

**REPÚBLICA DE CUBA.
MINISTERIO DE EDUCACIÓN SUPERIOR.
UNIVERSIDAD DE CIENFUEGOS.
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA**



ANÁLISIS TEÓRICO DE LOS GASES DE LA COMBUSTIÓN EN LOS ÓMNIBUS YUTONG

TESIS DE GRADO.

AUTOR: YORDANIS CRUZ DIAZ.

TUTOR: Msc. MANUEL RODRÍGUEZ CHÁVEZ.

AÑO 54 DE LA REVOLUCIÓN.

CIENFUEGOS 2012

DEDICATORIA

A la humanidad del Futuro.

A los Científicos que cada día siguen buscando soluciones, convencidos y con la convicción de que un Mundo mejor es posible

A mi esposa ejemplo de modestia y dedicación

A mis padres por ser parte de mis triunfos

AGRADECIMIENTOS

A l tutor. Al claustro de profesores de la facultad de ingeniería Mecánica de la Universidad Carlos Rafael Rodríguez de Cienfuegos, a mis compañeros de curso y todas aquellas personas que de una forma u otra han contribuido a mi formación.

Gracias a mi esposa y mi familia por su apoyo.

Resumen.

El transporte automotor es una de las principales fuentes emisoras de gases contaminantes provenientes de la combustión de los motores, que provoca un doble efecto dañino, pues mientras algunos de los componentes gaseosos afectan la salud humana (CO, NO_x y HC), otros conllevan al incremento de los gases de efecto invernadero (CO₂, CH₄ y N₂O), incidentes en el cambio climático que afecta a la Tierra.

Se presenta el resultado de un proceso que tiene como objetivo establecer, con fines de regulación, los máximos niveles de emisión de gases a la atmósfera generado por fuentes móviles, para atenuar su influencia en el marcado deterioro de la calidad del aire.

De esta manera, las propuestas de valores límites de emisiones de gases, tanto para los vehículos con motor de gasolina, como diesel, se reducen para todos los indicadores y en los años de fabricación de los equipos, y están en correspondencia con los valores que establecen diversas normas internacionales analizadas.

INDICE.

INTRODUCCIÓN

CAPÍTULO I: REVISION DOCUMENTAL

1.1	El transporte nacional de pasajeros por carretera.	4
1.2	Caracterización del sector.	5
1.3	La fuente energética de la máquina automotriz como ente consumidor de energía.	5
1.4	El consumo de combustible, sus indicadores y sus modelos.	7
1.5	Los indicadores del consumo de combustible tradicionales.	11
1.6	Emisiones contaminantes en motores diesel...	12
1.6.1	Emisiones en frío y en caliente	13
1.6.2	Funciones para el cálculo de emisiones	13
1.7	Determinación de las emisiones máximas admisibles según las características de transporte automotor	21
1.8	Herramientas para estimar teóricamente la emisión de sustancias contaminantes.	23
1.8.1	Impacto ambiental.	24
1.8.2	Efectos del cambio climático.	28
1.9	Conclusiones parciales	29

CAPÍTULOII: EQUIPOS , MATERIALES Y MÉTODOS

2.1	Introducción.	30
2.2	Materiales y métodos.	30
2.3	Adecuación de la metodología general de pruebas de consumo.	31
2.4	Las condiciones de explotación.	31
2.5	Características de los vehículos sometidos a prueba.	32
2.6	Definición de los parámetros a medir.	32
2.7	Población y muestra.	33
2.8	Equipos de medición.	33
2.9	Conclusiones Parciales.	34

CAPÍTULO III: ANALISIS DE LOS RESULTADOS

3.1	Análisis de los resultados.	35
3.2	Análisis de las emisiones.	36
3.3	Influencia de las emisiones de gases respecto al consumo de combustible, velocidad y distancias recorridas	42
3.4	Validación de los resultados.	44
3.5	Ahorros provocados en la flota de ómnibus YUTONG ZK-6120HA en la ruta Cienfuegos-Habana, por concepto de la actualización de los indicadores de consumo.	45
3.5.1	Impacto ambiental.	45
3.6	Sistema de monitoreo y control.	46
3.7	Conclusiones parciales.	47
CONCLUSIONES GENERALES		48
RECOMENDACIONES		49
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS		50
ANEXOS		52

INTRODUCCIÓN.

“...es una cuestión vital para la humanidad, todo lo relacionado con la producción de vehículos y todo lo relacionado con el ahorro de combustible...” [12]

La constante fluctuación con una tendencia probada a la elevación de los precios del petróleo y sus derivados ha caracterizado el panorama de los últimos cuarenta años. Esta situación se agudiza aún más para los países subdesarrollados importadores de este recurso energético que además, no disponen de un parque automotor moderno y sus infraestructuras viales en casi su totalidad, son obsoletas. Por otra parte, está demostrado por diversos autores [19] la dependencia de la emisividad respecto al consumo de combustible; y el conjunto de vehículos que poseen como fuente motriz los motores de combustión interna ocasionan perjuicios al medio ambiente.

Pese a que aún la sociedad de consumo no esté totalmente comprometida con este fenómeno “uso de los recursos energéticos en el transporte terrestre y la contaminación [2] que producen estos medios de transportes”, se significan determinados esfuerzos para aminorar su efecto. No obstante, existe un grupo de países que hoy presta suma atención a la problemática, Cuba es uno de ellos. Poseemos dependencia histórica de los recursos energéticos, aún hoy cuando se avizoran avances en la explotación de nuestros yacimientos de petróleo, tanto en su calidad, como cantidad. El empleo intensivo de los combustibles fósiles (petróleo, carbón y gas natural) [19] desde los tiempos de la revolución industrial, posibilitó el desarrollo económico, social y tecnológico de los países del orbe, pero también incremento los niveles de emisión de los gases contaminantes a la atmosfera. Algunos de los fenómenos derivados de este grave problema medioambiental son el aumento de las concentraciones de dióxido de carbono, metano, óxidos nitrosos y gases de efecto invernadero que contribuyen al calentamiento global, además de perjudicar la calidad del aire y provoca daños a la salud humana y los diversos ecosistemas del planeta.

El manejo de los recursos energéticos, la supervivencia del país y su crecimiento toma desde hace unos años nuevos matices que tuvo como resultado inmediato [11] “La revolución energética en Cuba”. En esta misión ocupa un sitio relevante el empleo de los recursos energéticos en el transporte. El país se ha caracterizado por marcadas etapas del desarrollo del transporte, en la etapa de la colaboración con la URSS y el campo socialista predominó la importación masiva de medios de transporte cuyo sello distintivo no era precisamente la economía de combustible –no dejamos de reconocer las otras excelentes cualidades que

poseían y el problema que resolvieron en su momento- también en esta etapa se importaron lotes de otra procedencia, que bajo condiciones preferenciales de precio impedían que nos dotáramos de vehículos “ahorrativos”-se refiere que muchos de estos modelos fueron concebidos antes de la crisis del petróleo de 1973- Entonces arribamos a la etapa de la desaparición de la URSS y la caída del modelo socialista este-europeo con una gran parte del parque descrito anteriormente, lo cual bajo las nuevas condiciones impuestas a nuestro comercio exterior motivó el cese de la operación de un gran número de vehículos y la explotación ineficiente del resto. En este lapso se efectuaron importaciones puntuales y no se caracterizaron las grandes compras, fue una tendencia la adquisición de vehículos de segunda mano, que resolvían el problema de la existencia del medio de transporte, pero no de su economía de combustible. Así arribamos a la tercera etapa, que hoy consideramos tiene en cuenta los aprendizajes del pasado y junto al modesto crecimiento económico actual, volvemos a adquirir cantidades significativas de vehículos. La historia deja claro que el camino de la eficiencia energética en el transporte es paralelo al camino del desarrollo definitivo del país.

El transporte nacional de pasajeros por carretera, exhibe hoy una franca recuperación en cuanto a la disponibilidad de medios, pero esto hace que seamos más cuidadosos de la economía de las empresas que lo operan y de la economía del país en general. En nuestras empresas operadoras la cultura energética no es aún una fortaleza, al igual que las emisiones que contaminan el medio ambiente (el aire)

Por lo que se formula el siguiente **Problema:**

“No se conocen en las entidades que operan medios de transporte los índices permisibles de los gases que contaminan el medio ambiente.”

Hipótesis:

El análisis teórico y experimental de los índices permisibles de los gases que contaminan el medio ambiente nos permitirá reducir las contaminaciones de gases efecto invernadero.

Objetivo General

Determinar los índices permisibles de los gases contaminantes para reducir los gases efecto invernadero.

Objetivos específicos

1. Recopilar bibliográfica de la temática.
2. Aplicar las herramientas de diagnostico para disminuir la contaminación del aire
3. Análisis de los parámetros, las cualidades dinámicas y de consumo e indicadores que posibilitan en la actualidad valorar el trabajo de los ómnibus.
4. Estudio de los modelos matemáticos existentes, que vinculen la relación vehículo-vía-condiciones de explotación, contaminación del medio ambiente.
5. Recopilación de los datos de circulación de la flota de los vehículos en estudio para efectuar los procesamientos en condiciones más cercanas a las reales de movimiento, operación y la contaminación del aire que nos rodea...
6. Actualización de los índices que contaminan el medio ambiente.

CAPÍTULO I. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.

1.1-El Transporte Nacional de Pasajeros por Carretera.

La presencia, en Cuba, del transporte nacional por carretera data de las primeras décadas del siglo XX. Un reducido grupo de cubanos, con cierta fortuna acumulada, adquirieron los primeros ómnibus de uso procedentes de los Estados Unidos. Ello fue posible gracias al precio de estos y al bajo importe de los fletes por la proximidad del mercado americano. Aquellos eran, fundamentalmente, ómnibus con carrocería de madera y asientos fijos no reclinables, que prestaban servicios entre diferentes ciudades, a través de caminos y algunas vías existentes en ese entonces.

En la década del 30, cuando se culminan las tareas de construcción de la Carretera Central, es que comienzan a realizarse viajes directos a la ciudad de La Habana en un tiempo menor, teniendo en cuenta la época. La concentración, en la capital habanera, de todos los grandes centros e instalaciones culturales, educacionales e industriales, ofrecía un mercado que permitió la creación y desarrollo de algunas pequeñas empresas de capital privado, cuyos servicios de transportación vinculaban algunas ciudades del país con la capital. Por ejemplo: Los ómnibus Menéndez en Cienfuegos, La Ranchuelera en Ranchuelo, La Cubana para Manzanillo, y la Santiago-Habana.

Con el desarrollo que fue alcanzando éste tipo de transportación, para la década de 1950, 13 eran las compañías privadas que prestaban estos servicios. Ahora los viajes se daban con ómnibus de estructura metálica, suspensión de aire, maleteros y portaequipaje, asientos reclinables y en algunos casos, aire acondicionado.

Con las transformaciones que tuvieron lugar en el sector del transporte a partir del 1 de enero de 1959, se intervino éste tipo de transportación, a los efectos de ponerlo en función de las exigencias que reclamaba la nueva sociedad. Pero, a partir de éste momento el desarrollo del transporte interprovincial se vería afectado. El parque de ómnibus era totalmente de procedencia norteamericana, y se hacía imposible adquirir estos y sus piezas de repuesto en territorio estadounidense.

Había que crear una entidad encargada de concentrar y asegurar toda la actividad del transporte entre las provincias. Surge, entonces, en 1962, la Empresa de Transporte Interprovincial de Pasajeros por Ómnibus — adscrita desde sus inicios al Ministerio de Transporte (MITRANS) —, la cual se ha ido modificando hasta convertirse en lo que hoy se conoce como ASTRO (Grupo Empresarial de Transporte por Ómnibus).

Con la incorporación de los ómnibus Yutong al parque de ASTRO representa una mejora sustancial a la situación del transporte nacional, abre nuevas fuentes de empleo y brinda oportunidades de calificación al personal del sector.

1.2- Caracterización del sector.

Una parte significativa de los fenómenos que afectaron a la sociedad cubana a partir de la caída de la URSS estuvieron vinculados al sector del transporte, y dentro de este, al transporte interprovincial. Hasta hace unos años, la edad promedio de los vehículos de la flota era de más de 12 años, que formaban un parque heterogéneo de 150 vehículos de larga explotación procedentes de: 1- importaciones capitalistas de antes del periodo especial, 2- fabricaciones nacionales hechas con suministros del bloque socialista y 3- flotas transferidas del sector de turismo. Por lo que, el factor disponibilidad alcanzaba sus peores índices, además, ante la práctica de la “supervivencia” era lógico que factores que inciden en el consumo de combustible del vehículo: como el reglaje y ajuste del sistema de suministro no se adaptaban a las normas establecidas, e incluso a veces hasta se desconocían todo tipo de documento técnico, directivas o similares, por lo que, otro aspecto que flagela al sector es el de los recursos humanos. En este punto hay que referir que existió el éxodo de personal del sector a otras ramas de la economía de mayor crecimiento, y el personal que se quedó ha perdido la cultura tecnológica.

1.3-La fuente energética de la máquina automotriz como ente consumidor de energía.

La fuente energética define en gran medida, conjuntamente con el sistema de transmisión, muchos de los más importantes indicadores técnico-económicos del vehículo: su régimen de velocidad, su capacidad de aceleración y su consumo de combustible, entre otros. Además la fuente energética representa un elemento muy importante en el costo de inversión del vehículo.

En los vehículos automotores, a pesar de los esfuerzos realizados en la búsqueda de nuevas fuentes y combustibles alternativos, las fuentes energéticas por excelencia siguen siendo los motores de combustión interna, diesel y de gasolina, mejorados en los últimos tiempos por la introducción de nuevas variantes de inyección de gasolina y de control electrónico de la inyección en los diesel.

Las características exteriores de velocidad, las características parciales y de carga se han utilizado para evaluar el comportamiento de los motores de combustión interna en diferentes condiciones de carga y velocidad. Dada la heterogeneidad de las condiciones de explotación y los diversos regímenes de movimiento del vehículo, los motores se ven sometidos a condiciones muy variables de carga. Por ello, durante un elevado por ciento del tiempo, el motor trabaja a cargas parciales.

Las características de los motores pueden ser obtenidas por vía experimental o teórica. La determinación experimental de las características en las bases de explotación del transporte no es factible económicamente, pues su utilidad y frecuencia de uso no justifica el alto costo de adquisición de los bancos de ensayo e instalaciones. No existen por otro lado, expresiones que posibiliten determinar con exactitud adecuada las características parciales, ni medios que le permitan al conductor identificar estas, con la posición del pedal de suministro de combustible. Por ello, y porque representan las máximas potencialidades del motor, contra las cuales se pueden comparar los requerimientos del vehículo en condiciones de trabajo determinadas, es por lo que la determinación teórica de la característica exterior resulta fundamental para los fines de la investigación.

El transporte es un alto consumidor de derivados del petróleo, muy por encima incluso del sector industrial en muchos países, y dentro del sector del transporte, el automotor representa el principal consumidor de energía. Dada la correspondencia entre consumo de combustible y contaminación ambiental, y la elevada utilización de los derivados del petróleo en sus fuentes energéticas, el transporte constituye uno de los principales contribuyentes a la contaminación del medio ambiente.

Hoy día, también la humanidad se enfrenta al agotamiento progresivo de las reservas de petróleo. Dado el deseo de mantener a toda costa niveles de vida que llevan implícito el derroche de los recursos naturales, entre ellos fundamentalmente los energéticos, se han producido no pocos conflictos por el control exclusivo de las reservas petrolíferas. Esto ha contribuido a la elevación continua y desmesurada de los precios del petróleo y sus derivados, que se reflejan en el sector del transporte, en un incremento de los costos de

operación, lo que obliga a un uso eficiente de los medios para garantizar, entre otros, la rentabilidad empresarial. Un aspecto vinculado al sector y a la problemática anterior, es la cuestionable intención de los Estados Unidos de América de obtener su independencia energética, a partir de la utilización del etanol y otros bio-combustibles en forma de mezclas en el transporte, pese al incremento que genera en los precios de muchos productos básicos, cuya repercusión negativa se hace sentir con énfasis en las masas desposeídas del planeta, como bien ha señalado en varias intervenciones, muy oportunas, Fidel Castro Ruz ^[12].

Sin menospreciar los trabajos en el uso de mezclas, el uso de dispositivos y aditivos que reducen los indicadores de consumo y la renovación de las viejas flotas por otras con modernas tecnologías; el uso racional seguirá siendo la vía menos costosa y más efectiva para el ahorro de combustibles y la reducción del impacto ambiental del transporte automotor.

1.4-El consumo de combustible, sus indicadores y sus modelos.

El consumo de combustible ^[29,35] es un importante indicador de la eficiencia de los medios de transporte, su incidencia en los costos de explotación se incrementa en la medida del incremento de los precios del petróleo y sus derivados, que en la actualidad constituyen los combustibles de mayoritario uso en las fuentes energéticas. Los factores que inciden en el consumo de combustible son múltiples y de variado origen, y han sido estudiados y clasificados por diferentes autores ^[1,3, 4,5, 8, 9,15, 16,18, 28,].

La economía de consumo es una cualidad de explotación característica del automóvil. Por economía de consumo del vehículo se entiende, la capacidad del mismo de cumplimentar el trabajo de transporte en las condiciones de explotación establecidas, con los mínimos gastos posibles de combustible ^[20]. Como indicador fundamental del consumo de combustible, en la mayoría de las máquinas automotrices, se utiliza el **consumo recorrido** (Q), que se define ^{[13] [27] [28] [29] [30]} como la cantidad de combustible consumido, en litros, por cada 100 km de recorrido. Para la determinación del consumo recorrido por vía experimental se emplea la expresión:

$$Q = \frac{100 \cdot q}{S} \quad (\text{l/100km}) \quad (1.1)$$

Donde: q - es el consumo en litros durante un determinado recorrido S, en km.

A menudo para la valoración de la economía de consumo, en vehículos de carga, se utiliza también como indicador el **consumo recorrido específico** (Q_t), que no es más que la

cantidad de combustible consumido, en litros, en la unidad de trabajo de transportación (t-km).

$$Q_t = \frac{q}{(M_c \cdot S_c)} \quad (\text{l/t-km}) \quad (1.2)$$

Donde: M_c –es la masa de la carga, t

S_c – es el recorrido del vehículo con carga, km

Para la determinación teórica de ambos, los autores referidos proponen las siguientes expresiones:

$$Q = \frac{g_e \cdot N_{enec}}{36 \cdot \rho_c \cdot v \cdot M_c} = \frac{g_e \cdot P_{t,nec}}{36000 \cdot \rho_c \cdot \eta_o} = \frac{g_e \cdot (P_c + P_a + P_i + P_{cur} + P_{gan})}{36000 \cdot \rho_c \cdot \eta_o} \quad (1.3)$$

$$Q_t = \frac{g_e \cdot N_{enec}}{3600 \cdot \rho_c \cdot v \cdot M_c} \quad (1.4)$$

Donde: g_e –es el consumo específico de combustible en característica parcial, g/kW.h

ρ_c – es la densidad del combustible, kg/l

N_{enec} –potencia necesaria para vencer las resistencias sumarias al movimiento, kW.

Muchos parámetros constructivos del motor influyen en la economía de consumo del vehículo, pero en particular, su régimen de carga y velocidad, de los cuales depende g_e , tienen una importancia significativa. El consumo del vehículo crece también con el aumento de las resistencias al movimiento y con la reducción de la eficiencia de la transmisión. El vínculo de la velocidad de movimiento, y por tanto de la N_{enec} con la cantidad de combustible suministrado y la incidencia que el régimen de carga y velocidad tienen en g_e , complica su determinación. Para determinar el g_e en condiciones de explotación, o sea generalmente a cargas parciales, en ausencia de la característica de carga del motor o la característica universal, es necesario acometer el cálculo teórico, el cual se complica por la heterogeneidad de las condiciones de explotación y su variabilidad en el tiempo.

De acuerdo con el método teórico más ampliamente aceptado ^{[13] [17] [19] [21]}, g_e se determina según: $g_e = g_{eN} \cdot K_A \cdot K_n$ (1.5)

Donde: g_{eN} –es el consumo específico de combustible para potencia máxima, g/kW.h

K_A –coeficiente que toma en cuenta la incidencia del coeficiente de aprovechamiento de la carga (A) en el consumo específico.

K_n –coeficiente que toma en cuenta la incidencia del régimen de velocidad en el consumo específico.

$$K_A = 1.7977 \cdot A^3 + 1.8734 \cdot A^2 - 6.2614 \cdot A + 3.6189 \quad (\text{Diesel}) \quad (1.6)$$

$$K_A = 2.0128 \cdot A^3 + 0.1189 \cdot A^2 - 3.8566 \cdot A + 2.73.45 \quad (\text{Gasolina}) \quad (1.7)$$

$$K_n = 0.2991 \cdot \left(\frac{\omega_x}{\omega_N} \right)^3 + 0.03 \cdot \left(\frac{\omega_x}{\omega_N} \right)^2 - 0.53 \cdot \left(\frac{\omega_x}{\omega_N} \right) + 1.2025 \quad (1.8)$$

$$\text{Siendo: } A = \frac{N_{enec}}{N_{ex}} = \frac{M_{enec}}{M_{ex}} = \frac{P_{mec}}{P_{tx}}$$

El consumo específico g_{eN} es una magnitud que puede aparecer en la documentación técnica, de no ser así, se puede calcular a partir del consumo mínimo: $g_{eN} = (1.05 - 1.15) \cdot g_{e\min}$. En caso contrario, puede ser determinado por los datos de consumo recorrido que ofrece el fabricante para una determinada velocidad, introduciendo en la expresión 3, las condiciones estipuladas en las normas de desarrollo de las pruebas, según el país de origen del vehículo.

El consumo recorrido, según Gavarushenko^[22] se puede obtener por la siguiente expresión:

$$Q = \frac{1}{\eta_i} \left[\frac{A_Q}{i_{si}} + \frac{B_Q \cdot v}{i_{si}^2} + C_Q \cdot (G \cdot \psi + 0.77 \cdot K_{aer} \cdot v^2) \right] \quad (1.9)$$

$$\text{donde: } A_Q = \frac{365 \cdot V_h \cdot i_m}{H_u \cdot \rho_c \cdot r_d}; \quad B_Q = \frac{11.6 \cdot V_h \cdot S_p}{H_u \cdot \rho_c \cdot r_d^2 \cdot i_m^2}; \quad C_Q = \frac{99.5}{H_u \cdot \rho_c \cdot \eta_0}$$

Donde: A_Q, B_Q, C_Q –coeficientes del modelo

i_m –es la relación de transmisión del puente motriz

Aquí se muestran diferentes factores influyentes en el consumo, entre ellos: a).- la construcción del motor, a través de la cilindrada (V_h), la carrera del pistón (S_p) y el rendimiento indicado (η_i); b).- el tipo y marca del combustible a través de la densidad (ρ_c) y el valor calórico (H_u); c).-la construcción del vehículo a través de r_d , i_{ci} , G , η_0 , y K_{aer} ; d).-las condiciones de explotación a través de ψ y la velocidad.

El rendimiento indicado se puede asumir en los siguientes rangos^[10]:

$\eta_i = 0.40-0.50$ para motores diesel rápidos

$\eta_i = 0.20-0.35$ para motores de gasolina

La expresión 9, es demostrativa de los factores que inciden en el consumo, pero al aplicarla en cálculos teóricos se introducen muchas inexactitudes al tener que asumir los valores de H_u y η_i .

Litvinov^[30] por su parte propone una ecuación para determinar Q en un tramo determinado S_i , recorrido en un tiempo t_i :

$$Q = a_{Qc} \cdot \frac{G}{g} \cdot \delta_i \cdot \left(\frac{v_f - v_o}{a_i} - \frac{b_i}{2 \cdot a_i^2} \cdot \ln \left| \frac{a_i \cdot v_f^2 + b_i \cdot v_f + c_i}{a_i \cdot v_o^2 + b_i \cdot v_o + c_i} \right| \right) + t_i \cdot \left(c_{Qc} + a_{Qc} \cdot \frac{b_i^2 - 2 \cdot a_i \cdot c_i}{2 \cdot a_i^2} \right) + b_{Qc} \cdot S_i \quad (1.10)$$

Donde: a_i, b_i, c_i –son coeficientes experimentales. Para diesel: $a_i = 0.36$; $b_i = 0.44$; $c_i = 0.2$
 a_{Qc}, b_{Qc}, c_{Qc} –coeficientes productos de la modelación.
 v_f, v_o –velocidades final e inicial en el tramo

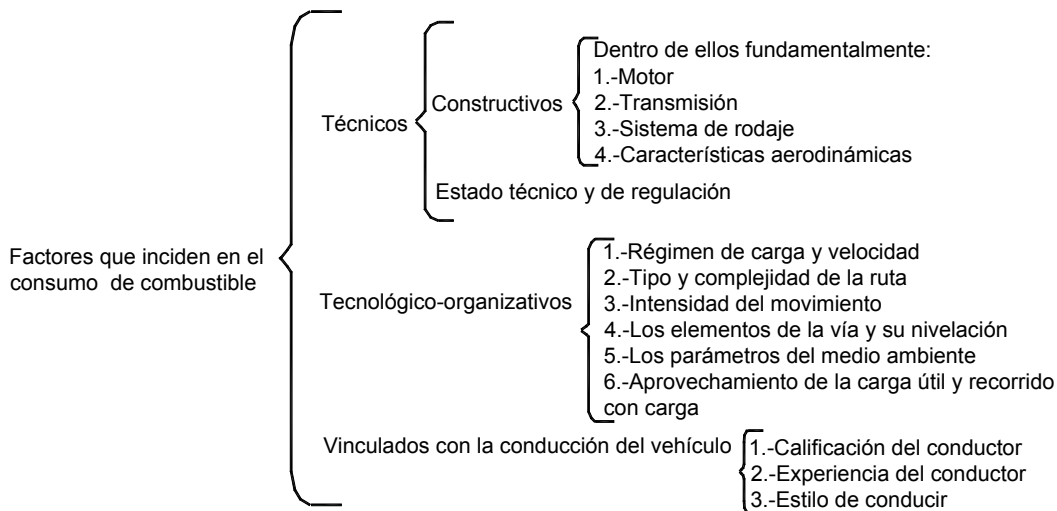
La dificultad radica en que deja la ecuación planteada, pero no especifica las ecuaciones que definen los coeficientes a_{Qc}, b_{Qc}, c_{Qc} .

En sentido general, los indicadores convencionales de consumo poseen una serie de limitaciones, que se derivan de su carácter no integral. El consumo recorrido, evalúa el consumo en función del recorrido, no encontrándose vinculado con el trabajo de transporte ni con su rendimiento. Es más adecuado para vehículos ligeros, aunque puede y debe usarse en vehículos pesados. El de consumo recorrido específico, aunque más adecuado para vehículos de carga, al considerar el trabajo de transportación, no toma en consideración un aspecto de suma importancia como es el tiempo en que transcurre el proceso, expresado a través del rendimiento. Ambos indicadores alcanzan sus valores mínimos a velocidades muy bajas, donde el rendimiento del vehículo es extremadamente bajo, e incluso en muchos diesel, tanto el consumo recorrido como el recorrido específico, se representan por una curva ascendente que no posee mínimo. Es necesario, por tanto, encontrar indicadores de consumo que tomando en cuenta el rendimiento, puedan establecer rangos de velocidades económicas, tanto por sus bajos valores como por los adecuados rendimientos.

Los factores que inciden en el consumo de combustible, como se ha podido apreciar con anterioridad, son múltiples y de variado origen, y han sido estudiados y clasificados por diferentes autores^[14,22,33,34,34,36,38,39,43,44] Es más completa la clasificación que se muestra en la figura 1.

Aunque los factores constructivos tienen una gran incidencia en el consumo de combustible, las particularidades constructivas son muy variadas y se introducen innovaciones a tal ritmo, que superan el de obtención de una dependencia matemática por vía experimental: cuando se obtiene una expresión ya se ha operado una modificación constructiva o se ha hecho obsoleta la analizada, por el vertiginoso cambio de la tecnología vehicular, la compañía Yutong opera en diferentes países (Rumania, Eslovaquia, República Checa, Bulgaria etc.) trabajando con índices de consumo en los ómnibus propuestos por el fabricante de $22 \text{ dm}^3/100 \text{ km}^{[44]}$, teniendo en cuenta los diferentes factores, en investigaciones realizadas en la empresa ómnibus ASTRO Cienfuegos^[32,40,41] se han obtenido resultados de indicadores de consumo que oscilan entre ($29.51 - 30.19$) $\text{dm}^3/100 \text{ km}$. Por tal razón, en la modelación matemática, solo es posible operar con las características constructivas más generales.

Por otro lado, con respecto al estado técnico, no hay expresiones que consideren el proceso natural de variación de los indicadores del vehículo durante la explotación, entre otras razones porque depende de las condiciones y regímenes de explotación, del estilo de conducción, de la tecnología, de la calidad de los materiales empleados, de la calidad del servicio técnico y de otros muchos factores. Obtener estas dependencias es un proceso difícil, laborioso y poco efectivo por la imposibilidad de tomar en cuenta el gran número de variables y porque el propio cambio de las tecnologías lo demerita.



1.5-Los indicadores del consumo de combustible tradicionales.

La economía de consumo es el conjunto de cualidades que definen el consumo de combustible durante el trabajo de las máquinas automotrices en las diferentes condiciones de explotación. Por economía de consumo del vehículo se entiende, la capacidad del mismo de cumplimentar el trabajo de transporte en las condiciones reglamentadas con las mínimas pérdidas posibles de combustible. Como indicador fundamental del consumo de combustible, en la mayoría de las máquinas automotrices, se utiliza el consumo recorrido (Q), que se define como la cantidad de combustible consumido, en litros, por cada 100 km de recorrido.

Para la determinación del consumo recorrido por vía experimental se emplea la expresión:

El cálculo teórico del combustible que se consume durante el trabajo de las máquinas automotrices, debido a las condiciones aleatorias de su movimiento, es difícil obtenerlo con elevada aproximación. En el cálculo teórico del consumo, uno de los aspectos más conflictivos es la determinación de g_e , que como se conoce, depende no sólo de frecuencia de rotación, sino también del grado de carga del motor. Según el método teórico más ampliamente aceptado^[30, 31], g_e se determina según:

$$g_e = g_{eN} \cdot K_A \cdot K_n \quad (1.11)$$

donde: g_{eN} - consumo específico de combustible para potencia máxima del motor; (g/kW.h)

K_n , K_A - coeficientes que consideran la variación de g_e en función de la frecuencia de rotación y del aprovechamiento de la potencia del motor.

$$K_A = 1.7977 \cdot A^3 + 1.8734 \cdot A^2 - 6.2614 \cdot A + 3.6189 \quad (\text{Diesel}) \quad (1.12)$$

$$K_A = 2.0128 \cdot A^3 + 0.1189 \cdot A^2 - 3.8566 \cdot A + 2.73.45 \quad (\text{Gasolina}) \quad (1.13)$$

$$K_n = 0.2991 \cdot \left(\frac{W_x}{W_N} \right)^3 + 0.03 \cdot \left(\frac{W_x}{W_N} \right)^2 - 0.53 \cdot \left(\frac{W_x}{W_N} \right) + 1.2025 \quad (1.14)$$

siendo: A el coeficiente de aprovechamiento de la potencia, que se determina, para una

marcha determinada, como:
$$A = \frac{N_{nec}}{N_{ex}} = \frac{P_{t nec} \cdot v}{10^3 \cdot \eta_o \cdot N_{ex}} \quad (1.15)$$

N_{ex} - es la potencia, que en esa marcha y con esa velocidad de movimiento, puede entregar el motor según su característica exterior.

El consumo específico g_{eN} es una magnitud que puede aparecer en la documentación técnica, de no ser así, se puede calcular mediante la expresión: $g_{eN} = (1.05 - 1.15) \cdot g_{e min}$

(1.16)

1.6-Emisiones contaminantes en motores diesel.

Para la realización del el cálculo de emisiones nos auxiliamos del modelo HDM-4^[24] el mismo está diseñado para realizar estimaciones comparativas de las cantidades de emisiones generadas.

Algunos factores que influyen la generación de emisiones, se enuncian a continuación:

Motores de gasolina y diesel

Entre estos dos tipos de motores hay una variación importante en la cantidad de emisiones generadas, las cuales son consecuencia no sólo de la propia naturaleza de los combustibles, sino también del proceso de combustión, el cual requiere diferentes temperaturas y presiones, generándose así diferencias en cuanto a cantidades y composición de las emisiones.

1.6.1-Emisiones en frío y en caliente

Un factor determinante en el nivel de emisiones producidas por los vehículos es la temperatura del motor. A mayor temperatura la eficiencia del motor aumenta, y la combustión se realiza de manera más limpia. De igual manera, los convertidores catalíticos requieren de

altas temperaturas para operar eficientemente. De lo anterior se desprende que es en la etapa de arranque del motor en la que la mayor cantidad de emisiones se producen, no se considera la duración o distancia total de los recorridos realizados. Esto debido a que se asume que la composición de tiempos no sufriría cambios sustanciales causados.

Emisiones evaporativas

Las emisiones generadas por los vehículos no provienen en su totalidad del escape, sino que interviene también el proceso de evaporación, que es de relevancia en la producción de HC. La tasa de evaporación de combustible está directamente relacionada con la temperatura del aire y con el nivel de presión de vapor en el combustible. Diversos estudios señalan que la mayoría de las emisiones evaporativas se presentan en vehículos estacionados. Al igual que en el caso de las emisiones en frío y caliente, el impacto que pudiese tener la implementación de mejoras o deterioro de la infraestructura se considera mínimo.

Regulaciones ambientales

El nivel de emisiones es estrechamente regulado en muchos países, por lo que aún cuando existan diferencias en las características físicas de los vehículos, el nivel de compuestos químicos emitidos por el escape tenderá a ser uniforme.

1.6.2 Funciones para el cálculo de emisiones

A continuación se presentan las ecuaciones para el cálculo de emisiones, haciendo notar que está fuera del alcance de este documento analizar el planteamiento matemático que da origen a las mismas.

El modelo se basa en el propuesto por Hammerstrom (1995), y predice las emisiones del escape de los vehículos en función del consumo de combustible y de la velocidad. El consumo de combustible está en función de la velocidad del vehículo, que a su vez depende de las características del camino y de la propia unidad. De esta manera es posible analizar el cambio en la cantidad de emisiones como resultado de la implementación de diferentes estrategias de mantenimiento y mejora de un camino, o cuando hay cambios mayores en la flota vehicular en la red carretera.

Otro ejemplo de uso es el que se presenta en México al reducirse los contenidos de azufre de las gasolinas que se venden en el país.

Los coeficientes y constantes mencionados en las fórmulas, provienen de diversos estudios con condiciones controladas que han permitido la elaboración de tablas con valores recomendados para su uso en el modelo. Estas tablas se proporcionan en la documentación del HDM-4^[25].

Hidrocarburos

$$EHC = \frac{3,6 \text{ KeHC} (a_0 + a_1 \text{ KeHC}_1 \text{ IFC}) (1 + 0,5a_2 \text{ Vida}) 10^3}{\text{Velocidad}} \quad (1.17)$$

Donde:

EHC = emisiones de HC, en g / vehículo - km

IFC = consumo instantáneo de combustible, en ml/s

Vida = vida de servicio del vehículo, en años

Velocidad = velocidad del vehículo, en km/h

a0 , a1 y a2 = parámetros del modelo ^[43]

Ke HC0 = factor de calibración (por omisión igual a uno) ^[43]

Ke HC1 = factor de calibración (por omisión igual a uno) ^[43]

Monóxido de carbono

$$ECO = \frac{3,6 \text{ KeCO} (a_0 + a_1 \text{ KeCO}_1 \text{ IFC}) (1 + 0,5a_2 \text{ Vida}) 10^3}{\text{Velocidad}} \quad (1.18)$$

Donde:

ECO = emisiones de CO, en g / vehículo - km

a0 , a1 y a2 = parámetros del modelo ^[43]

Ke CO0 = factor de calibración (por omisión igual a uno) ^[43]

Ke CO1 = factor de calibración (por omisión igual a uno) ^[43]

El resto de las variables son iguales a las previamente definidas.

Óxidos de nitrógeno (NOx)

$$ENOx = \frac{3,6 \text{ KeNOx} (a_0 + a_1 \text{ KeNOx}_1 \text{ IFC}) (1 + 0,5a_2 \text{ Vida}) 10^3}{\text{Velocidad}} \quad (1.19)$$

Donde:

ENOx = emisiones de NOx, en g / vehículo - km

a0, a1 y a2 = parámetros del modelo ^[43]

Ke NOX0 = factor de calibración (por omisión igual a uno) ^[43]

Ke NOX1 = factor de calibración (por omisión igual a uno) ^[43]

El resto de las variables son iguales a las previamente definidas.

El modelo original contemplaba un aumento de las emisiones con la edad. Dentro del HDM-4 se considera que las emisiones al momento de alcanzar la mitad de su vida útil (es decir, 0,5 vida), representan con suficiente aproximación las emisiones generadas.

Dióxido de azufre (SO₂)

$$ESO_2 = \frac{3,6 KeSO_2 a_0 a_1 IFC 10^3}{Velocidad} \quad (1.20)$$

Donde:

ESO₂ = emisiones de SO₂, en g / vehículo - km

a₀ y a₁ = parámetros del modelo ^[43]

Ke SO₂₀ = factor de calibración (por omisión igual a uno) ^[43]

El parámetro a₀ representa el porcentaje en peso de azufre en el combustible

Dióxido de carbono (CO₂)

$$ECO_2 = \frac{3,6 KeCO_2 a_0 IFC 10^3}{Velocidad} \quad (1.21)$$

Donde:

ECO₂ = Emisiones de CO₂, en g / vehículo - km

a₀ = parámetro del modelo ^[43]

Ke CO₂₀ = factor de calibración (por omisión igual a uno) ^[43]

Partículas suspendidas

$$EPAR = \frac{3,6 KeNPARo(a_0 + a_1 KePAR1 IFC) 10^3}{Velocidad} \quad (1.22)$$

Donde:

EPAR = emisiones de partículas suspendidas, en g / vehículo - km

a₀ y a₁ = parámetros del modelo ^[43]

Ke PAR₀ = factor de calibración (por omisión igual a uno) ^[43]

Ke PAR₁ = factor de calibración (por omisión igual a uno) ^[43]

Plomo (Pb)

$$EPb = \frac{3,6 KePbo a_0 a_1 IFC 10^3}{Velocidad} \quad (1.23)$$

Donde:

EPb = Emisiones de plomo, en g / vehículo - km

a₀ y a₁ = parámetros del modelo

Ke Pb0 = factor de calibración (por omisión igual a uno)

El parámetro a0 representa el porcentaje en peso de plomo en la gasolina.

Datos requeridos

Los siguientes datos son requeridos para el cálculo de las emisiones:

1. Volumen de tránsito en la vía considerada (vehículos que interfieren en la vía, condiciones climatológicas, estado de la vía)
2. Longitud del recorrido (ida y regreso)
3. Velocidad del vehículo.
4. Consumo de combustible.
5. Vida de servicio del vehículo
6. Parámetros y tablas en la documentación del HDM-4^[25]
- 7-Temperatura del aire acondicionado.
- 8-Peso del equipaje mas el de los pasajeros.

Estos indicadores pueden integrarse perfectamente a plataformas informáticas, como el SECDC ^[42].

Las emisiones contaminantes convencionales producidas por los motores de combustión interna ^[5,6] (M.C.I). pueden ser CO, HC, NOx, SO2, Pb y partículas suspendidas. Todas estas emisiones tienen un impacto en la salud y en el medio ambiente^[21], que puede ser local, regional y global.

A pesar de la gran disminución de los niveles de contaminación por vehículo en las últimas décadas, los motores de automóviles continúan siendo responsables del 30-50%, de las emisiones que contaminan las ciudades y cerca del 30% de las emisiones del CO2. ^[25]. Debido a la desigual distribución de las flotas vehiculares en el mundo. ^[26] (1 vehículo cada 3 personas en países desarrollados contra 1 vehículo cada 50 personas en el resto del mundo), y al crecimiento vertiginoso de las flotas vehiculares (es más rápido que el crecimiento de la población mundial), en el cercano 2000, millones de habitantes, sobre todo en ciudades de países desarrollados, estarán sometidos a niveles peligrosos de contaminación. En tales condiciones, el crecimiento de los gases invernaderos podría llevar a un incremento de la temperatura de 2°C por encima de los niveles medios y 4°C para finales del próximo siglo, resultando en inundaciones, cambio en el régimen de lluvia, pérdidas de muchos ecosistemas, afectaciones en la capa de ozono y otras. Estos efectos, afectarían a todos los países por igual, a pesar de que en los países en desarrollo se contribuye en no más del 2-3% en el efecto de invernadero, comparado con el 10-12% que contribuyen los países desarrollados.

Desde el punto de vista local, el efecto de contaminación del automóvil en áreas urbanas es aún mas crítico, como por ejemplo, en el centro de las ciudades, el tráfico por las calles puede producir entre el 90-95% del CO y Pb y el 60-70% de NOx y HC, y en vías altamente congestionadas estas cifras pueden elevarse aún más ^[25]. .

En los motores diesel, donde el combustible es inyectado en el cilindro bajo condiciones de altas temperaturas y presiones, la formación de la mezcla en el tiempo define los parámetros de salida del motor y las propiedades de los gases de escape.

Los motores diesel de inyección directa, emiten gran cantidad de hidrocarburos no quemados (HC) a bajas cargas de trabajo. Los estudios de las causas y medios para la disminución de estas emisiones se dividen en dos grupos: estudios focalizados en las características del chorro y de la inyección del combustible, en los que se incursionará en este trabajo; y los basados en el análisis de las características del proceso de combustión como tal.

El mecanismo general de formación de contaminantes en los motores diesel puede resumirse de la siguiente forma[2]:

Óxidos de nitrógeno (NOx): Son formados cuando la temperatura es alta en presencia de oxígeno, principalmente durante el período de combustión rápida. Por tanto, un incremento de la cantidad del combustible inyectado durante el período de retardo (o un incremento de este período), incrementa la temperatura máxima y por tanto, la formación de NOx.

Monóxido de carbono (CO): Se forman cuando hay deficiencias de oxígeno durante la combustión, a cargas completas o algunas veces también a bajas cargas, cuando hay un mezclado pobre del combustible con el aire (gotas de combustible muy grandes, poca penetración del chorro, ángulos estrechos de cono, insuficiente turbulencia, etc.).

Hidrocarburos (HC): Se deben principalmente al combustible no quemado por insuficiente temperatura: este es el caso del combustible cerca de las paredes de la cámara de combustión y del combustible que no se ha quemado al final del proceso de combustión, por deficiencias de presión y temperatura.

Emisiones de partículas: Son debidas a diferentes fenómenos:

Nucleación: Formación de núcleos poliaromáticos a partir de la condensación de hidrocarburos a alta temperatura y presión, con cantidades insuficientes de oxígeno.

Crecimiento superficial: El carbón grafitado crea un depósito alrededor de estos núcleos, que crece hasta formar pequeñas esferas de cerca de 0.01-0.05 μm de diámetro. Coagulación de estas esferas para formar cadenas coaguladas.

Reoxidación en presencia de oxígeno a altas temperaturas. Esta reoxidación es influenciada por la velocidad del gas.

Absorción de hidrocarburos por las partículas, durante toda la carrera de expansión y en el conducto de escape.

La formación de los óxidos de nitrógeno (NOx) en estos motores depende de varios factores, entre los cuales se pueden destacar la composición del combustible y las características geométricas del motor (tamaño de la cámara de combustión, relación de compresión, adelanto a la inyección, etc.)

Los cálculos indican, que la concentración de NOx se incrementa con la elevación del exceso de oxígeno, y la concentración de balance de NOx está fundamentalmente sujeta a la temperatura de reacción, si hay baja relación de exceso de aire, pero cuando esta es mayor, está sujeta a la concentración de oxígeno.

Se ha demostrado [2] que la concentración de los NOx en los gases de escape, disminuye en gran medida con la disminución del tiempo de retardo a la combustión.

El humo negro en el escape es consecuencia de la presencia de partículas de carbón, las cuales se forman debido a la combustión incompleta del combustible. A pesar de su importancia, la formación de estas emisiones es uno de los aspectos poco comprendidos de la combustión de los motores diesel [2], sin embargo, las investigaciones realizadas sobre este tema coinciden en que uno de los aspectos a tener en cuenta es el proceso de formación de la mezcla.

El incremento del número de metano disminuye el período de retardo a la inflamación, desarrollándose la mayor parte del proceso de combustión de forma difusa y turbulenta, para la cual es característica la formación de partículas [21]. Al disminuir el período de retardo a la inflamación, la cantidad de combustible que se quema en el período de combustión rápida es menor, por tanto, disminuye también la temperatura máxima de combustión, lo cual no favorece la formación de óxido de nitrógeno.

En la Unión Europea aunque los medios de locomoción son responsables únicamente de un 5 % de las emisiones de dióxido de azufre (SO₂), son responsables del 25 % de las emisiones de dióxido de carbono (CO₂), del 87 % de las de monóxido de carbono (CO) y del 66 % de las de óxidos de nitrógeno (NOx) [27].

El impacto ambiental del MCI está estrechamente relacionado con un problema social surgido por la utilización creciente del mismo: la reducción de los niveles de emisión de sustancias tóxicas y de los llamados "gases de invernadero", y la reducción de los niveles de ruido.

Las discusiones internacionales acerca de las causas e implicaciones para la humanidad del llamado "efecto invernadero", provocado por las crecientes emisiones a la atmósfera de gases tales como: CO₂, metano, óxido nitroso y los cloro-fluorocarbonatos, reflejan la necesidad de un enfoque integral en el tratamiento de los problemas ambientales y del desarrollo, así como la necesidad de una acción concertada de la comunidad internacional para mitigar los efectos del calentamiento global [21]. Además, estudios realizados demuestran que los niveles de emisión de dióxido de carbono en motor Diesel son claramente más bajos que un motor de gasolina de igual potencia [21].

Los motores de combustión interna tienen gran responsabilidad en los niveles de emisión de sustancias que provocan el "efecto invernadero", fundamentalmente del dióxido de carbono y los óxidos nitrosos. De acuerdo con estimaciones del Panel Intergubernamental sobre Cambios Climáticos; de mantenerse las actuales tendencias en las emisiones de "gases del efecto invernadero", la temperatura media global aumentaría a un ritmo de 0.3 °C por década. Consecuentemente, se producirán incrementos en el nivel del mar que pudiera ser entre 20 y 50 cm. para el año 2005 y de alrededor de 1 m. para el año 2100 [26]. En nuestro país por el momento no se realiza ningún control de los niveles de emisión de sustancias tóxicas y de los "gases de invernadero". Es muy común ver en nuestras carreteras como circulan vehículos con MCI diesel arrojando una gran cantidad de humo negro y MCI de encendido por chispa que al pasar no sólo humean sino que también dejan un fuerte olor a gasolina que incluso es irritante para nuestros ojos,

Formas de acción del motor de combustión interna sobre el medio ambiente.

Las formas más importantes de acción del motor sobre el medio ambiente son:

- 1 Agotamiento de materias primas no renovables consumidas durante el funcionamiento de los MCI.
2. Consumo de oxígeno que contiene el aire atmosférico.
3. Emisión y contaminación de la atmósfera con gases tóxicos que perjudican al hombre, la flora y la fauna.
4. Emisión de sustancias que provocan el llamado efecto invernadero contribuyendo a la elevación de la temperatura de nuestro planeta.
5. Consumo de agua potable.
6. Emisión de altos niveles de ruido a la atmósfera que disminuye el rendimiento de los trabajadores y ocasiona molestias en sentido general.

Toxicidad de los gases de escape de los motores de combustión interna y formas para reducirla.

Se llaman sustancias tóxicas a las que ejercen influencia nociva sobre el organismo humano y el medio ambiente. Durante el trabajo de los MCI de émbolo se desprenden las siguientes sustancias tóxicas principales: óxidos de nitrógeno, hollín, monóxido de carbono, hidrocarburos, aldehídos, sustancias cancerígenas (bencipireno), compuestos de azufre y plomo. Además de los gases de escape de los MCI, otras fuentes de toxicidad son también los gases del cárter y la evaporación del combustible a la atmósfera. Incluso en un motor bien regulado la cantidad de componentes tóxicos que se expulsan durante su funcionamiento puede alcanzar los siguientes valores [26]:

Tabla 1. 1 Compuestos emitidos al medio ambiente durante la combustión

Componentes tóxicos	Motores Diesel	Motores de carburador
Monóxido de carbono, %	0.2	6
Óxidos de nitrógeno. %	0.35	0.45
Hidrocarburos, %	0.04	0.4
Dióxido de azufre, %	0.04	0.007
Hollín/ mg/l	0.3	0.05

De este modo, la toxicidad de los motores Diesel depende en lo principal del contenido de los óxidos de nitrógeno y el hollín. La toxicidad de los motores de encendido por chispa y carburador depende en gran medida de la concentración del monóxido de carbono y de los óxidos de nitrógeno.

¿Contaminan o no contaminan los motores diesel?

Convertidos en la "bestia negra de los ecologistas" (muchos de ellos con más entusiasmo que preparación técnica), los motores Diesel tienen mucha menos responsabilidad en la contaminación ambiental de la que se les imputa normalmente lo que se puede observar al remitirnos a la tabla ofrecida anteriormente; aunque su contaminación se ve más por la típica emisión de humo negro formado por partículas microscópicas que no son tóxicas pero si molestas. Además, estudios realizados demuestran que los niveles de emisión de dióxido de

carbono en motor Diesel son claramente más bajos que un motor de gasolina de igual potencia [1].

Los motores de combustión interna tienen gran responsabilidad en los niveles de emisión de sustancias que provocan el "efecto invernadero", fundamentalmente del dióxido de carbono y los óxidos nitrosos.

De acuerdo con estimaciones del Panel Intergubernamental sobre Cambios Climáticos; de mantenerse las actuales tendencias en las emisiones de "gases del efecto invernadero", la temperatura media global aumentaría a un ritmo de 0.3 °C por década. Consecuentemente, se producirán incrementos en el nivel del mar que pudiera ser entre 20 y 50 cm. para el año 2005 y de alrededor de 1 m. para el año 2100 [10].

Los métodos de reducción de la toxicidad y el humeado de los MCI pueden ser divididos en dos grupos: los constructivos y los explotativos. Entre los métodos constructivos podemos citar: la recirculación de los gases de escape y la neutralización de los mismos. Dentro los métodos explotativos se encuentran: el estado técnico del MCI y su correcta regulación, perfeccionamiento de los procesos de formación de la mezcla y de combustión, la correcta selección de los combustibles y sus aditivos, y la utilización de los biocombustibles.

En nuestro país por el momento no se realiza ningún control de los niveles de emisión de sustancias tóxicas y de los "gases de invernadero". Es muy común ver en nuestras carreteras como circulan vehículos con MCI diesel arrojando una gran cantidad de humo negro y MCI de encendido por chispa que al pasar no sólo humean sino que también dejan un fuerte olor a gasolina que incluso es irritante para nuestros ojos, evidencias estas no solo de una elevada cantidad de gases tóxicos sino también de mala regulación del sistema de alimentación de estos vehículos. Por lo que se deduce que de elevar las exigencias al personal técnico responsabilizado por la explotación de estos equipos y a los propios conductores se puede disminuir no solo la contaminación ambiental sino también dar mejor uso al combustible disponible, pues un sistema de alimentación en mal estado trae aparejado también un consumo de combustible elevado.

1.7-Determinación de las emisiones máximas admisibles según las características de transporte automotor

La tabla 1 ofrece los resultados propuestos de las emisiones contaminantes que se deben controlar diferenciados en vehículos con motor de gasolina y motor diésel por año de fabricación, donde además se exponen las cifras que se encuentran vigentes en la actualidad, según la Resolución 172-01 del MITRANS.

Como se observa en la tabla 1, los valores límites se reducen en todos los nuevos indicadores propuestos. En los vehículos de gasolina con año de fabricación ≤ 1980 , se reduce el CO y los HC a 16%, mientras que los comprendidos entre 1981 y 1999 la disminución alcanza 20% para el CO y 18% para los HC. En los vehículos ≥ 1999 , la reducción se realiza a 10% para el CO y un 7% los HC

Tabla1. 2. Valores de emisiones contaminantes vigentes y propuestas

Tipo de comb	Indicadores	Año de fabricación del vehículo					
		≤ 1980		1981-1998		≥ 1999	
		Vigente	Propuesta	Vigente	Propuesta	Vigente	Propuesta
Gasolina	Monóxido de carbono (CO) del volumen total de gases, %	7,5	6,3	3,5	2.8	2,0	1,8
	Hidrocarburos (HC), ppm	1 500	1 267	900	740	300	280
Diésel	Opacidad, %	Ligeros	60	60	52	50	44
		Pesados	66		57		48

Fuente: Resolución 172-01.

Para los vehículos con motor diesel, a diferencia de lo estipulado en la Resolución 172-01[40]. del MITRANS, se hace una nueva división entre los ligeros y los pesados, que posibilita realizar una mayor exigencia hacia los primeros, reduciéndose el valor permisible de la opacidad en 14, 13 y 12% para los vehículos contruidos antes de 1980, entre 1981 y 1998 y después de 1999, respectivamente, en relación con la regulación vigente. En el caso de los vehículos pesados la opacidad se disminuye en 6, 5 y 4% para los fabricados antes de 1980, entre 1981 y 1998 y después de 1999, respectivamente.

Se ha considerado que a pesar de que para calcular las emisiones de gases de efecto invernadero de un país se separa el CH₄ del resto de los HC, denominándolos como compuestos orgánicos volátiles diferentes del metano (COVDM), realmente para emisiones de los vehículos no es necesario realizar esta diferenciación, y generalmente los equipos disponibles los miden como un todo. Téngase además en cuenta que las emisiones de HC (CH₄ incluido) provienen en su mayoría de la evaporación durante los distintos procesos de manipulación del combustible, que de los propios in quemados que emigran por el escape.

Con respecto al azufre (S) contenido en el combustible, una parte queda medida al determinar la opacidad, es decir, la fracción que escapa como sulfatos y forma parte del material particulado, y otra que constituye los SO_x, que si bien es cierto que tienen incidencia en la formación de la llamada lluvia ácida, no son gases de efecto invernadero (GEI). Además, su emisión depende en lo fundamental del azufre que contiene el combustible y no del estado de mantenimiento del vehículo, del sistema de explotación, del conductor u otras.

En el caso de los óxidos de nitrógeno (NO_x) no se cuenta con el equipamiento necesario para ello y por tanto este contaminante nunca se ha medido.

Para estipular los valores de NO_x máximos admisibles, en la propuesta de norma que se elabore, se tomará en consideración lo planteado en las normas internacionales y la valoración por criterio de experto (investigadores y especialistas de CETRA y MITRANS).

1.8-Herramientas para estimar teóricamente la emisión de sustancias contaminantes.

La evaluación de la emisión de sustancias contaminantes se realiza analizando los gases productos de la combustión de los M. C. I. Luego con el procesamiento de los datos colectados se determina la relación entre la composición del combustible, el consumo, el tipo de mezcla y el grado de carga del motor, entre otros, respecto a la emisividad de determinada sustancia, obteniéndose un modelo. Actualmente existen muchos modelos, destacándose el de cálculo de emisiones del HDM-4 ^[24] que está diseñado para realizar estimaciones comparativas de las cantidades de emisiones generadas por diferentes opciones de mejora y mantenimiento.

1.8.1 - Impacto ambiental.

Las emisiones pueden clasificarse en primarias y secundarias. Las primeras son las que permanecen en la atmósfera tal y como fueron emitidas por la fuente; las secundarias son las que han estado sujetas a cambios químicos, o bien, son producto de la reacción de dos o más contaminantes primarios en la atmósfera, entre las que destacan los oxidantes foto químicos y algunos radicales de corta existencia como el ozono

Se considera emisiones primarias: el monóxido de carbono (CO); el dióxido de carbono (CO₂); los óxidos de nitrógeno (NO_x); el dióxido de azufre (SO₂); hidrocarburos (HC); plomo (Pb), y las partículas suspendidas (también llamadas en la literatura especializada PM, por sus siglas en inglés Particulate Matter).

A continuación se presenta una breve descripción de las emisiones, así como su daño potencial a la salud y al medio ambiente.

Monóxido de carbono (CO)

Es un gas incoloro, inodoro, inflamable y altamente tóxico. Es el contaminante que frecuentemente se encuentra en mayor cantidad en ambientes urbanos, o zonas con alto flujo vehicular.

Se produce cuando se queman materiales combustibles como gas, gasolina, keroseno, carbón, petróleo, tabaco o madera en ambientes de poco oxígeno.

En caso de los vehículos, las emisiones de este contaminante dependen de la afinación de los motores y de la eficacia en la combustión de los procesos industriales; de las condiciones y características del sistema vial; el tráfico y los diferentes medios de transporte. También los vehículos detenidos con el motor encendido liberan, monóxido de carbono.

Al ser inhalado, el CO entra al flujo sanguíneo y reduce el transporte de oxígeno a células y tejidos (cuando se combina con la hemoglobina de la sangre disminuye automáticamente el transporte de oxígeno al cuerpo). También provoca una sobrecarga de trabajo para el corazón. Se asocia con la disminución de la percepción visual, la capacidad de trabajo, la destreza manual y la habilidad de aprendizaje. La población más sensible son las personas con enfermedades cardiovasculares, angina de pecho o enfermedades relacionadas.

Si se respira en niveles elevados, puede causar la muerte por envenenamiento en pocos minutos.

Dióxido de carbono (CO₂)

Tiene diversas fuentes, como emisiones volcánicas, combustión de materia orgánica, y el proceso de respiración de seres vivos.

El dióxido de carbono no atenta directamente contra la salud humana, y es uno de los gases de efecto invernadero que contribuye a que la Tierra tenga una temperatura habitable, siempre y cuando se mantenga en unas cantidades determinadas. Sin dióxido de carbono el planeta Tierra sería un bloque de hielo.

Por otro lado, un exceso impide la salida de calor al espacio y provoca un calentamiento excesivo del planeta, fenómeno conocido como efecto invernadero.

En los últimos años la cantidad de dióxido de carbono ha aumentado mucho, contribuyendo al calentamiento global del planeta.

Hidrocarburos (HC)

Conjunto de sustancias químicas orgánicas que están compuestas únicamente de hidrógeno y carbono; Las emisiones de hidrocarburos se presentan cuando no se queman completamente las moléculas del combustible en el motor, o sólo se queman parcialmente.

Los hidrocarburos reaccionan en presencia de los óxidos de nitrógeno y la luz solar para formar ozono a nivel del suelo, que es uno de los componentes principales del smog.

El ozono irrita los ojos, perjudica los pulmones y agrava los problemas respiratorios. Éste representa nuestro problema urbano más extendido e intratable del aire. También ciertos hidrocarburos del tubo de escape son tóxicos, y tienen potencial para causar cáncer.

Óxidos de nitrógeno (NO_x)

Son compuestos de nitrógeno y oxígeno que se forman en la combustión con exceso de oxígeno y altas temperaturas. En forma genérica son llamados NO_x, siendo el monóxido de nitrógeno y el dióxido de nitrógeno dos de los óxidos más importantes toxicológicamente.

El monóxido de nitrógeno es un gas a temperatura ambiente de olor dulce penetrante, fácilmente oxidable a NO₂; mientras que el NO₂ tiene un fuerte olor desagradable.

Los NO_x son liberados al aire desde el escape de vehículos motorizados (sobre todo diesel y de mezcla pobre), de la combustión del carbón, petróleo o gas natural. Estos contaminantes, por sí, no representan problemas inmediatos para la salud, pero al reaccionar con la luz solar producen compuestos tóxicos.

Son degradados rápidamente en la atmósfera al reaccionar con otras sustancias comúnmente presentes en el aire. La reacción del NO₂ con sustancias químicas producidas por la luz solar lleva a la formación de ácido nítrico, el principal constituyente de la lluvia

ácida. El dióxido de nitrógeno reacciona con la luz solar, lo cual lleva a la formación de ozono.

Aún niveles bajos de NOx en el aire pueden irritar los ojos, la nariz, la garganta, los pulmones, y posiblemente causar tos y una sensación de falta de aire, cansancio y náusea. La exposición a bajos niveles también puede producir acumulación de líquido en los pulmones 1 ó 2 días luego de la exposición.

Dióxido de azufre (SO₂)

Es un gas incoloro con un característico olor asfixiante. Este contaminante se genera principalmente por la quema de combustibles que contienen azufre, y por la producción de energía en las plantas termoeléctricas, además de los vehículos automotores. En la naturaleza, el dióxido de azufre se encuentra sobre todo en las proximidades de los volcanes; y las erupciones pueden liberar cantidades importantes.

El dióxido de azufre es el principal causante de la lluvia ácida, ya que en la atmósfera se transforma en ácido sulfúrico, y además es un precursor del ozono troposférico.

El dióxido de azufre y el ozono se asocian a padecimientos como: la conjuntivitis, la disminución de la agudeza visual y enfermedades del aparato respiratorio. También puede provocar reacciones alérgicas. Sus efectos más frecuentes son irritación de la piel, de los ojos y del sistema respiratorio. Puede causar severos daños a los pulmones, como sucede cuando se fija en partículas pequeñas, y de esta forma llega a los alvéolos pulmonares. Igualmente provoca alteraciones de la mucosa y del epitelio nasal, edema, enfisema en fumadores, así como reactividad bronquial, tanto en fumadores como en personas asmáticas.

En México se han tenido importantes avances en lo que respecta a la venta de gasolinas con bajo contenido de azufre.

Partículas suspendidas (PM)

Las partículas suspendidas totales se producen generalmente en las industrias, en los vehículos o por la erosión del suelo. La fracción respirable de las partículas dispersas en la atmósfera, con un diámetro menor a las 10 o 2,5 micras, son también llamadas PM₁₀ y PM_{2,5} respectivamente. Por su tamaño, una parte de estas partículas no se filtran en el tracto nasal-oral y pueden llegar hasta las regiones traqueo bronquiales y alveolares de los pulmones. Se asocian al incremento de la mortalidad crónica por causas respiratorias y cardiovasculares, a la bronquitis crónica y a ataques de asma. Los ancianos, niños y personas que padecen enfermedades pulmonares son los grupos de población que se ha detectado, son más sensibles a este contaminante. De igual manera, contribuyen al deterioro

en materiales de construcción, y otras superficies interfieren en la fotosíntesis y disminuyen la visibilidad en presencia de altas concentraciones. En los últimos años ha crecido el interés de la comunidad científica en conocer los efectos de la presencia de las partículas suspendidas. Se tiene evidencia de que niveles altos de partículas inhalables (PM10) en el medio ambiente, tiene relación directa con la mortalidad causada en la población por diferentes tipos de problemas en las vías respiratorias.

Gustafsson et al (2005) reportan que contrario a lo que se pensaba, una parte importante de las PM10 no se originan a partir de las emisiones del vehículo, sino que provienen del desgaste y resuspensión de partículas provenientes del pavimento, las llantas y los frenos.

Plomo (Pb)

Este es uno de los contaminantes más nocivos en las áreas densamente pobladas con altos flujos vehiculares. Se emite por la combustión de la gasolina en los vehículos y en las fábricas fundidoras. Este contaminante se deposita en el aire y puede llegar a permanecer en forma suspendida durante un largo periodo de tiempo al ser no degradable. El cuerpo puede absorber plomo a través de las vías respiratorias, del aparato digestivo, o por la piel. El plomo ingresa al cuerpo al respirar aire contaminado, pero también puede ser ingerido mediante el uso de utensilios de cocina elaborados con barro, o en la cerámica vidriada de baja temperatura.

El plomo se asocia a una disminución de las funciones neurológicas y tiene efectos nocivos en el sistema nervioso de los niños, además de afectar órganos como los riñones, el hígado, el cerebro y los huesos.

Existen datos que asocian los niveles altos de plomo en la sangre con la disminución de la inteligencia. Reduce también la asimilación del hierro y el calcio, por lo que se le relaciona con la anemia.

El indicador permite realizar previsiones de incremento del impacto ambiental en función del crecimiento demográfico del país o región.

Formulación

$$GEIPC_i = \frac{GEI_i}{POB_i} \quad (1.17)$$

Donde:

GEIPC_i = Emisión per cápita de gases de efecto invernadero en el período i (Ton/hab.)

GEI_i = Emisión de gases de efecto invernadero en el período i (Ton)

POB_i = Población en el período i (hab.)

Periodicidad

Por estar involucrada la variable población, su cálculo es generalmente anual

En el impacto ambiental de los vehículos, los investigadores se concentran en las emisiones de los hidrocarburos sin quemar (HC), del monóxido de carbono (CO), de los óxidos de nitrógeno (NO_x), las partículas suspendidas (PM) y en el caso de los motores diesel los óxidos de azufre (SO_x). De estos se consideran los que más dañan el medio ambiente y la salud humana.

Los niveles de emisiones de un vehículo determinado están influenciados por factores ambientales y por el régimen de trabajo del motor. Al aplicar el modelo propuesto es posible evaluar el impacto de cada vehículo por cada vía según las condiciones específicas de explotación ^[29].

1.8.2-Efectos del cambio climático.

Los efectos del cambio climático son cada vez más observables al alterar ecosistemas de tal manera, que es ya cuestionable su capacidad de adaptarse a las nuevas condiciones.

Hoy en día es común escuchar en los medios de toda índole conceptos relacionados con problemas ambientales, como calentamiento global; inusitado aumento de temperaturas en diversas partes del planeta; adelgazamiento de la capa de ozono; y cambio climático, entre otros.

Es así evidente el crecimiento de la preocupación en el ámbito mundial por la cada vez más visible degradación ambiental, y la amenaza que esto representa para el bienestar de la población actual y las generaciones futuras; la mayoría de las naciones industrializadas y en vías de desarrollo han fortalecido sus políticas ambientales en aras de reducir esta tendencia.

El transporte presenta amenazas importantes para la salud humana, el medio ambiente e incluso para la economía si se toman en cuenta los problemas de salud y de congestionamiento vial.

Dentro del Sistema de Gestión de Pavimentos HDM-4, se desarrolló el sub modelo Efectos Ambientales, que incluye la predicción de emisiones vehiculares a través de un análisis del balance energético, la relación entre las emisiones de los vehículos, el impacto a la salud y al medio ambiente, además del consumo de energía y ruido del tráfico, aunque estos no se considerarán para el presente trabajo.

El modelo de emisiones de vehículos determina los efectos en términos de cantidades del agente contaminador, cambios en las características de las carreteras, congestión del tráfico, y tecnología del vehículo.

Para cada tipo de sección y para cada año analizado, las cantidades de cada componente de emisiones emitidas se capturan por separado para cada tipo de vehículo y para cada tipo de flujo de período. La cantidad total anual de emisiones se obtiene sumando todos los tipos de vehículos.

El modelo considera únicamente las siguientes emisiones primarias: monóxido de carbono (CO); dióxido de carbono (CO₂); óxidos de nitrógeno (NO_x); dióxido de azufre (SO₂); hidrocarburos (HC); plomo (Pb), y las partículas suspendidas (también llamadas en la literatura especializada PM).

1.9-Conclusiones parciales

1-Las cifras proyectadas para los nuevos límites de emisión de gases están en correspondencia con las cantidades que establecen diferentes normas internacionales analizadas.

2- Se trabaja en el desarrollo de una legislación, a partir de una Norma Cubana, que establezca los valores máximos admisibles de emisión de gases tóxicos por fuentes móviles en Cuba.

3- En Cuba, las medidas aplicadas para el ahorro de combustible, contribuyen a la disminución de los contaminantes y a los gases efecto invernadero emitidos por el transporte

4-Es el transporte automotor el de mayor incidencia de emisiones de contaminante dentro de los medios de transporte.

CAPÍTULO II. EQUIPOS, MATERIALES Y MÉTODOS.

2.1 Introducción

En el presente capítulo se comienza con la adecuación del análisis de los gases de la combustión de los ómnibus Yutong ZK 6120-HA de la base de transporte ASTRO Cienfuegos. Así como el diseño de las pruebas de los experimentos.

Para validar los modelos empleados en ASTRO, fue necesario realizar pruebas de consumo para analizar las emisiones de los gases efecto invernadero ya que las mismas tienen dependencia del consumo de combustible.

Objetivos de la prueba.

Determinar experimentalmente el recorrido, tiempo técnico, velocidad promedio y consumo de combustible, y las emisiones de los gases efecto invernadero de los ómnibus para comparar sus resultados.

2.2-Materiales y métodos.

Las pruebas se realizan en condiciones normales de explotación, por tanto, no se efectúan operaciones especiales durante la experimentación.

En estas condiciones, se desarrolla la adecuación de la metodología general de pruebas de consumo

La prueba se realiza una vez que el vehículo está preparado para acometer su trabajo, es decir, bien regulado y con el visto bueno del personal de mantenimiento. El personal técnico que lo acompaña, es el encargado de realizar las observaciones en el viaje de ida y regreso y reflejarlas en el modelo oficial para las pruebas de consumo (Anexo 2 y 3, Figuras 1y2) y verificar el combustible consumido al final del viaje. Las pruebas se realizan a tanque completo.

2.3-Adecuación de la metodología general de pruebas de consumo

A continuación se presenta la metodología utilizada para las pruebas en condiciones de explotación, la cual tiene como particularidad fundamental que los vehículos sometidos a pruebas, desarrollan sus labores fundamentales en el transcurso de estas.

1.- Posibilidad y conveniencia de realizar la evaluación.

El modelo de ómnibus de la base de ómnibus ASTRO Cienfuegos es Yutong Bus ZK-6120-HA, cuentan con un adecuado estado técnico, manifestado en sus indicadores de consumo y disposición técnica.

El estado del panel de instrumentos de los ómnibus es aceptable. Las condiciones de explotación en que se desarrollarán las pruebas son estables: en una misma vía, en viajes de ida y regreso, en horarios determinados, con semejantes condiciones de carga y velocidad. Las pruebas, se desarrollan en condiciones de explotación, y cuentan con las condiciones materiales para su desarrollo. Por tanto, son factibles de realizarse.

2.4-Las condiciones de explotación.

Los vehículos, por sus características, realizan un solo tipo de labor: transportación de pasajeros. Para la prueba se escogió una ruta: Cienfuegos-Habana, atendiendo a que es la que mayor número de salidas posee por jornada, y a que los ómnibus de una ruta generalmente trabajan siempre en ella. La vía es la misma en todas las pruebas. Los horarios de viaje son fijos. La carga útil es lo suficientemente estable, y puede conocerse. Los regímenes de velocidad son estables y se controlarán durante el desarrollo de la evaluación. No existen condiciones anormales de trabajo.

La ruta Cienfuegos-Habana no posee elevadas pendientes, ni frecuentes ni cerradas curvas. Posee dos tramos con características diferentes. El tramo Cienfuegos-Aguada, una vía estrecha de doble sentido, con mayores interferencias al movimiento por tráfico de vehículos de diferente tipo, poblados, cruceros, entronques y otros; y la autopista en su tramo Aguada-Habana, con mejores condiciones viales: 8 vías, condiciones favorables de tráfico para el mantenimiento de velocidades estables, pocas interferencias al movimiento, pequeñas pendientes y pueden descartarse las curvas.

El conductor ejerce una influencia importante en los indicadores de consumo. Se recomienda estudiarlo y determinar, su experiencia y estilo de conducir, para modelar mejor el ciclo teórico.

Es preciso tomar en cuenta el horario en que se realiza la prueba y si existe un cambio sustancial en las condiciones climáticas o ambientales. De lo anterior se desprende que se debe identificar:

- Los movimientos de ida y de regreso.
- Los tiempos en que se recorren los tramos.
- Los horarios en que se efectúa el viaje.
- La carga útil en cada uno de los viajes.
- El chofer que realiza la prueba y su estilo de conducción.

- El horario y las condiciones climáticas y ambientales en que se realiza la prueba.

2.5- Características de los vehículos sometidos a prueba:

Los ómnibus en estudio son vehículos pesados, de transmisión mecánica y de motores de combustión interna convencionales. Ambos tienen la misma fórmula de ruedas 4x2 y casi el mismo peso total. Estos vehículos no poseen exigencias especiales para su trabajo, salvo las relacionadas con el estado técnico, la limpieza de sus interiores y el funcionamiento de las instalaciones que garantizan el confort del viaje.

Los parámetros de regulación son aceptablemente controlados en los diferentes tipos de mantenimiento técnico, los cuales se ejecutan de acuerdo a lo establecido.

Tabla 2.1 Características de la flota vehicular.

PARAMETROS	UNIDAD DE MEDIDAS	VEHICULO
MODELO		YUTONG-BUS ZK6120 HA
MOTOR		CUMMINS-C-300 20(CKD)
MAXIMA VELOCIDAD	KM/H	120
MAXIMO RENDIMIENTO	Kw/RPM	221/2200
MAXIMO TORQUE	N.M.RPM	1 125/ 1300-1400
PESO MAXIMO	Kgs	16900
VIDA PROMEDIO	AÑOS	6
VELOCIDAD DESEADA	Kms/H	90-95
CAPACIDAD DEL TANQUE COMB	LITROS	300
POTENCIA DEL MOTOR		

2.6.- Definición de los parámetros a medir.

Se realizan las mediciones consumo de combustible a tanque lleno, es decir, llenando el tanque a la salida y reportando al final del viaje. Con ello se obtiene el consumo total.

Los parámetros a medir son:

1. Total de kilómetros recorridos y el tiempo total de viaje.
2. La longitud de los tramos y el tiempo de movimiento en ellos
3. Combustible total consumido en el movimiento de ida y de regreso.
4. El tiempo de estacionamiento, en agencias y paradas momentáneas, y entre estos el tiempo de trabajo del motor en vacío.
5. El peso de la carga útil: pasajeros y equipajes.
6. El horario de salida y llegada

Debe reflejarse en cada medición:

1. El nombre del chofer que conduce el vehículo.
2. Las condiciones climáticas o ambientales.
3. El sentido del viaje, o sea, si es de ida o regreso.
4. Debe significarse, cualquier anomalía en el funcionamiento del vehículo: calentamiento del motor, averías, etc., que pudieran desvirtuar los resultados de la evaluación.

El modelo oficial para el llenado de los datos de estas pruebas fue el relacionado en el anexo x que recoge minuciosamente las incidencias del viaje, así como la información que emplea la flota.

2.7.- Población y muestra.

La representatividad se garantiza, evaluando todos los ómnibus de la ruta descrita, durante un periodo de tres meses, en sus 5 salidas diarias, acumulando más de 400 000 km recorridos.

2.8 Equipos de medición.

Se emplearán los siguientes instrumentos de medición para las pruebas:

Tabla 2.2 Instrumentos y errores en las pruebas de consumo

Variable	Instrumento	Error	Empleo
Temperatura	Termómetro digital	$\pm 0,5$ °C	Ómnibus
Consumo	Medidor de flujo	$\pm 0,001$ dm ³	Bomba de surtidor
Tiempo	Cronómetro mecánico	$\pm 0,2$ s	Manual
Presión de Inflado	Medidor manual de Presión de Inflado	$\pm 0,21$ kPa	Manual

2.9-Conclusiones Parciales.

1. Se adecuó la metodología general de pruebas de consumo para el caso de los ómnibus Yutong ZK-6120 HA de la empresa ASTRO de Cienfuegos. Asimismo, quedó definida la instrumentación a emplear durante el desarrollo de las pruebas que nos permitan desarrollar los experimentos para analizar las emisiones de los gases efecto invernadero.

CAPÍTULO III- ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS.

3.1-Análisis de los resultados.

El análisis estadístico de los datos estará encaminado a determinar los parámetros estadísticos descriptivos y el cálculo de las emisiones de los gases de la combustión

Como su nombre lo indica, en este capítulo se desarrolla el procesamiento y análisis de los resultados teóricos y experimentales. Se validan tanto los modelos que representan criterios propuestos dentro del trabajo, La validación se desarrolla sobre la base de comparar los resultados teóricos con: 1- resultados experimentales de prestigiosos investigadores e instituciones recogidos en la literatura; y 2- resultados experimentales desarrollados en el marco de la propia investigación. Los experimentos, dada la versatilidad de los modelos, se validan en vehículos pesados (ómnibus), de motores convencionales de diesel.

Se evalúa como afectan Al medio ambiente los gases que contaminan la atmosfera producto de la combustión de los motores la cual se utiliza como base de datos para mostrar la importancia de los índices de emisiones de gases efecto invernaderos en fuentes móviles.

Finalmente, se muestran los resultados vinculados con los indicadores: los nuevos indicadores propuestos, sus rangos de variación y su representación gráfica y las modificaciones que introducen los nuevos criterios en los rangos de variación de indicadores definidos en trabajos anteriores.

3.2-Análisis de las emisiones.

La valoración, interpretación y validación de los resultados de las emisiones determinadas, se realiza mediante la comparación con los resultados obtenidos en las pruebas. Debe tenerse en cuenta, para formular un criterio acerca de estos resultados.

Durante la determinación experimental de las emisiones de gases contaminantes las mismas oscilan según los componentes analizados. Ver Anexo 4

Hidrocarburos :(1.21-1.27) g/veh-kms

Monóxido de carbono (1.46-1.53) g/veh-kms

Óxidos de nitrógeno (NO_x): (1.46-1.53) g/veh-kms

Dióxido de azufre (SO₂) (0.00003- 0.00418) g/veh-kms

Dióxido de carbono (CO₂) (0.011- 0.051) g/veh-kms

Partículas suspendidas: (1.09- 1.26) g/veh-kms

3.3- Influencia de las emisiones de gases respecto al consumo de combustible, velocidad y distancias recorridas

Los indicadores para el trabajo son coherentes con el tipo de vehículo que se analiza y sirven para detectar que el vehículo se desempeñe de una mejor forma. De los resultados se desprende, que el vehículo con mejores cualidades de economía de consumo de combustible, en el ciclo ASTRO, es el Yutong ZK-6120 HA, pues es el que mejor aprovecha la energía durante los procesos de movimiento en velocidad estable, impulso y deceleración con el motor conectado. En consecuencia con ello, a este vehículo le corresponde el menor valor de Consumo Unitario

Es necesario destacar además que el ómnibus yutong ZK-6120HA no solo brinda mejor confort, sino que tiene un menor consumo de combustible específico, pues entre otros, la cilindrada del motor es notablemente menor y la potencia que puede desarrollar es algo más pequeña que la de otros ómnibus, lo cual influye en todos los coeficientes. Debido a la geometría frontal de su chasis, que clasifica entre las más avanzadas para los ómnibus actualmente en explotación, tiene un coeficiente de resistencia aerodinámico más pequeño. Esto es un factor importante, pues emplea menos energía en vencer las resistencias aerodinámicas que surgen a altas velocidades de movimiento; lo cual influye notablemente en la emisión de gases contaminantes al medio ambiente y se logra una mejor pureza del aire. Por último, las relaciones de transmisión, forma aerodinámica y consumo específico del ZK-6120LA determinan sus mejores valores de emisiones, con respecto a otros equipos pesados como el Kamaz o el Kraz según investigaciones realizadas por Millo Carménate.

Al realizar el análisis de las emisiones de gases contaminantes vemos el comportamiento de las mismas con respecto a diferentes indicadores como muestran los gráficos.

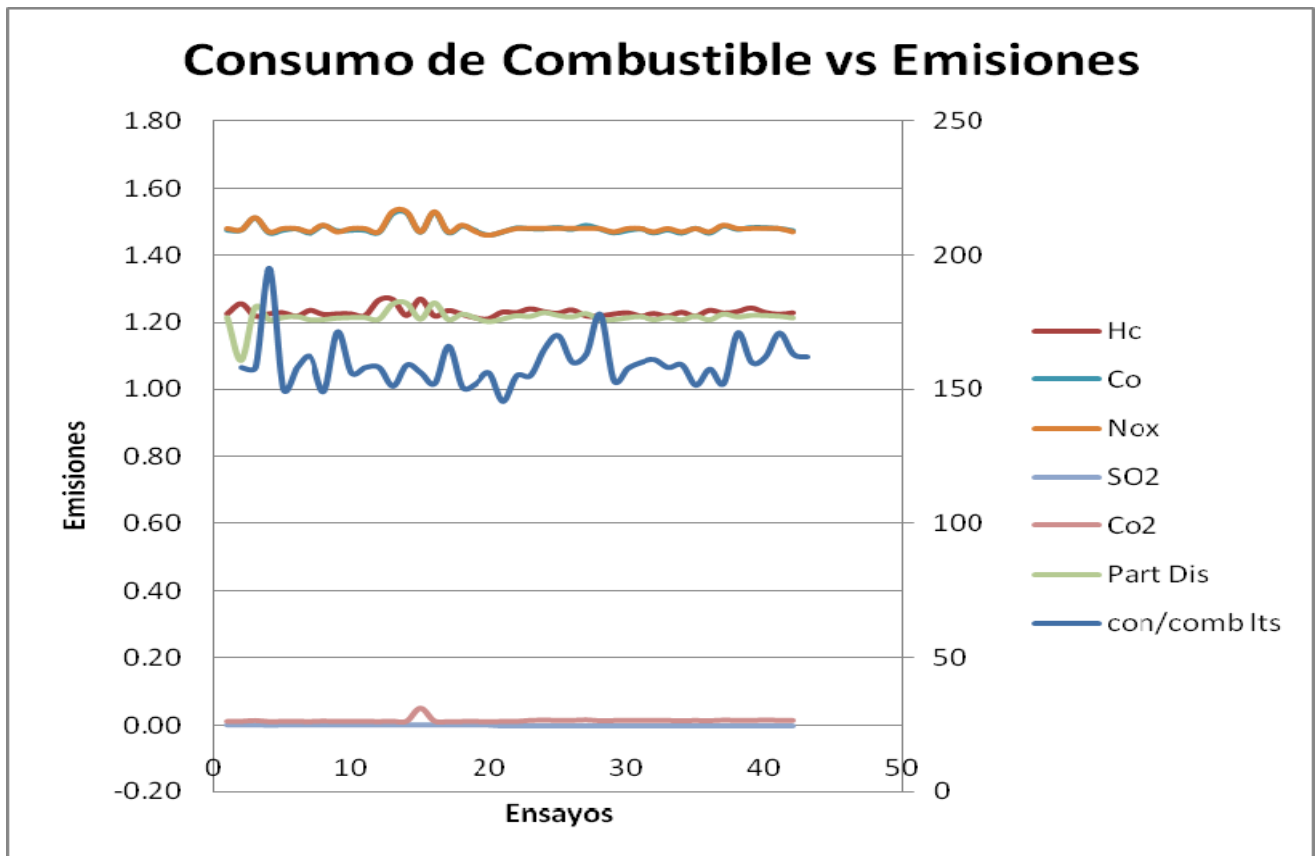


Gráfico 3.1 Consumo de combustible contra emisiones.

En el gráfico se muestra el comportamiento de las emisiones con respecto al consumo de combustible, se aprecian las variaciones de las emisiones en rangos estables con respecto al número de ensayos y al consumo como se aprecia el mismo oscila entre (145.28-194.84)lts

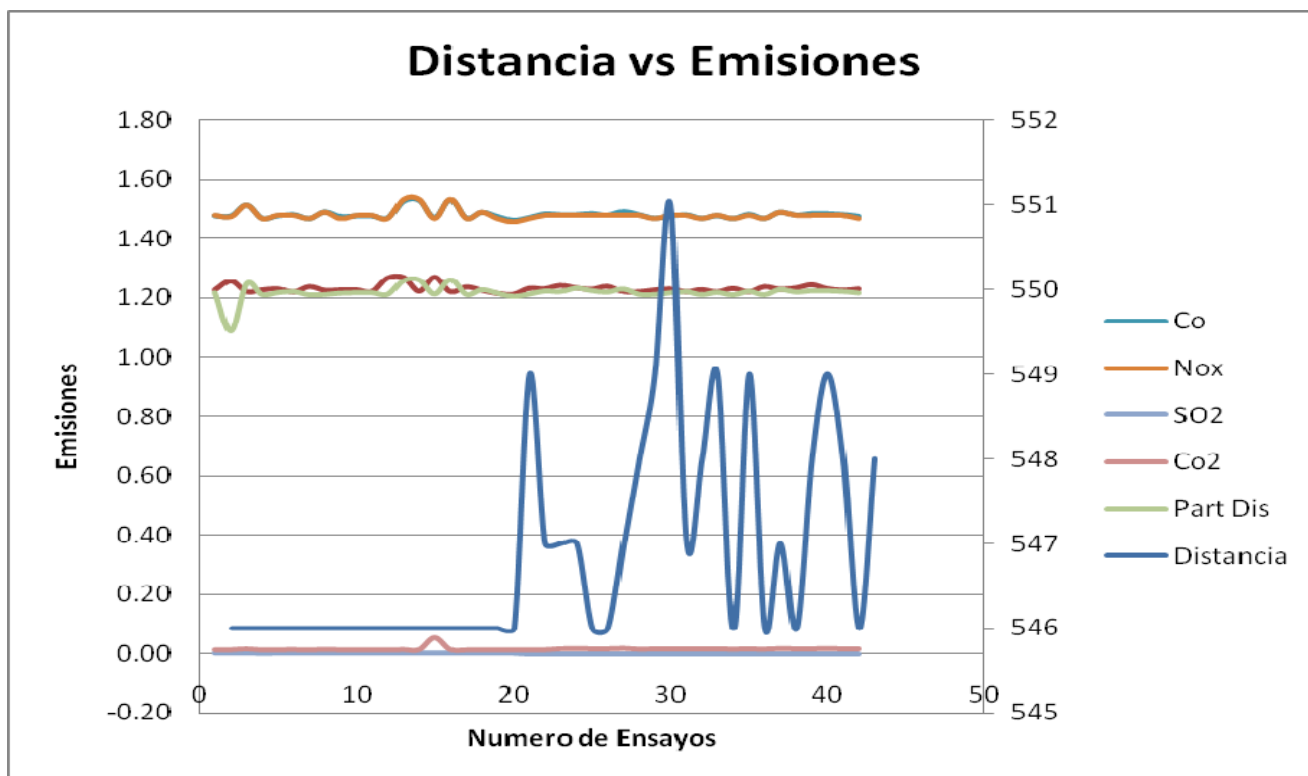


Gráfico 3.2 Distancia recorrida contra emisiones

En el gráfico se muestra el comportamiento de las emisiones con respecto a las distancias recorridas por el ómnibus en estudio, se aprecian las variaciones de las emisiones en rangos estables con respecto al número de ensayos y a las distancias recorridas las mismas oscilan entre (546 -551) Km.

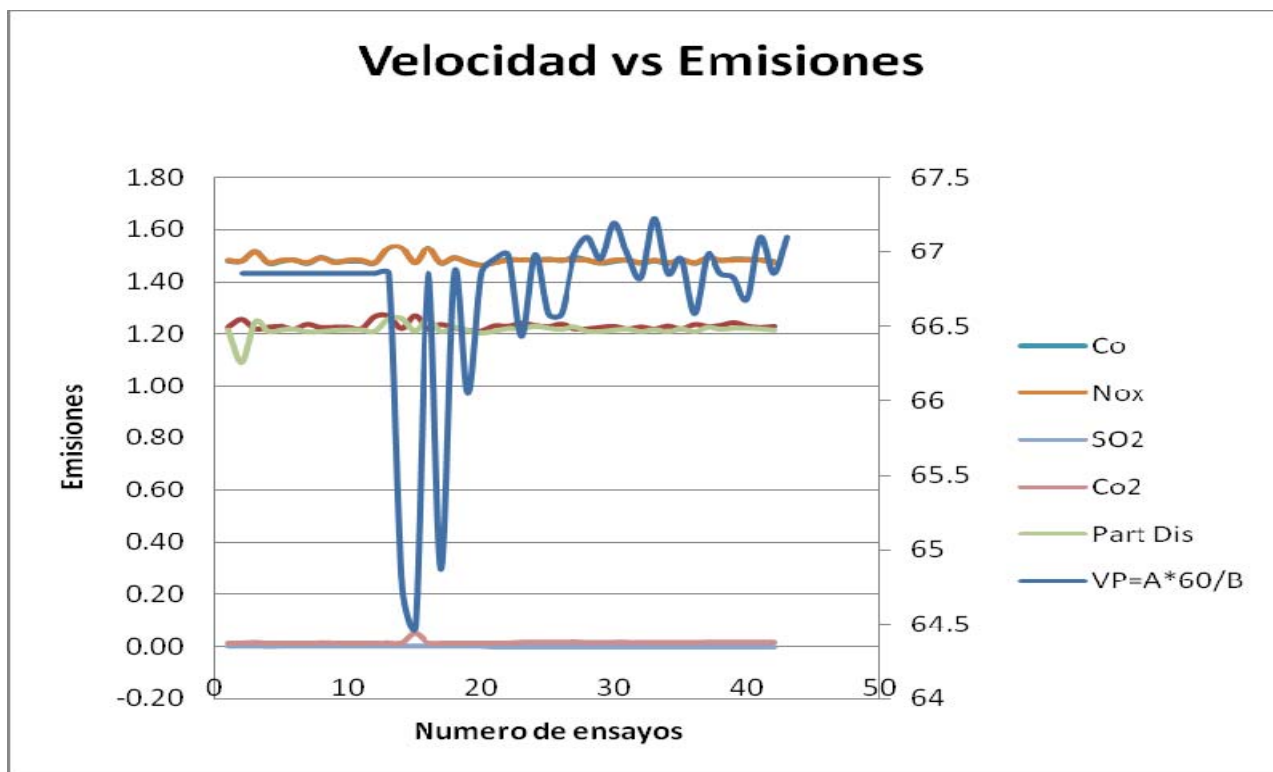


Gráfico 3.3 Velocidad contra emisiones

En el gráfico se muestra el comportamiento de las emisiones con respecto a la velocidad promedio recorrida por el ómnibus en estudio, se aprecian las variaciones de las emisiones en rangos estables con respecto al número de ensayos y a las velocidades promedio las mismas oscilan entre (64.49 y 67.22) km/h

3.4-Validación de los resultados.

Para la validación de los resultados se muestran las expresiones de cálculo, auxiliándonos de los modelos *Highway Development & Management-HDM-4* y sus sub modelos con los diferentes coeficientes y variables para realizar los análisis y comportamiento de las emisiones de gases que afectan el medio ambiente (ver anexos)

Hidrocarburos

$$EH_c = \frac{3,6 \text{ KeHCo}(a_0 + a_1 \text{ KeHO}_1 \text{ IFC})(1 + 0,5a_2 \text{ Vida}) 10^3}{\text{Velocidad}}$$

Donde:

EHc = emisiones de HC, en g / vehículo - km

IFC = consumo instantáneo de combustible, en ml/s

Vida = vida de servicio del vehículo, en años

Velocidad = velocidad del vehículo, en km/h

a_0 , a_1 y a_2 = parámetros del modelo

$Ke\ HC_0$ = factor de calibración (por omisión igual a uno)

$Ke\ HC_1$ = factor de calibración (por omisión igual a uno)

Monóxido de carbono

$$E_{CO} = \frac{3,6\ KeCO_0(a_0 + a_1\ KeCO_1 IFC)(1 + 0,5a_2\ Vida)\ 10^3}{Velocidad}$$

Donde:

E_{CO} = emisiones de CO, en g / vehículo - km

a_0 , a_1 y a_2 = parámetros del modelo

$Ke\ CO_0$ = factor de calibración (por omisión igual a uno)

$Ke\ CO_1$ = factor de calibración (por omisión igual a uno)

El resto de las variables son iguales a las previamente definidas.

Óxidos de nitrógeno (NOx)

$$E_{NOx} = \frac{3,6\ KeNO_{x0}(a_0 + a_1\ KeNO_{x1} IFC)(1 + 0,5a_2\ Vida)\ 10^3}{Velocidad}$$

Donde:

E_{NOx} = emisiones de NOx, en g / vehículo - km

a_0 , a_1 y a_2 = parámetros del modelo

$Ke\ NO_{x0}$ = factor de calibración (por omisión igual a uno)

$Ke\ NO_{x1}$ = factor de calibración (por omisión igual a uno)

El resto de las variables son iguales a las previamente definidas.

El modelo original contemplaba un aumento de las emisiones con la edad. Dentro del HDM-4 se considera que las emisiones al momento de alcanzar la mitad de su vida útil (es decir, 0,5 vida), representan con suficiente aproximación las emisiones generadas.

Dióxido de azufre (SO2)

$$E_{SO2} = \frac{3,6\ KeSO_{20}\ a_0\ a_1\ IFC\ 10^3}{Velocidad}$$

Donde:

E_{SO_2} = emisiones de SO2, en g / vehículo - km

a_0 y a_1 = parámetros del modelo

Ke SO₂₀ = factor de calibración (por omisión igual 1.61)

El parámetro a₀ representa el porcentaje en peso de azufre en el combustible

Dióxido de carbono (CO₂)

$$E_{CO_2} = \frac{3,6 \text{ KeCO}_2 a_0 \text{ IFC } 10^3}{\text{Velocidad}}$$

Donde:

ECO₂ = Emisiones de CO₂, en g / vehículo - km

a₀ = parámetro del modelo

Ke CO₂₀ = factor de calibración (por omisión igual a uno)

Partículas suspendidas

$$EPAR = \frac{3,6 \text{ KeNPAR}_0 (a_0 + a_1 \text{ KePAR}_1 \text{ IFC}) 10^3}{\text{Velocidad}}$$

Donde:

EPAR = emisiones de partículas suspendidas, en g / vehículo - km

a₀ y a₁ = parámetros del modelo

Ke PAR₀ = factor de calibración (por omisión igual a uno)

Ke PAR₁ = factor de calibración (por omisión igual a uno)

Plomo (Pb)

$$EPb = \frac{3,6 \text{ KePb}_0 a_0 a_1 \text{ IFC } 10^3}{\text{Velocidad}}$$

Donde:

EPb = Emisiones de plomo, en g / vehículo - km

a₀ y a₁ = parámetros del modelo

Ke Pb₀ = factor de calibración (por omisión igual a uno)

El parámetro a₀ representa el porcentaje en peso de plomo en la gasolina.

El análisis del plomo se realiza a los automóviles que trabajan con gasolina.

Al realizar el análisis de los resultados evaluados en la investigación y al compararlos con normas internacionales y trabajos realizados por autores de la universidad de Cienfuegos vemos que:

Tabla 3.1 Normas europeas de emisiones

Normas europeas sobre emisiones.					
Tipo	Fecha	CO (g/kWh)	NOx (g/kWh)	HC (g/kWh)	PM (g/kWh)
Euro 0	1988-1992	12.30	15.8	2.60	none
Euro I	1992-1995	4.90	9.00	1.23	0.40
Euro II	1995-1999	4.00	7.00	1.10	0.15
Euro III	1999-2005	2.10	5.00	0.66	0.10
Euro IV	2005-2008	1.50	3.50	0.46	0.02
Euro V	2008-2012	1.50	2.00	0.46	0.02
Euro VI					

Los límites máximos permisibles de emisión de gases provenientes del escape de los vehículos de pasajeros en circulación en función del año-modelo, son los establecidos en la

Tabla 3.2 de esta Norma Oficial Mexicana

Año modelo vehículo	Hidrocarburos	Monóxido de carbono	Oxígeno	Dilución	
				min	máx.
1986 y Anteriores	500	4.0	3.0	13	16.5
1987-1993	400	3.0	3.0	13	16.5
1994 y posteriores	200	2.0	3.0	13	16.5

Tabla 3.3. Evaluación de la emisividad en el ciclo de movimiento básico modificado (g)

EMISIVIDAD EN EL CICLO DE MOVIMIENTO BÁSICO MODIFICADO (g)							
Vehículo 1 Diesel (6x4) G: 180749 N Kamaz							
	1	2	3	4	5	6	7
1		HC	CO	NO _x	SO ₂	PM	CO ₂
2	IMPULSO	2,9323	5,8646	1,9793	0,3665	0,2345	207,6870
3	CRUCER O	6,7305	13,4611	4,5431	0,8413	0,5384	476,7045
4	VACIO	0,7544	1,5088	0,5092	0,0943	0,0603	53,4317
Vehículo 2 Diesel (6x4) G: 225777 N Krass							
5	IMPULSO	4,8478	9,6956	3,2722	0,6059	0,3878	343,3573
6	CRUCER O	13,8383	27,6766	9,3408	1,7297	1,1070	980,1249
7	VACIO	0,8856	1,7712	0,5977	0,1107	0,0708	62,7242

De aquí se evidencia que al realizar una comparación con las diferentes normas internacionales como la europea: se demuestra que las emisiones de hidrocarburos y partículas disueltas son mayores que la norma, el monóxido de carbono es igual el calculado que la norma y el óxido de nitrógeno es mayor el de la norma que el calculado, la norma mexicana analiza los hidrocarburos y el monóxido de carbono los cuales son mayores los valores que los calculados y en el trabajo realizado por Millo Carménate a los equipos Kamaz Y Krass los hidrocarburos, monóxido de carbono, óxido de nitrógeno, dióxido de azufre y dióxido de carbono sus valores son mas altos que los calculados excepto las partículas disueltas que en su investigación es menor que el calculado.

3.5- Ahorros provocados en la flota de ómnibus YUTONG ZK-6120HA en la ruta Cienfuegos-Habana, por concepto de la actualización de los indicadores de consumo.

A continuación se presenta un ejemplo de aplicación de las soluciones experimentales en la disminución de los Índices de Consumo en los ómnibus ZK-6120 HA de la base ASTRO de Cienfuegos.

El indicador consumo recorrido determinado en los experimentos es menor que el promedio que reporta la flota como directiva ($31.25 \text{ dm}^3/100\text{km}$), lo que se debe en cierta medida al grado de aprovechamiento de la carga y a las condiciones que establece la interacción vehículo-vía-medio, no obstante a que el índice que refiere el fabricante ($22 \text{ dm}^3/100\text{km}$) es también menor que el de la flota ($31 \text{ dm}^3/100\text{km}$). O sea, una vez actualizado este indicador se potencian ahorros, al existir una diferencia de 1.8 litros de combustible cada 100km recorridos, entre el valor reportado por la empresa nacional y el real obtenido de las pruebas de consumo.

El ahorro en litros para la ruta y ómnibus estudiados en determinado periodo (por ejemplo, 12 meses) es el siguiente:

$$A = \Delta Q \cdot S \cdot nv \cdot d \quad (3.1)$$

Donde: A-ahorro de combustible (dm^3); ΔQ -diferencia del indicador consumo recorrido (prefijado flota o fabricante vs real) $\text{dm}^3/100\text{km}$; S-distancia de la ruta (km); nv-número de viajes diarios por ruta; d-días en explotación.

Para la ruta Cienfuegos-Habana:

1-Según las pruebas de consumo $\Delta Q=1.8 \text{ dm}^3/100\text{km}$; $S=546 \text{ km}$ (ida y vuelta); $nv=5$; $d=365$ (12 meses) el ahorro es: 17936.1 dm^3 de combustible. Estimado: 17756.73 CUC^* ó $21523.32 \text{ USD}^{**}$

(* Precio del litro de Diesel ASTRO = 0,99 CUC), (** Precio del litro de Diesel (NYSE) New York Stock Exchanger = 1,2 USD Mayo 2008)

Este resultado es un ejemplo, de cuales son los potenciales de ahorro de la empresa, en esta ruta, si se emplease el valor promedio del indicador de consumo determinado experimentalmente. Por supuesto, siempre los valores fluctuarán sobre la media determinada experimentalmente. Es recomendable, pensar en un sistema de estimulación a los chóferes que partiendo de los potenciales de ahorro, como fondo, sirvan para bonificar los cumplimientos o penalizar las infracciones.

3.5.1- Impacto ambiental.

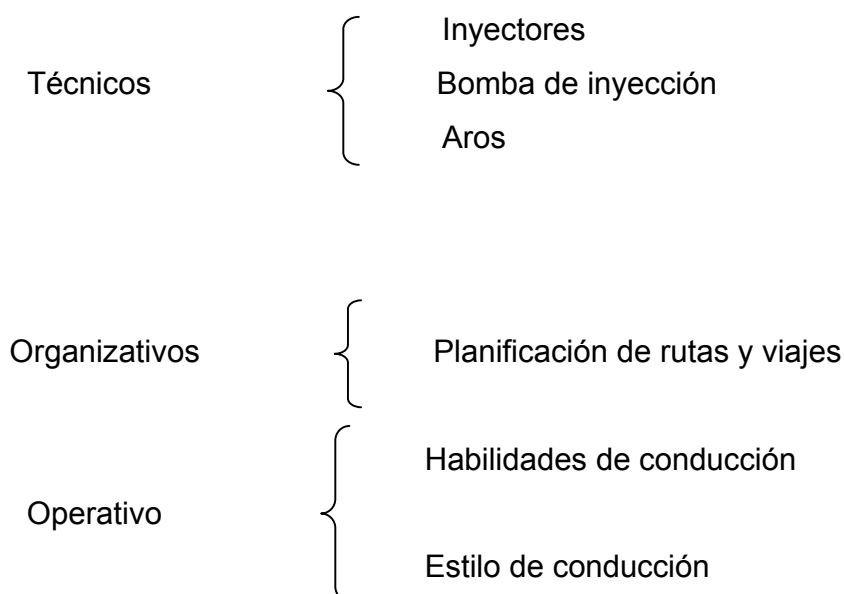
Considerando que el ZK-6120 HA es un vehículo cuyo motor Diesel Cummins ICE 300 es fabricado bajo los estándares de la norma EURO 4 y que el ahorro total de combustible podría ser de 17936.1 dm³ de combustible al año para la ruta Habana – Cienfuegos, extrapolando resultados para esta cifra equivale considerar que se dejan de recorrer de más, unos 60982.74 km = $17936.1 \cdot 100\text{km} / 29.41 \text{ dm}^3$, (235 viajes) al año.

Entonces se podría estimar que por el concepto de actualización del índice consumo recorrido, se emiten al año: $60982. \text{ km} \cdot 1.5 \text{ g/km} = 91.473 \text{ Kg. de NO}_x$ y $60982. \text{ km} \cdot 1.26 \text{ g/km} = 76.83 \text{ Kg. de PM.}$. $\text{km} \cdot 1.5 \text{ g/km} = 91.473 \text{ Kg. de Co}$, $60982. \text{ km} \cdot 1.24 \text{ g/km} = 75.61 \text{ Kg. de Hc}$, $60982. \text{ km} \cdot 0.00228 \text{ g/km} = 0.139 \text{ Kg. de So}_2$, $60982. \text{ km} \cdot 0.051 \text{ g/km} = 3.11 \text{ Kg. de Co}_2$ Siendo, NO_x: óxidos de nitrógeno, PM: partículas suspendidas, So₂ dióxido de azufre, Co₂ dióxido de carbono, Hc hidrocarburos.

3.6- Sistema de monitoreo y control.

Basado en los índices de consumo establecidos experimentalmente, se resumen las incidencias del mes de trabajo, reflejándose en el modelo de la Instrucción No 1 del MITRANS, donde se analizan los vehículos consumidores y ahorradores mediante la comparación entre los índices planificados y los detectados en los experimentos. Con esto se puede establecer un sistema de monitoreo y control que toma en cuenta

Factores que intervienen en el consumo de combustible a monitorear



Medidas a tomar por la administración.

1. Análisis del comportamiento de los indicadores según $\bar{X} \pm 2 \delta$ y las emisiones de gases emitidas a la atmósfera
2. Estimulación / penalización tomando como base el consumo.

Sistema de monitoreo y control para la empresa ASTRO de Cienfuegos.

El control es la acción de hacer coincidir los resultados de la operación de la flota con los índices obtenidos en las pruebas de consumo para elevar la eficiencia energética. Es decir se realiza el análisis de resultados por una norma y mediante las herramientas que permitan cualitativamente comparar los resultados con la misma e identificar los índices y las emisiones.

Para implementar el sistema de monitoreo y control se realizan los siguientes pasos.

1. Seleccionar la ruta a estudiar.
2. Establecer los índices de consumo y revisar las normas internacionales de control de emisiones y compararlos con los resultados obtenidos
3. Establecer las variables de control y los indicadores de control.
4. Establecer las herramientas de medición de los indicadores.
5. Establecer las herramientas de medición para la comparación de los índices y compáralos con las normas, determinando las causas.

El sistema consta para su ejecución de varias etapas.

1. Realización de las pruebas de consumo para realizar los cálculos y el análisis del funcionamiento de los motores.
2. Análisis de los resultados.
3. Comparación de los índices de consumo con la norma y las emisiones emitidas con normas internacionales.
4. Elaboración del diagnóstico para verificar la diferencia entre los índices de consumo con la norma y las emisiones emitidas con normas internacionales.
5. Establecer ó actualizar los índices de consumo como resultado de las pruebas de consumo y realizar análisis de las emisiones emitidas.

Para establecer ó actualizar los índices de consumo hay que considerar las siguientes propuestas.

1. Búsqueda de información nacional e internacional de los valores de los índices de consumo para la operación de los ómnibus de la flota.
2. Realizar el análisis de comportamiento de los índices.
3. Información técnica de la flota de ómnibus.
4. Realización de las pruebas de consumo tanto controladas como sin control.

La eficiencia energética y la emisión de los Gases efecto invernadero necesitan del control debido.

1. los factores internos y externos al proceso de transportación de pasajeros que influyen con la eficiencia, el consumo de combustible y la emisión de los Gases efecto invernadero de los ómnibus de acuerdo a los niveles de las transportaciones y sus características.
2. El precio del combustible que es cambiante en el Mercado mundial.
3. El estado de envejecimiento de los ómnibus produce cambios en el, aprovechamiento del combustible, el funcionamiento del motor y sus agregados.
4. La actitud y motivación de los conductores de los ómnibus que deciden la eficiencia de combustible en la flota.

3.7-Conclusiones parciales.

- 1- En las pruebas Cienfuegos-Habana no varían significativamente las emisiones de gases contaminantes a la atmosfera.
- 2- El comportamiento de las emisiones con respecto al consumo de combustible, se aprecian las variaciones de las emisiones en rangos estables con respecto al número de ensayos y al consumo.
- 3- El comportamiento de las emisiones con respecto a las distancias recorridas por el ómnibus en estudio, se aprecian las variaciones de las emisiones en rangos estables con respecto al número de ensayos y a las distancias recorridas.
- 4- En el gráfico se muestra el comportamiento de las emisiones con respecto velocidad promedio recorrido por el ómnibus en estudio, se aprecian las variaciones de las emisiones en rangos estables con respecto al número de ensayos y a las velocidades promedio.
- 5-Se realizó el análisis de las emisiones calculadas con normas internacionales dando resultados favorables las mismas.
- 6-Existe potencial de ahorro de portadores energéticos como el diesel que anualmente se logran cifras significativas de 17936.1 dm^3 de combustible. Estimado: 17756.73 CUC * ó 21523.32 USD **
- 6- El impacto ambiental de la neutralización del medio de consumo en la ruta es 91.473 Kg. de NO_x , 76.83 Kg. de PM. ,91.473 Kg. de Co, 75.61 Kg. de Hc, 0.139 Kg. de SO_2 , 3.11 Kg. de CO_2 .

CONCLUSIONES GENERALES.

- 1-En Cuba, las medidas aplicadas para el ahorro de combustible, contribuyen a la disminución gases contaminantes emitidos por el transporte
- 2- Se trabaja en el desarrollo de una legislación, a partir de una Norma Cubana, que establezca los valores máximos admisibles de emisión de gases tóxicos por fuentes móviles en Cuba.
- 3- Se adecuó la metodología general de pruebas de consumo para el caso de los ómnibus Yutong ZK-6120 HA de la empresa ASTRO de Cienfuegos. Asimismo, quedó definida la instrumentación a emplear durante el desarrollo de las pruebas que nos permitan desarrollar los experimentos para analizar las emisiones de los gases efecto invernadero.
- 4- En las pruebas Cienfuegos-Habana no varían significativamente las emisiones de gases contaminantes a la atmósfera.
- 5- Existe potencial de ahorro de portadores energéticos como el diesel que anualmente se logran cifras significativas de 17936.1 dm³ de combustible. Estimado: 17756.73 CUC * ó 21523.32 USD **
- 6- El impacto ambiental de la neutralización del medio de consumo en la ruta es 91.473 Kg. de NO_x, 76.83 Kg. de PM. ,91.473 Kg. de Co, 75.61 Kg. de Hc, 0.139 Kg. de So₂, 3.11 Kg. de Co₂.
7. Se realizó el análisis de las emisiones calculadas con normas internacionales dando resultados favorables las mismas.

RECOMENDACIONES.

- 1-Realizar el estudio de las emisiones a las demás rutas de la empresa.
- 2-Normalizar las emisiones de contaminantes de los diferentes medios de transporte.

Bibliografía

- Aragón Marrero, R. 1986. Indicador de evaluación de consumo de combustible. Informe final de investigación, ISPJAE, Facultad de transporte,
- Amáralea Marta (et al) 2008 Determinación de las emisiones máxima admisibles en fuentes móviles. Medidas de mitigación .Informe final CETRA Cuba
- ASCE Journal of Transportation Engineering (USA)
<http://www.pubs.asce.org/journals/te.html>
2000. Asociación de transportistas Españoles. La Conducción Económica: Un remedio ante los continuos incrementos de los precios de los combustibles. Sitio Web. Transporte www 3. es. Revista transporte 3.16
- Barth, Matthew. 2001 Modelling Energy and Emissions from Heavy Duty Diesel Vehicles. University of California.
- Barlow, T. and I. McCrae. 2003 Exhaust emissions from heavy-duty vehicles. International Journal of Vehicle Design 27(1-2): 13.
- Beydoun, M. and J. M. Guldman. 2006 Vehicle characteristics and emissions: Logit and regression analyses of I/M data from Massachusetts, Maryland, and Illinois Transportation Research Part D: Transport and Environment. 11(1): 59-76.
- Biezborodova, G. B. 1989 Economía de consumo durante la conducción de los automóviles. Kiev: Editorial Técnica, 128p.
- Biggs, D.C. and Akcelik, R. 1985 Further Work on Modelling Car Fuel Consumption ARRB Internal Report AIR 390-10, Australian Road Research Board, Nunawading,. 30
- Cárdenas Garnier, M. A. 2006 Criterios y metodología para la determinación de los parámetros dinámicos y cinemáticas para la remotorización. 4to Congreso Cubano de Ingeniería Mecánica, CCIM-2006. La Habana, CUBA, ISPJAE.
- Castro Díaz-Balart, F. Castro Díaz-Balart, F. 2006 Ciencia, Tecnología e innovación: Desafíos e incertidumbres para el sur. Ediciones Plaza
- Castro Ruz, F. 2006 La entrega de 101 vehículos a la Unión Eléctrica, efectuado en la Unión Eléctrica Nacional. Granma (La Habana) 5 de mayo de: 3-4
- Díaz Estévez, R., R. Fernández Herrera, et al. 2006. Determinación de las características de consumo de combustible diesel de los ómnibus YUTONG, en las condiciones cubanas. Feria Internacional del Transporte. Expo CUBA, La Habana.
- Diesel Net. 2007 "Emisión Test Cycle". ERMD at the Environmental Technology Centre, Environment Canada y West Virginia University, National Center for Alternative

<http://www.dieselnet.com/standards/cycles/>. 2007. [Consulta: 2 sep. 2007].

Du Plessis, H.W. Visser, A.T. and Curtayne, P.C. 1990 Fuel Consumption of Vehicles as Affected by Road-surface Characteristics. Surface Characteristic of Roadways: International Research and Technologies, ASTM STP 1301, American Society for testing and Materials, Philadelphia, p. 480-496.

2003 El Transporte Columna Vertebral de Globalización. En <http://habidad.aq.upm.es>.

Erkkilä, K., et al. 2004 Evaluating exhaust emission performance of urban buses using transient heavy-duty chassis dynamometer. DEER Conference. Coronado, CA..

Fuentes Vega, J. R. et al. 2004 Eficiencia Energética en el transporte automotor Cienfuegos: Editorial Perla Sur, ISBN 959-257-071-3. 107 p 81

Fuentes Vega, J. R., Pérez Gálvez, R., et al. 2006 Determinación teórica de la frecuencia de rotación mínima en movimiento estable, su aplicación. 4to Taller Internacional de Energía y Medio Ambiente. Cienfuegos, CUBA, UCf..

Fuentes Vega, J. R., Pérez Gálvez, R., et al. 2004 Eficiencia Energética en el Transporte Automotor. Editorial Universo Sur. Cienfuegos. ISBN 959-257-071-3.. 102p.

García, Roberto y Espinosa, Helio. 1989 El impacto del transporte automotor en el medio ambiente. Revista Ingeniería del Transporte. Volumen X, Número 1,. ISPJAE. Ciudad Habana.

Gavarushenko, Ya. N. 1984 Explotación Técnica de los automóviles. Editorial de la Universidad Estatal de Jarkov y Editorial Educación Superior,. -312 p.

González Oropesa, R. 2005 Los ciclos de manejo, una herramienta útil si es dinámica para evaluar el consumo de combustible y las emisiones contaminantes del auto transporte. Ingeniería, Investigación y Tecnología VI (003): 147-162.

Highway Development & Management. HDM-4

HDM-4 Análisis paramétrico del sub modelo efectos ambientales tabla 5.6 Pág. 46

Klimpush, O. D. 1988 Economía de consumo de combustible en el transporte automotor Kiev: Editorial Técnica,. 144p.

Lira Cacho, Guillermo; García Ortiz, Marco Antonio. 1999 .Optimización de los índices económicos de los motores diesel automotrices en los regímenes de cargas

- parciales y de vacío. TECNIA, Vol 9, N° 01, págs.59-68. Universidad Nacional de Ingeniería. Lima – Perú.
- Litvinov, A. S. El automóvil: Teoría de cualidades de explotación Moscú: Editorial Construcción de Maquinarias, 1989. 240p.
- Millo Carmenate, V., J. R. Fuentes Vega, et al. 2003 El factor dinámico máximo como indicador de las características dinámicas de los vehículos. Ingeniería Mecánica. 2: 73-79.
- Molina Portelles, Nervando. 2007 Propuesta de indicadores de consumo para la flota de ómnibus ASTRO Cienfuegos/ Nervando Molina Portelles: Ramón Pérez Gálvez, José R. Fuentes Vega (tutores). Departamento de Ingeniería Mecánica. Universidad de Cienfuegos. Tesis en opción al grado científico de Master en Eficiencia Energética.
- Muñoz, A., D. Peraza. 2006 Sistema de Evaluación de Cualidades Dinámicas y de Consumo/ Alison Muñoz, Demis Peraza: Antonio Toledo Dorrego (tutor). Departamento de Ingeniería Informática. Universidad de Cienfuegos. Trabajo de diploma.
- Nam, E. and R. Giannelli. 2005 Fuel Consumption Modelling of Conventional and Advanced Technology Vehicles in the Physical Emission Rate Estimator (PERE). OTAC, U.S. Environmental Protection Agency..
- Pérez Alcové, Ignacio. 1991. Eficiencia energética de la transportación. Informe final de investigación, ISPJAE, Facultad de Ingeniería Mecánica,
- Pérez Gálvez, R., J. Fuentes Vega, et al, 2007. El ciclo ASTRO una herramienta para pronosticar el consumo de combustible en una vía determinada. Conferencia Internacional de Energía Renovable CIER 2007. La Habana, CUBA, Palacio de las Convenciones.
- Pérez Gálvez, R., J. Fuentes Vega, et al. 2007 Evaluación de la emisividad de vehículos automotores mediante los ciclos teóricos de movimiento. Conferencia Internacional de Energía Renovable CIER 2007. La Habana, CUBA, Palacio de las Convenciones..
- Rakha, H. and S. Park. 2006 Energy and Environmental Impacts of Roadway Grades. Transportation Research Board 85th Annual Meeting. Washington, DC.
- Rexeis, M., et al. 2005 Heavy duty vehicle emissions. Graz, Graz University of Technology (TUG), Institute for Internal Combustion Engines and Thermodynamics: 176..
- Resolución 172-1

- Rodríguez Chávez Manuel. 2009 Actualización de indicadores de consumo para los ómnibus Yutong ZK6120HA./Ramón Pérez Galvez y Nervando Molina Portelles tutores.Tesis maestría UCF (cf) .
- Rodríguez Chávez Manuel, Pérez Gálvez Ramón, Molina Portelles Nervando. Determinación experimental y modelos para pronosticar el consumo de combustible ómnibus Yutong ZK6120HA./5^{to} taller Internacional de Energía y medio Ambiente.
- The effects of road work on traffic an user cost pag 300
- Toledo Dorrego, A., A. Muñoz, et al. 2006 SECDC: Sistema de evaluación de cualidades dinámicas y de consumo. 4to Congreso Cubano de Ingeniería Mecánica, CCIM-2006. La Habana, CUBA, ISPJAE..
- Yuli, P. 1996 Development of Speed and Fuel Consumption Models for Chinese Vehicles./ P Yuli Ph.D. Dissertation, Dept. Of Civil Engineering, University of Birmingham, Edgbaston,.
- 2006 Zhegzhou Yutong.Vehiculos de pasajeros SA. Zhegzhou China .Manual de operaciones del ómnibus Yutong ZK6120HA

ANEXO

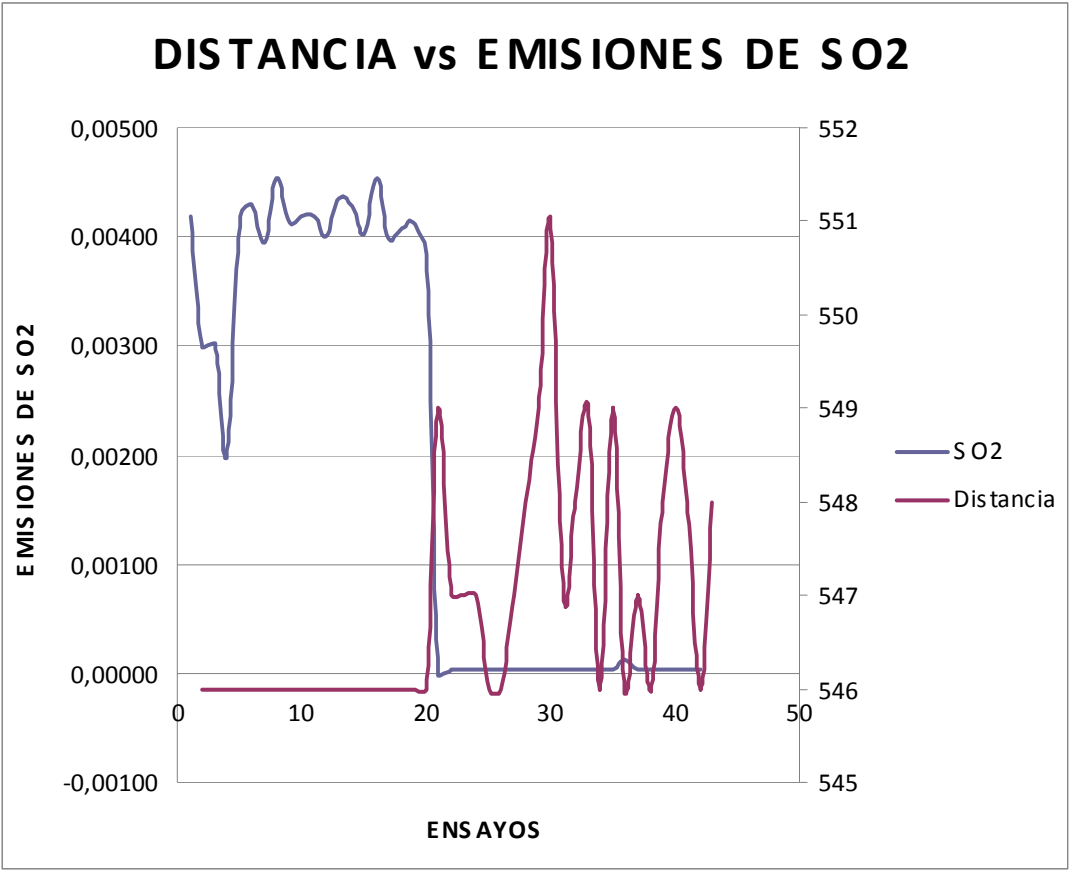


Gráfico Distancia contra emisión So₂

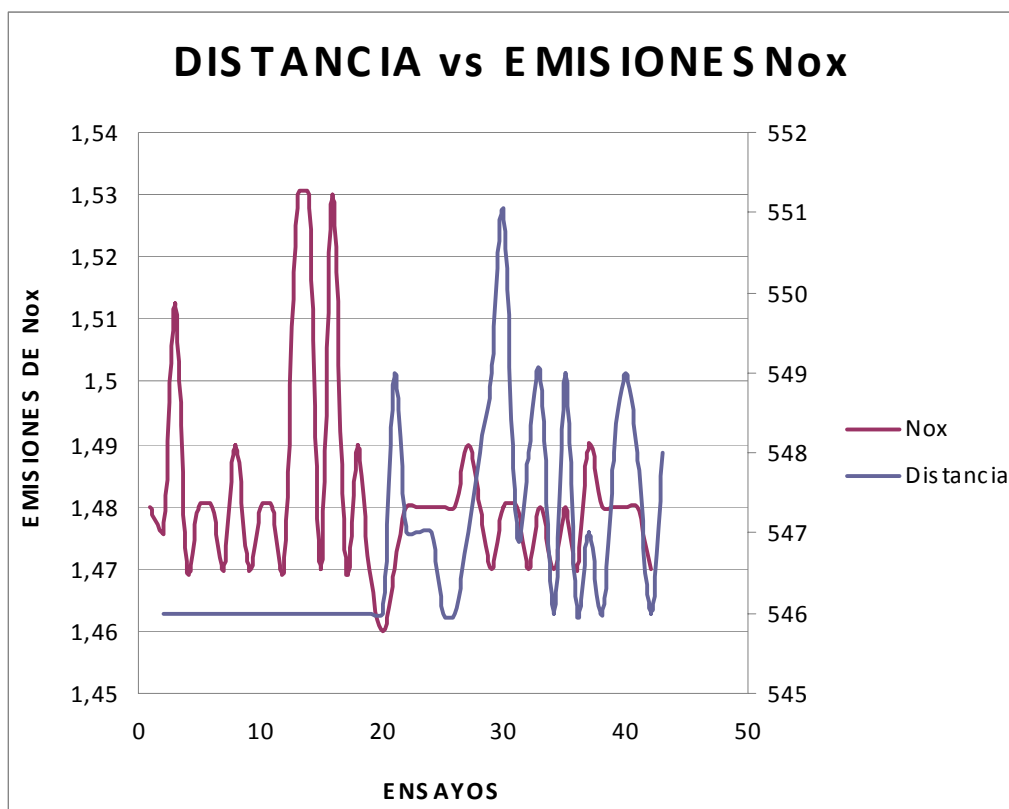


Gráfico Distancia contra emisión Nox

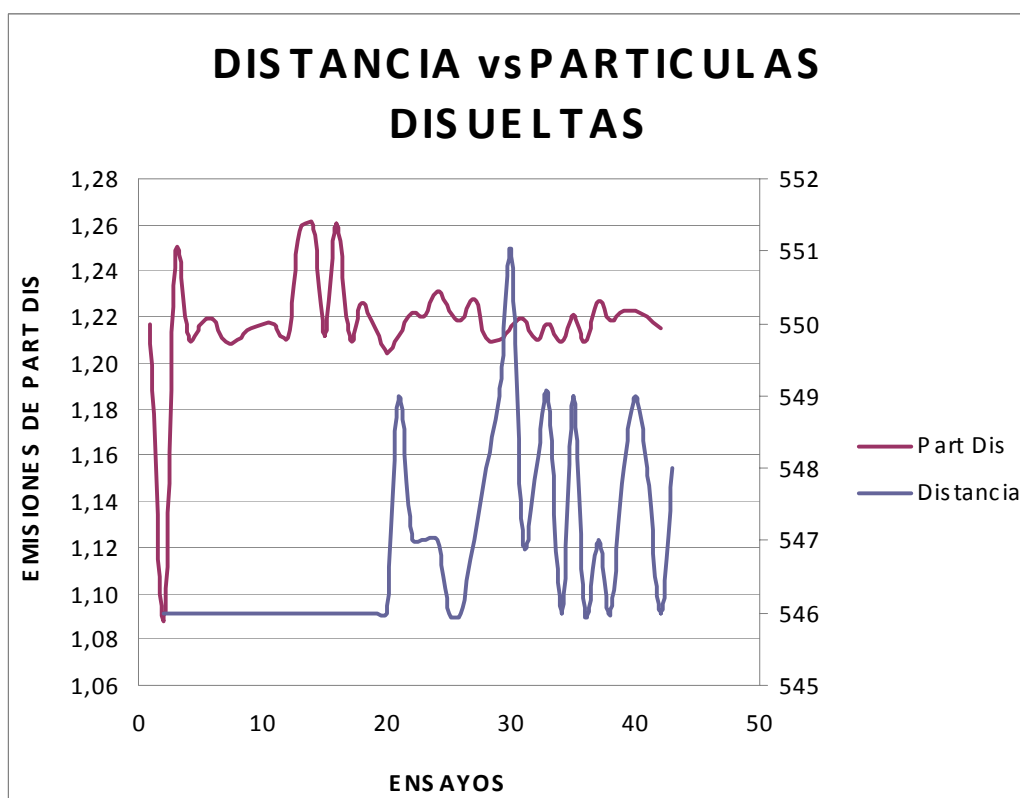


Gráfico Distancia contra emisión Part Dis.

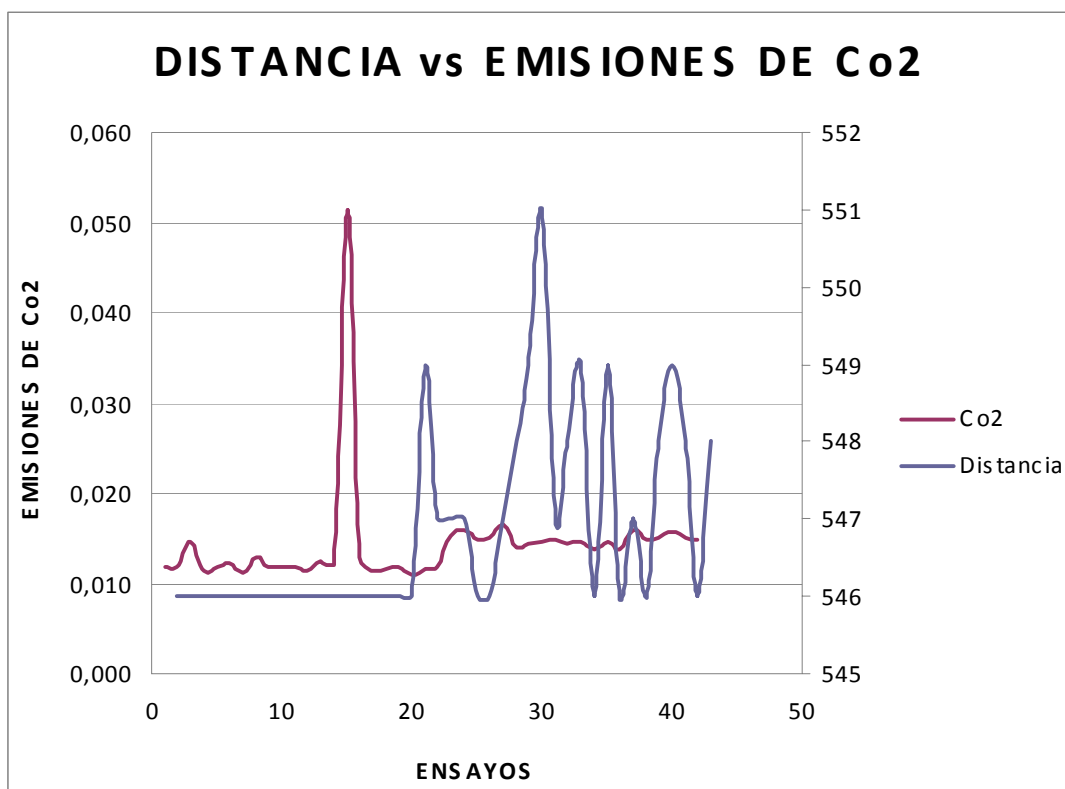


Gráfico Distancia contra emisión Co2.

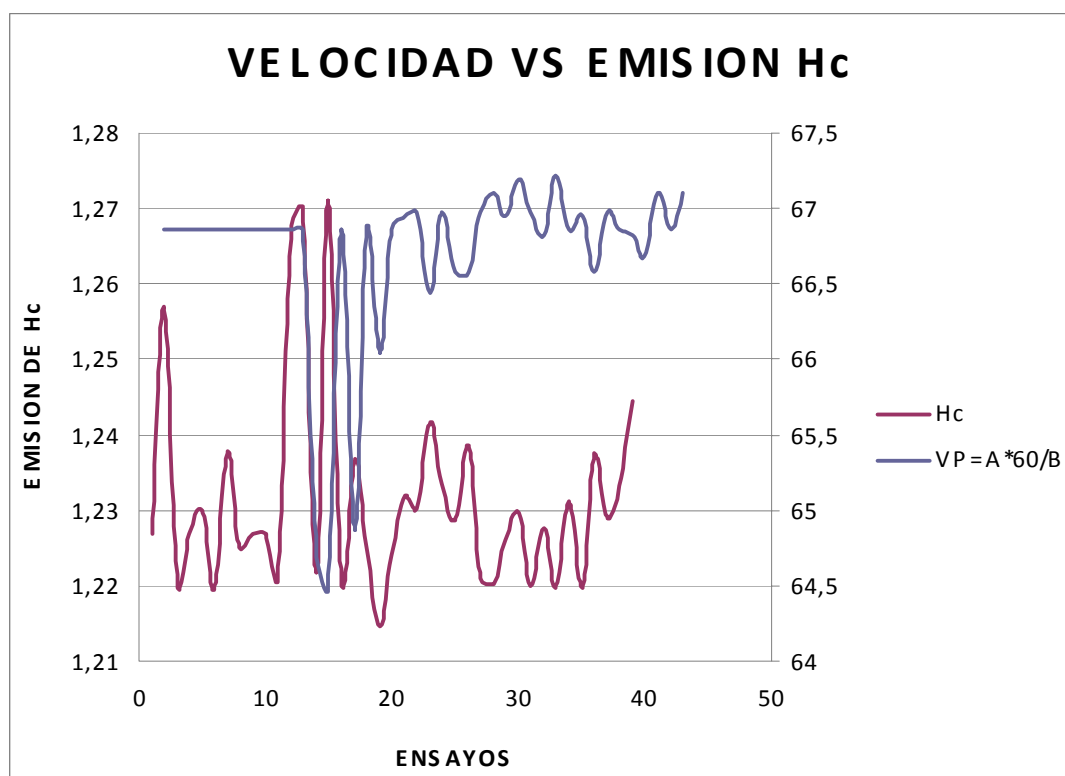


Gráfico Velocidad contra emisión Hc.

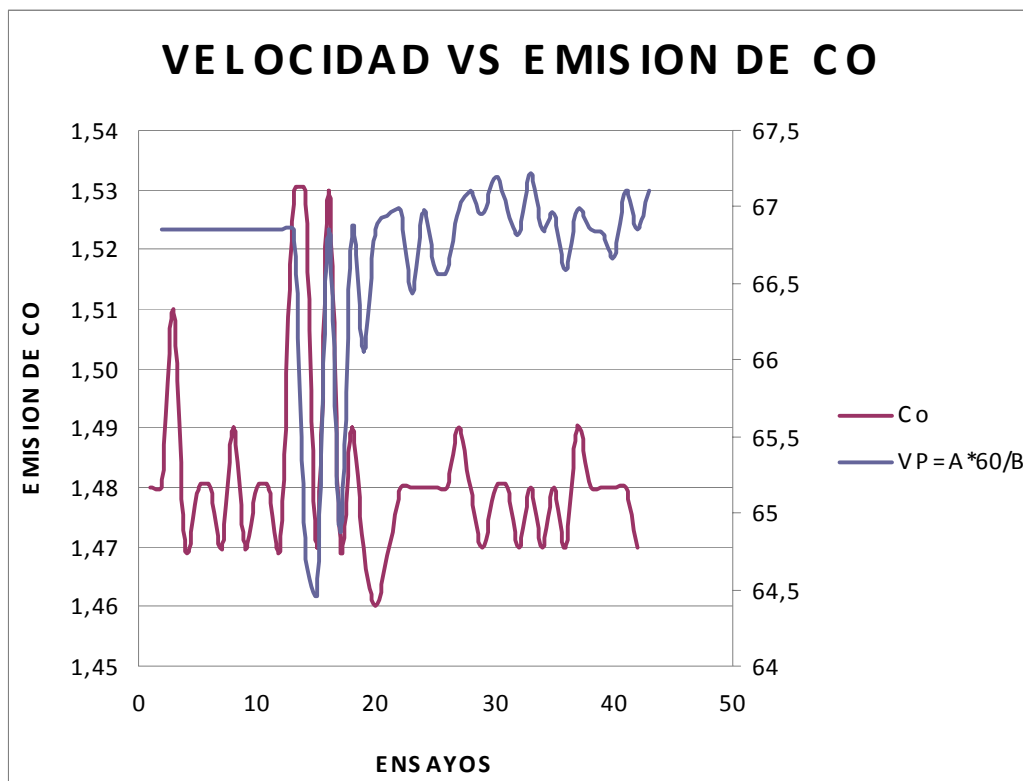


Gráfico Velocidad contra emisión Co.

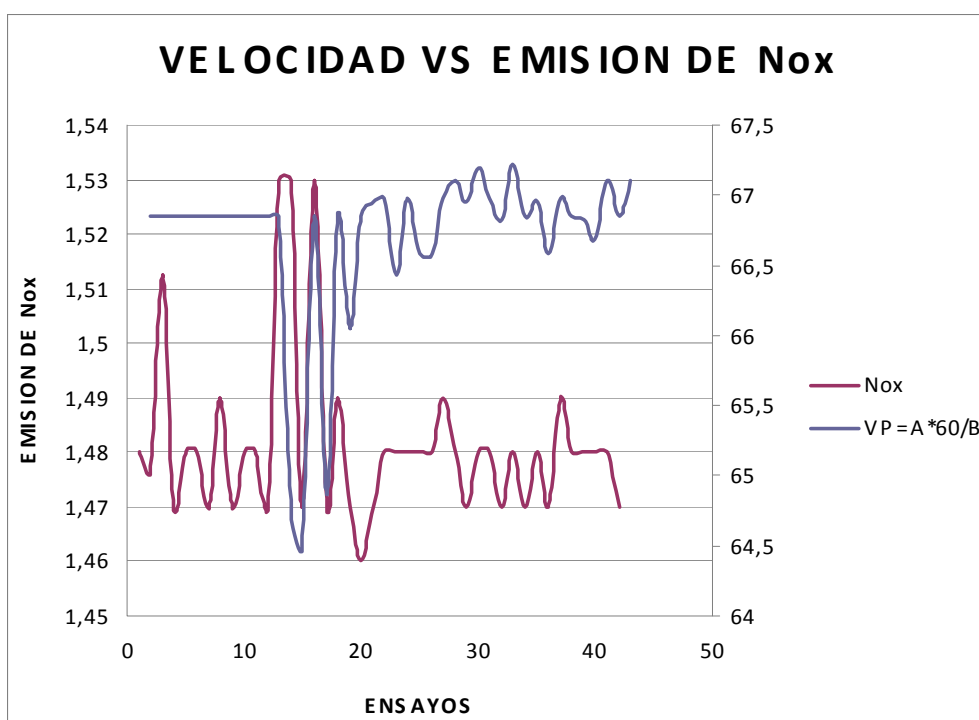


Gráfico Velocidad contra emisión Nox.

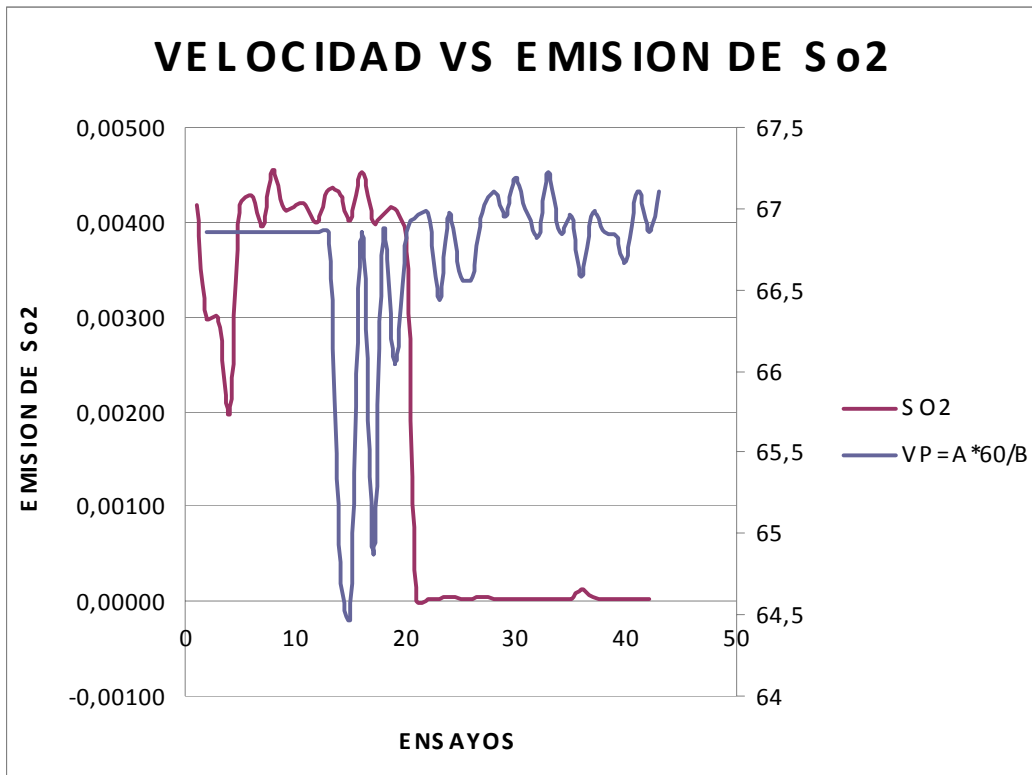


Gráfico Velocidad contra emisión So2.

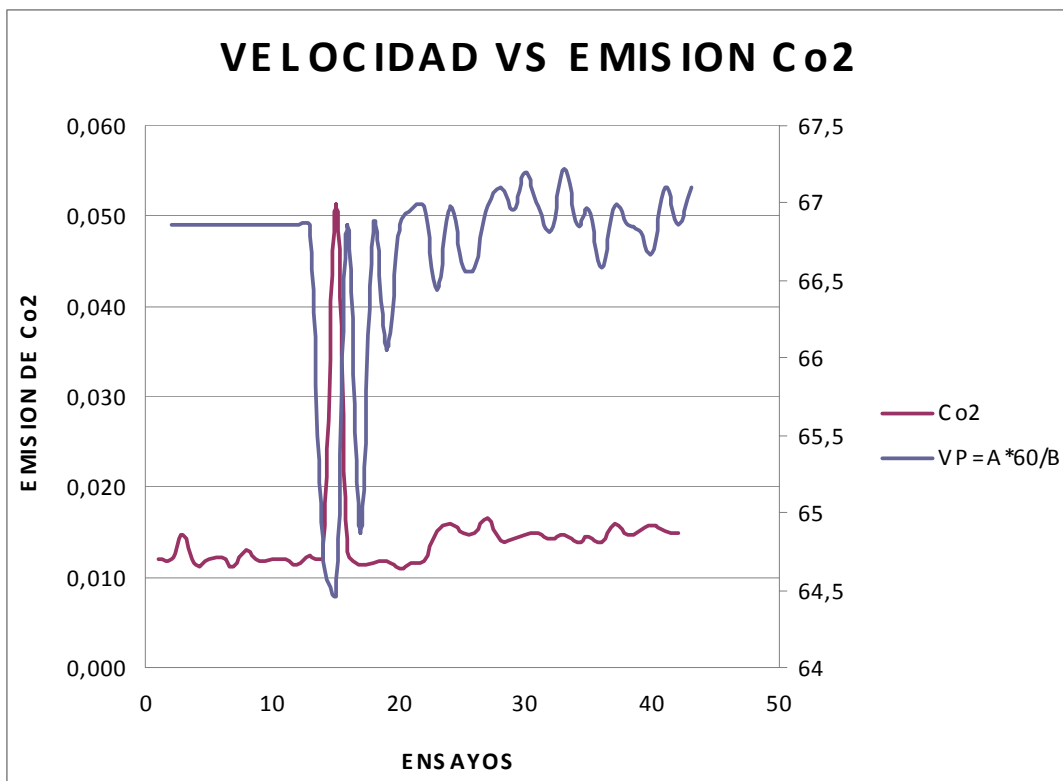


Gráfico Velocidad contra emisión Co2.

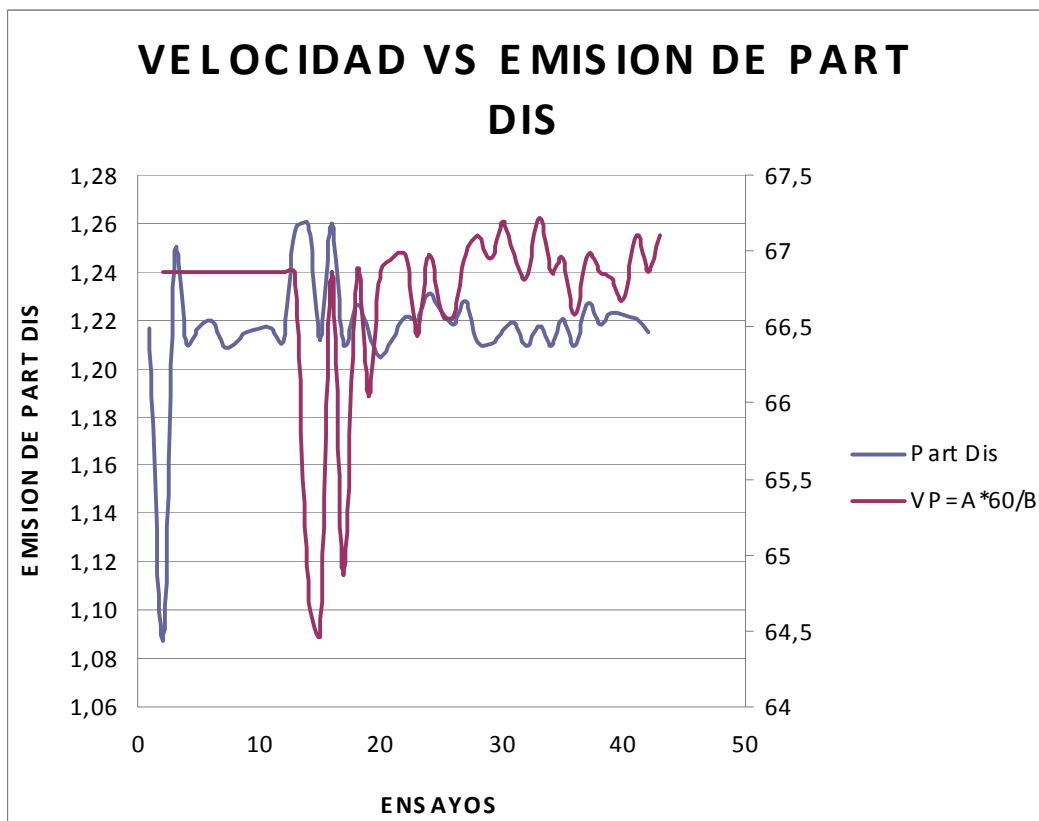


Gráfico Velocidad contra emisión Part Dis.

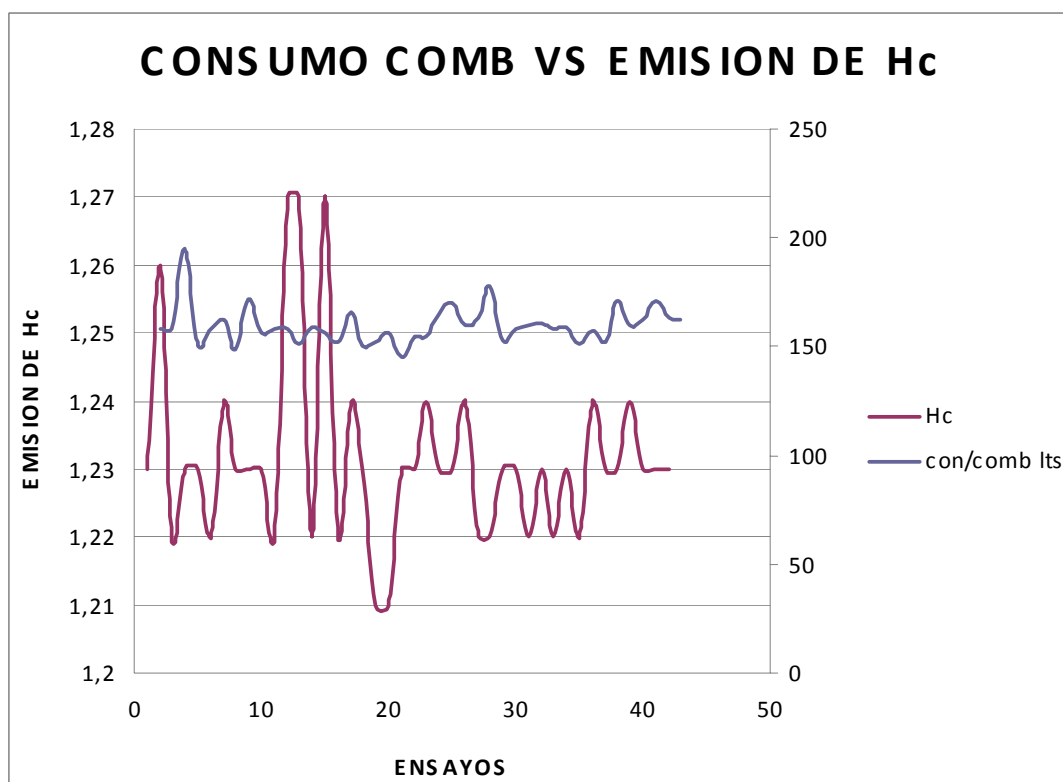


Gráfico Consumo de combustible contra emisión Hc.

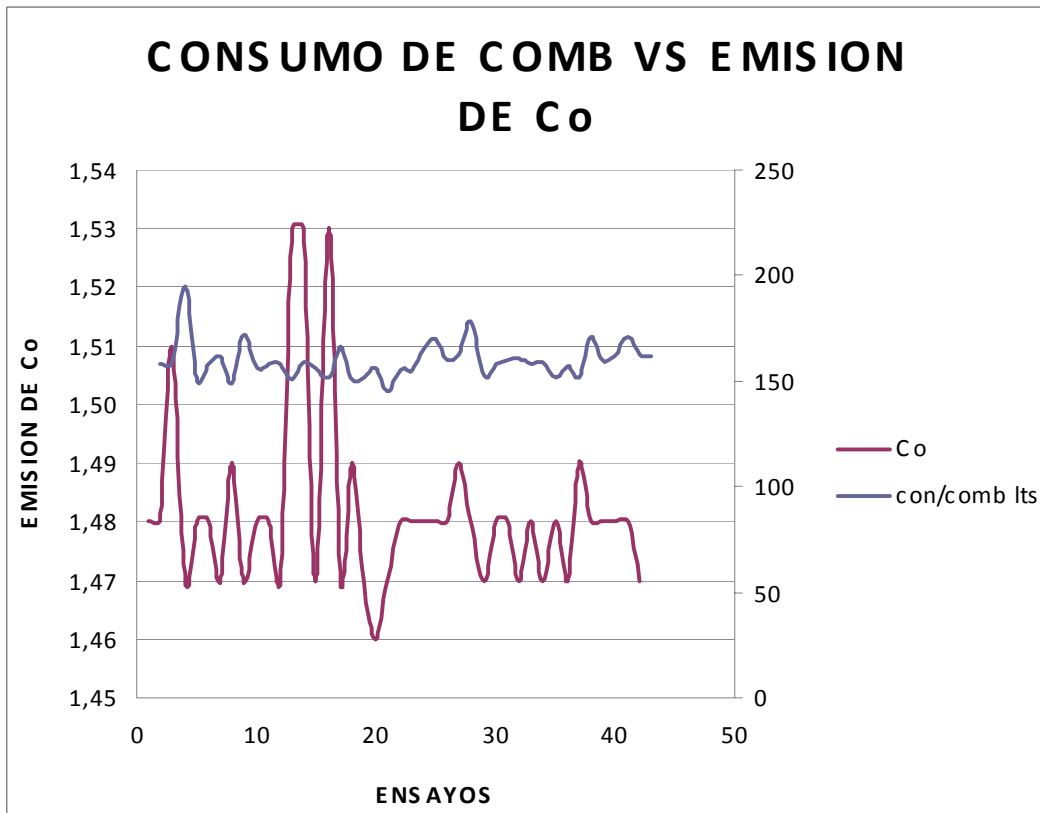


Gráfico Consumo de combustible contra emisión Co.

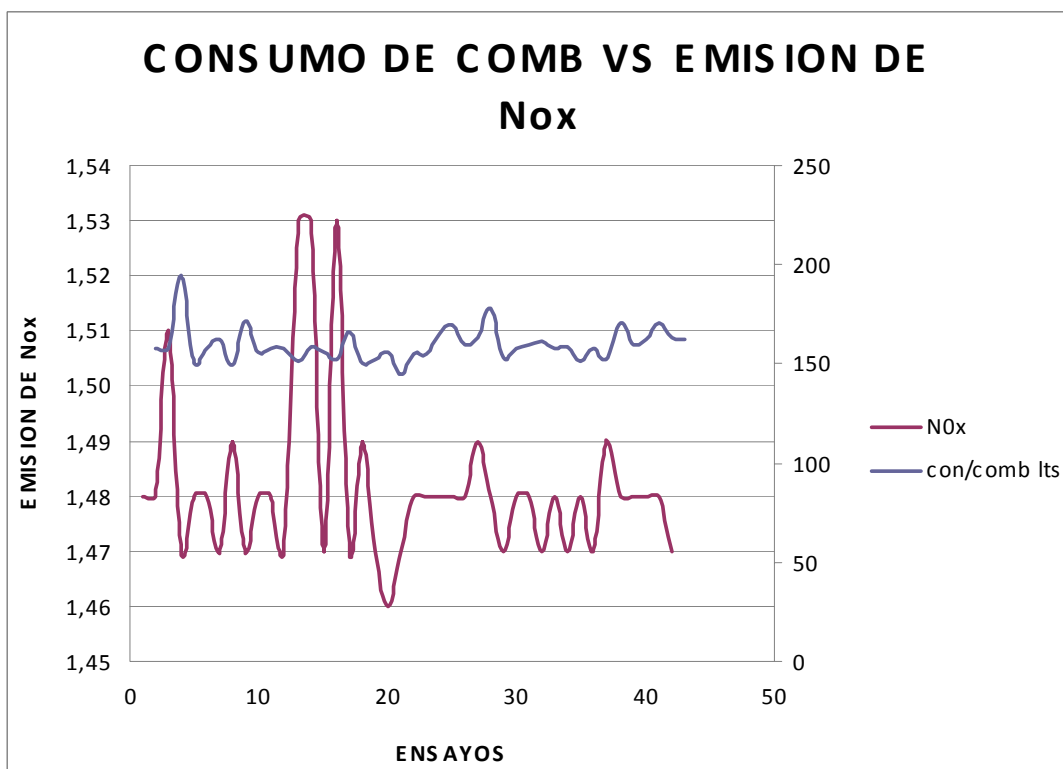


Gráfico Consumo de combustible contra emisión Nox.

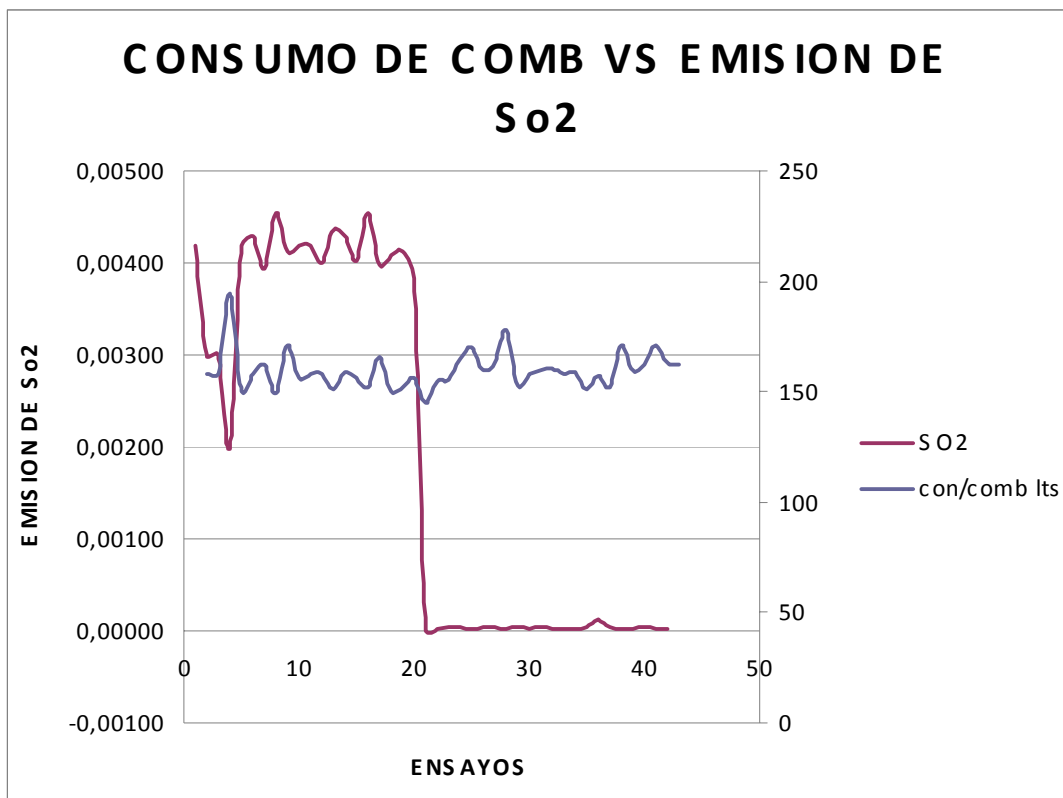


Gráfico Consumo de combustible contra emisión So₂.

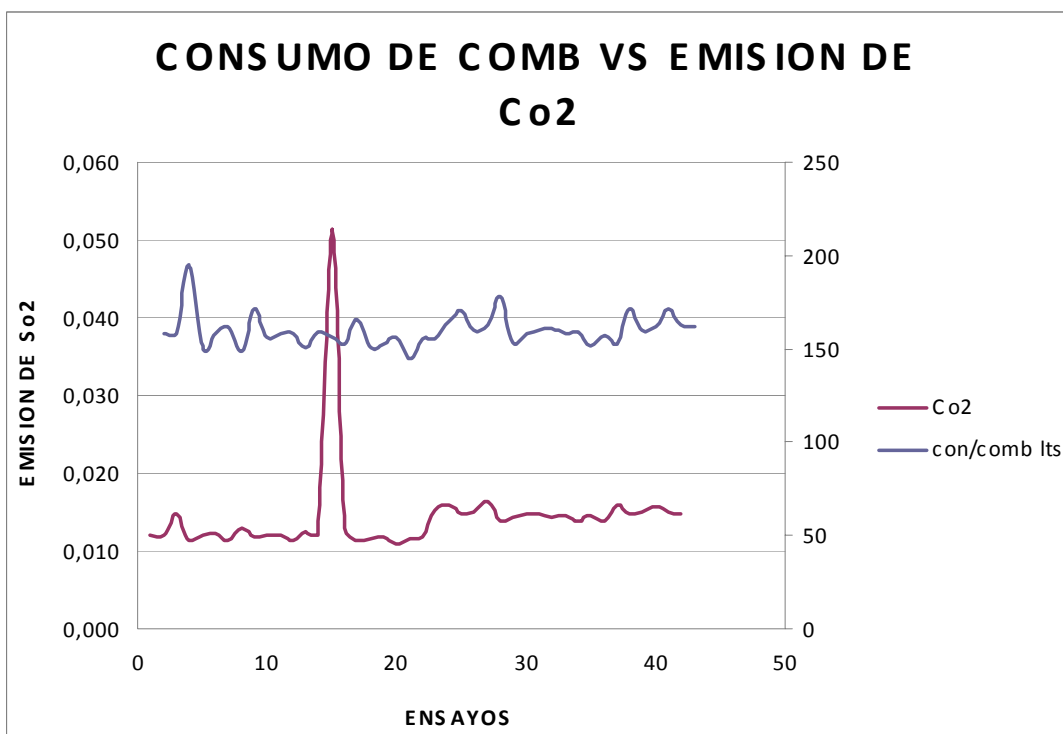


Gráfico Consumo de combustible contra emisión Co₂.

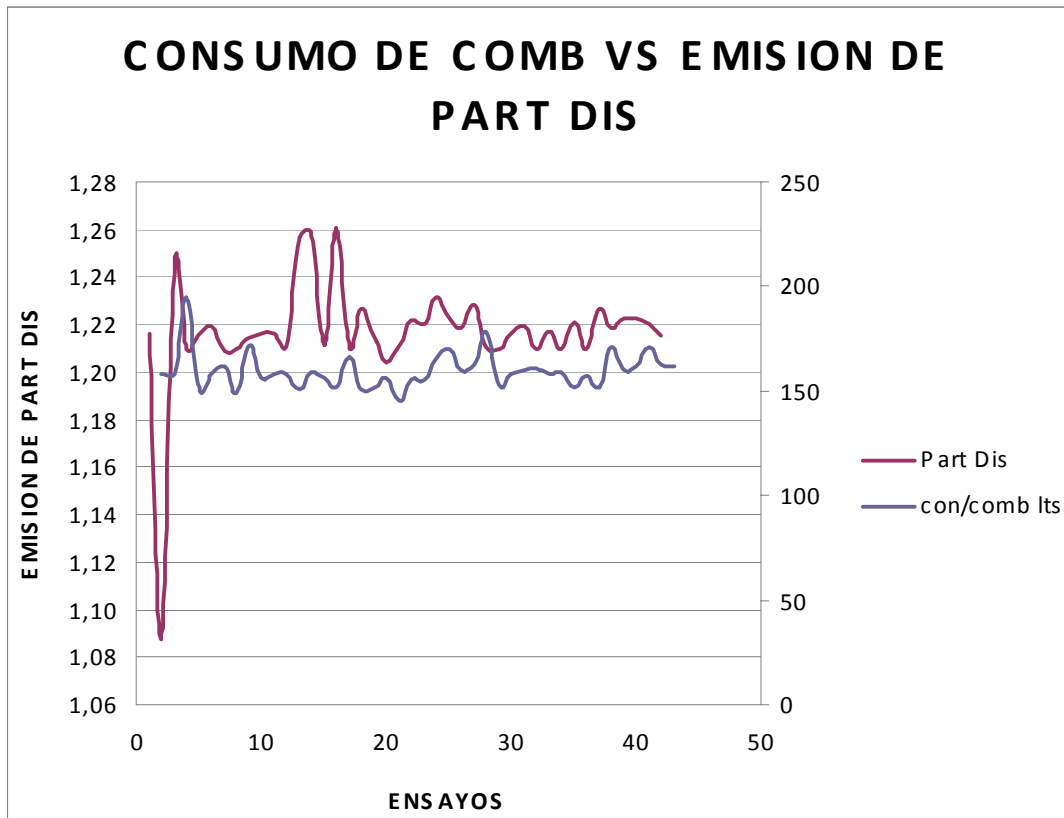


Gráfico Consumo de combustible contra emisión Part Dis

ANEXO 2

Modelo oficial para pruebas de consumo.

Figura 1. Modelo oficial de las pruebas de consumo. Hoja 1.



MODELO PARA PRUEBAS DE CONSUMO

TIPO DE PRUEBA.....

No OMNIBUS.....

HORA DE SALIDA.....

FECHA.....

DESTINO.....

KILOMETROS RECORRIDOS TOTAL.....

COMBUSTIBLE CONSUMIDO EN V-1.....

COMBUSTIBLE CONSUMIDO EN V-2.....

COMBUSTIBLE CONSUMIDO TOTAL.....

INDICE DE CONSUMO EN V-1.....

INDICE DE CONSUMO EN V-2.....

INDICE DE CONSUMO TOTAL.....

TRIPULACION.....No. EXP.....FIRMA.....

TRIPULACION.....No. EXP.....FIRMA.....

NOTA.....

ENERGETICO

ESPECIALISTA

OMNIBUS ASTRO CIENFUEGOS

OMNIBUS ASTRO

CIENFUEGOS

SUB. DIRECTOR TECNICO
OMNIBUS ASTRO CIENFUEGOS

ANEXO 3 Figura 2. Modelo oficial de las pruebas de consumo Hoja 2.

 Modelo de Incidencia por tramo y agencia							
Tramo	Longitud (km)	Hora Entrada Agencia	Hora Salida Agencia	Estado de la vía	Tráfico Ciclos y veh. a baja veloc.	Condiciones Climáticas	Chofer
Cienfuegos-Rodas							
Rodas-Aguada							
Aguada-Conejito							
Conejito-Barrio obrero							
Barrio Obrero-Terminal							
Terminal.-La Coubre							
La Coubre- Barrio O							
Barrio obrero-Conejito							
Conejito-Aguada							
Aguada-Rodas							
Rodas-Cienfuegos							
	V-1	V-2					
Num. de pasajeros							
Tripulación							
Peso del equipaje							

ANEXO 4

Distancia	Tiempo	VP=A*60/B	comb	AO	A1	A2	I/C=A/D	VIDA	IFC	Hc	Co	N0x	So2	Part Dis	Co2
kms	min	kms/h	lts					Años							
546	490.00	66.86	158.00	0.0202	0.2178	0.0854	3.46	5	0.01097	1.23	1.48	1.48	0.00418	1.22	0.012
546	490.00	66.86	158.00	0.0202	0.2178	0.0854	3.46	5	0.01097	1.26	1.48	1.48	0.003	1.09	0.012
546	490.00	66.86	194.84	0.0202	0.2178	0.0854	2.80	5	0.01353	1.22	1.51	1.51	0.003	1.25	0.015
546	490.00	66.86	150.00	0.0202	0.2178	0.0854	3.64	5	0.01042	1.23	1.47	1.47	0.002	1.21	0.011
546	490.00	66.86	158.00	0.0202	0.2178	0.0854	3.46	5	0.01097	1.23	1.48	1.48	0.00418	1.22	0.012
546	490.00	66.86	162.00	0.0202	0.2178	0.0854	3.37	5	0.01126	1.22	1.48	1.48	0.00429	1.22	0.012
546	490.00	66.86	149.00	0.0202	0.2178	0.0854	3.66	5	0.01035	1.24	1.47	1.47	0.00395	1.21	0.011
546	490.00	66.86	171.43	0.0202	0.2178	0.0854	3.18	5	0.01190	1.23	1.49	1.49	0.00454	1.21	0.013
546	490.00	66.86	156.00	0.0202	0.2178	0.0854	3.50	5	0.01083	1.23	1.47	1.47	0.00413	1.21	0.012
546	490.00	66.86	158.00	0.0202	0.2178	0.0854	3.46	5	0.01097	1.23	1.48	1.48	0.00418	1.22	0.012
546	490.00	66.86	158.00	0.0202	0.2178	0.0854	3.46	5	0.01097	1.22	1.48	1.48	0.00418	1.22	0.012
546	490.00	66.86	151.00	0.0202	0.2178	0.0854	3.62	5	0.01049	1.27	1.47	1.47	0.004	1.21	0.011
546	506.00	64.74	159.00	0.0202	0.2178	0.0854	3.43	5	0.01104	1.27	1.53	1.53	0.00435	1.26	0.012
546	508.00	64.49	156.00	0.0202	0.2178	0.0854	3.50	5	0.01083	1.22	1.53	1.53	0.00428	1.26	0.012
546	490	66.86	152.00	0.0202	0.2178	0.0854	3.59	5	0.01056	1.27	1.47	1.47	0.00403	1.21	0.051
546	505.00	64.87	166.00	0.0202	0.2178	0.0854	3.29	5	0.01153	1.22	1.53	1.53	0.00453	1.26	0.013
546	490.00	66.86	150.54	0.0202	0.2178	0.0854	3.63	5	0.01045	1.24	1.47	1.47	0.00399	1.21	0.011

ANEXO 4

546	496.00	66.05	152.00	0.0202	0.2178	0.0854	3.59	5	0.01056	1.23	1.49	1.49	0.00408	1.23	0.012
546	490.00	66.86	156.00	0.0202	0.2178	0.0854	3.50	5	0.01083	1.21	1.47	1.47	0.00413	1.21	0.012
549	492.00	66.95	145.28	0.0202	0.2178	0.0854	3.78	5	0.01009	1.21	1.46	1.46	0.00384	1.2	0.011
547	490.00	66.98	154.93	0.0202	0.2178	0.0854	3.53	5	0.01076	1.23	1.47	1.47	0.00003	1.21	0.012
547	494.00	66.44	155.00	0.0202	0.2178	0.0854	3.53	5	0.01076	1.23	1.48	1.48	0.00003	1.22	0.012
547	490.00	66.98	165.00	0.0202	0.2178	0.0854	3.32	5	0.01146	1.24	1.48	1.48	0.00003	1.22	0.015
546	492.00	66.59	170.00	0.0202	0.2178	0.0854	3.21	5	0.01181	1.23	1.48	1.48	0.00004	1.23	0.016
546	492.00	66.59	160.00	0.0202	0.2178	0.0854	3.41	5	0.01111	1.23	1.48	1.48	0.00003	1.22	0.015
547	490.00	66.98	163.00	0.0202	0.2178	0.0854	3.36	5	0.01132	1.24	1.48	1.48	0.00003	1.22	0.015
548	490.00	67.10	178.00	0.0202	0.2178	0.0854	3.08	5	0.01236	1.22	1.49	1.49	0.00003	1.23	0.016
549	492.00	66.95	153.00	0.0202	0.2178	0.0854	3.59	5	0.01063	1.22	1.48	1.48	0.00003	1.21	0.014
551	492.00	67.20	157.68	0.0202	0.2178	0.0854	3.49	5	0.01095	1.23	1.47	1.47	0.00003	1.21	0.014
547	490.00	66.98	160.00	0.0202	0.2178	0.0854	3.42	5	0.01111	1.23	1.48	1.48	0.00003	1.22	0.015
548	492.00	66.83	161.00	0.0202	0.2178	0.0854	3.40	5	0.01118	1.22	1.48	1.48	0.00003	1.22	0.015
549	490.00	67.22	158.00	0.0202	0.2178	0.0854	3.47	5	0.01097	1.23	1.47	1.47	0.00003	1.21	0.014
546	490.00	66.86	159.01	0.0202	0.2178	0.0854	3.43	5	0.01104	1.22	1.48	1.48	0.00003	1.22	0.015
549	492.00	66.95	151.36	0.0202	0.2178	0.0854	3.63	5	0.01051	1.23	1.47	1.47	0.00003	1.21	0.014
546	492.00	66.59	157.42	0.0202	0.2178	0.0854	3.47	5	0.01093	1.22	1.48	1.48	0.00003	1.22	0.015
547	490.00	66.98	152.00	0.0202	0.2178	0.0854	3.60	5	0.01056	1.24	1.47	1.47	0.00013	1.21	0.014
546	490.00	66.86	171.01	0.0202	0.2178	0.0854	3.19	5	0.01188	1.23	1.49	1.49	0.00004	1.23	0.016

ANEXO 4

548	492	66.83	160.00	0.0202	0.2178	0.0854	3.43	5	0.01111	1.23	1.48	1.48	0.00003	1.22	0.015
549	494.00	66.68	162.00	0.0202	0.2178	0.0854	3.39	5	0.01125	1.24	1.48	1.48	0.00003	1.22	0.015
548	490.00	67.10	171.00	0.0202	0.2178	0.0854	3.20	5	0.01188	1.23	1.48	1.48	0.00003	1.22	0.016
546	490.00	66.86	163.00	0.0202	0.2178	0.0854	3.35	5	0.01132	1.23	1.48	1.48	0.00003	1.22	0.015
548	490.00	67.10	162.00	0.0202	0.2178	0.0854	3.38	5	0.01125	1.23	1.47	1.47	0.00003	1.22	0.015