



UNIVERSIDAD DE GRANMA
FACULTAD DE CIENCIAS TÉCNICAS
DEPARTAMENTO DE CIENCIAS TÉCNICAS



Trabajo de Diploma

En opción al título de Ingeniero Electromecánico

Título: *Evaluación de emisiones de gases de efecto invernadero en la Central Eléctrica Fuel Oil Bayamo - Cuba de 110 kV.*

Autor: *Marco Santiago Villacrés Cañizares*

Tutor: *Dr. C. Yoandro Rodríguez Ponce*

Bayamo M.N.

Julio 2012

AGRADECIMIENTOS

A mis padres y hermanos por siempre estar a mi lado en los buenos y malos momentos de mi vida y aportar con las condiciones necesarias para alcanzar mis objetivos.

A mi escasa familia que pese a todo han aportado con un grano de arena y gracias a ellos he vuelto atrás para darme impulso y seguir adelante.

A todas las personas que de uno u otro modo colaboraron en la realización de este trabajo. Especialmente al Dr. Ingeniero Yoandro Rodríguez Ponce, Tutor de Tesis, por su invaluable ayuda.

DEDICATORIA

A mi esfuerzo y sacrificio, puesto que cada párrafo es mi orgullo por haber cumplido uno de los varios sueños que me he planteado durante el corto transcurso de mi vida. Lo cual lo he logrado con la ayuda de las personas que más amo e incondicionalmente siempre han estado a mi lado.

PENSAMIENTO

Las generaciones actuales se ofuscan ante la mirada gélida de la política corrupta e ignorante, a sabiendas de que la misma es la que aporta a la pobreza y la miseria de los pueblos.

Santiago V. 2012

RESUMEN.

En el presente trabajo se exponen los resultados del proceso de evaluación de las emisiones de elementos nocivos en los gases de escape productos de la combustión de Fuel Oil en motores MDU 9H2132. Hyundai de 1800 kW de potencia instalados en la Central eléctrica Fuel oil Bayamo 110 kV, se hace una valoración a partir de la influencia de estas en el reforzamiento de los problemas medio ambientales a nivel global con énfasis en el calentamiento global.

Del análisis emerge como una de las causas fundamentales la calidad del combustible servido por los proveedores, incidiendo de manera significativa en la misma la viscosidad, la densidad la presencia en este de compuesto nitrogenado y el alto contenido de azufre.

Finalmente se hace una valoración del empleo de aditivos, fundamentado en los reportes acerca del uso del PentoMag 4400/10 como una vía para la mejora de la eficiencia de la central a partir de la incidencia de este en el estado técnico de las unidades, así como la reducción de las emisiones de gases nocivos a la atmósfera.

SUMMARY.

Presently work the results of the process of evaluation of the emissions of noxious elements are exposed in the gases of escape products of combustion of Fuel Oil in motors MDU 9H2132. Hyundai of 1800 kW of power installed in the electric Power station Fuel oil Bayamo 110 kV, a valuation is made starting from the influence of these in the reinforcement from the half environmental problems to global level with emphasis in the global heating.

Of the analysis it emerges like one of the fundamental causes the quality of the fuel served by the suppliers, impacting in a significant way in the same one the viscosity, the density the presence in this of compound nitrogenado and the high content of sulfur.

Finally a valuation of the employment of preservatives is made, based in the reports about the use of the PentoMag 4400/10 like a road for the improvement of the efficiency of the power station starting from the incidence of this in the technical state of the units, as well as the reduction of the emissions of noxious gases to the atmosphere.

INDICE

RESUMEN	
SUMMARY	
INTRODUCCIÓN	1
CAPITULO I: EMISIÓN DE GASES DE EFECTO INVERNADERO.....	7
1.1. Calentamiento global y cambio climático.....	7
1.2 Impacto ambiental.....	12
1.2.1. Motores de combustión interna.....	16
1.2.2. Emisiones Diesel.....	18
1.3. Grupos electrógenos.....	23
1.3.1 Combustible para grupos electrógenos. Fuel Oil o Bunker.....	26
CAPITULO II: MATERIALES Y MÉTODOS.....	33
2.1. Método utilizado para la determinación de las emisiones de gases de escape en los motores de combustión interna.....	34
2.1.1: Técnica de análisis de gases.....	34
2.1.2: Extracción y acondicionamiento de gas de muestreo de extracción.....	35
2.1.3 Calibración.....	37
2.2. Análisis de gases.....	37
2.2.1. Análisis del proceso.....	38
2.2.2. Analizadores.....	39
2.3. Materiales utilizados para preparación y el análisis del experimento.....	40
2.4. Descripción del experimento.....	41
2.4.1. Toma de muestras.....	41
CAPÍTULO III: ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS.....	43
3.1 Análisis de las emisiones.....	48
3.1.1 Concentraciones de CO ₂	48
3.1.2 Concentraciones de NO _x	48
3.1.3 Concentraciones de SO ₂	49
3.2 Problemas técnicos ocasionados a los mci debido a la mala calidad del combustible servido.....	50
3.3 Evaluación del uso de aditivos en el combustible para la mejora de la eficiencia del sistema.....	51
3.4 Descripción y posibles aplicaciones del producto.....	51
4. CONCLUSIONES.....	54
5. RECOMENDACIONES.....	55
6. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	56
7. ANEXOS.....	63



INTRODUCCION Y OBJETIVOS

En el plano científico, se han difundido ampliamente nuevos estudios e investigaciones acerca de la ciencia del clima, los impactos del cambio climático en las distintas regiones y países del mundo.

Las concentraciones atmosféricas globales de gases de efecto invernadero como dióxido de carbono CO₂, metano CH₄, y óxido nitroso NO_x se han incrementado en los últimos 260 años y exceden significativamente los niveles preindustriales.

Tabla 1: Concentraciones globales de dióxido de carbono CO₂
(En partes por millón) (Pitch, 2010).

Periodos	Concentraciones (ppm)
Etapa preindustrial	280
2000	368
2005	379
2010	540 - 970

La fuente fundamental del incremento de concentraciones atmosféricas de CO₂ desde el periodo preindustrial ha sido el uso de combustibles fósiles.

El calentamiento del sistema climático es inequívoco lo cual es evidente a partir del incremento promedio global observado en las temperaturas de aire y los océanos, el derretimiento de los hielos y el crecimiento del nivel del mar a causa del derretimiento de las capas de hielos de Groenlandia y la Antártida y la disminución de las cubiertas de nieve en ambos hemisferios.

El cambio climático es considerado hoy el mayor desafío que la supervivencia humana enfrenta. Consecuencia del propio desarrollo humano y patrones de producción y consumo capitalista, algunos de sus efectos son perceptibles y otros, con bastante certeza, se manifestaran en un futuro no muy lejano. Es así que la temperatura media en la tierra se incrementó en el pasado siglo y ese incremento puede llegar alcanzar entre 3 y 5 °C en el presente.

Bastaría un incremento de entre 1,5 °C y 2,5 °C en la temperatura media de la tierra, para que desapareciera el 30 % de las especies hoy conocidas, lo que a su vez repercutiría sobre las bases de sustentación de la especie humana. Un



aumento de la temperatura cercana a $1\text{ }^{\circ}\text{C}$ puede provocar el blanqueamiento y muerte de los corales. De incrementarse el calentamiento global se reducirá la producción mundial de alimentos en un 30% para la fecha tan cercana como el 2050. (Pitch, 2010).

Todas las legislaciones sobre reducción de emisiones prestan especial atención a los óxidos de nitrógeno (NO_x) formados, en más del 90% por las elevadas temperaturas que se alcanzan durante la combustión.

Los gases nocivos dependen de la composición de la mezcla, es decir, del factor lambda (λ). Si el funcionamiento es con mezcla rica (excesivo combustible en relación con la cantidad de aire) aparecen hidrocarburos sin quemar. Si es con mezcla pobre (poco combustible) se generan óxidos de nitrógeno.

Las directivas establecen los valores límites de las emisiones de gases y partículas contaminantes (monóxido de carbono, hidrocarburos no quemados y óxido nítrico) de todos los vehículos: (Pitch, 2010).

- Equipados de motor Diesel;
- Destinados a circular en carretera;
- Con o sin carrocería;
- Que tengan al menos cuatro ruedas;
- Que tengan una velocidad máxima de construcción superior a 25 km/h.

Las emisiones de escape de los motores se producen en su mayor parte debido a la combustión del combustible, aunque también se deben en menor cuantía a la evaporación de hidrocarburos del depósito de combustible y a la evaporación del depósito de lubricante.

Teniendo en cuenta que la combustión ocurre en la fase gaseosa y que el ciclo de trabajo de los motores ocurre en fracciones de segundo, un motor en funcionamiento expulsa al medio una gran cantidad de gases de escape (emisiones), si se considera además el total de equipos de todo tipo que emplean como fuente energética los motores de combustión interna, es obvia la creciente preocupación a nivel mundial por el control de las emisiones de los motores de combustión interna. (Lukanin et, al. 1988)



Los motores Diesel en automóviles, autobuses y camiones, producen gases de escapes resultantes de la combustión del combustible Diesel. Los gases de escape de los motores Diesel contienen sustancias químicas nocivas, incluyendo partículas tóxicas muy pequeñas y gases peligrosos. Se ha descubierto que algunos de los gases peligrosos contenidos en el escape Diesel (por ejemplo, óxidos de nitrógeno, benceno, bióxido de azufre y formaldehído) pueden producir el cáncer.

Las partículas y los óxidos de nitrógeno (NO_x) son los principales contaminantes presentes en las emisiones de motores Diesel. (Lukanin et, al. 1988)

Es ampliamente conocido que los óxidos de nitrógeno contribuyen a la lluvia ácida y al smog fotoquímico, mientras que las partículas de hollín contienen compuestos químicos de probable actividad muta génica. Las leyes que regulan el contenido máximo de partículas y contaminantes gaseosos son cada vez más estrictas en todo el mundo, y dado que las emisiones Diesel son más complejas en su composición, su tratamiento requiere de la permanente aplicación de nuevas tecnologías.(Pitch, 2011).

El impacto ambiental 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: dióxido de carbono(CO₂), metano (CH₄), óxido nitroso (NO_x) 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. (Pitch, 2011).

Los motores de combustión interna, se convirtieron a partir de mediados del siglo XX en una de las fuentes energéticas más utilizadas por el hombre en los más diversos sectores; sus relativamente altos rendimientos, así como sus bajos costos de fabricación, reparación y explotación, junto a su alta durabilidad, los



hicieron imprescindibles; lejos estaban de pensar sus precursores que, con el decurso del tiempo, estos ingenios se convertirían en focos de contaminación del medio ambiente.

El principio de funcionamiento de los motores de combustión interna, se basa en la conversión de la energía térmica liberada durante la combustión del combustible (se utiliza por lo general un derivado del petróleo) en energía mecánica. Los productos de la reacción de combustión son los genéricamente llamados gases de escape, que se expulsan a la atmósfera después de cada ciclo de trabajo (un ciclo de trabajo dura fracciones de segundo). Cabría señalar que dentro de los motores de combustión interna, se identifican dos tipos básicos de acuerdo a su ciclo: los motores Otto, que utilizan la gasolina como combustible, y los motores Diesel, que utilizan gasoil; en ambos casos, las emisiones de escape son similares, diferenciándose la proporción de cada producto.

Los grupos electrógenos, se usan en una variedad de aplicaciones, cada vez con mayor sistematicidad en sistemas de administración descarga. Algunos grupos electrógenos se usan estrictamente como "respaldo" para emergencias y, en otros casos, como la fuente principal de energía eléctrica.

Más del 40 % de la capacidad de generación eléctrica en Cuba está basada en plantas generadoras distribuidas de pequeña escala. Este es uno de los más altos índices a nivel mundial. Estas plantas generan en base a Diesel y Fuel Oil. El país progresa en su objetivo de desarrollar un nuevo paradigma energético.

Cuba tiene una capacidad de generación eléctrica de 2 497 MW sobre la base de la generación distribuida, de la cual 1 280 MW corresponden a generadores diesel y el resto son motores de Fuel Oil (540 MW), cogeneración (529 MW) y otras tecnologías energéticas renovables (148 MW) para la generación fundamentalmente en el horario pico y para garantizar la energía eléctrica necesaria durante la ocurrencia de eventos meteorológicos que puedan provocar averías en el sistema electro energético nacional.

La introducción en Cuba de este tipo de tecnología, sin precedentes en Latinoamérica y el Caribe para la generación sincronizada con el sistema electro energético nacional, han tenido un impacto positivo en el medio ambiente, ya que



tienen menores tasas de consumo específico (234 g kWh^{-1}), frente a las plantas termoeléctricas basadas en la quema de petróleo crudo (284 g kWh^{-1} en promedio). Sin embargo, la contaminación local (producción de ruido y emisiones de gases como los NO_x , SO_2 y de partículas de muy pequeño tamaño) es un problema cuya solución está siendo estudiada, lo que constituye nuestro problema de investigación:

Problema: ¿Cómo disminuir las emisiones de gases de escape sin afectar la eficiencia de generación en el emplazamiento Fuel Oil de Bayamo?

Objetivo: Reducir las emisiones nocivas en los gases de escape de los grupos electrógenos del emplazamiento Fuel Oil de Bayamo.

Hipótesis: El estudio de los gases de escape y de la explotación del emplazamiento Fuel Oil de Bayamo permitirá determinar las causas del exceso de Dióxido de carbono (CO_2) y Óxido de nitrógeno (NO_x) y disminuir el exceso de emisiones nocivas al medio ambiente.

Objeto de la investigación: Gases de escape de los Grupos Electrógenos del emplazamiento Fuel - Oil de Bayamo.

Específicos:

- Estudiar el comportamiento de las emisiones en los grupos electrógenos que trabajen con Fuel Oil como combustible.
- Investigar las causas del exceso de emisiones de Dióxido de carbono (CO_2) y Óxido de nitrógeno (NO_x), relacionadas con la explotación de los grupos electrógenos.
- Proponer un plan de medidas de carácter técnico organizativas que permitan la reducción de las emisiones del Dióxido de carbono (CO_2) y Óxido de nitrógeno (NO_x).



Los métodos investigativos más utilizados para la realización de la investigación son:

Nivel teórico:

- *Histórico – lógico.*
- *Análisis – síntesis.*
- *Inducción – deducción.*

Del nivel empírico:

- *Observación.*
- *Entrevista. Estadístico – matemático:* utilizando como procedimiento el cálculo porcentual, tablas comparativas y gráficos.

CAPITULO I: EMISIÓN DE GASES DE EFECTO INVERNADERO

1.1. Calentamiento global y cambio climático.

El cambio climático es parte de una problemática aun mayor, conocida como cambio global, en ella cualquier alteración en alguno de sus componentes básicos produce un efecto en todo el sistema global.

En este ámbito global el clima está determinado por el trabajo que realiza integradamente un sistema que está compuesto por: la atmósfera, el océano, las capas de hielo y la tierra.

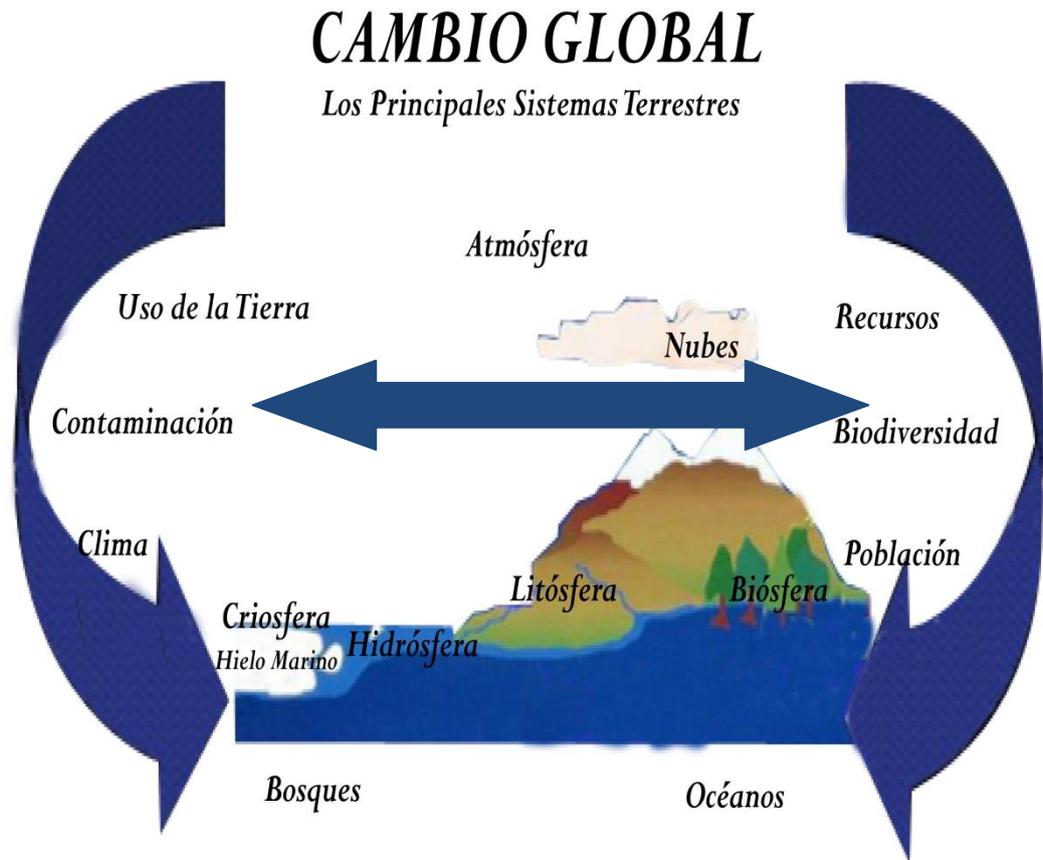


Figura 1.1 Sistemas terrestres impactados por el cambio a nivel global.

Los océanos (Hidrosfera) afectan el clima mediante el almacenamiento y liberación de calor, lo que hace que algunas regiones del mundo sean más húmedas que otras, o más cálidas. Las capas de hielo (parte de la Criosfera) afectan al clima al reflejar la energía del sol, creando un efecto de enfriamiento.



Los árboles y las plantas (Biosfera) afectan al clima mediante el almacenamiento y liberación de carbono y dióxido de carbono. Las nubes (la atmósfera), afectan al clima de muchas formas, por ejemplo, estas pueden ejercer un efecto de enfriamiento el cual demora la evaporación del agua. Aún pequeñas alteraciones en cualquiera de los principales sistemas terrestres tendrán una repercusión importante en el sistema climático (IPCC, 2001).

La atmósfera de nuestro planeta atrapa calor, tal como lo haría un invernadero hecho para cultivar plantas. La luz del sol ingresa al invernadero (atmósfera) y calienta el suelo, las plantas y el océano (IPCC, 2001).

Aproximadamente el 30% de la energía solar es reflejada y regresada al espacio. La energía restante es absorbida por unos gases contenidos en la atmósfera en cantidades muy pequeñas y que se conocen, por esta capacidad de absorber energía, como *Gases de Efecto Invernadero*. También parte de esta energía es absorbida por la superficie terrestre lo cual ayuda a calentar el planeta (IPCC, 2001), ver tabla 1.1.

La tierra emite calor de vuelta a la atmósfera, este calor es absorbido por los gases de efecto invernadero tales como el dióxido de carbono (CO_2) y el metano (CH_4). A pesar de esto, alguna energía es emitida de regreso al espacio, esta acción evita que el planeta se sobrecaliente. El efecto invernadero es un fenómeno natural, lo cual hace que nuestro planeta sea lo suficientemente cálido para permitir la vida tal y como la conocemos actualmente. Sin este efecto invernadero natural del planeta, la temperatura de la tierra sería 33°C más baja que la temperatura promedio actual (temperatura promedio actual 15°C), la temperatura promedio sin efecto invernadero sería de -18°C (IPCC, 2001).

Las concentraciones atmosféricas globales de gases de efecto invernadero como dióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4), y óxido nitroso (N_2O) se han incrementado de forma marcada, como resultado de las actividades humanas desde 1750 y exceden significativamente los niveles preindustriales. (Blasing, 2006).



Tabla 1.1: Tabla Concentraciones actuales de gases efecto Invernadero (Blasing, 2006).

Elementos	Concentración antes de 1750	Concentración troposférica actual.	GWP	Tiempo de vida en la atmósfera (años)	Factor radiactivo creciente (W/m ²)	
Concentración en partes por millón (ppm)						
Dióxido de Carbono (CO ₂)	280 ^{6,7,8}	372.3 ⁷	1	Variable ⁴	1.46	
Concentración en partes por billón (ppb)						
Metano (CH ₄)	730 ⁸ /688 ⁸	1843 ⁹ /1729 ⁹	23	12 ⁴	0.48	
Óxido de Nitrógeno (N ₂ O)	270 ^{8,11}	318 ⁹ /317 ⁹	296	114 ⁴	0.15	
Ozono Troposférico (O ₃)	25	34 ⁴	n.a. ⁴	Horas - días	0.35 ^{4,5}	
Concentración en partes por trillón (ppt)						
CFC-11 (triclorofluorometano) (CCl ₃ F)	Cero	258 ⁹ /255 ⁹	4,600	45	0.34 para todos los halocarbono colectiva-mente, incluyendo algunos no enumerados aquí.	
CFC-12 (diclorodifluorometano) (CCl ₂ F ₂)	Cero	546 ⁹ /541 ⁹	10,600	100		
CFC-113 (triclorotrifluoretano) (C ₂ Cl ₃ F ₃)	Cero	80 ⁹ /80 ⁹	6,000	85		
Tetracloruro de carbono (CCl ₄)	Cero	95 ⁹ /93 ⁹	1,800	35		
Cloroformo metílico (CH ₃ CCl ₃)	Cero	33 ¹⁰ /35 ¹⁰	140	4.8		
HCFC-22 (clorodifluorometano) (CHClF ₂)	Cero	146 ¹¹	1700	11.9		
HFC-23 (fluorformo) (CHF ₃)	Cero	14 ¹²	12,000	260		
hexafluorometano (C ₂ F ₆)	Cero	3 ¹²	11,900	10,000		
hexafluoruro de sulfuro (SF ₆)	Cero	4.7 a 4.8 ¹¹	22,200	3,200		0.002 ⁵
pentafluoruro de sulfuro de trifluorometil (SF ₅ CF ₃)	Cero	0.12 ¹³	~ 8,000	~ 3,200 (?)		< 0.0001 ⁵

En el caso del CO₂ que es el principal gas de efecto invernadero, la concentración atmosférica global se ha incrementado desde un nivel preindustrial de alrededor 280 ppm hasta 379 ppm en 2005. La tasa de crecimiento promedio anual de las concentraciones de CO₂ durante los años 1995-2005 fue de 1.4 ppm. (Blasing, 2006).

El origen del calentamiento global radica, no en el efecto invernadero, como es frecuente escuchar, porque es precisamente la presencia de este efecto lo que hace posible la vida en la Tierra, sino a la intensificación del mismo (Pitch, 2008)

El calentamiento del sistema climático es inequívoco ya que la mayor parte del aumento observado del promedio mundial de temperatura desde mediados del siglo XX, se debe muy probablemente al aumento observado de las concentraciones de gases de efecto invernadero antropógenos; estas evidencias científicas consideran que los gases de efecto invernadero constituyen una



amenaza para la salud pública y bienestar de las generaciones actuales y futuras. (Pitch, 2011)

Los principales Gases de Efecto Invernadero generados por la actividad humana (antropogénicos) son: dióxido de carbono o CO_2 (77 por ciento de la emisión de gases antropogénicos del año 2004), metano o CH_4 (14 por ciento) y óxido nitroso o N_2O (8 por ciento), (Pitch, 2011).

Un indicador para medir el aumento de los Gases de Efecto Invernadero y la rapidez del cambio climático es el déficit ecológico. Este déficit es la diferencia entre la Huella Ecológica y la Biocapacidad de la Tierra. La Huella Ecológica es la presión causada por la actividad humana y el consumo sobre los recursos (demanda ecológica), y la Biocapacidad de la Tierra es la productividad y capacidad de la biosfera para proveer dichos recursos y absorber los desechos generados. (Pitch, 2008).

En particular, la Huella Ecológica mide la demanda de la humanidad sobre la biosfera en términos del área (tierra y agua) requerida para proporcionar los recursos que utilizamos y absorber los desechos que estas actividades generan. Esta demanda se encuentra en función del tamaño de la población, del volumen de consumo del ciudadano promedio y de la intensidad en el uso de recursos para proveer los bienes y servicios consumidos, eficiencia energética, (Pitch, 2008).

En este sentido, las fuentes principales de los Gases de Efecto Invernadero emitidos por la humanidad son la actividad industrial, el sector energía, y, en menor medida, la actividad agropecuaria. Sin embargo, la quema de biomasa en la agricultura y en los bosques tiene una especial importancia ya que además de liberar gases invernadero también disminuye la captura de carbono a través de la fotosíntesis (Pitch, 2011).



Tabla 1.2: Fuentes generadoras de gases de efecto invernadero.

Fuente	Actividad	Emisión GEI		
		CO ₂	CH ₄	N ₂ O
Quema de combustibles fósiles	Generación de energía.			
	Sector industrial			
	Transporte Residencial	x	x	x
Emisiones fugitivas	Almacenamiento y transporte de combustibles fósiles		x	
Procesos industriales	Producción minera			
	Industria química			
	Producción de metales	x	x	
Agricultura	Fermentación entérica			
	Cultivos de arroz			
	Quema de sabanas			
	Uso de suelos agrícolas	x	x	x
Cambio de uso de suelo	Cambios de bosques y otros stocks de biomasa leñosa			
	Conversión de bosques y pastizales			
	Abandono de tierras manejadas	x	x	x
Desechos	Aguas residuales			
	Rellenos sanitarios			
	Botaderos	x	x	x

GEI: gases de efecto invernadero CO₂: dióxido de carbono, CH₄: metano, N₂O: óxido de nitrógeno

En cuanto a la de CO₂, el 56.6% de la misma proviene del uso de combustibles fósiles, seguido por la deforestación y degradación de la biomasa, con un 17.3%. El metano se origina en la producción y manipulación de combustibles (como las pérdidas por venteo de pozos de petróleo y escapes de gas natural), cultivos de arroz y ganadería. Por último, el óxido nitroso proviene principalmente de las emisiones del transporte, fuentes industriales y del uso de fertilizantes y químicos en la actividad agropecuaria.

Del análisis por sectores a partir de las actividades realizadas por el hombre para suplir sus necesidades para la vida, se precisan las actividades realizadas por este que más aportan a las emisiones de Gases de Efecto Invernadero por tipos, en el caso del dióxido de carbono se comportan como sigue en la tabla 1.3 según Pichs, (1994); Lukanin et al, (1988), John, (2004) y López, (2006).



Tabla 1.3: Emisiones de Dióxido de Carbono CO₂, según: Pichs, (1994); Lukanin et al, (1988), John, (2004) y López, (2006).

Sub-sectores	Emisiones de CO₂ (Gg)	%
Industrias de la Energía	46.907,80	44,62
Petróleo y gas	32.527,20	
Generación eléctrica	14.380,60	
Transporte	33.730,00	32,09
Terrestre	32.906,00	
Gasolina	26.839,80	
Diesel	5.674,00	
Otro	392,20	
Aéreo	824,20	
Industria Manufacturera	14.856,00	14,13
Hierro y Acero	7.876,54	
Metales No-Ferrosos	1.188,19	
Industria Química	1.870,89	
Pulpa y Papel	1.468,01	
Alimentos Bebidas y Tabaco	2.452,63	
Comercial	1.235,00	1,17
Residencial	5.449,00	5,18
Agrícola, forestal y pesca	386,00	0,37
Fugas y Venteos	2.552,70	2,43
TOTAL	105.116,50	100,00

Este análisis permite concluir que los subsectores que más aportan a la emisión de CO₂ son el de industrias de generación de energías y el del transporte, con el 44,62 % y el 32,09 % de las responsabilidades respectivamente. Si analizamos que en muchos países, regiones, establecimientos etc., para la generación de energía eléctrica se utilizan grupos electrógenos en los que las fuente energética lo constituyen motores de combustión interna, el análisis de estos dos subsectores para la búsqueda de soluciones que mitiguen las emisiones podría concluirse con resultados muy alentadores en cuanto a las necesidades requeridas para mantener la vida de nuestro y en nuestro planeta.

1.2 Impacto ambiental.

El calentamiento del sistema climático es inequívoco, lo cual resulta evidente a partir del incremento promedio global observado en las temperaturas del aire y los océanos, el derretimiento generalizado de los hielos y el crecimiento medio global del nivel mar.

El CO₂, es considerado el principal gas de efecto invernadero debido a sus concentraciones atmosféricas, y su contribución al calentamiento global aumento en 20 % entre 1995 y 2005, la mayor tasa de crecimiento decenal en, al menos, los últimos doscientos años, (Pitch, 2011).

La fuente fundamental del incremento de las concentraciones atmosféricas de CO₂ desde el periodo preindustrial ha sido el uso de combustibles fósiles con una contribución menor derivada del cambio en el uso de la tierra. Las emisiones anuales de CO₂ a partir de combustibles fósiles se incrementaron de un promedio de 23.5 Giga toneladas, en la década de los noventa hasta 26.4 Giga toneladas el 2004 - 2005, (Pitch, 2011), ver figura 1.2.

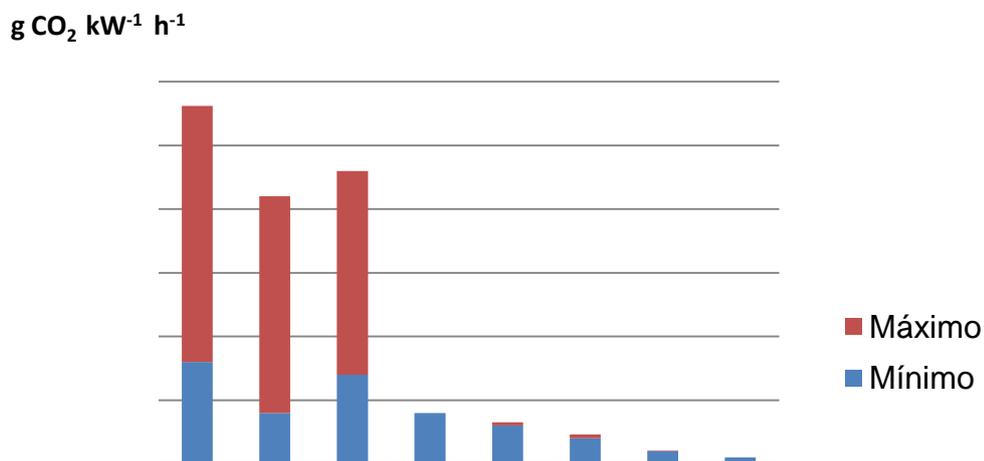


Figura 1.2: Emisiones totales de co₂ por producción de energía a partir del tipo de combustible según Pichs, (1994); Lukanin et al, (1988), John, (2004) y López, (2006).

Las observaciones empíricas sugieren que el calentamiento del sistema climático es una realidad y se caracteriza por, (Edmonds et al. 2007):

- a) *Incremento de la temperatura global:* Según la Agencia Espacial Norte Americana (NASA); la temperatura promedio global superficie -océano aumentó en promedio 0,01°C al año en el período 1900-2007. Así, hasta el



2007 la temperatura global promedio habría aumentado en $0,66^{\circ}\text{C}$ respecto al año 1900.

- b) *Aumento del nivel de los océanos mundiales*: 2 milímetros promedio al año en el período 1961-2003.
- c) *Deshielo generalizado de nevados, glaciares y mantos polares*: Las mediciones satelitales revelan que los glaciares de Groenlandia y la Antártida están perdiéndose a un ritmo de 125 mil millones de toneladas al año.
- d) *Mayor variabilidad de las precipitaciones*: El calentamiento global produce una mayor evaporación de la superficie del océano, intensificando el ciclo hidrológico y aumentando las precipitaciones de manera variable. Así, se prevé que aumentarán en latitudes altas y disminuirán en las bajas.

Once de los doce años del periodo 1995 – 2006 se ubican entre los doce años más calurosos desde 1850, y en los cien años comprendidos entre 1906 y 2005 se registró un incremento de 0.74°C , (Edmonds et al. 2007) .

El océano ha estado absorbiendo más del 80 % del calor añadido al sistema climático, lo que genera una expansión de las aguas oceánicas, con la consecuente elevación del nivel del mar.

Entre los factores que han contribuido al incremento del nivel del mar se encuentra la disminución de los glaciares y las cubiertas de nieve en ambos hemisferios, así como el derretimiento de las capas de hielo de Groenlandia y la Antártida (1993-2003). El incremento total del nivel del mar en el siglo XX se estima en 0.17 m, y es muy probable que la actividad humana haya contribuido a este incremento.

Se han observado numerosos cambios a largo plazo en el clima, en las escalas continental, regional y las cuencas oceánicas entre los que pueden mencionarse cambios en las temperaturas y los hielos del Ártico, amplios cambios en la cantidad de precipitaciones, salinidad oceánica, patrones de los vientos y eventos extremos como las sequías, olas de calor y la intensidad de ciclones tropicales.

Las temperaturas promedio en el Ártico se incrementaron a una tasa que casi duplica la tasa promedio global en los pasados cien años, se han observado



sequías más duraderas e intensas en amplias áreas desde 1970, particularmente en zonas tropicales y subtropicales.

Existe evidencia, basada en observaciones, del incremento de la actividad ciclónica intensa en la zona norte del océano Atlántico desde alrededor de 1970, lo que se ha relacionado con el incremento de las temperaturas de la superficie oceánica en las áreas tropicales.

La información paleoclimática apoya la interpretación de que el calentamiento de la última mitad del siglo XX es inusual en los mil trescientos años anteriores, (Pitch, 2011)

Asimismo, se han hecho mucho más evidentes algunos de los problemas ambientales globales que más preocupan a la humanidad, tales como:, (Pitch, 2008).

- El cambio climático derivado del reforzamiento del efecto invernadero;
- La pérdida de la diversidad biológica;
- El deterioro de la capa de ozono;
- La contaminación urbana;
- El tráfico transfronterizo de desechos peligrosos;
- La contaminación de los mares, océanos y las zona costeras;
- El deterioro asociado a las condiciones de subdesarrollo y pobreza en la que viven las tres cuartas partes de la población mundial.

De continuar el crecimiento de las emisiones de gases de efecto invernadero a las tasas actuales o superiores, esto ocasionaría un calentamiento adicional e induciría muchos cambios en el sistema climático global durante el siglo XIX, que muy probable serían mayores que en el siglo XX y XXI.

El incremento de las concentraciones atmosféricas de CO₂ conduce a un incremento a la acidificación de los océanos.

Las emisiones antropogénicas pasadas y futuras de CO₂ continuarán contribuyendo al calentamiento global y a la elevación del nivel del mar por más de un milenio, debido a las escalas de tiempo requeridas para mover ese gas de la atmósfera. Desde que se comenzó a quemar carbón, gas y petróleo para obtener energía, la cifra de 280 ppm se elevó gradualmente. Cuando se miden



nuevamente, a fines del decenio de los cincuenta, ya había alcanzado el nivel de 315 ppm. Hoy se sitúa en 380 ppm, y aumenta casi dos partes por millón al año. Esto no parece mucho, pero el calor adicional que ese CO₂ atrapa, 2 W/m² de la superficie de la tierra, basta para calentar el planeta considerablemente, ya se ha elevado la temperatura más de medio grado centígrado. (Pitch, 2011)

Es imposible predecir con exactitud las consecuencias de cualquier aumento ulterior de CO₂ en la atmósfera; sin embargo, el calentamiento hasta ahora ha causado que se derrita casi todo lo que está congelado en la Tierra, ha modificado las estaciones y el régimen de las precipitaciones. Hasta ahora, sólo europeos y japoneses han comenzado a reducir sus emisiones de carbono, y bien podrían no alcanzar incluso sus modestos objetivos.

Mientras tanto, las emisiones de carbono de Estados Unidos, un cuarto del total mundial, aumentan a un ritmo constante, de repente, China e India producen ahora también grandes cantidades de CO₂. Sus poblaciones son tan grandes y su crecimiento económico tan acelerado, que la perspectiva de una disminución mundial de emisiones se vuelve bastante desalentadora.

En este sentido, el análisis nos permite concluir que las medias para la mitigación de emisiones del principal gas de efecto invernadero deben de dirigirse al subsector de la producción de energía y del transporte, en los cuales los motores de combustión interna en uno, el del transporte son la fuente energética por excelencia y en el energético constituye un recurso de gran responsabilidad para garantizar las necesidades productivas, máxime cuando se genera electricidad a partir de grupos electrógenos.

1.2.1. Motores de combustión interna.

Los motores de combustión interna (mci), una de las fuentes energéticas más universalmente utilizadas, son responsables de una parte considerable de las emisiones de sustancias tóxicas y contaminantes que diariamente continúan envenenando el entorno.

Por cada unidad de masa de combustible fósil mezclada con la conveniente cantidad de oxígeno proveniente del aire, que es quemada en la cámara de combustión de cada cilindro de un motor de combustión interna (mci), es



expulsada a la atmósfera similar cantidad de productos de la reacción de combustión en forma de gases de escape; la combustión es un proceso complejo, que varía en dependencia de múltiples factores, partiendo del tipo de motor y teniendo en cuenta el régimen de trabajo en que se explota, así como las características propias del combustible, o la relación de la mezcla aire-combustible.

La composición de las emisiones es también compleja debido a la gran cantidad de elementos que la integran; como componentes básicos, pueden considerarse los siguientes, (Lukanin, et al. 1988):

Monóxido de carbono: CO
Óxidos de nitrógeno: NOx

Compuestos de azufre: SOx, H₂S
Compuestos orgánicos.
Partículas de polvo.



Emisiones máximas admisibles según las características de transporte automotor

La tabla 1.4 ofrece los resultados propuestos de las emisiones contaminantes que se deben controlar en motores de gasolina y motores Diesel por año de fabricación, donde además se exponen las cifras que se encuentran vigentes en la actualidad, según la Resolución 172-01 del MITRANS.

Tabla 1.4: Valores de emisiones contaminantes vigentes y propuestos, (MITRANS, 2002)

Tipo de combustible	Indicadores	Año de fabricación					
		≤ 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
Diesel	Opacidad, %	70	60	60	52	50	44
	Ligeros Pesados		66		57		48

1.2.2. Emisiones Diesel.

Los motores Diesel transforman la energía química contenida del gas-oíl en energía mecánica. El gas-oíl es inyectado a una presión superior a la existente en el interior de los cilindros mezclándose con el aire comprimido y realizándose el proceso de combustión. Los gases procedentes de esta combustión están formados por componentes que son dañinos para la salud y el medio ambiente. La tabla 1.5 contiene los valores de los gases tóxicos contenidos en los gases de escape producidos por los motores Diesel y Otto.

Tabla 1.5: Concentración de los principales componentes tóxicos en motores de ciclo Otto y Diesel, (Bobadilla, et al. 1997).

Componente	Motor Diesel	Motor Otto
CO (%)	0.2	6.0
NO _x (%)	0.35	0.45
HC (%)	0.04	0.40
SO ₂ (%)	0.04	0.007
Hollín (mg/L)	0.30	0.05

Entre los elementos que son liberados en los gases de escape de los motores Diesel los que se encuentran en mayor contenido son el Monóxido de Carbono



(CO), Hidrocarburos (HC), y Aldehídos (COOH), estos son generados en el escape como resultado de una combustión incompleta del gas-oíl.

Una proporción importante de hidrocarburos es también generada por el aceite motor. Cuando los motores funcionan en espacios cerrados tales como minas subterráneas, construcciones de edificios, túneles o almacenes, el monóxido de carbono puede acumularse en el ambiente atmosférico y causar desde dolores de cabeza, vértigos e incluso desmayos. En las mismas condiciones, los hidrocarburos y aldehídos causan irritaciones de ojos y sensaciones de ahogo. Los Hidrocarburos y aldehídos son los que contribuyen en mayor medida al olor tan característico de los gases de escape de los Diesel. Los Hidrocarburos tienen también un efecto medioambiental negativo, siendo un importante componente de nieblas de contaminación.

Los Óxidos de Nitrógeno (NO_x) son creados por la unión del nitrógeno y el oxígeno en unas condiciones de alta presión y temperatura en el interior del cilindro. Los NO_x están formados en su mayor parte por óxido nítrico (NO) y una pequeña proporción de dióxido de nitrógeno (NO₂). El dióxido de nitrógeno es muy tóxico. Las emisiones de NO_x son también un serio asunto en el medio ambiente por su papel en la formación de nieblas de contaminación.

El Dióxido de Sulfuro (SO₂) es creado por el azufre contenido en el gas-oíl. La concentración de SO₂ en el escape depende del azufre contenido en el gas-oíl. Combustibles de bajo contenido en azufre, menos de un 0.05%, están siendo utilizados por la mayoría de las motorizaciones Diesel en USA y en Canadá. El dióxido de azufre es un gas incoloro tóxico con la característica de ser irritante. La oxidación del dióxido de sulfuro produce trióxido de sulfuro, el cual es el gas generador del ácido sulfúrico y éste a su vez es responsable de la sulfatación de partículas en cuestión de emisiones. Los óxidos de azufre tienen un profundo impacto en el medioambiente siendo la causa principal de las lluvias ácidas.

Partículas Diesel, definido por las regulaciones Agencia de Protección Ambiental (EPA), es un agregado complejo de material sólido y líquido. Su origen son las partículas de carbono generadas en el cilindro durante la combustión. Las partículas primarias de carbono forman largos conglomerados combinándose con otros componentes principales de los gases de escape Diesel, tanto orgánicas



cómo inorgánicas. De forma General, las partículas diesel son clasificadas en tres grupos:

- Sólidos: Partículas de carbón seco, comúnmente conocidas como carbonilla.
- SOF: Hidrocarburos pesados absorbidos y condensados en las partículas de carbón, llamados Moléculas de Soluciones Orgánicas.
- SO₄: Molécula de sulfato, ión del ácido sulfúrico hidratado.

Emisiones reguladas.

Las regulaciones relacionadas con las emisiones y la calidad del aire pueden ser divididas en dos grupos:

- Regulación de emisiones de escape.
- Normas para la calidad del aire ambiente.

Todas las motorizaciones Diesel destinadas a su uso en carreteras y algunas para todoterreno están sometidas a la regulación de emisiones de escape. Estas regulaciones especifican el máximo contenido de agentes contaminadores permitidos en los gases de escape de una motorización Diesel.

Las emisiones son medidas sobre un test motor específico a estas regulaciones. El proceso se completa en el equipamiento del motor por el fabricante. Todo el equipamiento tiene que tener el certificado de emisiones antes de que se proceda a la venta del mismo. Las autorizaciones de regulación de las emisiones de escape incluyen las USEPA (Agencia de protección del medio ambiente) y California ARB (Consejo sobre los recursos del aire de California). EPA exige que la emisión de partículas Diesel procedentes de todas las motorizaciones Diesel pesadas destinadas a su trabajo todo terreno tienen que estar por debajo de 0.1 g h^{-1} .

Algunas motorizaciones Diesel usadas en espacios reducidos son reguladas por las normas para la calidad del aire ambiental así como por las regulaciones de escape. Las normas de calidad del aire ambiente especifican la máxima concentración de aire contaminado permitido en el lugar donde se encuentran trabajando. Estas regulaciones son creadas y obligadas a cumplir por autoridades



sobre salud y seguridad como la OSHA (Administración sobre medicina, salud y seguridad) o MSHA (Administración sobre salud y seguridad en las explotaciones mineras). El deber de que se cumplan recae en el usuario final (operador de mina, operador de almacén, etc.) quienes tienen que asegurar que las medidas de control de emisiones a cumplir son las adecuadas a las del equipo.

Una combinación entre varios métodos de control de emisiones siempre es posible. El uso de dispositivos para los gases procedentes de la postcombustión permite una tarifa más baja en la aeración de la construcción. De esta forma, la opción final de la estrategia del control de emisiones puede ser la economía.

Los valores exactos de alarma (TLV) de contaminantes determinados en el aire varían entre diferentes jurisdicciones. Los valores típicos de TLV para gases de escape contaminantes, basados en la ACGIH (Conferencia Americana del Gobierno de Higiene Industrial) guía de consulta 1993-1994, están en la siguiente tabla.

Tabla 1.6: Límite de valores Máximos para gases de escape Diesel.

ELEMENTO	TWA (1)		STEL (2)	
	ppm	mg/m ³	ppm	mg/m ³
Monóxido de carbono	25	29	–	–
Óxido nítrico	25	31	–	–
Dióxido de nitrógeno	3	5.6	5	9.4
Formaldehidos (3)	0.3 (4)	0.37 (4)	–	–
Dióxido de azufre	2	5.2	5	13
Ácido sulfúrico	–	1	–	3
Partículas de diesel	–	0.15 (5)	–	–

1) *Carga para un día laboral promedio de Tiempo 8 horas*
2) *Límite de exposición a corto plazo, definido en 15 min TWA.*
3) *Posibles cancerígenos*
4) *Máximo de TLV*
5) *ACGIH, cambios para 1995 -1996, posible cancerígeno.*

TLV: Siglas en inglés para threshold limit value, término usado por la ACGIH para expresar la concentración de material transportada en el aire a la cual casi todas las personas pueden ser expuestas día a día sin sufrir efectos adversos.

Un componente de las emisiones de escape, que tradicionalmente pasó inadvertido cuando se consideraba los efectos negativos de las mismas, pues se consideraba inocuo, era el dióxido de carbono, también llamado anhídrido carbónico (CO₂); en la actualidad, este gas es uno de los más controvertidos



contaminantes globales, pues sus propiedades lo sitúan como el más activo gas de invernadero, siendo además él más propenso a aumentar su concentración en la atmósfera, por la gran diversidad de fuentes de emisión, siendo los motores de combustión interna una de las principales, (Lukanin et, al. 1988)

La combustión es un proceso complejo, que varía en dependencia de múltiples factores, entre ellos pueden mencionarse el tipo de motor, el régimen de trabajo en que se explota, las características propias del combustible y la relación de la mezcla aire-combustible.

Tabla 1.7 Contribución de los (mci), a las contaminaciones globales con Monóxido de carbono, Hidrocarbonos y Óxidos de nitrógeno, según (Lukanin et, al. 1988)

Contribución de los mci	% en relación a emisiones globales
CO	66
HC	39
NO _x	47

Los gases que componen las emisiones, en general, son los mismos, independientemente de que el motor trabaje según el ciclo Otto o Diesel, diferenciándose fundamentalmente en las proporciones; la presencia de compuestos de azufre en las emisiones está determinada por la presencia de este elemento en el combustible.

Los principales componentes de las emisiones son el monóxido (óxido) de carbono (CO), el dióxido (bióxido) de carbono (CO₂), los óxidos de nitrógeno (NO_x), los hidrocarburos (HC), los compuestos de azufre (SO₂, H₂S) y las partículas, también el nitrógeno (N₂), el oxígeno (O₂) y el agua (H₂O). De estos elementos, algunos como el agua (H₂O), el oxígeno (O) y el nitrógeno (N) son inocuos, otros son tóxicos y/o afectan directamente a la salud, como el CO, los HC, los NO_x, las partículas y los compuestos de azufre y otros se plantea que afectan al medio ambiente, como es el caso del CO₂, los NO_x, los HC y los compuestos de azufre, (Bobadilla, et al. 1997).



1.3. Grupos electrógenos, (Lukanin, et al. 1988).

Una solución en búsqueda del camino hacia la sostenibilidad energética lo constituye la generación distribuida de energía para la satisfacción de las necesidades básicas y de confort de poblaciones aisladas, o para suplir las necesidades de calidad en los horarios picos de la energía entregada como electricidad a las ciudades a partir de termoeléctricas u otras vías de producción. En este sentido los grupos electrógenos han jugado en el mundo y en especial en nuestro país, Cuba un papel preponderante en el logro de los objetivos mencionados.

Un grupo electrógeno es una máquina que mueve un generador eléctrico a través de un motor de combustión interna, son comúnmente utilizados cuando hay déficit en la generación de energía eléctrica de algún lugar, o cuando son frecuentes los cortes en el suministro eléctrico. Así mismo, la legislación de los diferentes países puede obligar a instalar un grupo electrógeno en lugares en los que haya grandes densidades de personas (centros comerciales, restaurantes, cárceles, edificios administrativos).

Una de las utilidades más comunes es la de generar electricidad en aquellos lugares donde no hay suministro eléctrico, generalmente son zonas apartadas con pocas infraestructuras y muy poco habitadas. Otro caso sería en locales de pública concurrencia, hospitales, fábricas, etc., que a falta de energía eléctrica de red, necesiten de otra fuente de energía alterna para abastecerse.

Más del 40 % de la capacidad de generación eléctrica en Cuba está basada en plantas generadoras distribuidas de pequeña escala. Este es uno de los más altos índices a nivel mundial. El país progresa en su objetivo de desarrollar un nuevo paradigma energético.

Un grupo electrógeno consta de las siguientes partes:

Motor: El motor representa la fuente de energía mecánica para que el alternador gire y genere electricidad. Existe dos tipos de motores: motores de gasolina y de gas oíl (Diesel). Generalmente los motores Diesel son los más utilizados en los grupos electrógenos por sus prestaciones mecánicas, ecológicas y económicas.



Regulación del motor: El regulador del motor es un dispositivo mecánico diseñado para mantener una velocidad constante del motor con relación a los requisitos de carga. La velocidad del motor está directamente relacionada con la frecuencia de salida del alternador, por lo que cualquier variación de la velocidad del motor afectará a la frecuencia de la potencia de salida.

Sistema eléctrico del motor: El sistema eléctrico del motor es de 12 V o 24 V, negativo a masa. El sistema incluye un motor de arranque eléctrico, una/s batería/s, y los sensores y dispositivos de alarmas de los que disponga el motor. Normalmente, un motor dispone de un manocontacto de presión de aceite, un termocontacto de temperatura y de un contacto en el alternador de carga del motor para detectar un fallo de carga en la batería.

Sistema de refrigeración: El sistema de refrigeración del motor puede ser por medio de agua, aceite o aire. El sistema de refrigeración por aire consiste en un ventilador de gran capacidad que hace pasar aire frío a lo largo del motor para enfriarlo. El sistema de refrigeración por agua/aceite consta de un radiador, un ventilador interior para enfriar sus propios componentes.

Alternador: La energía eléctrica de salida se produce por medio de un alternador apantallado, protegido contra salpicaduras, autoexcitado, autorregulado y sin escobillas acoplado con precisión al motor, aunque también se pueden acoplar alternadores con escobillas para aquellos grupos cuyo funcionamiento vaya a ser limitado y, en ninguna circunstancia, forzado a regímenes mayores.

Depósito de combustible y bancada: El motor y el alternador están acoplados y montados sobre una bancada de acero de gran resistencia. La bancada incluye un depósito de combustible con una capacidad mínima de 8 horas de funcionamiento a plena carga.

Aislamiento de la vibración: El grupo electrógeno está dotado de tacos antivibrantes diseñados para reducir las vibraciones transmitidas por el grupo motor-alternador. Estos aisladores están colocados entre la base del motor, del alternador, del cuadro de mando y la bancada.

Silenciador y sistema de escape: El silenciador va instalado al motor para reducir la emisión de ruido.



Sistema de control: Se puede instalar uno de los diferentes tipos de paneles y sistemas de control para controlar el funcionamiento y salida del grupo y para protegerlo contra posibles fallos en el funcionamiento. El manual del sistema de control proporciona información detallada del sistema que está instalado en el grupo eléctrico.

Interruptor automático de salida: Para proteger al alternador, se suministra un interruptor automático de salida adecuado para el modelo y régimen de salida del grupo eléctrico con control manual. Para grupos eléctricos con control automático se protege el alternador mediante contactores adecuados para el modelo adecuado y régimen de salida.

Otros accesorios instalables en un grupo eléctrico: Además de lo mencionado anteriormente, existen otros dispositivos que nos ayudan a controlar y mantener, de forma automática, el correcto funcionamiento del mismo. Para la regulación automática de la velocidad del motor se emplean una tarjeta electrónica de control para la señal de entrada "pick-up" y salida del "actuador". El pick-up es un dispositivo magnético que se instala justo en el engranaje situado en el motor, y éste, a su vez, está acoplado al engranaje del motor de arranque. El pick-up detecta la velocidad del motor, produce una salida de voltaje debido al movimiento del engranaje que se mueve a través del campo magnético de la punta del pick-up, por lo tanto, debe haber una correcta distancia entre la punta del pick-up y el engranaje del motor. El actuador sirve para controlar la velocidad del motor en condiciones de carga. Cuando la carga es muy elevada la velocidad del motor aumenta para proporcionar la potencia requerida y, cuando la carga es baja, la velocidad disminuye, es decir, el fundamento del actuador es controlar de forma automática el régimen de velocidad del motor sin aceleraciones bruscas, generando la potencia del motor de forma continua. Normalmente el actuador se acopla al dispositivo de entrada del fuel-oíl del motor.

En la instalación generación distribuida de electricidad, atendiendo al tipo de combustibles que usan los mismos se pueden agrupar en dos grandes grupos, generación con Diesel y con Fuel Oíl, la última ocupa el mayor porcentaje de plantas instaladas, lo que implica mayor combustión de Fuel Oíl para la generación, que asociado a esta tiene también su mayor repercusión en la



emisión de gases por lo que se realiza un estudio acerca de la composición del mismo y de la emisión de gases en el proceso de combustión para la generación distribuida con este.

1.3.1. Combustible para grupos electrógenos. Fuel Oil o Bunker, (Holwer W, 2002).

El fuel oil es una fracción del petróleo que se obtiene como residuo luego de la Destilación Topping. De aquí se obtiene entre un 30% y un 50% de esta sustancia, es el combustible más pesado de los que se puede destilar a presión atmosférica y está compuesto por más de 20 átomos de carbono, se pueden considerar como complejas mezclas de compuestos de carbono e hidrógeno, las cuales no pueden clasificarse rígidamente por fórmulas químicas o propiedades físicas definidas, debido a la gran variedad de Fuel Oil, la clasificación o división más aceptada es en función de su viscosidad y contenido en azufre, su color es negro. El fuel Oil se usa como combustible para plantas de energía eléctrica, calderas y hornos.

Para cumplir las diferentes especificaciones de los Fuel Oil comerciales, es necesario diluir estos residuos con hidrocarburos más ligeros, tales como el queroseno, diesel, etc.

Composición del Fuel Oil.

La composición química de estas fracciones la conforman moléculas grandes con ciclos de doble enlace, pobres en hidrógeno que se oxidan fácilmente, con tendencia a formar resinas y asfaltenos, de ahí que este producto contenga en gran cantidad complejos oxigenados, compuestos con azufre y nitrógeno. Las resinas y compuestos asfálticos le confieren el color negro y viscosidad alta.

Además el Fuel residual tiene un alto contenido en metales pesados. Esta mezcla de hidrocarburos puede representar hasta el 50% del crudo original (petróleo). Los hidrocarburos aromáticos policíclicos son un conjunto de productos químicos hidrocarbonados que se encuentran en gran cantidad como componentes naturales del petróleo, debido a su formación anaerobia y por tanto a la tendencia a formar moléculas que solamente contienen átomos de carbono e



hidrógeno. La composición química exacta de cada uno de los Fuel variará dependiendo del origen y de otros factores.

Características:

En general los Fuel residuales presentan las siguientes características:

- Baja solubilidad en agua.
- Gran dificultad de limpieza, por su viscosidad y adherencia.
- Degradación lenta.
- Poca capacidad de dispersión.

Propiedades físicas.

Algunas propiedades físicas del fuel, tales como densidad y viscosidad, vienen determinadas por esta composición química tan compleja. El peso molecular elevado de los hidrocarburos constituyentes hace que tanto la densidad como la viscosidad sean muy elevadas, normalmente, la densidad del fuel es del orden 0.96-0.99 g/cm³ y la viscosidad a temperatura ambiente resulta del orden de 300-800 Stokes.

Ambas propiedades, y particularmente la viscosidad, se modifican con la temperatura ambiente. La viscosidad aumenta fuertemente con el descenso de la temperatura.

La destilación no puede proporcionarnos más que los productos que estén presentes en el crudo de forma natural. Por esta razón se emplean otras técnicas, una de las usuales es la pirolisis, que consiste en la ruptura de una molécula pesada en varias moléculas ligeras, no necesariamente idénticas entre ellas (gasolina y gasóleo), (Holwer W, 2002).

Medidas para mejorar el fuel Oíl.

Usando procedimientos adecuados durante los procesos de refinación del petróleo y de conversión posteriores es posible disminuir el contenido de azufre en las gasolinas y el combustible Diesel, con lo que se logra reducir significativamente el nivel de las emisiones de compuestos del azufre, y con ello los efectos de las mismas; el empleo de aditivos permite influir en propiedades

tales como el número de Cetano y el octanaje de los combustibles lo que tiene su repercusión en el desarrollo posterior de los procesos del ciclo de trabajo

Las anomalías por el empleo de Diesel, con alto contenido en azufre, son (Heywood, 1988).

Desgaste corrosivo en las zonas de baja temperatura de los pistones y camisas, por la formación de H_2SO_4 en las zonas subenfriadas de las camisas de cilindros. La elevada presión de trabajo de los motores actuales facilita que se alcance el punto de rocío de las especies corrosivas que no pueden ser neutralizadas por la reserva alcalina del aceite lubricante. Por ello la utilización del Diesel 2 de bajo contenido en azufre ($S < 1\%$); significa un decrecimiento significativo de este tipo de desgaste.

Deposición de lacas negras en las zonas internas de las camisas de cilindros.

Desgaste corrosivo por alta temperatura en las válvulas de escape, asientos de válvulas y zonas del pistón directamente expuestas a la combustión.

Contaminación ambiental por la emisión de óxidos de azufre (SO_x).



Figura 1.3: Efecto del azufre en la válvula de escape y su ataque químico sobre la superficie.



Figura1.4: Toberas de inyección, izquierda con azufre, Pistón y anillos sin movilidad, por oxidación a causa del azufre.

Los efectos tóxicos para el hombre de las emisiones de los motores eran tenidos en cuenta mucho antes de que las afectaciones globales al medio ambiente alcanzaran el nivel de protagonismo actual, desde entonces se habían ideado métodos para eliminar o disminuir los efectos nocivos de los gases de escape, hoy, cuando el problema se ha hecho más amplio las investigaciones continúan y se buscan vías novedosas para resolver las dificultades. (Bobadilla, et al. 1997)

Perfeccionamiento de los procesos del ciclo de trabajo:

Mediante estas vías se han logrado resultados aceptables en el control de la nocividad de las emisiones, esta quizás sea la vertiente en que más investigaciones se han realizado, y se continua trabajando en ella, el trabajo se ha centrado fundamentalmente en el proceso de formación de la mezcla y en la combustión, se ha determinado que elevando los valores de presión y temperatura es posible disminuir las emisiones de CO, hidrocarburos y partículas, sin embargo el aumento de la temperatura por encima de ciertos valores provoca el aumento de la formación y emisión de NOx, ante este dilema se han buscado puntos de equilibrio que permitan que una disminución integral de todos los elementos. El uso de las cámaras separadas en los motores Diesel es una variante que está ganando partidarios en la actualidad.

Recirculación de los gases de escape:



Este método permite disminuir la concentración de NO_x a pequeñas y bajas cargas del motor, pero con altas cargas disminuye el rendimiento y aumenta la emisión de CO.

Neutralización de los gases de escape: [http:// www.centro-zaragoza.com](http://www.centro-zaragoza.com)

Es una de las vías más utilizadas, su combinación con las vías anteriores permite una disminución significativa de la toxicidad de los gases de escape; en ella, mediante reacciones químicas y/o térmicas se logra la transformación del 70-90 % del CO y CH en CO₂ y H₂O, se neutralizan también los compuestos de plomo y otros elementos.

Algunas de las medidas encaminadas a disminuir los efectos de las emisiones de los (mci) reciben el apoyo del gobierno de distintos países mediante leyes y regulaciones, se dictan además resoluciones que por vías administrativas regulan la densidad del tráfico de vehículos en ciudades populosas con altos índices de contaminación como es el caso de Ciudad de México, a pesar de todo lo planteado se hace notar una cosa y es que a todos los esfuerzos realizados ha escapado, por razones que pueden inferirse de lo hasta aquí tratado, un elemento cuyo efecto para el medio ambiente de forma global sobrepasa lo que a escala local puedan representar el resto de los componentes de los gases de escape: el CO₂. [http:// www.centro-zaragoza.com](http://www.centro-zaragoza.com).

Según el IPCC (Panel Intergubernamental Sobre el Cambio Climático), foro internacional de científicos expertos en materia de clima, más del 50% del incremento en el efecto invernadero provocado por el hombre es atribuible al CO₂, del cual las tres cuartas partes provienen de la combustión de los combustibles fósiles. El último informe de este foro reconoce que " el estabilizar las emisiones globales de CO₂ a los niveles actuales no conseguirá estabilizar las concentraciones de CO₂ para el año 2010", esta referencia se hace sobre la base de los niveles normales del gas para el punto de equilibrio entre la emisión y la absorción por los ecosistemas terrestres, para el cual no se señalan tendencias al calentamiento; de la afirmación puede concluirse que la cuestión entonces no es estabilizar sino disminuir las emisiones. [http:// www.centro-zaragoza.com](http://www.centro-zaragoza.com)

Sobre la base de lo anterior y teniendo en cuenta que las vías normalmente utilizadas hasta ahora para el control de las emisiones de los motores no



consideraron al CO₂ como problema, se evidencia que la alternativa a seguir no está a tono con lo hecho hasta aquí, una alternativa que se ha abierto campo por las ventajas que ofrece desde el punto de vista ecológico, y considerando que técnicamente sus resultados son similares a los combustibles fósiles, es la de los biocombustibles.

Convertidor catalítico: [http:// www.centro-zaragoza.com](http://www.centro-zaragoza.com)

El convertidor catalítico o catalizador es un componente del motor de combustión interna alternativo y Wankel que sirve para el control y reducción de los gases nocivos expulsados por el motor de combustión interna. Se emplea tanto en los motores de gasolina o de ciclo Otto como más recientemente en el motor diesel.

Catalizadores Diesel: [http:// www.centro-zaragoza.com](http://www.centro-zaragoza.com)

La finalidad de todo convertidor catalítico, denominado *catalizador*, es el favorecer la transformación de los gases nocivos CO, HC, NO_x y C en CO₂ y H₂O en forma de vapor. Esta transformación se basa en el empleo de una serie de metales nobles como el Platino (Pt), el Paladio (Pd) y el Rodio (Rh), cuyas características materiales permiten las reacciones químicas de oxidación y reducción necesarias para que se produzca tal conversión en estos gases nocivos.

Los catalizadores para motores Diesel permiten controlar las emisiones nocivas mediante las conversiones químicas referidas en los gases de escape, y garantizan la máxima efectividad para neutralizar dichos elementos tóxicos como son las partículas sólidas de hidrocarburos (C+) y el monóxido de carbono (CO).

La depuración de los catalizadores Diesel anula el monóxido de carbono (CO), los hidrocarburos en estado gaseoso (C+) y las moléculas orgánicas (SOF), transformándolos en dióxido de carbono (CO₂) y vapor de agua (H₂O). Esta conversión se ve favorecida por la elevada concentración de oxígeno en los gases de escape de motores Diesel, que puede variar entre el 3% y el 17%, dependiendo de la carga motor.

Medidas explotativas para reducir emisiones en motores de combustion interna (mci):



El motor del automovil no es un convertidor perfecto de la energia quimica del combustible en energia mecanica, osea, la combustion nunca es perfecta, esto se debe a muchos factores, entre ellos la minoritaria presencia de oxigeno en el aire frente a otros gases y que las gasolinas llevan ciertos componentes indeseables.

Por ello si se generan elevadas temperaturas en la camara de combustion, el nitrógeno y el oxigeno reaccionan entre ellos formando oxidos de nitrógeno (NOx), muy nocivos. Este oxigeno atrapado ya no puede reaccionar en la combustion de la gasolina,produciendo una combustion incompleta en la que se expulsan parte de los hidrocarburos sin quemar (HC) y monoxido de carbono (CO) estos tres componentes son los mas peligrosos y comunes en las emisiones de los motores de gasolina y deben mantenerse por debajo de los limites estipulados.

Por tanto la combustion de la gasolina en los cilindros se efectua casi siempre de forma incompleta. Cuanto mas incompleta sea la combustion mayor sera la proporcion de elementos contaminantes expulsados por el escape. Para reducir esta contaminacion es necesario el uso del catalizador para tratar los gases de escape a su salida y hacerlos reaccionar quimicamente para convertirlos en elementos no contaminantes.

El biodiesel: una alternativa biológica para contribuir a disminuir el volumen de emisiones contaminantes al medio expulsados por los motores de combustión interna:

No existen perspectivas inmediatas que permitan afirmar que a corto plazo se podrá prescindir de los motores de combustión interna como fuentes energéticas en todo su universo de usos; por otro lado, es sabido que el 50% del incremento del efecto invernadero producido por el hombre es atribuible al CO₂, y que las tres cuartas partes de este gas que se libera a la atmósfera procede de la combustión de combustibles fósiles, proceso en el cual los motores desempeñan un papel de gran importancia, por lo cual el uso de combustibles alternativos para la sustitución de fósiles en el funcionamiento de motores de combustión interna se ha convertido en una vía más para la reducción de las emisiones de CO₂.

CAPITULO II: MATERIALES Y MÉTODOS

El presente trabajo se realizó en la Central eléctrica Fuel oil Bayamo 110 kV, ubicada en carretera vía Santiago de Cuba km. 4½. Colinda por el norte con la Central eléctrica diesel Bayamo y con la SE Bayamo 110 kV, por el sur con la Empresa GEYSEL.

Este proceso se lleva a cabo con el fin de cubrir el déficit de generación en el país, debido a que en los horarios picos, de la mañana, del medio día y de la noche, existe un aumento de la demanda de energía debido a la cantidad de consumidores que se conectan a la red nacional, por lo que se hace necesario suministrar una cantidad de energía eléctrica al sistema para reponer la calidad a la energía que será entregada. Para ello cuenta con una plantilla de 62 trabajadores, de estos 8 son profesionales, 50 técnicos medios, 4 obreros, además se cuenta con 14 mecánicos de la EMGEF, de ellos 2 profesionales y 12 técnicos medios, dedicados a garantizar la disponibilidad de los medios.

Misión

Cubrir el déficit de generación en el país, debido a que en los horarios picos, de la mañana, del medio día y de la noche, existe un aumento de la demanda de energía debido a la cantidad de consumidores que se conectan a la red nacional, por lo que se hace necesario suministrar una cantidad de energía eléctrica al sistema para reponer la calidad a la energía que será entregada. Para esto la subestación cuenta con el siguiente esquema de flujo, ver figura 2.1.

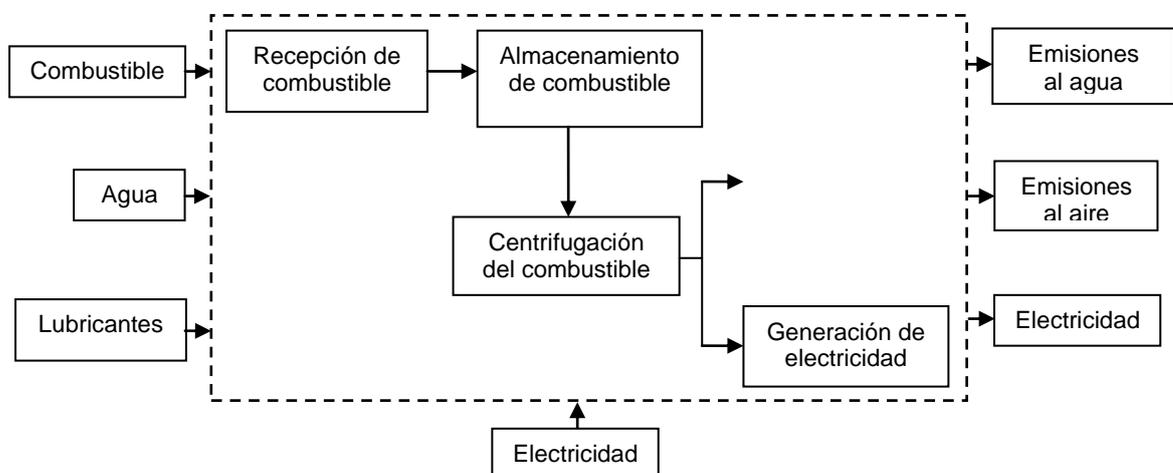


Figura 2.1. Esquema de flujo de la subestación Fuel Oil Bayamo.



Objetivo y Alcance

Se evalúa el impacto ambiental producido por el proceso de combustión de Fuel Oíl en la generación de electricidad en la Central Eléctrica de grupos electrógenos Fuel Oíl Bayamo perteneciente a la Empresa Eléctrica Granma, UEB Generación Distribuida.

2.1. Método utilizado para la determinación de las emisiones de gases de escape en los motores de combustión interna.

2.1 1: Técnica de análisis de gases

Términos de la técnica de Análisis de Gases.

Concentración:

El término concentración describe la cantidad de una sustancia, expresada como masa, volumen, o número de partículas por unidad de volumen de una sustancia sólida, líquida, o gaseosa p.ej. alcohol en cerveza u oxígeno en aire.

Se utilizan diferentes unidades para describir la concentración en gases:

Concentración de masa:

Concentración expresada en términos de masa de un compuesto por unidad de volumen [g compuesto /m³ volumen de gas]

Concentración de volumen

Concentración expresada en términos de volumen de sustancia gaseosa por unidad de volumen [cm³ compuesto /m³ volumen total de gas]

Concentración de partículas

Concentración expresada en número de partículas de un compuesto por número de partículas totales [partículas compuesto / partículas totales].

En el análisis de gases de combustión, los términos concentración de masa y concentración de partículas son frecuentes y se utilizan en paralelo. La unidad de masa es el gramo y mg, µg, y la expresión más corriente para la concentración de partículas es ppm (partículas por millón). “ppm” significa “x número de partículas en un millón de partículas”. ppm suele utilizarse para concentraciones bajas; las



concentraciones elevadas se expresan en "tanto por ciento" (%). Por lo tanto, la concentración de un contaminante gaseoso se expresa

- En g (o mg o μg etc.) con referencia a un volumen definido de gas, normalmente metros cúbicos (m^3).
- En ppm sin ninguna referencia.

Debido a la variación del volumen de un gas por cambios de temperatura y presión, es necesario utilizar una de las siguientes alternativas para describir un valor de concentración: Especificación adicional de los valores de temperatura y presión del gas durante la medición o, conversión del valor de concentración medido en su valor correspondiente a *condiciones estándar*.

2.1.2: Extracción y acondicionamiento de gas de muestreo de extracción.

La mayoría de las mediciones de análisis de gas se realizan mediante el *método de muestreo extractivo*. Se *extrae* una parte representativa del gas de proceso de *la corriente del proceso* (en contraste al principio in-situ) a través de una sonda de muestreo y, después de pasar una unidad de acondicionamiento, alimenta el analizador. El acondicionamiento de la muestra (algunas veces denominado preparación de la muestra) consiste en limpiar el gas de partículas y enfriar el gas a una temperatura definida, siempre inferior al punto de rocío. El enfriamiento provoca que el gas se *seque*. En la figura 3.1, aparece el esquema de una instalación de extracción y acondicionamiento de gas.

Las ventajas del muestreo extractivo son:

- El analizador está separado y protegido de la corriente del proceso. Este ambiente a menudo es duro y agresivo.
- El gas muestra, mediante el procedimiento de acondicionamiento, se transforma en un estado definido por lo tanto comparable, y
- Puede operarse más de un analizador con una unidad de muestra o conectarse un analizador a varios puntos de muestra mediante una unidad muestra de conexión en línea.

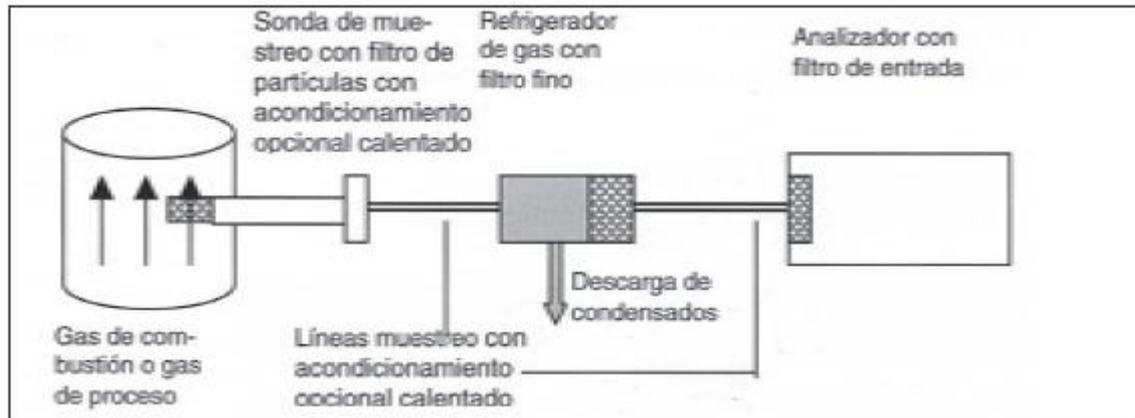


Figura 2.2: Esquema extracción y acondicionamiento de gas de muestreo.

La extracción de gas se realiza mediante *sondas de muestreo* que se colocan en la corriente del gas de combustión o gas de proceso. Están disponibles en diferentes diseños, materiales y para diferentes intervalos de temperatura, hasta 1200 °C (3200 °F) superiores. En la punta de la sonda puede colocarse un filtro de partículas y, en algunas sondas, también hay sensores para determinar la presión y la temperatura del gas de muestreo en la punta de la sonda. La extracción de gas se lleva a cabo mediante una bomba de gas de muestreo en el analizador.

El *enfriador de gas de muestreo* está situado entre la sonda de muestreo y el analizador. Los gases de combustión y de proceso siempre tienen cierta cantidad de humedad que a temperatura elevada del gas (superior al punto de rocío) existe como vapor y a temperatura baja (inferior al punto de rocío) como líquido. En ambos casos, los resultados de las mediciones están influidos por la misma humedad y por las reacciones químicas entre otros componentes del gas y el agua.

El refrigerador de gas de muestreo se utiliza para enfriar el gas de muestreo y secarlo hasta un nivel definido y constante. El nivel de humedad residual es bajo a estas temperaturas. Se mantiene constante y entonces permite la comparación con otras mediciones. El proceso de enfriamiento origina la formación de un líquido (condensado) que se descarga del refrigerador mediante una bomba.

Las líneas de muestreo (en metal o plástico) no son calentadas (en caso de gases no críticos o temperaturas ambientales muy elevadas) o calentables para mantener



el gas por encima del punto de rocío y, por lo tanto, evitar la formación de condensados en las líneas de muestreo.

El *analizador*, según el diseño, puede contener filtro de gas, refrigerador de gas o líneas de muestreo internas calentables.

2.1.3 Calibración.

La calibración es el proceso de ajustar la lectura del instrumento para que corresponda al valor real de concentración o a un referencia estándar. La calibración consiste en verificar el instrumento con una concentración definida de gas o vapor para ver si el instrumento proporciona la respuesta correcta. La calibración produce factores de calibración o funciones que establecen la relación entre la respuesta del analizador y la concentración real de gas introducida en el analizador.

La calibración es un elemento importante para asegurar la calidad del control de emisiones. Se utilizan gases de referencia con una composición definida.

Trazabilidad: La trazabilidad significa que la medida de referencia empleada para la calibración tiene una exactitud establecida.

Gas de calibración, gas de prueba: El gas de calibración es un gas de concentración conocida que se utiliza para establecer la curva de respuesta de un analizador.

Gas cero: El gas cero es nulo; puede contener cualquier componente excepto el analizado o gases con interferencia cruzada.

Reproducibilidad: La reproducibilidad de un método es la medida de su repetibilidad.

Exactitud: La exactitud indica la cercanía de un valor respecto al valor real.

2.2. Análisis de gases

El análisis de los gases consiste en la detección de gases y vapores relacionados con el control de procesos químicos y metalúrgicos, en el control del medio ambiente y en el área de control de seguridad. Se dispone de una gama completa de instrumentos analíticos basados en métodos físicos o fisicoquímicos.



Aunque los analizadores se consideran instrumentos eléctricos, es necesario tener conocimientos de química para comprender su principio operativo y obtener resultados de medición correctos y precisos.

2.2.1. Análisis del proceso.

El análisis del proceso, consiste en todos los métodos de medición continua para la determinación en tiempo real de las concentraciones físicas y químicas en corrientes de proceso. Estos equipos se definen como *Instrumentación analítica de proceso (Process Analytical Instrumentation, PAI)* o analizadores de proceso. Debido a las complicadas situaciones de medición de muchos procesos los sistemas de medición deben cumplir los estándares más elevados en cuanto a automatización, robustez y facilidad de operación.

Las aplicaciones más frecuentes del análisis de proceso son en plantas de industrias químicas y petroquímicas, generación de energía, metales y minerales, alimentación, pasta y papel, cemento y cerámica, pero también en cierta medida en investigación y desarrollo. En el caso de corrientes de proceso gaseoso (gases de combustión, gases de proceso, también aire) se utiliza el término *análisis de gas de proceso*.

Los puntos de medición con dispositivos de muestreo de operación continua, entre ellos analizadores, se sitúan en diferentes puntos en una planta (en el quemador o caldera, en la chimenea, en el horno de cemento, cerca del filtro electrostático etc.) en un ambiente y condiciones de operación bastante agresivas.

Los resultados del análisis de gas del proceso se utilizan para:

- *Control de proceso:* Mediante el control de las materias primas y el suministro de aditivos, y optimizando las fases del proceso,
- *protección* de personas y plantas mediante el control de la atmósfera de la planta en previsión de mezclas de gas explosivas o tóxicas,
- *control de calidad del producto* mediante el control de las fases de producción
- del proceso y el control de la especificación final del producto, y



- *protección medioambiental* mediante el control de la adecuación de los gases de escape a los límites estándar especificados de los diferentes contaminantes.

2.2.2. Analizadores.

El corazón de cualquier analizador es un sistema de sensores o un sensor específico. Su funcionalidad se basa en un principio físico o fisicoquímico definido como la absorción, adsorción, transmisión, ionización, conductividad, magnetismo, etc.

Los sensores reaccionan a las variaciones de la propiedad en cuestión de la muestra con la variación correspondiente de su propiedad (mayor absorción de luz o menor conductividad eléctrica, por ejemplo) y con ello se obtiene una señal de medición.

Según el diseño, los analizadores pueden clasificarse de este modo:

- *analizadores portátiles*: para aplicación móvil de un analizador en diferentes puntos de medición para mediciones de corta duración.
- *analizadores para instalaciones fijas*: Se colocan en puntos definidos de una planta para mediciones continuas durante meses y años.
- *analizadores in-situ*, que se instalan y operan directamente en la corriente del proceso
- *analizadores extractivos*: que se instalan en un *rack* o una caja de analizador (recipiente) fuera de la corriente del proceso y utilizan una sonda de muestreo y una unidad de condicionamiento de gas muestra para suministro de gas muestra.

Tras los últimos desarrollos tecnológicos, ahora disponemos de analizadores portátiles, que combinan la movilidad con la adecuación a las mediciones continuas fijas durante largos periodos de tiempo. Un ejemplo de ello es el analizador de gases *testo 360*, que es portátil, fácil de manejar y sin embargo ha sido probado y certificado para operación continua durante varias semanas.



2.3. Materiales utilizados para preparación y el análisis del experimento.

Para las obtenciones de las concentraciones de emisiones en los gases de escape del emplazamiento se utilizó el Analizador de gas de combustión portátil BOSTON Tecnocontrol de fabricación Italiana, de acuerdo con los estándares CEI y EN 50379-2 la generación más reciente de analizador de gases de la firma Boston, diseñada con los últimos componentes para el uso, fácil de manipular, es apropiado para plantas termales domesticas e industriales.

Cuenta con una pantalla grande, permite la realización de gráficos fácilmente, demostrando los parámetros medidos de la combustión y los diversos menús que fijan, que se pueden seleccionar con facilidad por un codificador rotatorio. Cuenta con un software para manejar con una computadora, datos y los informes de prueba del análisis de la combustión. Los datos técnicos más importantes del equipo se recogen en la tabla 2.1.

Tabla 2.1: Datos técnicos del analizador de gas (Marca BOSTON)

Valor Real	Rango	Precisión	Valor calculado	Precisión
Temperatura, Pt 100	(-10- 100)°C	0,1 °C	CO ₂	0,1 %
Fume temperatura	0-800	1 °C	Desempeño	0,1 %
O ₂	0-21%	01 %	En calderas de condensación.	0,1 %
CO	0-2000ppm	1 ppm	Salida de escapes	0,1 %
NO	0-1000 ppm	1 ppm	Exceso de aire	0,01
SO ₂	0-2000 ppm	1 ppm	Punto de rocío	1 °C
Diferencia presión	+ - 2200 Pa + - 100 Pa	1 Pa 0,1 Pa		

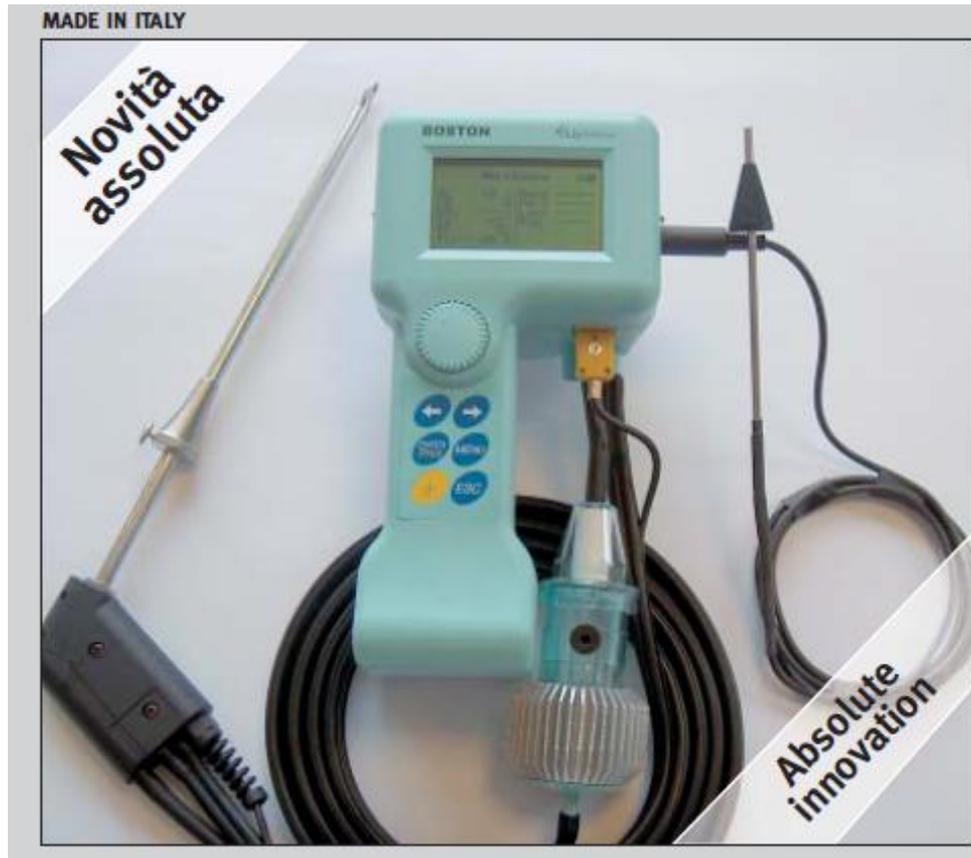


Figura 2.3: analizador de gases BOSTON.

2.4. Descripción del experimento.

Para la realización del experimento se realizaron tres corridas de 10 muestras en cada una de las unidades instaladas, mci MDU, del la subestación Fuel Oil Bayamo durante tres días consecutivos, luego se determinaron las medias y se compararon con los valores admisibles establecidos por la norma cubana, NC-27, 1999, que establece los límites permisibles para este tipo de emisiones, lo cual permite diagnosticar desde el punto de vista técnico algunos de los elementos de los motores de combustión interna, así como hacer valoraciones acerca de las cualidades optimas del combustible, básicamente viscosidad y densidad para la combustión en este tipo de motores.

2.4.1. Toma de muestras.

La toma de las muestras se realizó acorde a lo establecido por Análisis de gases de combustión en la Industria, guía práctica para medir emisiones y procesos, (Knospe, B y Walleser, L. 2010). Las muestras fueron extraídas del tunes de



muestra acoplado al conducto de salida de gases de cada una de las unidades analizadas, la cual permite la introducción del sensor para la correcta medición.

Lo valores medios se tabularon de acuerdo a como se muestra en la tabla para cada una de las 16 unidades, ver tabla 2.2

Tabla 2.2: tabla para la recolección de los valores medios por unidad

Equipo: MDU # , Combustible: Fuel Oíl, 85% de carga		
Valores Medidos	Rango de medida	Resultados
Temperatura de gases	Depende del MCI	
Temperatura del aire comburente	Depende del MCI	
O ₂ %	En el aire hasta 20,9%.	
CO en los gases secos	La menor cantidad posible.	
NO ₂ Gases tóxicos en el aire	La menor cantidad posible.	
SO ₂ Gases Tóxicos	La menor cantidad posible.	
CO ₂	Gases de comb. 10 o 11%	
CO en los gases de la combustión	Límite máximo 1000 ppm	
NO* Gases tóxicos en el aire	La menor cantidad posible.	
NO _x Gases tóxicos en el aire	La menor cantidad posible.	
NO _x * Gases tóxicos en el aire. Total	La menor cantidad posible.	

Una vez determinados todos los valores se procede a la comparación de los con los valores obtenidos con la aplicación del aditivo, solvente, PentoMag 4400/10 obtenidos por la unidad Fuel Oíl Cayo Coco, después de haberlo añadido al Fuel Oíl.



CAPÍTULO III: ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

En el presente capítulo se hace una discusión a partir del comportamiento de las emisiones en los gases de escape de elementos nocivos para el medio, con la profundización en la búsqueda de las posibles causas generadoras de dicha problemática así como las propuestas para la reducción de los mismos.

Datos técnicos de la fuente energética para la generación distribuida:

Motor: MDU 9H2132. Hyundai.	Temperatura de combustión a
Potencia entregada: 1800 kW.	condiciones normales: (330 – 430) °C.
Fabricación: Coreana.	Carrera: 32 cm
Número de cilindros: 9 en línea.	Diámetro del cilindro. 21 cm.
Potencia por cilindro: 200 kW.	

Para el montaje del experimento se seleccionaron las 8 unidades productoras con mayores dificultades durante el proceso de generación, basado en el control de los parámetros de explotación de cada uno de los motores, lo cual es representativo de las 16 unidades existentes en la subestación.

Tabla 3.1: Resultados del proceso de muestreo de las emisiones en la unidad 1.

Equipo: MDU # 1 , Combustible: Fuel Óil, 85% de carga		
Valores Medidos	Rango de medida	Resultados
Temperatura de gases	Depende del MCI	324 °C
Temperatura del aire comburente	Depende del MCI	25.0 °C
O ₂ %	En el aire hasta 20,9%.	12.8 %
CO en los gases secos	La menor cantidad posible.	112 ppm
NO ₂ Gases tóxicos en el aire	La menor cantidad posible.	643 ppm
SO ₂ Gases Tóxicos	La menor cantidad posible.	331 ppm
CO ₂	Gases de comb. 10 o 11%	7.0 %
CO en los gases de la combustión	Límite máximo 1000 ppm	276 ppm
NO* Gases tóxicos en el aire	La menor cantidad posible.	1577 ppm
NO _x Gases tóxicos en el aire	La menor cantidad posible.	675 ppm
NO _x * Gases tóxicos en el aire. Total	La menor cantidad posible.	1656 ppm



Tabla 3.2: Resultados del proceso de muestreo de las emisiones en la unidad 3.

Equipo: MDU # 3 , Combustible: Fuel Oíl, 85% de carga		
Valores Medidos	Rango de medida	Resultados
Temperatura de gases	Depende del MCI	330 °C
Temperatura del aire comburente	Depende del MCI	21.8 °C
O ₂ %	En el aire hasta 20,9%.	13.1 %
CO en los gases secos	La menor cantidad posible.	189 ppm
NO ₂ Gases tóxicos en el aire	La menor cantidad posible.	743 ppm
SO ₂ Gases Tóxicos	La menor cantidad posible.	318 ppm
CO ₂	Gases de comb. 10 o 11%	6.8 %
CO en los gases de la combustión	Límite máximo 1000 ppm	477 ppm
NO* Gases tóxicos en el aire	La menor cantidad posible.	1873 ppm
NO _x Gases tóxicos en el aire	La menor cantidad posible.	780 ppm
NO _x * Gases tóxicos en el aire. Total	La menor cantidad posible.	1967 ppm

Tabla 3.3: Resultados del proceso de muestreo de las emisiones en la unidad 5

Equipo: MDU # 5 , Combustible: Fuel Oíl, 85% de carga		
Valores Medidos	Rango de medida	Resultados
Temperatura de gases	Depende del MCI	336 °C
Temperatura del aire comburente	Depende del MCI	23.9 °C
O ₂ %	En el aire hasta 20,9%.	12.8 %
CO en los gases secos	La menor cantidad posible.	107 ppm
NO ₂ Gases tóxicos en el aire	La menor cantidad posible.	642 ppm
SO ₂ Gases Tóxicos	La menor cantidad posible.	318 ppm
CO ₂	Gases de comb. 10 o 11%	7.1 %
CO en los gases de la combustión	Límite máximo 1000 ppm	260 ppm
NO* Gases tóxicos en el aire	La menor cantidad posible.	1561 ppm
NO _x Gases tóxicos en el aire	La menor cantidad posible.	674ppm
NO _x * Gases tóxicos en el aire. Total	La menor cantidad posible.	1639 ppm



Tabla 3.4: Resultados del proceso de muestreo de las emisiones en la unidad 8

Equipo: MDU # 8 , Combustible: Fuel Oil, 85% de carga		
Valores Medidos	Rango de medida	Resultados
Temperatura de gases	Depende del MCI	324 °C
Temperatura del aire comburente	Depende del MCI	25.0 °C
O ₂ %	En el aire hasta 20,9%.	12.8 %
CO en los gases secos	La menor cantidad posible.	112 ppm
NO ₂ Gases tóxicos en el aire	La menor cantidad posible.	643 ppm
SO ₂ Gases Tóxicos	La menor cantidad posible.	331 ppm
CO ₂	Gases de comb. 10 o 11%	7.0 %
CO en los gases de la combustión	Límite máximo 1000 ppm	276 ppm
NO* Gases tóxicos en el aire	La menor cantidad posible.	1577 ppm
NO _x Gases tóxicos en el aire	La menor cantidad posible.	675 ppm
NO _x * Gases tóxicos en el aire. Total	La menor cantidad posible.	1656 ppm

Tabla 3.5: Resultados del proceso de muestreo de las emisiones en la unidad 10

Equipo: MDU # 10 , Combustible: Fuel Oil, 85% de carga		
Valores Medidos	Rango de medida	Resultados
Temperatura de gases	Depende del MCI	310 °C
Temperatura del aire comburente	Depende del MCI	25.4 °C
O ₂ %	En el aire hasta 20,9%.	13.3 %
CO en los gases secos	La menor cantidad posible.	177 ppm
NO ₂ Gases tóxicos en el aire	La menor cantidad posible.	639 ppm
SO ₂ Gases Tóxicos	La menor cantidad posible.	306 ppm
CO ₂	Gases de comb. 10 o 11%	6.6 %
CO en los gases de la combustión	Límite máximo 1000 ppm	462 ppm
NO* Gases tóxicos en el aire	La menor cantidad posible.	1662 ppm
NO _x Gases tóxicos en el aire	La menor cantidad posible.	671 ppm
NO _x * Gases tóxicos en el aire. Total	La menor cantidad posible.	1746 ppm



Tabla 3.6: Resultados del proceso de muestreo de las emisiones en la unidad 11

Equipo: MDU # 11 , Combustible: Fuel Oil, 85% de carga		
Valores Medidos	Rango de medida	Resultados
Temperatura de gases	Depende del MCI	330 °C
Temperatura del aire comburente	Depende del MCI	21.8 °C
O ₂ %	En el aire hasta 20,9%.	13.1 %
CO en los gases secos	La menor cantidad posible.	189 ppm
NO ₂ Gases tóxicos en el aire	La menor cantidad posible.	743 ppm
SO ₂ Gases Tóxicos	La menor cantidad posible.	318 ppm
CO ₂	Gases de comb. 10 o 11%	6.8 %
CO en los gases de la combustión	Límite máximo 1000 ppm	477 ppm
NO* Gases tóxicos en el aire	La menor cantidad posible.	1873 ppm
NO _x Gases tóxicos en el aire	La menor cantidad posible.	780 ppm
NO _x * Gases tóxicos en el aire. Total	La menor cantidad posible.	1967 ppm

Tabla 3.7: Resultados del proceso de muestreo de las emisiones en la unidad 12.

Equipo: MDU # 12 , Combustible: Fuel Oil, 85% de carga		
Valores Medidos	Rango de medida	Resultados
Temperatura de gases	Depende del MCI	346 °C
Temperatura del aire comburente	Depende del MCI	25.8 °C
O ₂ %	En el aire hasta 20,9%.	12.6 %
CO en los gases secos	La menor cantidad posible.	160 ppm
NO ₂ Gases tóxicos en el aire	La menor cantidad posible.	704 ppm
SO ₂ Gases Tóxicos	La menor cantidad posible.	325 ppm
CO ₂	Gases de comb. 10 o 11%	7.2 %
CO en los gases de la combustión	Límite máximo 1000 ppm	383 ppm
NO* Gases tóxicos en el aire	La menor cantidad posible.	1680 ppm
NO _x Gases tóxicos en el aire	La menor cantidad posible.	739 ppm
NO _x * Gases tóxicos en el aire. Total	La menor cantidad posible.	1764 ppm



Tabla 3.8: Resultados del proceso de muestreo de las emisiones en la unidad 14

<i>Equipo: MDU # 14 , Combustible: Fuel Oil, 85% de carga</i>		
<i>Valores Medidos</i>	<i>Rango de medida</i>	<i>Resultados</i>
Temperatura de gases	Depende del MCI	350°C
Temperatura del aire comburente	Depende del MCI	22.6 °C
O ₂ %	En el aire hasta 20,9%.	12.6 %
CO en los gases secos	La menor cantidad posible.	172 ppm
NO ₂ Gases tóxicos en el aire	La menor cantidad posible.	724 ppm
SO ₂ Gases Tóxicos	La menor cantidad posible.	279 ppm
CO ₂	Gases de comb. 10 o 11%	7.2 %
CO en los gases de la combustión	Límite máximo 1000 ppm	411 ppm
NO* Gases tóxicos en el aire	La menor cantidad posible.	1730 ppm
NO _x Gases tóxicos en el aire	La menor cantidad posible.	760 ppm
NO _x * Gases tóxicos en el aire. Total	La menor cantidad posible.	1816 ppm

3.1 Análisis de las emisiones

3.1.1 Concentraciones de CO₂.

El análisis de las mediciones realizadas a cada una de las unidades evaluadas permite concluir que las mismas se encuentran en el rango establecido para los motores de combustión interna, comportándose alrededor del 7 % en volumen, sin embargo, si se tiene en cuenta que es este el principal gas de efecto invernadero por y que el aumento de sus concentraciones provoca que la absorción de la radiación infrarroja contenida en la luz solar aumente, provocando un aumento de la temperatura de la superficie terrestre; calentamiento global. lo que confirma la necesidad de lograr su reducción en los gases de escape

3.1.2 Concentraciones de NO_x.

El comportamiento de las emisiones totales de NO_x*, término genérico bajo el que se agrupan los óxidos de nitrógeno; más comunes el **NO** y el **NO₂**, es considerado alto, con un comportamiento por encima de los 1600 ppm, .el mayor porcentaje (más del 80 % para cada caso evaluado) de esta sustancia corresponde al óxido nítrico (NO) y el resto al dióxido de nitrógeno (NO₂), esto se debe en gran medida a que las condiciones bajo las cuales se desarrolla el proceso de combustión bajo el ciclo de trabajo de cada uno de los motores no son buenas, debido en gran



medida a altos valores de viscosidad y densidad a que se suministra el combustible al motor. Se hace necesario enfatizar que a juicio del investigador podría deberse a que la calidad del combustible servido por los proveedores no es la mejor, con presencia en el mismo de compuestos nitrogenados que tributan a este valor, pues no se brinda por estos la certificación de la calidad de los mismos.

Las altas temperaturas a que se desarrolla el proceso de combustión y que se mantienen en los gases de escape, provocan la disociación de la molécula de O_2 y su combinación con el nitrógeno; en reacciones posteriores, los NO_x se combinan con oxígeno y agua y dan lugar a la formación del ácido nítrico, elemento que contribuye a la ocurrencia de las lluvias ácidas; además, la descomposición del NO_2 en presencia de la luz solar potencia la formación del ozono (O_3), que reacciona fácilmente con algunos hidrocarburos formando compuestos orgánicos oxigenados (aldehídos, ácidos orgánicos) contaminantes tóxicos que afectan al hombre, plantas y animales. Las emisiones de NO_x , son también un serio asunto medio ambiental, por su participación en la formación del smog.

3.1.3 Concentraciones de SO_2 .

La elevada concentración de las emisiones en los gases de escape de SO_2 se debe a la presencia en el Fuel Oil, procedente de crudo cubano, de elevadas concentraciones de azufre (S), lo que corrobora la hipótesis del autor acerca de la influencia de la calidad del combustible servido, que en este caso connota la presencia en el mismo de compuestos de azufre contribuyendo a la formación durante el proceso de combustión de SO_x , H_2S , estos son compuestos tóxicos que provocan irritación en las vías respiratorias, vértigos, convulsiones; además, son los responsables de la formación del ácido sulfúrico al combinarse con el agua; este ácido es uno de los principales responsables de la existencia de las lluvias ácidas.

Los valores elevados de las emisiones analizadas son también responsables de la formación de *Compuestos orgánicos*, en los que suelen agruparse los hidrocarburos no quemados del combustible, los que se forman dentro de la



cámara de combustión, que son expulsados o se descomponen dando lugar a los *hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP)*, algunos de los cuales son activos agentes cancerígenos que actúan aun cuando sus concentraciones sean muy pequeñas; también pertenecen a este grupo los hidrocarburos alifáticos, responsables de la formación de la niebla fotoquímica, que producen además irritación de las vías respiratorias, mareos, somnolencia, etc.

La mala combustión debido a los elevados valores de viscosidad y densidad del combustible servido, provoca que en los gases de escape se arrastren *partículas*, mezclas de productos carbonados sólidos, de dimensiones extremadamente pequeñas; la más común y abundante es el hollín, que provoca la contaminación mecánica de los pulmones al ser inhalado, haciéndose además más peligroso como absorbente y portador de sustancias cancerígenas. Las partículas, sobre todo el hollín, confieren una coloración gris, oscura y hasta negra a los gases de escape.

3.2 Problemas técnicos ocasionados a los mci debido a la mala calidad del combustible servido.

La mala calidad del combustible servido, y sus insuficiencias en el proceso de combustión, unido a los problemas ocasionados analizados en los apartados anteriores motivan además la rotura de algunos de los elementos de los motores que a continuación se enuncian:

- Pérdida de las condiciones técnicas de las puntas de los inyectores de combustible, lo que imposibilita una idónea pulverización del mismo y su consiguiente combustión completa.
- Oxidación de elementos metálicos en los motores debido a la formación de ácido sulfúrico H_2SO_4 .
- Desgaste de piezas en movimiento debido a la formación de partículas adhesivas a partir del accionar del ácido sulfúrico H_2SO_4 .
- Pérdidas de potencia por la insuficiencia del proceso de admisión, debido al calentamiento de la carga, motivado por elevadas temperaturas de la cámara de combustión.
- Aumento de la frecuencia de mantenimiento.
- Disminución de la eficiencia del proceso.



- Encarecimiento del kW^{h-1} de electricidad producido.

3.3 Evaluación del uso de aditivos en el combustible para la mejora de la eficiencia del sistema.

Estudios realizados por entidades consumidoras de Fuel oíl para la producción de electricidad en el país muestran la conveniencia del uso de algunos para mejorar las condiciones de densidad y viscosidad del mismo en el momento de ser servidos por los proveedores y que culmina su accionar durante el proceso de combustión.

Existen reportes del funcionamiento de entidades que muestran, además de la mejora de las condiciones de trabajo y el aumento de la eficiencia del sistema una reducción considerable en las emisiones de los gases de escape, que avalan el empleo del *PentoMag 4400/10*.

PentoMag 4400/10

3.4 Descripción y posibles aplicaciones del producto.

Descripción: Mezcla compuesta por magnesio y otros elementos en portador de base orgánica

El uso pensado: optimización de la combustión en motores operados con gasóleo o el Fuel Oil.

Conveniente para: Motores operados con Diesel y Fuel Oíl.

Modo de empleo: dosificado, en el depósito de gasoil/fuel o en la línea de suministro al motor.

Ventajas:

- mejora la combustión y así se logra la máxima reducción de emisiones de carbono en los gases de escape.
- previene los depósitos en el sistema de evacuación de gases de escape.
- reduce SO₃ y NO_x en los gases de escape.
- evita la precipitación de asfaltos durante el almacenamiento y la combustión.



Análisis

Los ingredientes activos: aproximadamente. 130 g/L

La densidad a 20 °C: > 0.90 g/cm³

La viscosidad a 20 °C: <100 cP (la estática, Brookfield)

Color: pardusco

Olor: olor a solvente ligero

Punto de fusión: <-10 °C

Punto de llama: > 70 °C.

Modos de empleo

Aplicación: inyección en tanque de almacenamiento o tubería de suministro.

Proporción de inyección normal: 50 a 500 ppm, dependiendo del estado técnico del motor y de, la carga y de la calidad del combustible.

Clasificación.

ONU 3082 Medioambientalmente, es una sustancia peligrosa, líquido, n.o.s. (El Alkyl-(C3-C5)-benceno), 9 III Xn (dañoso) / N (peligroso para el ambiente)

El equipo proteccionista: usar guantes y dispositivos convenientes para la protección de los ojos y la cara..

Los comentarios en el almacenamiento: Guarde el producto en el recipiente original firmemente cerrado e inaccesible para personal desautorizado.

Vida del recipiente: 24 meses.

Disposición: El producto no debe disponerse al sistema del desagüe de aguas inmundas.

Resultados del empleo del PentoMag 4400/10.

Entre los reportes que validan la utilización del aditivo se encuentran los ofrecidos a la dirección de generación distribuida por especialistas de la dirección técnica y de mantenimientos de la subestación Cayo Coco, de los que se muestran algunos valores en la tabla 3.9.

Tabla 3.9: Valores del muestreo de las emisiones con el empleo del aditivo *PentoMag 4400/10*.

Valores medios Emisiones	Motor 8		Motor 10
	Sin Aditivo	Con Aditivo	Con Aditivo
CO (ppm)	269	68,2	32,3
CO (%)	0,0269	0,0068	0,0032
O2 %	12,6	13,7	13,2
Exc. Aire %	150	187	169,4
Cons.Comb.kg/h	800	800	897

En la y la figura 3.1 se representa el cambio de los valores en las mediciones después de haber añadido al combustible el aditivo *PentoMag 4400/10*, observándose que la influencia de este disminuyó la concentración de emisiones de monóxido de carbono en los gases de escape.

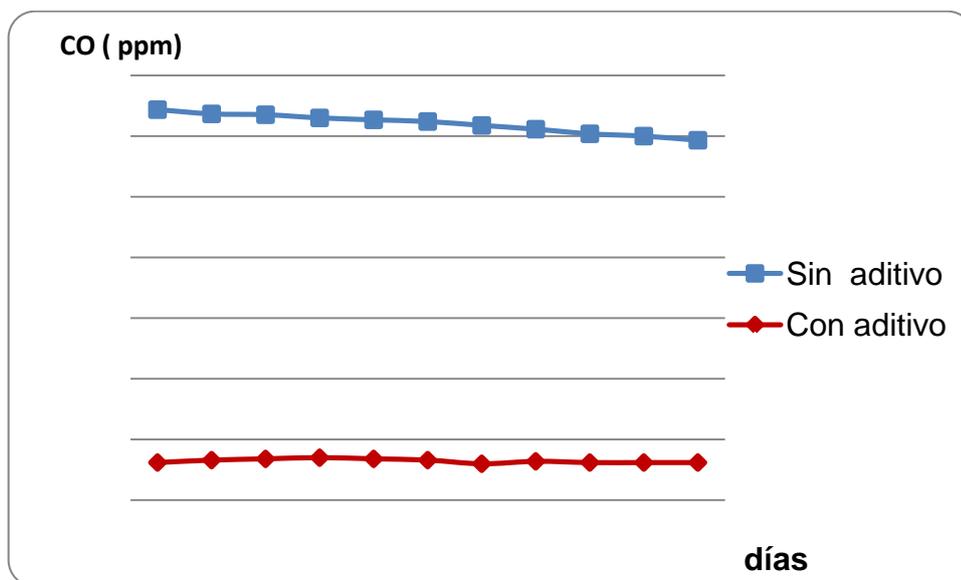


Figura 3.1: influencia del aditivo *PentoMag 4400/10*, en las emisiones de monóxido de carbono.



CONCLUSIONES

Después de todos los análisis a partir de las emisiones en los gases de escape de las unidades seleccionadas en el emplazamiento Fuel Oil de Bayamo se concluye que:

- Las elevadas concentraciones de emisiones de gases de efecto invernadero en los gases de escape se deben fundamentalmente a la mala calidad del combustible servido por los proveedores a la subestación.
- El aumento de la frecuencia en las actividades de reparación y mantenimiento de agregados en los motores MDU 9H2132. Hyundai se debe a las anomalías causadas por la elevada presencia de azufre en el combustible servido por la empresa suministradora.
- El uso del aditivo PentoMag 4400/10 pudiera mejorar la eficiencia en a generación de electricidad a partir de la mejora de las condiciones del combustible servido, disminuyendo el costo de $\text{kW}\cdot\text{h}^{-1}$.



RECOMENDACIONES.

- Evaluar la calidad del combustible servido por los proveedores a la subestación Fuel Oíl de Bayamo.
- Se comience la evaluación del empleo del PentoMag 4400/10, como una vía para aumentar la eficiencia en la generación, al disminuir el costo de $\text{kW}\cdot\text{h}^{-1}$ y el consumo específico de combustible.



REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

1. A.C.G.I.H. Threshold Limit Values and Biological Exposure Indices for 1998. A.C.G.I.H., Cincinnati, Oh, U.S.A. (1998)
2. Acevedo C. y Agudelo. J. R. “Factores que inciden en la combustión de un motor operando con gas natural”. En Revista Gas Vehicular, año 3 No. 10- Octubre del año 2002, Colombia. pp 27-31.
3. Agudelo J. R. Curso gas natural vehicular. Especialización en combustibles gaseosos. Universidad de Antioquia, 2002. pp 64-69.
4. Agudelo J. R., Delgado A. y Gutiérrez E. “Aplicación de herramientas informáticas al diagnóstico de la combustión en motores”. En Revista Facultad de Ingeniería. Universidad de Antioquia, No. 22. Junio de 2001. pp 106-115.
5. Agudelo, J R. y Amell A. “Factor de equivalencia en la sustitución de gasolina por gas natural comprimido para uso vehicular” en Revista Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquia No 25, Abril 2002. pp. 7-12.
6. Amell A. A. “Teoría de descarga de inyectores “en Curso combustión del gas. Especialización en combustibles gaseosos. Universidad de Antioquia, 2002. pp 8-14.
7. Amell A. A. “Teoría de la intercambiabilidad de gases combustibles “en Curso combustión del gas natural y quemadores industriales. Universidad de Antioquia, 1998.
8. Amell A. A.; Barraza C., y Gómez E. Tecnología de la combustión de los gases. CESET, Universidad de Antioquia, junio de 1997, p 6.
9. ASTM-CFR. KNOCK TESTING UNIT. Edition 11, Waukesha Motor Company, New Cork, 1943, pp. 47.
10. Bacilieva; L., “Combustibles para la operación de vehículos”, editorial transport, pp. 124- 230, Moscú (1986).
11. Benson, R. & Whitehouse N., “internal combustión engines”, editorial Pergamon Press, pp. 145-198, Londres (1986).



12. Bevilacqua, O.M.. Tecnología del vehículo de gas natural y programa de Evaluación de desempeño del Combustible. Gas Research Institute Report GRI-97/0184,1997.
13. Bobadilla A.E., et al. Factores que determinan la emisión de contaminantes gaseosos y particulados por la combustión de combustibles fósiles. Art. Revista Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquia, No 15 Noviembre 1997 Colombia.
14. Bocchi, G., "Mottori a quatttro tempi", editorial Ulrico Hoepli, pp.475-487, Milán, Italia (1988).
15. BOOGAARD. P.J. et al. Biological monitoring of exposure to benzene: a comparison between Sphenylmercapturic acid. trans, transmuconic acid, and phenol Occupational and Environmental Medicine. (1995); 52:611-620
16. Bosch, "Manual de la Técnica del Automóvil"-2da. Edición, editorial Reverté, pp. 380- 393, Barcelona (1989).
17. Boschan, E., Meggyes, A. y Szabari. L."Effect of gas quality changes on gas engine emission", International Gas Research Conference, 1989.
18. Burkart, K.; Lothar, W.: - Segunda Edición Análisis de gases de combustión en la Industria (Barcelona-España) 2007
19. Burkart, K.; Wolfgang, H.: - Tercera Edición (Manual práctico, Tecnología de medición en calderas) (Barcelona-España) 2004
20. Castro, R.F.: Mensaje a la conferencia de Naciones Unidas sobre Medio Ambiente y desarrollo. Río de Janeiro Junio 1992.
21. Comisión de los Länder para la protección en el trabajo y la técnica de seguridad (LASI), Protección de mujeres embarazadas contra la exposición al benceno de venta de gasolineras y en otros puestos de trabajo (1997).
22. Comisión Europea Vehículos de motor y remolques gases de escape de motores diésel. Libro Blanco sobre responsabilidad ambiental *Luxemburgo: 2000 — 57 pp. — 21 x 29,7 cm* ISBN 92-828-9175-5



23. CREG. "Numeral 6.3" En Resolución 071 de 1999, Bogotá 1999. Crouse, W.H. "Automotive emission control". Editorial Mc Graw Hill, New York, 1971.
24. DCL International Inc. Payero Juan; Bustos Cristian; Newsbetter "Uso de Filtros DPF para Reducir Emisiones de Grupos Electrónicos"; Santiago Abril 2009. <http://www.filtrosdiesel.cl/publicaciones>
25. Degobert, P. Automobile and Pollution Technip, Paris, 1995.
26. Diakov, A. B.: "Seguridad ecológica de los flujos de transporte" (en ruso). Editora TRANSPORT. Moscú. Rusia. 1989.
27. Dubel, M., Schmillen, K, y Wackertapp. H. "Influence of gas composition on the knocking behaviour of spark -ignited gas engines", International Gas Research Conference, 1983.
28. Dubovsky N. F. "Manual de combustibles fósiles y sus productos de combustión". Editora GOSENERGOIZDAT. Moscú. Rusia. 1986
29. Edmonds et al. (2007), Informe del Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC) (2007), FMI (2007).
30. Emissions FAQ. Artículo de Internet 2003.
31. European Commission of Science, research and development. Application of Biologically derived products as fuels or additives in combustion Engines. Bruselas 1994.
32. Fernández P.; Araya J.; Newsbetter "Tecnologías probadas para el Control de Emisiones Atmosféricas en Grupos Electrónicos"; Santiago 2010. <http://www.filtrosdiesel.cl/publicaciones>
33. Ferrari, G., "Motori a combustione interna", editorial Il Capitello, pp.438-471, Torino, Italia (1992).
34. GHITTORI.S. et al. Evaluation of occupational exposure to benzene by urinalysis Int Arch Occup Environ Health (1995) 67: 195-200



35. Gutarievish, Yuri. F.: "Protección del medio ambiente contra las emanaciones de los motores."(en ruso) Editora URIZHAI. Kiev, Ucrania. 1989.
36. Heywood, J., "Internal Combustión Engine Fundamentals", editorial McGraw Hill, pp. 491- 562, Singapore (1988).
37. Heywood, J., "Internal Combustión Engine Fundamentals", editorial McGraw Hill, pp. 491- 562, Singapore (1988).
38. Heywood, J.B., Internal Combustion Engine Fundamentals, McGraw- Hill, N.Y., 1988.
39. Hien, L."Effect of Gas Composition Variations on the Operation, Performance and Exhaust Emissions of Natural Gas-Powered Vehicles. IANGV-International Association for Natural Gas Vehicles, Sydney-Australia, 2002.
40. Holwer, W.: Alternative Fuels - Impact on Refractories, RHI Viena, 2002, p. 17
41. Houghton J.T., et al Climate change. The IPCC Scientific Assessment. Cambridge University press 1990.
42. Huertas J.I., "El poder calorífico del combustible asociado a los mitos sobre la pérdida de potencia y recalentamiento del motor". Revista Gas Vehicular, No. 5. Colombia.2001.
43. INSHT Determinación de hidrocarburos aromáticos (benceno, tolueno, etilbenceno. p-xileno. 1, 2,4, trimetilbenceno) en aire-método de adsorción en carbón activo/Cromatografía de Gases. MTA/MA-030/A92.
44. Inversión térmica. Enciclopedia® Microsoft® Encarta 2001. © 1993-2000 Microsoft Corporation
45. Izrael Yuri, A., Nazarov I.M. y otros "Lluvias ácidas" Editorial Guidrometeoizdat. Leningrado. Rusia. 1989.
46. John, E.: ENCICLOPEDIA DE SALUD Y SEGURIDAD EN EL TRABAJO. "CONTROL DE LA CONTAMINACION ATMOSFERICA". Editorial Limusa, [México](#), (2004). p 55.20 - 55.26



47. Jovaj M.S., Maslov G.S. Motores de Automóvil. Editorial Pueblo y Educación, La Habana 1987.
48. Jovaj, M., "Motores de automóvil", editorial MIR, pp. 315-381, Moscú (1982).
49. King, S.R. "The impact of natural gas composition on fuel metering and engine operational characteristics". Society of Automotive Engineers .Report SAE 861578.
50. Klimstra, J. "Interchangeability of gaseous fuels- The importance of the Wobbe-Index", Society of Automotive Engineers Report SAE 861578.
51. Kubesh, J.T. "Effect of gas composition on octane number of natural gas fuels". Gas Research Institute Report GRI-92/150, 1992.
52. Knospe, B y Walleser. "Análisis de gases de combustión en la Industria, guía práctica para medir emisiones y procesos", Alemania, (2010)
53. Lampert, J.K. Farrauto, R.J. y Kazi .S "Methane emission abatement from lean burn natural gas vehicle exhaust", SAE Paper 961971, Society for Automotive Engineers,1996.
54. Lampert, J.K. y Farrauto. R.J. "Catalyst development for methane emissions abatement from lean burn natural gas engines". Gas Research Institute Report GRI-97/0212,1997.
55. LAUWERYS, R. Control biológico humano de una serie de compuestos químicos industriales: Benceno Generalitat Valenciana. Conselleria de Sanitat y Consum (1992)
56. Leiker, M., Christoph, K., Rankl, M., Cartellieri, W. y Peifer.,L."The Evaluation of the antinocking property of gaseous fuels by means of the methane number and its practical application to gas engines". 9 th International Congress on Combustion Engines, Stockholm, 1971.
57. Ley No. 81 del medio ambiente título primero denominación, principios, conceptos básicos y objetivos. Gaceta de la República de Cuba. Ciudad Habana. Cuba. 1997.



58. Liss, W.E y Trasher. W. "Natural gas a stationary engine and vehicular fuel"
SAE Paper 912364, 1991.
59. López, C.: [Introducción](#) a la [Gestión](#) de la Calidad del Aire, Instituto de Meteorología, DESOFT, La Habana, 2006. 703 pp.
60. Lukanin V.N., et al Motores de Combustión Interna. Editorial Mir, Moscú 1988.
61. Lukanin, V, "Motores de Combustión Interna", editorial MIR, pp. 153-193, Moscú (1988).
62. Lukanin, V.N. y otros Motores de combustión interna. Editorial Mir. Moscú, 1988.
63. Maestri L. Determination of Specific Mercapturic Acids as an Index of Exposure to Environmental Benzene, Toluene, and Styrene Industrial Health (1997),35,489-501
64. McCormick, R.L., Newlin, A.E., Mowery, M.S, Grabosky, M.S. y Ohno. T.R. "Rapid deactivation of lean burn natural gas engine exhausts oxidation catalysts". SAE Paper 961976, Society of Automotive Engineers, 1996.
65. Montgomery, D. C. Design and Analysis of Experiments. John Willey and sons, third edition, New York, 1991, p 607.
66. Montes de Correa C. **Art.** Catálisis y medio ambiente. Revista Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquia, No 15 Noviembre 1997 Colombia.
67. N.I.O.S.H. Hydrocarbons, BP 36-126°C. N.I.O.S.H. nº 1500 N.I.O.S.H. Manual of Analytical Methods 4th edition
68. Nigmatulin I. N. "Proceso de trabajo en los motores de pistones sobrealimentados". Editora Mashinoestroyeniye. Moscú. Rusia. 1962
69. Norma Técnica Peruana - NTP 321.003.2005, INDECOPI, Lima (2005).
70. Nylund, N.O. y Lawson. A. "Exhaust emissions from natural vehicles", International Association for Natural Gas Vehicles, 2000.
71. Obert, E., "Motores de combustión interna", editorial Continental, pp. 271-337, México (1992).



72. Payri, F.” Soluciones a la contaminación de motores térmicos alternativos de automoción”, Monografía sobre medio ambiente, serie tecnología y medio ambiente, Vol. 1, 1979.
73. Philippovich, A., “Materiales para el funcionamiento de los motores de combustión interna”, editorial Labor S.A., pp. 52-67, Madrid (1944).
74. Pichs, R.: Cambio climático, Enfoques desde el sur. editorial Ruth casa editorial, La Habana, 2011.
75. Pichs, R.: Cambio climático, globalización y subdesarrollo. editorial científico-técnica, La Habana, 2008.
76. Pichs, [R.](#): Efecto Invernadero y [mercado](#) verde. [Revista](#) Prisma de Cuba y las Américas, 1994.
77. Pistono J. **Art.** Datos históricos sobre el motor Diesel. Revista Dina, No 1 Enero-Febrero 1997.
78. Protocolo de Kioto sobre el cambio climático. Internet. 2003.
79. Regulatory Announcement: Light-Duty Diesel Tier 2- Amendments Tier 2 Vehicle & Gasoline Sulfur Program, US EPA -2008.
80. Robbin J. “Patología estructural y funcional”. Editorial McGraw-Hill. Buenos Aires. Argentina. 1999.
81. Rousseau, S., Lemoult, B. y Tazerout, M. “Combustion, Characterization of natural gas in a lean burn spark ignition engine”. Instn. Mech.Engrs, 1999, 213(D), pp 481-489.
82. Ryan, T.W. y Callahan. T. J. “Effects of gas composition on engine performance and emissions”. Gas Research Institute, Report GRI-92/0054, 1992.
83. Sanz Araujo Lucia C. "Buenos Aires en la Habana?". Artículo del Periódico, PUNTO.CU. No. 6 de Enero del 2003. Ciudad Habana. Cuba.
84. Schollmeyer, H.J. y Wegener, R. “Effect of gas properties on the operation of natural gas vehicles”. 2001 International Gas Research Conference, Amsterdam, 2001.



85. Secretario Ejecutivo, Comité Regional Recursos Hidráulicos (CRRH) – Sistema de la Integración Centroamericana. Co Autor Principal “Latinoamérica y el Cambio Climático”, Tercer Reporte de Evaluación del Panel Intergubernamental de Expertos sobre Cambio Climático (IPCC, 2001).
86. Smog sobre Phoenix, Arizona. Enciclopedia® Mi® Encarta 2001. © 1993-2000 Microsoft Corporation.
87. Somov V.A., Ishuk Yuri G "Motores marinos policarburantes" Editora Sudostroenie. Leningrado. Rusia.1984.
88. Stephenson, J. “1997 Position Paper on Natural Gas Vehicles”, International Association for Natural Gas Vehicles/ International Gas Union, 1997.
89. Stone, R, “Introduction to internal combustion engines”, editorial SAE, pp. 112-126, EE.UU. (1999).
90. Torres Jorge C.: "Calculo térmico de los motores Diesel navales". Editora Academia Naval de la MGR. Ciudad Habana. Cuba. 1986.
91. Torres Jorge C.: "Trabajo de los motores Diesel con diferentes tipos de combustible". Editora Academia Naval de la MGR. Ciudad Habana. Cuba. 1989.
92. Torres Jorge, C.: "Aumento de la eficiencia y economía de los motores Diesel navales con emulsiones agua – combustible" Tesis presentada en opción al grado científico de Dr. En Ciencias Técnicas. Editora Academia Naval de la MGR. Ciudad Habana. Cuba. 1996.
93. UPME .La cadena del gas natural en Colombia. Actualización 99 , Santafé de Bogotá DC, Mayo, 1999. pp. 33-37
94. UPME .Movilidad limpia. En Revista escenarios y estrategias, Vol. 4, Santafé de Bogotá, 1999. pp. 7-14.
95. Von Mitzlaff, Klaus. Engines for Biogas, Theory, modifications, economic operation, Gate, GTZ. Wiesbaden, Germany, 1988. p58



96. Vsórov, B., “Manual para motores diesel para tractores”, editorial MIR, pp.196-207, Moscú (1986).
97. Yossefi, D., Belmont, M.R., Ashcroft, S.J. y Mackell, S.J. “A comparison of the relative effects of fuel composition and ignition energy on the early stages of combustion in a natural gas spark ignition engine using simulation”. Instn. Mech.Engrs. 2000, 214(D), pp 383-393.
98. Yossefi, D., Belmont, M.R., Ashcroft, S.J.y Mackell, S.J. “Ignition source characteristics for natural gas burning vehicle engines”. Instn. Mech. Engrs. 2000, 214(D),pp 171-180.



ANEXOS

ANEXO 1.

Emisiones de algunos elementos contaminantes por litro de combustible quemado

Contaminantes	Contaminantes (g L^{-1}) de combustible quemado.	
	Motor Otto	Motor Diesel
CO	360	7
NO ₂	15	20
Hidrocarburos	30	40
Partículas	1	14



ANEXO 2.

Conceptualización y efectos de los principales gases emitidos por los motores de combustión interna.

CO₂: El Dióxido de Carbono es un componente que se forma a partir de la combinación del carbono presente en las cadenas de hidrocarburos del combustible con el oxígeno del aire durante la combustión completa.

Sus efectos nocivos se han descubierto hace relativamente poco tiempo en comparación con los otros elementos de los gases de escape y se relacionan con su identificación como uno de los gases invernadero con más capacidad de retención de las radiaciones térmicas reflejadas en la superficie terrestre, y ser además uno de los que más diversas fuentes de liberación a la atmósfera tiene, entre las que se destacan la ignición de combustibles fósiles y la deforestación que permite el escape al medio del CO₂ contenido en las plantas.

Cuando aumenta la concentración de CO₂ (entre otros gases de invernadero) por encima del punto de equilibrio natural, los ecosistemas de la tierra no alcanzan a equilibrarlo, con lo que la absorción de la radiación infrarroja contenida en la luz solar aumenta, provocando un aumento de la temperatura de la superficie terrestre; este fenómeno ha dado en llamarse calentamiento global.

CO: Este elemento se forma fundamentalmente en los mci que trabajan según el ciclo Otto; popularmente conocidos como "motores de gasolina", en referencia al combustible que utilizan, debido a la combustión con déficit de oxígeno (combustión incompleta), sus efectos nocivos fundamentalmente tóxicos se atribuyen a que, al ser inhalado durante la respiración, reacciona con la hemoglobina de la sangre formando carboxihemoglobina, y provocando la muerte del hombre y de los animales que lo hayan inhalado. A él se debe la conocida recomendación de no hacer funcionar motores de combustión en locales con insuficiente ventilación. En los motores Diesel en particular, se forma como resultado de las reacciones a "llamas frías" (zonas donde la combustión ocurre a temperaturas relativamente bajas) y en zonas con insuficiencia parcial de oxígeno, pero para el caso de estos motores que siempre trabajan con exceso de aire, una parte considerable del CO se oxida hasta CO₂.



NO_x: Es el término genérico bajo el que se agrupan los óxidos de nitrógeno; los más comunes son el *NO* y el *NO₂*; se forman durante la combustión, debido a la reacción química entre el oxígeno y el nitrógeno. Las altas temperaturas provocan la disociación de la molécula de *O₂* y su combinación con el nitrógeno; en reacciones posteriores, los *NO_x* se combinan con oxígeno y agua y dan lugar a la formación del ácido nítrico, elemento que contribuye a la ocurrencia de las lluvias ácidas; además, la descomposición del *NO₂* en presencia de la luz solar potencia la formación del ozono (*O₃*), que reacciona fácilmente con algunos hidrocarburos formando compuestos orgánicos oxigenados (aldehídos, ácidos orgánicos) contaminantes tóxicos que afectan al hombre, plantas y animales.

El mayor porcentaje (más del 90 %) de esta sustancia corresponde al óxido nítrico (*NO*) y el resto al dióxido de nitrógeno (*NO₂*), muy tóxico. Las emisiones de *NO_x*, son también un serio asunto medio ambiental, por su participación en la formación del smog.

Compuestos de azufre (SO_x, H₂S): Estos compuestos se forman debido a la presencia de azufre en el combustible, que reacciona durante la combustión con el oxígeno y el hidrógeno. Son compuestos tóxicos que provocan irritación en las vías respiratorias, vértigos, convulsiones; además, son los responsables de la formación del ácido sulfúrico al combinarse con el agua; este ácido es uno de los principales responsables de la existencia de las lluvias ácidas.

Compuestos orgánicos: Dentro de esta categoría suelen agruparse los hidrocarburos no quemados del combustible, los que se forman dentro de la cámara de combustión, que son expulsados o se descomponen dando lugar a los *hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP)*, algunos de los cuales son activos agentes cancerígenos que actúan aun cuando sus concentraciones sean muy pequeñas; también pertenecen a este grupo los hidrocarburos alifáticos, responsables de la formación de la niebla fotoquímica, que producen además irritación de las vías respiratorias, mareos, somnolencia, etc.

Partículas: Las partículas son mezclas de productos carbonados sólidos, de dimensiones extremadamente pequeñas; la más común y abundante es el hollín, que provoca la contaminación mecánica de los pulmones al ser inhalado, haciéndose además más peligroso como absorbente y portador de sustancias



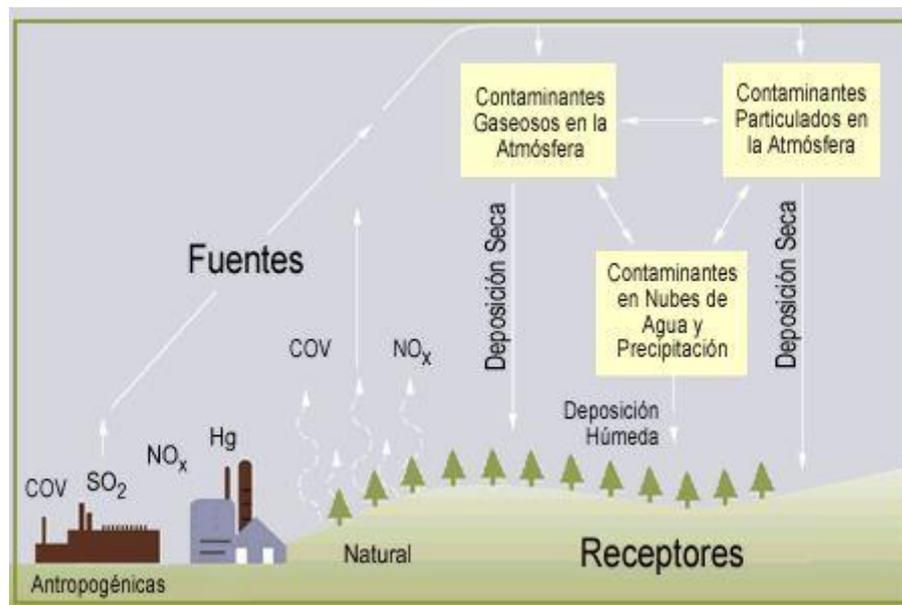
cancerígenas tales como los hidrocarburos a los que antes se hizo referencia; las partículas, sobre todo el hollín, confieren una coloración gris, oscura y hasta negra los gases de escape.

ANEXO 3.

Problemas del medio ambiente por la emisión de gases de efecto invernadero.

El hombre, a través de sus actividades, se ha convertido en el máximo depredador de la naturaleza, acelerando con su inconsciente actuar mecanismos de destrucción del planeta. Dos formas concentran fundamentalmente esta aceleración pues en torno a estas, en pos de suplir todas las necesidades que se demandan giran los mencionados mecanismos, por un lado la construcción de ciudades y por otro el vertido de contaminantes a la atmósfera, lo que ha generado problemas que tienen manifestaciones a nivel global y que a continuación se describen:

Lluvias acidas:



La acidez de las precipitaciones está determinada por la concentración de iones de hidrógeno presentes en el agua; se expresa en términos de valor del pH, según una escala de 0 a 14, donde el valor 7 indica solución neutra (el agua destilada, por ejemplo), los valores inferiores, soluciones ácidas (manzanas, vinagre, zumo de limón), y los superiores, soluciones básicas (lejía, cal, amoníaco). Cada descenso del pH en una unidad supone un aumento diez veces mayor en la acidez.



La lluvia ya es de por sí ligeramente ácida, pues contiene dióxido de carbono (también lo son la nieve, la niebla y las formaciones de hielo). Se considera lluvia ácida aquella que tiene un pH inferior a 5.6.

Existen diversas fuentes naturales de lluvia ácida: entre otras, los compuestos de azufre que resultan de las erupciones volcánicas, los manantiales termales y las fumarolas, y una cantidad considerable de óxidos de nitrógeno y azufre, producto final del metabolismo de diversos grupos bacterianos. A pesar de estos contaminantes naturales del aire, el pH del hielo glacial llega a casi 5.0, lo que significa que las emisiones naturales de los compuestos ácidos no son el origen principal de la lluvia ácida, sino las actividades de las sociedades humanas, especialmente las más desarrolladas.

Efectos de la lluvia ácida sobre el terreno, las aguas dulces y el medio urbano

El fenómeno de la lluvia ácida (incluida también la nieve, las nieblas y los rocíos ácidos) tiene consecuencias negativas sobre el medio ambiente, porque no solo afecta a la calidad del agua, sino también a los suelos, a los ecosistemas y, de modo particular a la vegetación: bastan 0.01-0.02 ppm de ácido (que corresponden a 10-20 mm/m³ en la atmósfera) para matar los líquenes; por su parte, las coníferas no sobreviven a concentraciones mayores de 0.07-0.08 ppm.

Los efectos de la lluvia ácida sobre el terreno dependen en gran medida del tipo de suelo sobre el que se deposita. Si el terreno es una formación de origen calcáreo, los ácidos serán rápidamente absorbidos por el carbonato cálcico que compone esta clase de suelos. Por el contrario, si la superficie de depósito es de composición arcillosa o granítica, las consecuencias son más graves, dado el enorme poder de disolución que tiene este tipo de agua de lluvia, que acaba alterando el pH medio del terreno originando una acidificación general. Al filtrarse en la tierra, los ácidos destruyen los nutrientes esenciales del suelo, tales como el magnesio (Mg), el calcio (Ca) y el potasio (K), que alimentan a las plantas y los árboles, estos se vuelven ralos y descoloridos y mueren.

Las regiones montañosas sometidas a precipitaciones de lluvia o nieve ácidas están, a menudo, compuestas por granito y otras rocas ígneas, que producen suelos delgados carentes de los agentes químicos capaces de neutralizar los ácidos presentes en esta clase de precipitaciones.



Otro efecto de la lluvia ácida es el aumento de la acidez en las aguas dulces, como consecuencia del incremento de metales pesados muy tóxicos (plomo (Pb), aluminio (Al), mercurio (Hg), cinc (Zn) y manganeso (Mn), que provocan la ruptura de las cadenas tróficas y del proceso reproductivo de los peces, condenando a los ríos y lagos a una lenta pero implacable disminución de su fauna. Los lagos tienen un pH casi neutro, debido a que minerales como el calcio, liberados en sus aguas a través del suelo, neutralizan la lluvia natural. Sin embargo, este mecanismo amortiguador puede no ser suficiente para absorber el incremento de acidez de aquella.

Los efectos de la lluvia ácida sobre el medio urbano son, por una parte, la corrosión de edificios, la degradación de las piedras de las catedrales y otros monumentos históricos y, por otra parte, las afecciones del aparato respiratorio en los seres humanos.

Las regiones del mundo que más sufren los efectos de la lluvia ácida son aquellas dotadas de suelos sensibles, esto es, que carecen del porcentaje necesario de neutralizantes, sobre todo en áreas situadas dentro o cerca de grandes agentes contaminantes. También en ámbitos no industrializados, como áreas remotas de China, donde el carbón se utiliza para calefacción, cocina y depuración de agua, o en zonas de África donde se queman arbustos para propiciar el crecimiento de los pastos, se producen los mismos efectos.

En virtud de los desplazamientos de las masas de aire, los contaminantes alcanzan zonas alejadas cientos de kilómetros del lugar donde han sido emitidos. Por esta razón, surge la necesidad de saber hacia dónde se dirigen las nubes contaminantes originadas en un país. Se han elaborado con este fin programas modelo, aplicados a distancias variables, que contemplan: ciclos convectivos, lluvias, nubes y el efecto del suelo. Pronostican variables de vientos, temperatura del aire, humedad relativa, superficie del mar, diferencias de presiones, etc.

Los métodos normalizados más empleados en el análisis de SO_2 son los siguientes: método del peróxido de hidrógeno, método del yodo, método gravimétrico, método yodo-tiosulfato, métodos espectrofotométricos, métodos calorimétricos, etc. Se ha podido constatar, por un lado, que Gran Bretaña y Alemania son los grandes exportadores de SO_2 , al provocar lluvias ácidas en



otros países de la Unión Europea (UE). Por otro lado, se sabe que la acidez de las lluvias, en general, es mayor en los meses de primavera y verano, y no coinciden estas épocas con los meses en los cuales las cantidades emitidas de contaminantes son mayores (meses de invierno). Por último, también se ha comprobado que el transporte de contaminantes por las corrientes de aire es muy importante, ya que los efectos de lluvia ácida que sufre un país se deben, en su mayor parte, a las emisiones provocadas por otros países.

Lucha contra la lluvia ácida

Desde los años ochenta, se ha producido una toma de conciencia sobre la necesidad de controlar y paliar, en la medida de lo posible, los efectos perniciosos que sobre el medio natural ejercen las sociedades humanas. Las inversiones se han concentrado en impulsar el desarrollo de las llamadas energías limpias (solar y eólica, fundamentalmente), y la implantación de controles más rigurosos para limitar la liberación a la atmósfera de agentes contaminantes.

Los países industrializados han movilizado gran cantidad de recursos económicos para reducir las emisiones ácidas. En 1993, la Unión Europea (UE) acordó reducir las emisiones de óxidos de azufre en un 40% para el año 1998 y en un 60% para el 2003, y las de óxidos nitrosos, en un 30% para 1998. Otra de las medidas acordadas a partir del año 1993 fue la de instalar catalizadores en los coches de nueva fabricación, para conseguir la reducción de las emisiones de los mencionados gases. Uno de los progresos más significativos ha tenido lugar en las cámaras de producción de las centrales termoeléctricas, un causante esencial de las emisiones de ácidos a la atmósfera: se han incorporado técnicas que reducen e incluso eliminan la emisión de los óxidos de nitrógeno y azufre, que son recuperados y reutilizados como abono.

Humo fotoquímico:

El humo fotoquímico es un problema medio ambiental que afecta, sobre todo, a las grandes ciudades; donde la concentración de contaminantes en la atmósfera es mayor. El nombre proviene de la abreviatura de las palabras inglesas smoke (humo) y fog (niebla), por lo que también puede denominarse "neblumo". El proceso de formación del smog fotoquímico es muy complejo ya que implica

centenares de reacciones diferentes sufridas por decenas de compuestos distintos.



Consiste básicamente en la presencia en el aire de distintas materias que pueden causar una lesión, daño o riesgo a las personas, principalmente, y cualquier individuo de la naturaleza, aunque también se consideran en este grupo a aquellas sustancias que reducen o impiden la visibilidad, a las que pueden ser reconocidas por fuertes y desagradables olores, y que inclusive pueden generar la corrosión o alteración de algunos materiales.

Esta contaminación tiene un mecanismo directo causado por las distintas actividades del hombre, desde las chimeneas de las industrias hasta la utilización comercial de gases prohibidos, e inclusive por algo a lo que se ha puesto especial atención en los últimos años, las emisiones de CO₂ por parte de los automóviles.

Tipos de gases contaminantes del humo fotogénico:

Dióxido de Carbono (CO₂)

Quizá el más conocido de todos, por su condición de ser el que más se emite cotidianamente, proveniente en su mayoría por la quema de combustibles fósiles para obtención de energía y uno de los principales causantes del aumento de la temperatura de la tierra (el denominado Efecto Invernadero).

Sin embargo, se cree que esta condición de alterador del clima puede ser revertida, en una gran cantidad de años obviamente, si esta cantidad es llevada a un nivel prácticamente nulo y si el reino vegetal, junto a los sedimentos en

conjunto con las grandes masas de agua cumple con su condición de sumideros de Carbono.

Monóxido de Carbono (CO)



Además de ser un gas contaminante del medio ambiente, es un tóxico volátil de elevada peligrosidad, ya que es causante de muerte por asfixia tanto en personas como en animales, debido a la falta de transporte de oxígeno (ya que conforma la carboxi-hemoglobina, de unión química mucho más estable, y la sangre adquiere una coloración rojo carmín).

Principalmente proviene de una combustión incompleta, emitido en menor proporción por el escape de los automóviles (en conjunción con el dióxido de carbono, entre otros), aunque puede presentarse en cualquier caso de incendio.

Monóxido de Nitrógeno (NO)



Otro de los gases provenientes de la quema de combustibles fósiles, se trata de un contaminante de acción secundaria, ya que al entrar contacto con el aire se oxida rápidamente, transformándose en dióxido de Nitrógeno (NO_2) y posteriormente, tras una reacción química con las nubes (que recordamos, son grandes masas de agua) forma el ácido nítrico, que luego precipita en el fenómeno estudiado y denominado como Lluvia Ácida.

Metano (CH_4)

Uno de los gases contaminantes en el que poco tiene que ver la mano del hombre, ya que su formación es debida a la descomposición de materia orgánica (generalmente de cadáveres) o en los excrementos de animales de herbívoros, siempre y cuando se cumplan las condiciones de un ambiente con baja concentración de oxígeno.

Es otro de los responsables de calentamiento global del planeta, debido a su gran capacidad de retener el calor dentro de la atmósfera.

Dióxido de Azufre (SO_2)



Proveniente de la quema de carbón que contenga alguna concentración dada de azufre, y al igual que el monóxido de Nitrógeno, contamina mediante una acción secundaria, por un proceso de oxidación e hibridación que da lugar a la formación de Ácido Sulfúrico (H_2SO_4) otro de los componentes del efecto bautizado como Lluvia Ácida.

Son reconocibles fácilmente por decolorar las hojas de las plantas, además de poseer un gran poder corrosivo sobre materiales de construcción carbonatados, como la piedra caliza (CO_3Ca) o el mármol, por lo que suelen hacerse estudios del nivel de azufre en las estructuras más afectadas.

Clorofluorocarbonos (CFC)



Son los principales destructores de la Capa de Ozono que tiene la tarea de filtrar los Rayos UV provenientes de la radiación solar, nocivos para la salud y causantes de graves daños en la piel y en las plantas, además de que son uno de los responsables del denominado Efecto Invernadero.

Desde que el 1º de Enero de 1989 entró en vigencia el Protocolo de Montreal, estos gases se encuentran prohibidos para su utilización, ligado generalmente a climatizaciones y refrigeraciones, que tomaban contacto en la atmósfera por desperfectos o al momento de desechar estos dispositivos.

También eran utilizados como gas propelente en algunos aerosoles, utilizan Dióxido de Carbono generalmente.

Ozono (O_3)

Si bien es constituyente de la Capa de Ozono que nos cuida de la radiación ultravioleta, este gas tiene una propiedad lesiva en caso de encontrarse en una concentración que se encuentra por encima de lo normal, generalmente de 0.01 kg, causando irritaciones en la garganta y las fosas nasales, sumado a que algunas plantas pueden sufrir alteraciones durante su etapa de desarrollo.