vol	----	----	0.07
CO2	%vol	----	----	15.37
HC	ppm vol	----	----	46
O2	%vol	----	----	0
Lambda		----	----	0.996
NO	ppm vol	----	----	----

Prueba: escape/gasolin
escape/gasolin

cilindro(s) 1

Resultado	Unidad	Mín.	Máx.	Medido
número revoluciones	1/min	----	----	0
temperatura aceite	°C	----	----	88.7
CO	%vol	----	----	0.11
CO2	%vol	----	----	15.29
HC	ppm vol	----	----	52
O2	%vol	----	----	0.02
Lambda		----	----	0.995
NO	ppm vol	----	----	----

Prueba: escape/gasolin
escape/gasolin

cilindro(s) 1

Resultado	Unidad	Min.	Máx.	Medido
número revoluciones	1/min	----	----	0
temperatura aceite	°C	----	----	92.3
CO	%vol	----	----	0.15
CO2	%vol	----	----	15.07
HC	ppm vol	----	----	53
O2	%vol	----	----	0.01
Lambda		----	----	0.993
NO	ppm vol	----	----	----

Prueba: escape/gasolin
escape/gasolin

cilindro(s) 1

Resultado	Unidad	Mín.	Máx.	Medido
número revoluciones	1/min	----	----	0
temperatura aceite	°C	----	----	92.4
CO	%vol	----	----	0.09
CO2	%vol	----	----	15.08
HC	ppm vol	----	----	42
O2	%vol	----	----	0
Lambda		----	----	0.995
NO	ppm vol	----	----	----

Prueba: escape/gasolin

escape/gasolin

cilindro(s) 1

Resultado	Unidad	Mín.	Máx.	Medido
número revoluciones	1/min	----	----	0
temperatura aceite	°C	----	----	92.9
CO	%vol	----	----	0.09
CO2	%vol	----	----	15.1
HC	ppm vol	----	----	28
O2	%vol	----	----	0.01
Lambda		----	----	0.997
NO	ppm vol	----	----	----

Prueba: escape/gasolin

escape/gasolin

cilindro(s) 1

Resultado	Unidad	Mín.	Máx.	Medido
número revoluciones	1/min	----	----	0
temperatura aceite	°C	----	----	93.9
CO	%vol	----	----	0.13
CO2	%vol	----	----	15.1
HC	ppm vol	----	----	29
O2	%vol	----	----	0
Lambda		----	----	0.995
NO	ppm vol	----	----	----

Prueba: escape/gasolin

escape/gasolin

cilindro(s) 1

Resultado	Unidad	Min.	Máx.	Medido
número revoluciones	1/min	----	----	0
temperatura aceite	°C	----	----	94.3
CO	%vol	----	----	0.16
CO2	%vol	----	----	15.04
HC	ppm vol	----	----	38
O2	%vol	----	----	0
Lambda		----	----	0.993
NO	ppm vol	----	----	----

Prueba: escape/gasolin

escape/gasolin

cilindro(s) 1

Resultado	Unidad	Min.	Máx.	Medido
número revoluciones	1/min	----	----	0
temperatura aceite	°C	----	----	95.4
CO	%vol	----	----	0.14
CO2	%vol	----	----	15.11
HC	ppm vol	----	----	23
O2	%vol	----	----	0
Lambda		----	----	0.995
NO	ppm vol	----	----	----

Prueba: escape/gasolin
escape/gasolin

cilindro(s) 1

Resultado	Unidad	Mín.	Máx.	Medido
número revoluciones	1/min	----	----	0
temperatura aceite	°C	----	----	95.1
CO	%vol	----	----	0.13
CO2	%vol	----	----	15.07
HC	ppm vol	----	----	24
O2	%vol	----	----	-0.01
Lambda		----	----	0.995
NO	ppm vol	----	----	----

Quito a altas revoluciones

Prueba: escape/gasolin

escape/gasolin

cilindro(s) 1

Resultado	Unidad	Mín.	Máx.	Medido
número revoluciones	1/min	----	----	0
temperatura aceite	°C	----	----	86.1
CO	%vol	----	----	0.17
CO2	%vol	----	----	15.25
HC	ppm vol	----	----	16
O2	%vol	----	----	-0.03
Lambda		----	----	0.993
NO	ppm vol	----	----	----

Prueba: escape/gasolin
escape/gasolin

cilindro(s) 1

Resultado	Unidad	Min.	Máx.	Medido
número revoluciones	1/min	----	----	0
temperatura aceite	°C	----	----	89.6
CO	%vol	----	----	0.12
CO2	%vol	----	----	15.31
HC	ppm vol	----	----	9
O2	%vol	----	----	-0.02
Lambda		----	----	0.995
NO	ppm vol	----	----	----

Prueba: escape/gasolin
escape/gasolin

cilindro(s) 1

Resultado	Unidad	Min.	Máx.	Medido
número revoluciones	1/min	----	----	0
temperatura aceite	°C	----	----	93.4
CO	%vol	----	----	0.1
CO2	%vol	----	----	15.08
HC	ppm vol	----	----	7
O2	%vol	----	----	0
Lambda		----	----	0.997
NO	ppm vol	----	----	----

Prueba: escape/gasolin

escape/gasolin

cilindro(s) 1

Resultado	Unidad	Mín.	Máx.	Medido
número revoluciones	1/min	----	----	0
temperatura aceite	°C	----	----	94.5
CO	%vol	----	----	0.1
CO2	%vol	----	----	15.06
HC	ppm vol	----	----	6
O2	%vol	----	----	-0.02
Lambda		----	----	0.996
NO	ppm vol	----	----	----

Prueba: escape/gasolin

escape/gasolin

cilindro(s) 1

Resultado	Unidad	Mín.	Máx.	Medido
número revoluciones	1/min	----	----	0
temperatura aceite	°C	----	----	93.6
CO	%vol	----	----	0.17
CO2	%vol	----	----	15.07
HC	ppm vol	----	----	10
O2	%vol	----	----	-0.05
Lambda		----	----	0.992
NO	ppm vol	----	----	----

Prueba: escape/gasolin

escape/gasolin

cilindro(s) 1

Resultado	Unidad	Mín.	Máx.	Medido
número revoluciones	1/min	----	----	0
temperatura aceite	°C	----	----	94.7
CO	%vol	----	----	0.06
CO2	%vol	----	----	15.12
HC	ppm vol	----	----	8
O2	%vol	----	----	-0.05
Lambda		----	----	0.996
NO	ppm vol	----	----	----

Prueba: escape/gasolin

escape/gasolin

cilindro(s) 1

Resultado	Unidad	Mín.	Máx.	Medido
número revoluciones	1/min	----	----	0
temperatura aceite	°C	----	----	95.6
CO	%vol	----	----	0.11
CO2	%vol	----	----	15.15
HC	ppm vol	----	----	7
O2	%vol	----	----	-0.06
Lambda		----	----	0.994
NO	ppm vol	----	----	----

Prueba: escape/gasolin

escape/gasolin

cilindro(s) 1

Resultado	Unidad	Mín.	Máx.	Medido
número revoluciones	1/min	----	----	0
temperatura aceite	°C	----	----	96.9
CO	%vol	----	----	0.11
CO2	%vol	----	----	15.12
HC	ppm vol	----	----	7
O2	%vol	----	----	-0.03
Lambda		----	----	0.995
NO	ppm vol	----	----	----

Prueba: escape/gasolin
escape/gasolin

cilindro(s) 1

Resultado	Unidad	Mín.	Máx.	Medido
número revoluciones	1/min	----	----	0
temperatura aceite	°C	----	----	96
CO	%vol	----	----	0.12
CO2	%vol	----	----	15.18
HC	ppm vol	----	----	7
O2	%vol	----	----	-0.03
Lambda		----	----	0.995
NO	ppm vol	----	----	----

Prueba: escape/gasolin
escape/gasolin

cilindro(s) 1

Resultado	Unidad	Mín.	Máx.	Medido
número revoluciones	1/min	----	----	0
temperatura aceite	°C	----	----	97.2
CO	%vol	----	----	0.17
CO2	%vol	----	----	15.06
HC	ppm vol	----	----	6
O2	%vol	----	----	-0.03
Lambda		----	----	0.993
NO	ppm vol	----	----	----

ANOVA

ANOVA Lago agrio prueba de gases ralenti

Análisis de varianza CO LAO R						
RESUMEN						
Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza		
Fila 1	5	0,4	0,08	0,001		
Fila 2	5	0,51	0,102	0,00002		
ANÁLISIS DE VARIANZA						
<i>n de las variacna de cuadracados de libertdio de los cuac</i>				<i>F</i>	<i>Probabilidad lor crítico para F</i>	
Entre grupos	0,00121	1	0,00121	2,37254902	0,16205132	5,31765506
Dentro de los	0,00408	8	0,00051			
Total	0,00529	9				
Análisis de varianza de un factor						
RESUMEN						
Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza		
Fila 1	5	75,79	15,158	0,00052		
Fila 2	5	75,23	15,046	0,00173		
ANÁLISIS DE VARIANZA						
<i>n de las variacna de cuadracados de libertdio de los cuac</i>				<i>F</i>	<i>Probabilidad lor crítico para F</i>	
Entre grupos	0,03136	1	0,03136	27,8755556	0,00074645	5,31765506
Dentro de los	0,009	8	0,001125			
Total	0,04036	9				

Análisis de varianza de un factor						
RESUMEN						
Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza		
Fila 1	5	134	26,8	35,2		
Fila 2	5	87	17,4	7,8		
ANÁLISIS DE VARIANZA						
n de las variacna de cuadracados de libertadio de los cuac				F	Probabilidad lor crítico para F	
Entre grupos	220,9	1	220,9	10,2744186	0,01251093	5,31765506
Dentro de los	172	8	21,5			
Total	392,9	9				
Análisis de varianza de un factor						
RESUMEN						
Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza		
Fila 1	5	0,02	0,004	0,00008		
Fila 2	5	0	0	0		
ANÁLISIS DE VARIANZA						
n de las variacna de cuadracados de libertadio de los cuac				F	Probabilidad lor crítico para F	
Entre grupos	4E-05	1	4E-05	1	0,34659351	5,31765506
Dentro de los	0,00032	8	0,00004			
Total	0,00036	9				

Análisis de varianza de un factor						
RESUMEN						
<i>Grupos</i>	<i>Cuenta</i>	<i>Suma</i>	<i>Promedio</i>	<i>Varianza</i>		
Fila 1	5	4,983	0,9966	8E-07		
Fila 2	5	4,98	0,996	1,5407E-32		
ANÁLISIS DE VARIANZA						
<i>n de las variacna de cuadracados de libertad</i>	<i>di de los cuac</i>			<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>lor crítico para F</i>
Entre grupos	9E-07	1	9E-07	2,25	0,17200329	5,31765506
Dentro de los	3,2E-06	8	4E-07			
Total	4,1E-06	9				

ANOVA Lago Agrio prueba de gases a alta velocidad de motor

Análisis de varianza de un factor						
RESUMEN						
Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza		
Fila 1	5	0,4	0,08	1E-04		
Fila 2	5	0,14	0,028	0,00007		
ANÁLISIS DE VARIANZA						
Origen de la variación	Suma de cuadrados	Libertad de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F	
Entre grupos	0,00676	1	0,00676	79,5294118	1,9821E-05	5,31765506
Dentro de los	0,00068	8	0,000085			
Total	0,00744	9				
Análisis de varianza de un factor						
RESUMEN						
Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza		
Fila 1	5	76,02	15,204	0,00038		
Fila 2	5	75,68	15,136	0,00103		
ANÁLISIS DE VARIANZA						
Origen de la variación	Suma de cuadrados	Libertad de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F	
Entre grupos	0,01156	1	0,01156	16,3971631	0,00368758	5,31765506
Dentro de los	0,00564	8	0,000705			
Total	0,0172	9				

Análisis de varianza de un factor							
RESUMEN							
Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza			
Fila 1	5	37	7,4	1,3			
Fila 2	5	14	2,8	1,7			
ANÁLISIS DE VARIANZA							
Origen de las variacna de cuadracados de libertdio de los cuac				F	Probabilidad	lor crítico para F	
Entre grupos	52,9	1	52,9	35,2666667	0,00034639	5,31765506	
Dentro de los	12	8	1,5				
Total	64,9	9					
Análisis de varianza de un factor							
RESUMEN							
Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza			
Fila 1	5	-0,21	-0,042	0,00012			
Fila 2	5	-0,18	-0,036	0,00018			
ANÁLISIS DE VARIANZA							
Origen de las variacna de cuadracados de libertdio de los cuac				F	Probabilidad	lor crítico para F	
Entre grupos	0,00009	1	0,00009	0,6	0,46085601	5,31765506	
Dentro de los	0,0012	8	0,00015				
Total	0,00129	9					
Análisis de varianza de un factor							
RESUMEN							
Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza			
Fila 1	5	4,977	0,9954	3E-07			
Fila 2	5	4,986	0,9972	7E-07			
ANÁLISIS DE VARIANZA							
Origen de las variacna de cuadracados de libertdio de los cuac				F	Probabilidad	lor crítico para F	
Entre grupos	8,1E-06	1	8,1E-06	16,2	0,00381492	5,31765506	
Dentro de los	4E-06	8	5E-07				
Total	0,0000121	9					

ANOVA Quito prueba de gases a ralentí

Análisis de varianza CO UIO R						
RESUMEN						
Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza		
Fila 1	5	0,53	0,106	0,00088		
Fila 2	5	0,65	0,13	0,00065		
ANÁLISIS DE VARIANZA						
n de las varianza de cuadrados de libertad de los cuadrados				F	Probabilidad	lor crítico para F
Entre grupos	0,00144	1	0,00144	1,88235294	0,20730484	5,31765506
Dentro de los	0,00612	8	0,000765			
Total	0,00756	9				
Análisis de varianza CO2 UIO R						
RESUMEN						
Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza		
Fila 1	5	75,98	15,196	0,01728		
Fila 2	5	75,42	15,084	0,00083		
ANÁLISIS DE VARIANZA						
n de las varianza de cuadrados de libertad de los cuadrados				F	Probabilidad	lor crítico para F
Entre grupos	0,03136	1	0,03136	3,46327996	0,09977893	5,31765506
Dentro de los	0,07244	8	0,009055			
Total	0,1038	9				

Análisis de varianza HC UIO R							
RESUMEN							
Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza			
Fila 1	5	326	65,2	1456,7			
Fila 2	5	142	28,4	35,3			
ANÁLISIS DE VARIANZA							
n de las variacna de cuadracados de libertdio de los cuac				F	Probabilidad lor crítico para F		
Entre grupos	3385,6	1	3385,6	4,5383378	0,0657584	5,31765506	
Dentro de los	5968	8	746				
Total	9353,6	9					
Análisis de varianza O2 UIO R							
RESUMEN							
Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza			
Fila 1	5	0,22	0,044	0,00673			
Fila 2	5	0	0	0,00005			
ANÁLISIS DE VARIANZA							
n de las variacna de cuadracados de libertdio de los cuac				F	Probabilidad lor crítico para F		
Entre grupos	0,00484	1	0,00484	1,42772861	0,2663543	5,31765506	
Dentro de los	0,02712	8	0,00339				
Total	0,03196	9					

Análisis de varianza λ UIOR						
RESUMEN						
<i>Grupos</i>	<i>Cuenta</i>	<i>Suma</i>	<i>Promedio</i>	<i>Varianza</i>		
Fila 1	5	4,978	0,9956	4,8E-06		
Fila 2	5	4,975	0,995	0,000002		
ANÁLISIS DE VARIANZA						
<i>n de las variacna de cuadracados de libertad</i>	<i>di de los cuac</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>lor crítico para F</i>		
Entre grupos	9E-07	1	9E-07	0,26470588	0,62081365	5,31765506
Dentro de los	2,72E-05	8	3,4E-06			
Total	2,81E-05	9				

ANOVA Quito prueba de gases a altas revoluciones

Análisis de varianza CO UIO A							
RESUMEN							
Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza			
Fila 1	5	0,66	0,132	0,00127			
Fila 2	5	0,57	0,114	0,00153			
ANÁLISIS DE VARIANZA							
Origen de las variacna de cuadracados de libertdio de los cuac				F	Probabilidad	lor crítico para F	
Entre grupos	0,00081	1	0,00081	0,57857143	0,46869626	5,31765506	
Dentro de los	0,0112	8	0,0014				
Total	0,01201	9					
Análisis de varianza CO2 UIO A							
RESUMEN							
Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza			
Fila 1	5	75,77	15,154	0,01373			
Fila 2	5	75,63	15,126	0,00198			
ANÁLISIS DE VARIANZA							
Origen de las variacna de cuadracados de libertdio de los cuac				F	Probabilidad	lor crítico para F	
Entre grupos	0,00196	1	0,00196	0,2495226	0,63085775	5,31765506	
Dentro de los	0,06284	8	0,007855				
Total	0,0648	9					

Análisis de varianza de un factor						
RESUMEN						
Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza		
Fila 1	5	48	9,6	15,3		
Fila 2	5	35	7	0,5		
ANÁLISIS DE VARIANZA						
Origen de las variacna de cuadracados de libertdio de los cuac				F	Probabilidad lor crítico para F	
Entre grupos	16,9	1	16,9	2,13924051	0,18171827	5,31765506
Dentro de los	63,2	8	7,9			
Total	80,1	9				
Análisis de varianza de un factor						
RESUMEN						
Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza		
Fila 1	5	-0,12	-0,024	0,00033		
Fila 2	5	-0,2	-0,04	0,0002		
ANÁLISIS DE VARIANZA						
Origen de las variacna de cuadracados de libertdio de los cuac				F	Probabilidad lor crítico para F	
Entre grupos	0,00064	1	0,00064	2,41509434	0,15877706	5,31765506
Dentro de los	0,00212	8	0,000265			
Total	0,00276	9				
Análisis de varianza de un factor						
RESUMEN						
Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza		
Fila 1	5	4,973	0,9946	4,3E-06		
Fila 2	5	4,973	0,9946	0,0000013		
ANÁLISIS DE VARIANZA						
Origen de las variacna de cuadracados de libertdio de los cuac				F	Probabilidad lor crítico para F	
Entre grupos	0	1	0	0	1	5,31765506
Dentro de los	0,0000224	8	2,8E-06			
Total	0,0000224	9				

ANEXOS RESULTADOS Y DISCUSION

Tabla 19. Resultados de CO para la huella de carbono

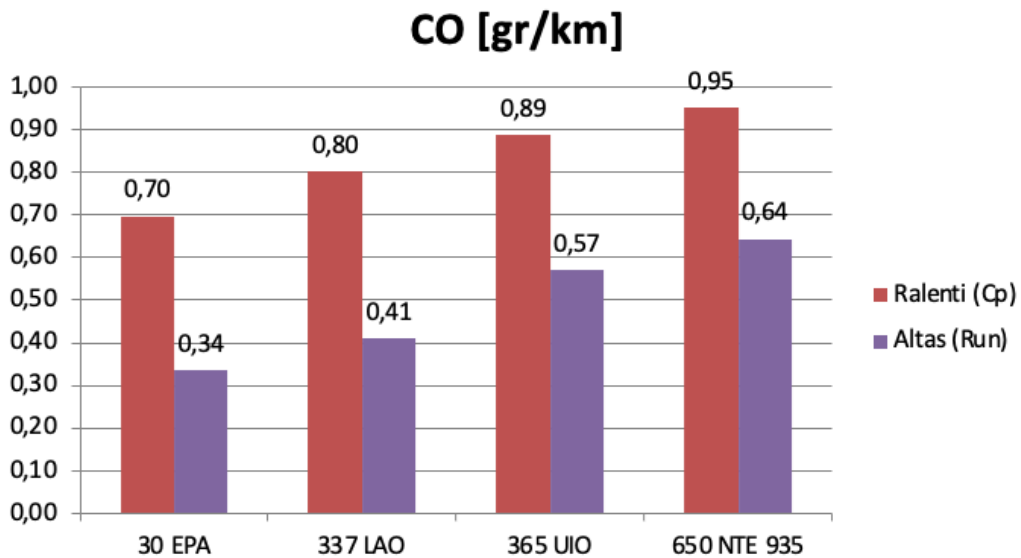


Tabla 20. Resultados de HC para la huella de carbono

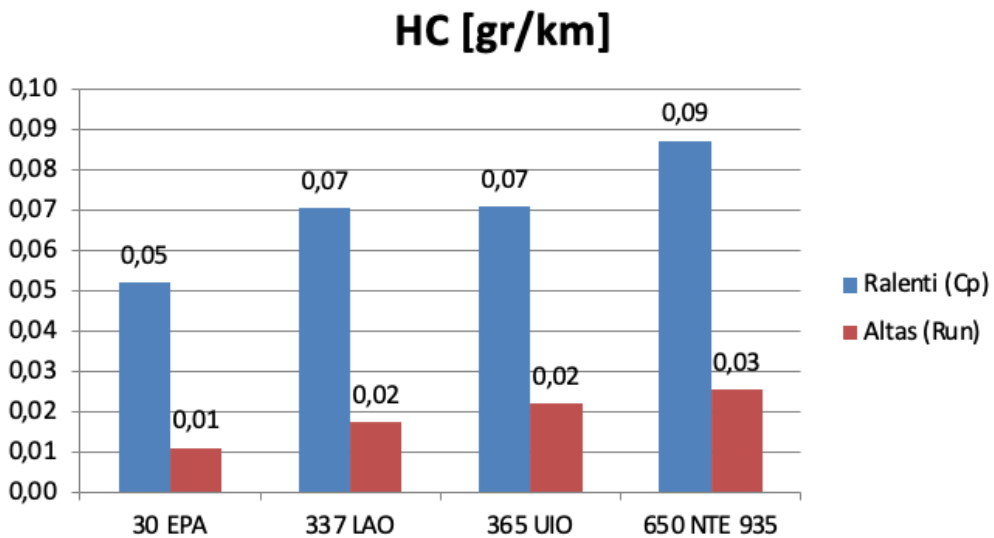


Tabla 21. Resultados de CO2 para la huella de carbono

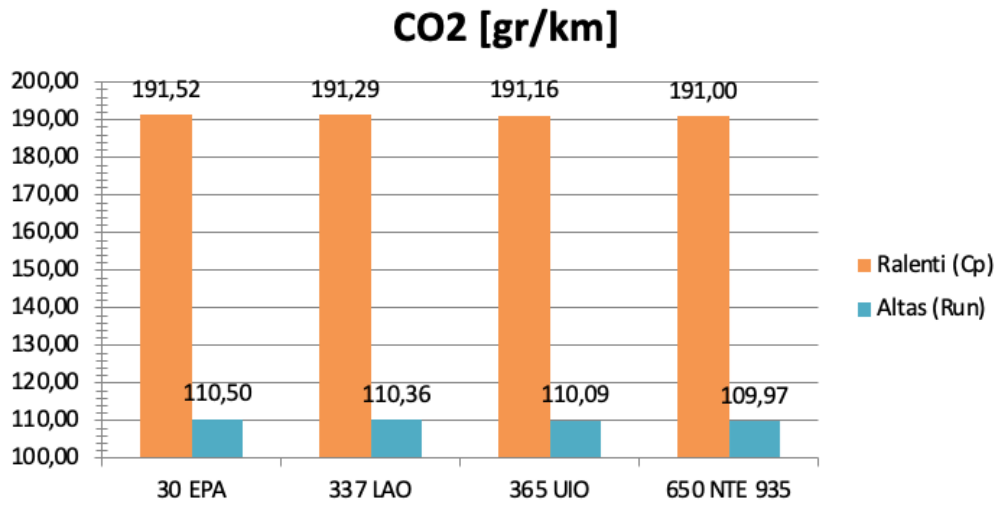


Tabla 22. CO2 para la huella de carbono a 10000 km

