



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Mecánica

**IMPACTO DE LAS EMISIONES CONTAMINANTES DEL PARQUE
VEHICULAR EN LA CALIDAD DEL AIRE EN EL CAMPUS CENTRAL
DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**

Carlos Humberto Aroche Sandoval

Asesorado por el Ing. Julio César Campos Paiz

Guatemala, octubre de 2013

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**IMPACTO DE LAS EMISIONES CONTAMINANTES DEL PARQUE
VEHICULAR EN LA CALIDAD DEL AIRE EN EL CAMPUS CENTRAL
DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

CARLOS HUMBERTO AROCHE SANDOVAL
ASESORADO POR EL ING. JULIO CÉSAR CAMPOS PAIZ

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO MECÁNICO

GUATEMALA, OCTUBRE DE 2013

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
VOCAL I	Ing. Alfredo Enrique Beber Aceituno
VOCAL II	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL III	Inga. Elvia Miriam Ruballos Samayoa
VOCAL IV	Br. Walter Rafael Véliz Muñoz
VOCAL V	Br. Sergio Alejandro Donis Soto
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. Carlos Enrique Chicol Cabrera
EXAMINADOR	Ing. Milton Alexander Fuentes Orozco
EXAMINADOR	Ing. Carlos Enrique Sanabria Solchaga
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

IMPACTO DE LAS EMISIONES CONTAMINANTES DEL PARQUE VEHICULAR EN LA CALIDAD DEL AIRE EN EL CAMPUS CENTRAL DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica, con fecha abril de 2013.



Carlos Humberto Aroche Sandoval

Guatemala, 27 de septiembre de 2013

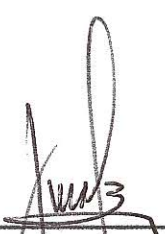
MA Ingeniero Julio César Campos Paíz
Director de Escuela de Ingeniería Mecánica
Facultad de Ingeniería
Universidad de San Carlos de Guatemala
Presente

Señor Director:

Por este medio me dirijo a usted, para informarle que he llevado a cabo la asesoría del trabajo de graduación "IMPACTO DE LAS EMISIONES CONTAMINANTES DEL PARQUEO VEHICULAR EN LA CALIDAD DEL AIRE EN EL CAMPUS CENTRAL DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA", presentado por el estudiante Carlos Humberto Aroche Sandoval con carne 200412346, de la carrera de Ingeniería Mecánica.

El trabajo se ha desarrollado de acuerdo con el programa y objetivos iniciales y considero que llena los requisitos académicos para ser aprobado como trabajo de graduación.

(f)


MA Ing. Julio César Campos Paíz
Ingeniero Mecánico
Colegiado No. 2701

Julio César Campos Paíz
Ingeniero Mecánico
Colegiado 2701

**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
DE GUATEMALA**



**FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA**

El Coordinador del Área Térmica de la Escuela de Ingeniería Mecánica, luego de conocer el dictamen del Asesor y habiendo revisado en su totalidad el trabajo de graduación titulado **IMPACTO DE LAS EMISIONES CONTAMINANTES DEL PARQUE VEHICULAR EN LA CALIDAD DEL AIRE EN EL CAMPUS CENTRAL DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**, del estudiante **Carlos Humberto Aroche Sandoval**, recomienda su aprobación.

ID Y ENSEÑAD A TODOS

Ing. Roberto Guzman Ortiz
Coordinador de Área



Guatemala, octubre de 2013

/behdei

**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
DE GUATEMALA**



**FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA**

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, después de conocer el dictamen del asesor, con la aprobación del Coordinador del Área Térmica al Trabajo de Graduación titulado IMPACTO DE LAS EMISIONES CONTAMINANTES DEL PARQUEO VEHICULAR EN LA CALIDAD DEL AIRE EN EL CAMPUS CENTRAL DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA, del estudiante Carlos Humberto Aroche Sandoval, procede a la autorización del mismo.

ID Y ENSEÑAD A TODOS


Ing. Julio César Campos Paiz
DIRECTOR



Guatemala, octubre de 2013.

JCCP/behdei



El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica, al trabajo de graduación titulado: **IMPACTO DE LAS EMISIONES CONTAMINANTES DEL PARQUE VEHICULAR EN LA CALIDAD DEL AIRE EN EL CAMPUS CENTRAL DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**, presentado por el estudiante universitario: **Carlos Humberto Aroche Sandoval**, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE

Ing. Murphy Olympto Paiz P.
Decano



Guatemala, octubre de 2013

/cc

ACTO QUE DEDICO A:

Dios y la Virgen María

Por ser el principal pilar de mi vida, por darme sabiduría, entendimiento y la oportunidad de tener los mejores padres del mundo

Mis padres

Carlos Humberto Aroche Morales y Albertina Concepción Sandoval Aguilar, por su esfuerzo, dedicación, enseñanzas, consejos, paciencia, apoyo incondicional desde el primer día de mi vida, y por darme la mejor herencia que un padre y una madre pueden darle a un hijo; mi carrera universitaria, ustedes son los únicos a los que les debo todo lo que soy, y lo que seré de aquí en adelante.

Mis hermanas

Licda. Gilda Roxana e Iris Verónica Aroche Sandoval, por su apoyo incondicional durante toda mi carrera, hoy me convierto en el segundo profesional de los 3. Apúrate Iris ya solo vos faltas, para que juntos cumplamos el sueño de mi papá y mi mamá, de tener a sus 3 hijos como profesionales.

Mis abuelos

Jesús Aroche y Víctor Sandoval, aunque no los conocí, sé que siempre estuvieron guiando a

mis papás para que nos llevaran por el buen camino.

Mis abuelas

María del Carmen Morales y Hortencia Aguilar, Por todos sus consejos, regaños, muestras de cariño y por enseñarnos con el ejemplo, que lo más importante en la vida lo hace la unión de la familia.

Mis tíos, tías, primos y primas

Por sus consejos, apoyo y motivación en cada paso que he dado a lo largo de mi vida.

Mis maestros

De la primaria, básicos, diversificado y universitarios, por ser formadores importantes de mi carrera personal y profesional, muchas gracias por guiarme y compartir todos sus conocimientos durante todos estos años.

AGRADECIMIENTOS A:

- La Universidad de San Carlos de Guatemala** Por darme la oportunidad y el orgullo de ser un sancarlista más, egresado de tan prestigiosa casa de estudios.
- Facultad de Ingeniería** Por formarme académicamente, personalmente y darme las herramientas necesarias para desenvolverme como un profesional de éxito.
- Ing. Julio Campos Paiz** Por sus consejos, apoyo y por darme la oportunidad de representar en distintas organizaciones y etapas a la Escuela de Ingeniería Mecánica.
- Todos mis amigos** Que pude cosechar en esta etapa universitaria y que me han demostrado su amistad y apoyo incondicional durante muchos años, quiero decirles que junto a mi familia forman la fortuna más grande que tengo en la vida.

2.2.3.1.	Su impacto en el ambiente	17
2.2.4.	Biodiesel	18
2.2.4.1.	Obtención y producción.....	20
2.2.4.2.	Materias primas	21
2.3.	Octanaje.....	24
2.4.	Gasolina sin plomo	26
2.5.	Calidad de la gasolina.....	27
2.5.1.	Opciones para sustituir el plomo en la gasolina.....	28
2.5.2.	Uso de aditivos	29
3.	CONTAMINANTES Y SUS EFECTOS.....	31
3.1.	La atmósfera	31
3.2.	El Motor de Combustión Interna (MCI)	31
3.2.1.	Estructura y funcionamiento	32
3.2.2.	Componentes de un motor de gasolina.....	36
3.2.3.	Tipos de motores de combustión interna	52
3.2.3.1.	Funcionamiento del motor de combustión interna de cuatro tiempos	53
3.2.3.1.1.	Primer tiempo (admisión)	53
3.2.3.1.2.	Segundo tiempo (compresión)	54
3.2.3.1.3.	Tercer tiempo (explosión).....	54
3.2.3.1.4.	Cuarto tiempo (escape)	54
3.2.3.2.	Ciclo Otto	55

3.2.4.	Causas que impiden el buen funcionamiento de un motor de gasolina	57
3.2.4.1.	Defectos eléctricos	57
3.2.4.2.	Fallos de combustible	58
3.2.4.3.	Fallos de compresión.....	58
3.3.	Origen de los contaminantes	60
3.4.	Contaminantes producidos por vehículos automotores y sus efectos en la salud.....	60
3.5.	Contaminación de los motores diesel versus motores de gasolina	68
3.6.	El motor de combustión interna y su impacto ambiental	69
3.6.1.	Toxicidad de los gases de escape de los motores de combustión interna y formas para reducirla.....	70
3.6.2.	Contaminación de los motores diesel.....	71
4.	MARCO EXPERIMENTAL	75
4.1.	Variables	75
4.2.	Delimitación del campo de estudio	75
4.3.	Metodología de muestreo	76
4.4.	Recurso humano disponible.....	77
4.5.	Recurso de equipo disponible.....	77
4.6.	Técnica de muestreo.....	78
4.6.1.	Método activo.....	78
4.6.1.1.	Frm Omni método de referencia gravimétrico	79
4.6.1.2.	Preparación del filtro.....	80
4.6.1.2.1.	Exposición del filtro.....	81

4.7.	Localización de los puntos de muestreo.....	83
4.7.1.	Recolección de datos	88
5.	RESULTADOS.....	91
5.1.	Datos obtenidos	91
5.2.	Comparación y discusión de resultados.....	92
5.3.	Daños a la salud y al medio ambiente.....	96
5.3.1.	Formas de acción de los vehículos automotores sobre el medio ambiente	96
5.3.2.	Daños a trabajadores y estudiantes	97
5.4.	Migración de partículas contaminantes	99
	CONCLUSIONES.....	103
	RECOMENDACIONES	105
	BIBLIOGRAFÍA.....	107
	ANEXOS.....	109

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Uso del gas natural.....	10
2.	Emisiones relativas de contaminantes	12
3.	Bio bus	23
4.	Cuerpo de un motor de explosión o de gasolina.....	32
5.	Disposición de los cilindros en el bloque de los motores de gasolina.....	34
6.	Radiales o de estrella	35
7.	Motor de gasolina	36
8.	Inyector de gasolina.....	37
9.	Pistón	46
10.	Cigüeñal y árbol de levas	47
11.	Cámara de combustión.....	48
12.	Ciclos de tiempos de un motor de combustión interna	53
13.	Ciclo Otto	55
14.	Omni	79
15.	Filtros I	80
16.	Filtros II	81
17.	Entrada USAC por Periférico I.....	83
18.	Entrada USAC por Periférico II.....	84
19.	Entrada USAC por Periférico III.....	84
20.	Edificio T4 USAC I.....	85
21.	Edificio T4 USAC II	85
22.	Edificio T4 USAC III	86

23.	EFPEM I	86
24.	EFPEM II	87
25.	EFPEM III	87
26.	Exposición a partículas.....	98
27.	Ciudad Universitaria	101

TABLAS

I.	Calidad del gas natural.....	11
II.	Octanajes utilizados en Estados Unidos.....	25
III.	Octanajes utilizados en Centroamérica.....	26
IV.	Compuestos emitidos al medio ambiente durante la combustión.....	71
V.	Formato para recolección de datos I.....	88
VI.	Formato para recolección de datos II.....	88
VII.	Formato para recolección de datos III.....	89
VIII.	Datos de punto de muestreo I	91
IX.	Datos de punto de muestreo II	92
X.	Datos de punto de muestreo III	92
XI.	Valores guía OMS de calidad del aire de PM _{2.5}	94
XII.	Resultados obtenidos	95
XIII.	Parámetros de caracterización de la ciudad capital de Guatemala	99

LISTA DE SIMBOLOS

Símbolo	Significado
cm	Centímetro
cm ³	Centímetro cúbico
SO ₂	Dióxido de azufre
CO ₂	Dióxido de carbono
kg	Kilogramo
CH ₄	Metano
m	Metro
m ³	Metro cúbico
µg	Micro gramo
mg	Miligramo
mm	Milímetro
CO	Monóxido de carbono
nm	Nanómetro
NO	Oxido de nitrógeno
O ₃	Ozono
%	Porcentaje

GLOSARIO

Aceleración libre	Acción de llevar las revoluciones por minuto del motor desde marcha mínima (menor a 1000 revoluciones por minuto), hasta valores acordes a las demandas de potencia de motor o vehículo.
Calcomanía	Etiqueta adhesiva debidamente registrada y autorizada.
Certificado de emisiones	Documento aprobado por el Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales (MARN), emitido y entregado por los verificentros como comprobante de haber practicado la verificación del vehículo y le permite circular sin ser sancionado.
Combustión	Proceso de oxidación, mediante el cual un combustible se quema liberando energía.
Combustión incompleta	Quema de combustible con menor cantidad de aire que la necesaria en la mezcla. Falta de oxígeno para oxidar completamente el combustible.

Combustión interna	Se refiere al encendido del combustible dentro de las cámaras del motor, para el aprovechamiento de su energía calorífica.
Dióxido de carbono	Gas producto de la quema completa de combustibles.
Emisiones	Descarga directa o indirecta a la atmósfera de toda sustancia en cualquiera de sus estados; líquido, sólido y gaseoso.
GLP	Gas Licuado de Petróleo
GNC	Gas Natural Comprimido
GNV	Gas Natural Vehicular
Hidrocarburos no quemados (HC)	Productos constituidos por diferentes combinaciones de hidrógeno y carbono, resultado de la combustión incompleta o evaporación de los combustibles fósiles.
Marcha crucero	Las condiciones de operación de un vehículo con la transmisión en neutro y con el motor encendido con aceleración y sin la aplicación externa de carga.

Marcha lenta en vacío o ralentí	Las condiciones de operación de un vehículo con el motor encendido sin aceleración y dentro del rango de revoluciones especificado por el fabricante.
Mezcla aire/combustible	Cantidad de aire y combustible que depende únicamente de la cantidad de masa de aire y de combustible presentes en los motores.
MON	Número de Octano Motor (<i>Motor Octane Number</i>).
Monóxido de carbono (CO)	Gas que se produce por la combustión incompleta del combustible en motores de combustión interna.
Motor a diesel	Motor de combustión interna que se caracteriza porque el combustible diesel utilizado, es encendido dentro de la cámara de los cilindros debido al calor producido por compresión.
Motor a gasolina	Motor de combustión interna que se caracteriza porque el combustible de gasolina utilizado, es encendido dentro de la cámara de los cilindros por chispa eléctrica.
Motor de combustión interna	Conjunto de elementos mecánicos que transforman la energía calorífica de un

combustible en energía mecánica para propulsar un vehículo.

Opacidad

Condición o estado por la cual una materia impide parcial o totalmente el paso de un haz de luz. Es el grado en el cual las emisiones reducen la transmisión de la luz y oscurece la visión de un objeto en el entorno.

OHV

Válvulas en la culata (*Over Head Valves*)

PAH

Hidrocarburos aromáticos polinucleares.

Parque vehicular

Conjunto de vehículos automotores terrestres del país.

Partes por millón (ppm)

Cantidad de materia contenida en una parte, sobre un total de un millón de partes.

Partículas

Contaminante generado por los procesos de combustión, calentamiento, producción, transporte y manipulación de materiales pulverizados, esta constituido por cenizas, humos, polvos, metales, y otros. Su principal fuente emisora, es la industria que cuenta con calderas, hornos incineradores, al igual que los vehículos automotores que utilizan diesel y gasolina. Como fuentes naturales,

se encuentran las áreas erosionadas, áreas sin pavimentación, emisiones volcánicas, entre otras. Las partículas en el aire se pueden medir como PST o PM₁₀.

Partículas fracción inhalable (PM_{2,5})

Estándar para la medición de la concentración de partículas sólidas o líquidas suspendidas en la atmósfera, cuyo diámetro es igual o inferior a 2,5 micrómetros y que dictan el comportamiento de las partículas dentro de los pulmones.

Peso bruto máximo

El mayor peso efectivo del vehículo, incluyendo la tara, los ocupantes y la carga, con que se permite su circulación.

PMI

Punto Muerto Inferior

PMS

Punto Muerto Superior

Prueba estática

Método de prueba de un vehículo, consistente en marcha lenta en vacío y marcha crucero.

RON

Número de Octano de Investigación (*Research Octane Number*)

Vehículo automotor

Transporte terrestre provisto de motor de combustión interna para su propulsión.

Vehículo ligero	Vehículo de hasta 3,5 toneladas métricas de peso bruto máximo.
Vehículo pesado	Vehículo con más de 3,5 toneladas métricas de peso bruto máximo.
Verificación vehicular automotriz	Procedimiento que se utiliza para la medición y análisis de emisiones de gases y partículas contaminantes provenientes de la quema de combustible por un vehículo terrestre, provisto de motor de combustión interna.
Vía pública	Espacio público por donde circulan los vehículos.

RESUMEN

Este proyecto tiene como objetivo evaluar el impacto del parque automotor en la calidad del aire en el Campus Central de la Universidad de San Carlos de Guatemala, por medio de la determinación de partículas totales en suspensión, en su fracción menor a 2,5 micrómetros ($PM_{2,5}$), información que complementará los resultados obtenidos para otros contaminantes criterios del aire. Se establecerán 3 puntos de muestreo, que se cuentan hoy en día con seguridad y requerimientos de energía mínimos para la instalación del equipo, uno ubicado en un área de alta circulación vehicular, media circulación y otro de baja circulación vehicular.

La medición de las partículas $PM_{2,5}$, se llevó a cabo durante 3 días, semanalmente durante 6 semanas. Con los resultados obtenidos se realizará una comparación con los valores guía sugeridos por la Organización Mundial de la Salud (OMS), que se refieren a valores de 24 horas de medición y el valor semanal correspondiente, con lo que se evaluará el impacto de las emisiones contaminantes del parque vehicular en la calidad del aire en el Campus Central de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

El muestreo del contaminante $PM_{2,5}$, se llevará a cabo durante 24 horas con un impactor de bajo volumen y posterior análisis gravimétrico en el laboratorio.

OBJETIVOS

General

Evaluar el impacto del parque automotor en la calidad del aire en el Campus Central de la Universidad de San Carlos de Guatemala, por medio de la determinación de partículas totales en suspensión en su fracción menor a 2,5 micrómetros ($PM_{2.5}$).

Específicos

1. Determinar la concentración de partículas totales en suspensión en su fracción menor a 2,5 micrómetros ($PM_{2.5}$), en varios puntos ubicados en el Campus Central de la Universidad de San Carlos de Guatemala.
2. Comparar los resultados de concentración de partículas totales en suspensión en su fracción menor a 2,5 micrómetros ($PM_{2.5}$), en varios puntos ubicados en el Campus Central de la Universidad de San Carlos de Guatemala, con valores de referencia internacionales relacionados con la calidad del aire.
3. Recolectar información sobre daños a la salud de trabajadores y estudiantes, así como también a la infraestructura del Campus Central.
4. Evaluar los efectos de la migración de partículas contaminantes por arraste provenientes de zonas aledañas al Campus Central.

INTRODUCCIÓN

Las partículas totales en suspensión $PM_{2.5}$, se clasifican como un contaminante criterio de tipo primario, principalmente por sus fuentes emisoras, como los son el parque vehicular, la industria con chimeneas y las fuentes naturales.

La selección de un indicador de material particulado, también merece consideración. La evidencia epidemiológica más reciente y extensa, se basa principalmente en estudios que utilizan a las $PM_{2.5}$ como indicador de exposición. Además, en la actualidad la mayor parte de los datos de monitorización, se basan en mediciones de $PM_{2.5}$ frente a otras mediciones de material particulado.

Como indicador, las $PM_{2.5}$ comprenden la masa de partículas que entran al tracto respiratorio externo, llegan al interno y tienen la capacidad de viajar y solubilizarse en el torrente sanguíneo, por ello de la necesidad de conocer su concentración y así los resultados que pueden servir para la investigación en la evidencia epidemiológica. Se conoce que existen efectos perjudiciales para la salud en las exposiciones a $PM_{2.5}$ que experimentan las poblaciones urbanas que viven en ciudades de todo el mundo, en países desarrollados como en proceso de desarrollo. El abanico de efectos es amplio: afecta los sistemas respiratorios y cardiovasculares, y abarca a niños y adultos. La evidencia epidemiológica demuestra efectos adversos de las partículas, luego de exposiciones tanto de corto como de largo plazo.

La Organización Mundial de la Salud brinda valores guía que han sido elaborados con el objeto de asesoría en la reducción de los impactos sobre la salud provenientes de la contaminación del aire, sobre las bases de la evaluación, hecha por expertos, de la evidencia científica actual, dedicados a la evidencia epidemiológica y afecciones a la flora, fauna e infraestructura de una urbe.

1. ANTECEDENTES

1.1. Historia

El monitoreo del aire en la ciudad de Guatemala surgió en 1994, como una iniciativa de la Fundación Suiza para el Desarrollo Técnico *Swisscontact* y la Escuela de Química de la Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia de la Universidad de San Carlos de Guatemala. Desde entonces se han realizado constantemente mediciones de ciertos contaminantes primarios y secundarios en el área metropolitana de la ciudad, contando ya con una base de datos desde 1995 hasta la fecha, lo que se constituye en una herramienta valiosa para determinar el comportamiento de la calidad del aire de la ciudad en dicho lapso, y así poder prevenir consecuencias negativas para un futuro próximo.

Las primeras mediciones de partículas totales en suspensión en su fracción $PM_{2.5}$, se realizaron en el 2011, siendo el 2012 el período donde se inicia con el monitoreo sistemático de dicho contaminante. Los principales factores de emisión de partículas para la ciudad, son el parque automotor, las actividades industriales, las erupciones del volcán de Pacaya, la erosión y los incendios forestales en ciertas épocas del año.

El subsector transporte terrestre, generó según el inventario nacional de gases de efecto invernadero de 2005; 5 755,896 toneladas de dióxido de carbono (CO_2), que representan el 52 por ciento de las emisiones totales del sector energía. También se generaron 58 455,5 toneladas de óxidos de nitrógeno, 329 288 de monóxido de carbono y 7 915,3 de dióxido de azufre. Las emisiones de dióxido de azufre se calcularon considerando la cantidad de

azufre en partes por millón contenida en el combustible diesel para ese año para ese subsector.

Es importante considerar que ha habido aumento en las emisiones de monóxido de carbono por el aumento de unidades en el parque vehicular actual. En este caso contribuye a sus emisiones, la composición del parque automotor que se encuentra conformado en un alto porcentaje por unidades de segundo uso o de desecho de otros países y que son comercializados después de reacondicionarlos en su apariencia exterior.

El parque vehicular de Guatemala hasta enero de 2011, ascendía a 2 051 945 vehículos, de los cuales más de un millón se encontraban registrados en el departamento de Guatemala, este equivale a 50 por ciento del parque vehicular total y 512 834 tienen más de 20 años de antigüedad, representando más o menos el 25 por ciento del parque hasta la fecha.

El parque vehicular actual a escala nacional, asciende a 2 309 709 automotores, de los cuales el departamento de Guatemala tiene el 46,83 por ciento, transitando a diario en la ciudad capital cerca de 900 000 unidades, pudiendo subir a un millón en los días de pago.

Según cifras de la Superintendencia de Administración Tributaria (SAT), solo del 2007 al 2011, se importaron 520 203 vehículos, y de ellos 397 833 son usados. En el caso de la flota vehicular de Guatemala; cerca del 31,7 por ciento son modelos 1990 y anteriores, 5,8 por ciento corresponden a los modelos 1991-1992 y alrededor del 62,5 por ciento corresponden a modelos 1993 y posteriores, los cuales en el caso de vehículos a gasolina, ya cuentan con convertidores catalíticos de 3 vías y otros dispositivos anticontaminantes.

Específicamente para el 2010, los vehículos que utilizan gasolina como combustible, representan el 84,68 por ciento y los que utilizan diesel como combustibles, representan el 13,77 por ciento y finalmente los vehículos que utilizan otro tipo de combustible, representan únicamente el 1,55 por ciento del parque vehicular; manteniéndose dicha tendencia para el 2012. Y para ese mismo año el parque vehicular con más de 10 años representaba el 54,42 por ciento del total, lo que es un indicativo que se tiene de una gran cantidad de vehículos viejos en circulación.

Las motocicletas ascienden a 703 122 unidades, representando el 30 por ciento del parque vehicular en cuanto al tipo o categoría vehicular.

De diciembre de 2011 a junio de 2012 el parque vehicular se ha incrementado en un promedio de 87 000 unidades y en el período de diciembre de 2008 a diciembre de 2011 con un incremento de más de 150 000 vehículos automotores anualmente, entre unidades nuevas y usadas.

La cantidad de vehículos antiguos representa embotellamiento, a diario se quedan varados entre 30 y 40 automotores, lo que origina atascos viales. De esos, más de la mitad son de modelos muy antiguos, incluso de la década de 1960.

De acuerdo al monitoreo de contaminantes del aire realizado por el laboratorio de calidad del aire de la Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia de la Universidad de San Carlos de Guatemala y contenido en su informe para el 2009, existe contaminación del aire en puntos muestreados en la ciudad de Guatemala, cuyos resultados obtenidos sobrepasan los límites de referencia.

El contaminante de mayor presencia en las estaciones muestreadas en la ciudad de Guatemala, es el dióxido de nitrógeno; precursor de lluvia ácida y causante de daños al sistema respiratorio. Los valores positivos de lluvia ácida son un indicador de la emisión de óxidos de nitrógeno y azufre.

Los puntos de muestreo que representan mayor grado de contaminación, fueron los localizados cerca de las vías de intenso tráfico vehicular.

1.2. Marco legal

La Constitución Política de la República de Guatemala, establece en su Artículo 97 que: “El Estado, las municipalidades y los habitantes del territorio nacional están obligados a propiciar el desarrollo social, económico y tecnológico que prevenga la contaminación del ambiente y mantenga el equilibrio ecológico. Se dictan todas las normas necesarias para garantizar que la utilización y el aprovechamiento de la fauna, de la flora, de la tierra y del agua, se realicen racionalmente, evitando su depredación”.

De lo anterior, se hace notar lo referente a la participación de los habitantes del territorio nacional. Se ha visto que a lo largo de los últimos 14 años, lo que el Estado y las municipalidades han desarrollado acerca del cuidado y protección de la calidad del aire, es muy poco e insuficiente , por lo que tomar conciencia de esta problemática será más bien una labor para todos los guatemaltecos, quienes deben realizar una mayor presión para que a la brevedad posible se establezcan, implementen o fortalezcan todas aquellas acciones encaminadas a dar cumplimiento a nuestra legislación, principalmente para asegurarnos una mejor calidad del aire, al cual tienen derecho todos los guatemaltecos.

Asimismo, la contaminación atmosférica producida por las emisiones contaminantes de los vehículos automotores al sobrepasar ciertos límites, afectan el ambiente en general y la salud de los seres humanos en particular; motivo por el cual resulta necesario emitir las disposiciones reglamentarias de prevención y control tendientes a la reducción y/o mitigación de dicha problemática.

Que de conformidad con la Ley de Protección y Mejoramiento del Medio Ambiente; la Ley de Tránsito y el Código de Salud, contenidos en los Decretos 68-86, 132-96 y 90-97 respectivamente del Congreso de la República de Guatemala, así como lo estipulado en los Acuerdos Gubernativos: 273-98 del Reglamento de la Ley de Tránsito, y 930-98 relacionado a la prevención de la contaminación atmosférica. El cuidado de la calidad del aire, es esencial para la salud humana, ordenando para el efecto la emisión de un reglamento que controle las emisiones contaminantes provenientes de los vehículos automotores terrestres.

El diagnóstico de la Normativa Técnica sobre Calidad del Aire en Centro América, elaborado por la Comisión Centroamericana de Ambiente y Desarrollo (CCAD), del 2007, ubica a Guatemala en clara desventaja, en relación a lo que el resto de la región ya tiene elaborado, y en varios casos implementado, en el tema de legislación y normativa, principalmente esta última, para regular la calidad del aire. Dicho diagnóstico propone la formulación de regulaciones modelo y la adopción de instrumentos armonizados en calidad del aire en Centro América, lo cual puede ser un punto de partida o seguimiento para las autoridades nacionales, con el fin primordial de que en forma armónica con el resto de la región centroamericana, se implementen todas aquellas medidas que protejan la calidad del aire.

2. COMBUSTIBLES

2.1. Combustibles MCI

El petróleo en su estado natural, es un líquido espeso y negrozco formado en cavidades subterráneas a lo largo de millones de años por los restos de plantas y animales sujetos a grandes presiones por las capas de la tierra. Un hidrocarburo, es un compuesto orgánico cuya estructura química está formada de carbono e hidrógeno. El petróleo es básicamente una mezcla de diferentes hidrocarburos. De allí se sacan los combustibles.

Los combustibles automotores convencionales pueden ser básicamente clasificados en gasolina y diesel. Entre los llamados combustibles alternos, los más comunes son el gas natural comprimido, el gas propano y el metanol.

2.1.1. Gasolina

La gasolina es una mezcla de hidrocarburos líquidos, inflamables y volátiles logrados tras la destilación del petróleo crudo. Tradicionalmente, se le emplea como combustible en los motores de explosión interna con encendido a chispa convencional, o en su defecto, por compresión y también como disolvente. A la gasolina se la obtiene a partir del petróleo, en un recinto especial conocido como refinería; la refinería es una planta industrial que se ocupa de la refinación del petróleo a partir de un procedimiento especial que permitirá obtener diversos combustibles fósiles a ser utilizados en motores de combustión como ser: la gasolina que nos ocupa, el gasóleo, entre otros.

Normalmente, a la gasolina se la obtiene a partir de la nafta de destilación directa, que se trata de la fracción líquida más ligera con la que cuenta el petróleo, excepto de los gases, claro está. Asimismo, puede obtenerse mediante la conversión de fracciones pesadas de petróleo, tal es el caso del gasoil vacío.

Mientras tanto, resulta ser necesario que el producto de gasolina cumpla estrictamente con una serie de condiciones requeridas para que por un lado, el motor funcione satisfactoriamente y otras tantas que tienen que ver con la cuestión ambiental y que en la mayoría de los países, se encuentran reguladas a partir de leyes propias de cada nación.

2.1.2. Diesel

El gasóleo, también denominado *gasoil* o diesel, es un líquido de color blanco o verdoso y de densidad sobre 832 kilogramo por metro cúbico (0,832 gramo por centímetro cúbico), compuesto fundamentalmente por parafinas y utilizado principalmente como combustible en calefacción y en motores diesel. Su poder calorífico inferior, es de 43,1 mega joules por kilogramo que depende de su composición comercial.

La palabra diesel se deriva del nombre del inventor alemán Rudolf Christian Karl Diesel, que en 1892 inventó el motor diesel. Al principio consideró que el combustible idóneo para su motor era carbón en polvo, pero al intentar inyectarlo en los cilindros, causó una explosión que destrozó el prototipo. Después probó con aceites vegetales y tuvo éxito usando aceite de cacahuete. Finalmente Diesel consiguió un producto estable a partir del refinado del petróleo, produciendo lo que hoy conocemos como gasóleo.

Por otro lado, las calderas de calefacción empezaron a emplear otro derivado del petróleo llamado fuelóleo (hidrocarburo de cadena más larga que el gasóleo) que, con el tiempo se demostró era contaminante, por su relativamente alto contenido en azufre principalmente y, poco a poco fue prohibiéndose su uso (hasta llegar a su prohibición en muchos países), cambiándolo por el gasóleo. Si en principio era aceptable la palabra diesel para denominar este combustible, su uso para la calefacción, que no tiene nada que ver con el inventor del motor, hace que los nombres más apropiados sean los de gasóleo o *gasoil*.

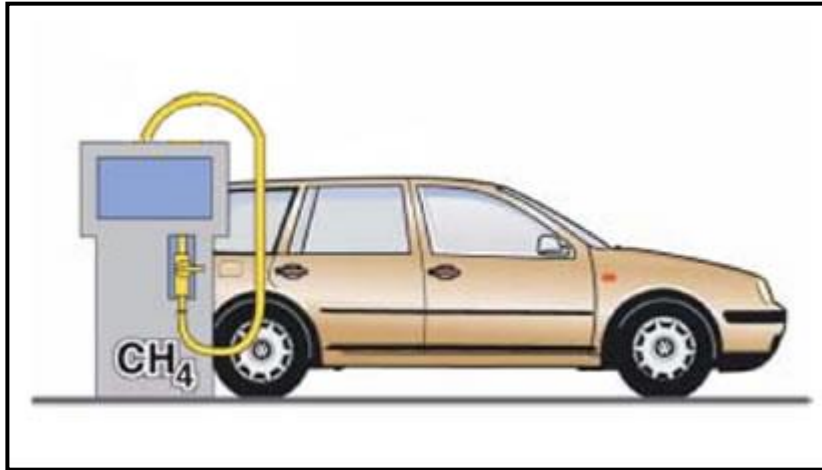
2.2. Combustibles alternos

Son combustibles renovables que contaminan menos y son más baratos. Los vehículos con combustibles alternativos son equipos que utilizan combustibles distintos a los que provienen del petróleo. Se destacan; el gas natural, biodiesel y metanol.

2.2.1. Gas natural comprimido

El gas Natural Comprimido (GNC), también conocido en algunos países como GNV (Gas Natural Vehicular), se origina bajo condiciones parecidas a las del petróleo, y es un producto subsidiario de la explotación petrolífera. También hay yacimientos específicos de gas natural, tal y como sucede con el petróleo y el carbón, el gas natural pertenece a los recursos naturales orgánicos combustibles. El componente principal del gas natural, es el metano (CH_4) una combinación química del carbono con el hidrógeno. El gas natural se puede utilizar en motores térmicos, sin tener que someterse a ningún proceso adicional, como se hace con el refinamiento del petróleo para obtener *gasoil*, gasolina y demás productos derivados.

Figura 1. **Uso del gas natural**



Fuente: www.google.com.gt/search?biw=1024&bih=667&q=gas+natural+carros&bav=on.2,or.r_qf.&bvm=pv.xjs.s. Consulta: 12 de junio de 2013.

No se debe confundir el gas natural con el LPG - GLP (*liquified petroleum gas* - gas licuado del petróleo), también llamado autogás o gas licuado, que consta principalmente de propano y butano. El GLP se obtiene como producto derivado de la destilación en la producción de gasolina, por lo que depende directamente de las reservas de petróleo.

El gas natural, en su condición de gas combustible, es el energético fósil más compatible con el medio ambiente. Consta, en esencia, de un 80-99 por ciento de metano (CH₄), el resto está constituido por adiciones de dióxido de carbono, nitrógeno e hidrocarburos menos significantes. El gas natural se puede utilizar directamente, sin modificaciones químicas como combustible para motores de combustión interna. Esto supone una clara ventaja de coste en comparación con el refinado del petróleo para obtener gasolina y gasoil.

Sin embargo, según la procedencia del gas natural, puede ser necesario someterlo a un ciclo de depuración o deshidratación. Por motivos de seguridad se procede a mezclar el gas natural inodoro con un aditivo para que se pueda oler en caso de fuga.

2.2.1.1. Calidades del gas natural

Dependiendo del yacimiento, los proveedores pueden ofrecer una calidad de gas distinta. Con la interconexión de gaseoductos esta calidad se equilibra. La diferenciación de las calidades, se establece sobre la base del poder calorífico del gas natural. Según su poder calorífico, se diferencia entre: H-Gas (high = alto) y L-Gas (low = bajo). Los diferentes poderes caloríficos de H-Gas y L-Gas se traducen a su vez en diferentes consumos de combustible.

Tabla I. Calidad del gas natural

Calidad del gas	H-Gas	L-Gas
Poder calorífico [kWh/m ³]	10,0	8,9
Metano (CH ₄) [% vol.]	97,8	86,8
Etano (C ₂ H ₆) Propano (C ₃ H ₈) [% vol.] Butano (C ₄ H ₁₀)	1,3	6,7
Nitrógeno (N ₂) [% vol.]	0,8	2,7
Dióxido carbono (CO ₂) [% vol.]	0,1	1,0

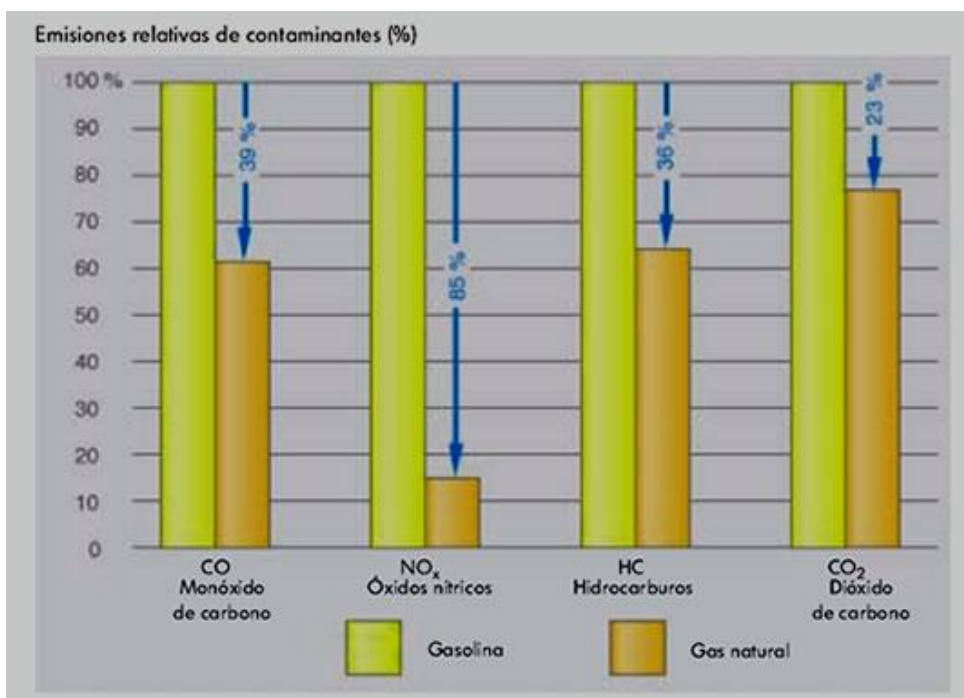
Fuente: www.google.com.gt/search?q=calidad+del+gas+natural&source=Inms&tbm=isch&sa=X&ei=nJU7UuGaD5Oa8wSj6YDgBA&ved. Consulta: 12 de junio de 2013.

El peso del gas natural guarda una proporción directa con respecto al volumen, en virtud de lo cual se hace la cuenta del repostaje en kilogramos. Un kilogramo de gas natural tiene un volumen de aproximadamente 6,2 litros.

2.2.1.2. Emisiones

Una de las ventajas del uso del gas natural, es la reducción de emisiones, si se compara con un motor a gasolina. En la figura 2, se puede ver una comparativa para un motor de un vehículo de 2,5L / 85 KW en el ciclo de prueba europeo.

Figura 2. Emisiones relativas de contaminantes



Fuente: [www.google.com.gt/search?q=Emisiones+relativas+de+contaminantes+\(%25\)&source=Inms&tbm](http://www.google.com.gt/search?q=Emisiones+relativas+de+contaminantes+(%25)&source=Inms&tbm). Consulta: 12 de junio de 2013.

2.2.1.3. Comparación y disposiciones legales

A continuación se enumeran las ventajas y desventajas del empleo del gas natural como combustible para motores, entre las cuales destaca la baja emisión de contaminantes, así como también sus altas reservas de yacimientos que superan en gran cantidad a las del petróleo.

- Ventajas
 - Para personas que hacen muchos kilómetros, es una fuente de energía a precio razonable, poco utilizada hasta la fecha.
 - Dependiendo del país puede tener incentivos fiscales y otras ayudas.
 - Las emisiones contaminantes, son marcadamente inferiores a las de la gasolina y el gasoil.
 - En el proceso de la combustión se produce casi exclusivamente agua.
 - Idoneidad para la aplicación bivalente (gas - gasolina).
 - No implica modificaciones en el seguro del vehículo.
 - Las reservas de los yacimientos de gas natural alcanzan a cubrir un plazo claramente superior al de las del petróleo crudo.
 - No existen pérdidas por volatilización al repostar.

- Es más ligero que el aire y se volatiliza hacia arriba.
- Una combustión más suave.
- Gases de escape casi exentos de partículas.
- Desventajas
 - Una leve pérdida de potencia del motor en comparación con el uso de la gasolina, suponiéndose un motor de gasolina optimizado.
 - Los depósitos de alta presión, implican la observancia de disposiciones especiales sobre montaje, seguridad y vigilancia.
 - El volumen adicional del depósito para la operatividad bivalente tiene que ser alojado en el vehículo.
 - Los depósitos de acero para gas natural constituyen un lastre adicional en el vehículo; este problema no existe en el caso de los depósitos de material plástico.
 - La red de estaciones de repostaje en muchos países todavía es muy limitada.
 - Mayor precio de adquisición del vehículo.

- Según los países puede tener unas revisiones técnicas más frecuentes por parte de la Inspección Técnica de Vehículos (ITV en España) (TÜV en Alemania), lo que trae consigo un mayor gasto de dinero en revisiones.
- Una menor autonomía en el modo operativo con gas natural.

Los trabajos destinados a la parte de alta presión en el sistema de gas natural, únicamente deben ser llevados a cabo por personal correspondientemente preparado y dotado de un certificado de sus conocimientos en la especialidad.

2.2.2. Gas propano

El gas propano, es un Gas Licuado de Petróleo (GLP), se suele obtener del gas natural o de los gases de los procesos de destilación, producidos en las instalaciones petroquímicas.

Se le emplea en instalaciones centralizadas, con un depósito exterior que es llenado por la compañía suministradora, o se expende en botellas de 20 kilogramos. Este gas es más pesado que el aire y tiene mayor poder calorífico que el gas butano, sin tener problemas con las bajas temperaturas. En zonas donde no existe red de abastecimiento de gas natural, se utiliza el gas propano envasado en depósitos comunales.

2.2.2.1. Composición y propiedades

El propano es un gas incoloro e inodoro, es una mezcla de hidrocarburos livianos compuesta principalmente por propano, propileno, butilenos y butanos,

en proporciones variables y que en condiciones normales es un gas, pero al comprimirla pasa a estado líquido, puede obtener en una planta de procesamiento de gas natural o en una refinería, en las unidades de ruptura catalítico.

Fórmula química: $C_3 H_8$

El gas propano mezclado con aire, puede ser explosivo con concentraciones del 1,7 - 9,3 por ciento en volumen de propano. El propano quema con una llama amarillenta que libera ciertas cantidades de hollín. En elevadas concentraciones el propano tiene propiedades narcotizantes.

2.2.2.2. Usos del GLP

El gas propano, es un combustible que se utiliza principalmente para uso doméstico, comercial, y también en industrias, para hornos, secadoras, calderas; en motores de combustión interna y en turbinas de gas para generación de electricidad. En la industria química, es uno de los productos usados para la síntesis del propeno. También se le usa como gas refrigerante (R290) o como gas propulsor en los aerosoles.

2.2.3. Metanol

En principio cabe destacar que el metanol surge como combustible alternativo ante la toxicidad de las emisiones de las naftas y la destrucción de la capa de ozono. Igualmente el poder calorífico de la nafta, es aproximadamente el doble del poder calorífico del metanol, haciéndolo así más rentable.

Entre los más conocidos se encuentran el M-85, con 85 por ciento de metanol y 15 por ciento de nafta y el M-100 (100 por ciento metanol). La empresa Methanex, esta considerando la producción de gasoil-metanol para disminuir las emisiones de partículas, que producen *smog* y son el origen de problemas respiratorios. Esta mezcla reduce en un 50 por ciento la emisión de partículas. La tecnología de gasoil-metanol, trabaja en motores existentes y sin ninguna modificación de consideración.

- Ventajas

Algunas ventajas del metanol como combustibles para auto son:

- Se pueden producir a partir de fuentes y residuos renovables, tales como pasto, bagazo de caña de azúcar, hojarasca, entre otros.
- Genera menor contaminación ambiental que los combustibles fósiles.
- Para que el parque vehicular utilice este combustible sólo es necesario cambiar las partes plásticas del circuito de combustible.

2.2.3.1. Su impacto en el ambiente

De acuerdo con la Agencia de Protección de Estados Unidos (USEPA por sus siglas en inglés), la contaminación atmosférica ha alcanzado límites peligrosos para la salud humana y el ambiente, y los vehículos motorizados son los principales causantes de esta contaminación. Por su parte, la Asociación de Recursos Renovables de Canadá, señala que agregar un 10 por ciento de etanol al combustible, reduciría hasta en un 30 por ciento las emisiones de monóxido de carbono (CO) y entre 6 y 10 por ciento las de

dióxido de carbono (CO_2); asimismo habría una reducción en la formación de ozono. La emisión de agentes contaminantes de automóviles que funcionen con metanol contenía 20 por ciento de dióxido de carbono y 10 por ciento de los diferentes hidrocarburos que actualmente emiten los vehículos que utilizan gasolina.

Empleando metanol, los autos eliminarían casi por completo las emisiones de partículas en suspensión y compuestos tóxicos tales como: óxido de nitrógeno (NO), ozono (O_3), hidrocarburos no quemados, monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono (CO_2) y dióxido de azufre (SO_2) entre otros. Tanto en las mezclas con etanol, como en las que se emplean grandes porcentajes de metanol, la generación de ozono es mucho menor.

Una desventaja de estos alcoholes, es la mayor producción de vapor de agua, que calienta la atmósfera, y menor cantidad de sulfatos, que la enfrían, por lo que contribuirían en mayor medida a provocar el efecto invernadero. En síntesis, estos alcoholes podrían ser menos contaminantes, desde que se producen hasta que se queman.

2.2.4. Biodiesel

Los biodiesel son compuestos de los aceites vegetales, obtenidos por reacción de los mismos con metanol, mediante reacción de transesterificación, que produce glicerina como producto secundario. Los metilesteres de los aceites vegetales, poseen muchas características físicas y físico-químicas muy parecidas al gasóleo con el que pueden mezclarse en cualquier proporción y utilizarse en los vehículos diesel convencionales, sin necesidad de introducir modificaciones en el diseño básico del motor. Sin embargo, cuando se emplean mezclas de biodiesel en proporciones superiores al 5 por ciento, es

preciso reemplazar los conductos de goma del circuito del combustible por otros de materiales como el vitón, debido a que el biodiesel ataca a los primeros. A diferencia del etanol, las mezclas con biodiesel no modifican muy significativamente gran parte de las propiedades físicas y fisicoquímicas del gasóleo, tales como su poder calorífico o el índice de cetano.

Las perspectivas inmediatas para el uso de biodiesel en Centro América, son bastante más reducidas, comparadas con el etanol. Así, los aspectos tecnológicos relacionados al biodiesel, serán tratados someramente. Como se menciona anteriormente para los motores diesel, los biocombustibles a considerar y ya empleados en algunos países, son los aceites vegetales transesterificados. Un aceite vegetal puro presenta elevada viscosidad, pero mediante la reacción de transesterificación, una mezcla de aceite vegetal y 10 por ciento de alcohol, en medio alcalino, se convierte en una mezcla de ester de ácidos grasos y 10 por ciento de glicerina.

Luego de la separación de la glicerina y de restos de agentes contaminantes, se obtiene el ester técnicamente puro, llamado biodiesel. Hay alguna influencia del tipo de aceite vegetal y de las características del proceso sobre las propiedades del biodiesel. Entre los anexos de este informe, se incluye la especificación brasileña del biodiesel, para ser considerada en los testes para desarrollo de este biocombustible.

En principio, el biodiesel puro podría ser utilizado en los motores diesel convencionales sin cualquier modificación, pero los fabricantes de motores y bombas inyectoras típicamente recomiendan que sean empleadas mezclas con diesel convencional hasta 20 por ciento de biodiesel, el B20.

Es frecuente denominarse las mezclas como BX, siendo X el contenido porcentual de biodiesel. Para mezclas B5, con 5 por ciento de biodiesel, la gran mayoría de la industria automovilística no coloca restricciones en el empleo de este biocombustible.

Las ventajas particulares que el biodiesel posee frente al derivado de petróleo, además de la renovabilidad, son la cetanaje elevada la ausencia de azufre, la buena lubricidad y el elevado punto de fulgor. Las emisiones resultantes de mezclas con biodiesel, indican particularmente una reducción en el CO y los particulados. Las mezclas presentan una mejora en las características del diesel en la función directa de la proporción de biodiesel, así eventualmente este biocombustible podría representar para el derivado de petróleo un rol de aditivo, como es el caso del etanol en la gasolina.

Vale mencionar que, con la tendencia de reducción del azufre en el diesel convencional, los valores de lubricidad han bajado y al añadir biodiesel en contenidos no muy altos, se recupera en niveles adecuados esta propiedad.

2.2.4.1. Obtención y producción

Los biocombustibles son productos obtenidos a partir del girasol, caña de azúcar, aceites vegetales, grasas animales o remolacha. El proceso de obtención de biodiesel a partir de aceites vegetales, grasas animales y aceites de fritura usados, para su uso como combustible diesel, se ha llevado a cabo en los Laboratorios de Desarrollo de Procesos Químicos y Bioquímicos Integrados del Departamento de Ingeniería Química de la Facultad de Ciencias Químicas de la Universidad Complutense de Madrid.

El proceso comprende la transesterificación del aceite o grasa con alcoholes ligeros, utilizándose un catalizador adecuado, para generar ésteres de ácidos grasos (biodiesel). El alcohol que generalmente se utiliza es metanol, aunque se pueden utilizar otros alcoholes ligeros, como etanol, propanol o butanol. Como coproducto se obtiene glicerina, que se puede utilizar en otros procesos de interés industrial, suponiendo un factor positivo desde el punto de vista económico.

Para la producción de 1 005 kilos de biodiesel, son necesarios 110 kilos de metanol, 15 de catalizador y 1 000 de aceite, además de 4,29 metros cúbicos de agua. Este procedimiento permite además la obtención de 100 kilos de glicerina como subproducto. Estos datos indican que el balance energético de este procedimiento es positivo.

2.2.4.2. Materias primas

Son conocidas como materias primas, todas las materias extraídas de la naturaleza y que se transforman para elaborar materiales que más tarde se convertirán en bienes de consumo. Las materias primas que se pueden emplear en la obtención de biodiesel, son muy variadas y pueden clasificarse en:

- Aceites vegetales
 - Aceites de semillas oleaginosas: girasol, colza, soja y coco.
 - Aceites de frutos oleaginosos: palma.
 - Aceites de semillas oleaginosas alternativas: *brassica carinata*, *camelina sativa*, *pogianus*.

- Aceites de semillas oleaginosas modificadas genéticamente:
Aceite de girasol de alto oleico.
 - Aceites vegetales de final de campaña: aceite de oliva de alta acidez.
 - Aceites de fritura usados
 - Grasas animales
 - Sebo de distintas calidades
- Ventajas
 - Disminuir de forma notable las principales emisiones de los vehículos, como son el monóxido de carbono y los hidrocarburos volátiles, en el caso de los motores de gasolina, y las partículas en el de los motores diesel.
 - La producción de biocarburantes supone una alternativa de uso del suelo que evita los fenómenos de erosión y desertificación a los que pueden quedar expuestas aquellas tierras agrícolas que, por razones de mercado, están siendo abandonadas por los agricultores.
 - Supone un ahorro de entre un 25 a un 80 por ciento de las emisiones de CO₂ producidas por los combustibles derivados del petróleo, constituyendo así un elemento importante para disminuir los gases invernadero producidos por el transporte.

Figura 3. **Bio bus**



Fuente: www.google.com.gt/search?q=bus+ecologico&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ei=PLA7UqWyDYerqAHjkYGwBA&ved. Consulta: 14 de junio de 2013.

El consumo mundial de biocarburantes, se cifra en torno a 17 millones de toneladas anuales, correspondiendo la práctica total de la producción y consumo al bioetanol. Brasil, con alrededor de 90 millones de toneladas anuales y Estados Unidos, con una producción estimada para este año de casi 50 millones de toneladas, son los países más importantes en la producción y uso de biocarburantes.

En Brasil, el bioetanol se obtiene de la caña de azúcar y su utilización se realiza principalmente en mezclas al 20 por ciento con la gasolina. En Estados Unidos el bioetanol, se produce a partir del maíz y se emplea en mezclas con gasolina, generalmente al 10 por ciento. En la actualidad, este último país ha sustituido casi el 2 por ciento de su gasolina por bioetanol.

El biodiesel, utilizado como combustible líquido, presenta ventajas energéticas, medioambientales y económicas como:

- Desarrollo sostenible tanto en agricultura como en energía
- Menor impacto ambiental
 - Reducción de las emisiones contaminantes como SO₂, partículas, humos visibles, hidrocarburos y compuestos aromáticos.
 - Mejor calidad del aire.
 - Efectos positivos para la salud, ya que reduce compuestos cancerígenos como PAH y PADH.

2.3. Octanaje

Es una característica de la gasolina que define su habilidad para resistir la detonación del motor. La detonación es lo que normalmente se conoce como cascabeleo de las válvulas y se oye al presionar el acelerador de golpe a baja velocidad. Es importante controlar la detonación porque puede causar daños severos en los pistones, anillos y válvulas del motor. Un motor en estas condiciones, produce altas emisiones de gases contaminantes.

El índice de antidetonancia, es la medida de octanaje y se obtiene en laboratorio usando un motor específico para esta prueba. Existen 3 formas de medirlo. Con el método Research Octane Number (RON), se mide el octanaje simulando condiciones de manejo en ciudad. Con el método Motor Octane Number (MON) se mide el octanaje simulando condiciones de manejo en

carretera. Finalmente, se tiene el método promedio que combina las 2 medidas anteriores ($RON + MON / 2$).

En el mercado, la gasolina se comercializa de acuerdo al octanaje. Hay que tener cuidado con las medidas. Muchos centroamericanos viajan a Estados Unidos y se sorprenden al encontrar que la gasolina que allí se vende es de bajo octanaje. Luego regresan a su país, usan gasolina de bajo octanaje y dañan el motor de su vehículo. Lo que sucede es que en Centroamérica, se usa el método RON y en los Estados Unidos el método promedio. Se observan unas equivalencias aproximadas en la siguiente tabla. En los Estados Unidos se venden tres tipos de gasolina, bajo los octanajes indicados en la columna $RON + MON / 2$. En la columna RON colocamos el equivalente en la medida que se usa en Centroamérica.

Tabla II. **Octanajes utilizados en Estados Unidos**

Grado	RON + MON / 2	RON
	(EUA)	(C.A.)
Regular	87	92
Intermedia	89	94
Superior	92	97

Fuente: www.motorpasion.com. Consulta: 01 de septiembre de 2013.

Tabla III. **Octanajes utilizados en Centroamérica**

Grado	RON
Regular	87
Superior	95

Fuente: www.motorpasion.com. Consulta: 01 de septiembre de 2013.

Como se puede observar, la gasolina de más bajo octanaje que se vende en los Estados Unidos, es de 87 RON + MON / 2 (92 RON). La gasolina superior que se vende en Centroamérica (95 RON), es casi igual a la gasolina intermedia (89 RON+ MON / 2) que se vende en los Estados Unidos.

2.4. Gasolina sin plomo

Un motor de alta compresión, es más eficiente y requiere de gasolina de alto octanaje para funcionar correctamente. Cuando se comenzó a eliminar el plomo de la gasolina en los Estados Unidos en 1971, las compañías petroleras no respondieron con prontitud para sustituir al plomo y bajaron el octanaje de la gasolina. Los fabricantes de vehículos tuvieron que fabricar motores de baja compresión a partir de 1975, hasta que la nueva tecnología les permitió nuevamente subir la compresión y al mismo tiempo cumplir con los requerimientos de control de emisiones de gases. A esto se debió que en ese país hubo una generación de vehículos poco potentes y poro económicos.

Para usar un vehículo a nivel del mar se requiere gasolina de mayor octanaje y para usarlo en montaña, de menor octanaje. Como una regla de

dedo, por cada 500 metros de altura se puede bajar un octano. La gasolina regular (87 octanos RON) que se vende en Centroamérica es de muy bajo octanaje. Al usarla a 1 500 metros sobre el nivel del mar equivale a gasolina de 90 octanos lo cual es suficiente para motores de baja compresión. Pero al usarla a nivel del mar puede haber daños por detonación en estos motores.

2.5. Calidad de la gasolina

La calidad se define como un conjunto de cualidades de una cosa. Cuando en un país se comercializa gasolina con plomo, es porque así se pide o así se especifica. Lo que se hace al especificar un producto, es determinar sus características. Bajo el punto de vista técnico la gasolina con plomo puede ser de buena calidad una vez cumpla con las especificaciones exigidas. Bajo el punto de vista ambiental no lo es.

Es importante que se tengan claras las especificaciones. Las compañías petroleras deben indicar el octanaje, la cantidad de olefinas y aromáticos, así como el contenido de plomo y otras impurezas. Los distribuidores tienen que tener cuidado con la contaminación. Si se usan los mismos tanques para entregar gasolina con plomo, gasolina sin plomo y diesel, los resultados pueden ser impredecibles. En países en que el diesel es más barato, personas inescrupulosas lo mezclan con la gasolina. En este caso el combustible no se quema totalmente, lo que provoca pérdida de fuerza y un dramático aumento en las emisiones de monóxido de carbono (CO) y principalmente de hidrocarburos (HC).

2.5.1. Opciones para sustituir el plomo en la gasolina

Para sustituir el plomo como agente lubricante, existen aditivos que minimizan los posibles daños, aunque ninguno tan bueno como el plomo. Las lanchas y los aviones sí se usan en condiciones severas. Sin embargo, la mayoría de lanchas de trabajo usan motores de 2 tiempos que no tienen válvulas. Las lanchas de recreo tienen motores de cuatro tiempos generalmente fabricados para uso de gasolina sin plomo, por lo tanto no necesitan usar aditivo. En el caso de los aviones, todavía existe un buen número que usan motores viejos de 4 tiempos que si necesitan plomo como lubricante. Para este propósito basta con añadir 0,1 gramos de plomo por galón en la formulación de la gasolina de avión.

Para sustituir el plomo como antidetonante, es necesario producir gasolina que por otros medios cumpla con el octanaje requerido lo cual es de vital importancia en la sustitución del plomo. Esto se puede lograr prolongando el proceso de refinación, usando aditivos o bien usando una combinación de ambos. Para producir gasolina regular sin plomo, usualmente basta con prolongar el proceso de refinación. Para producir gasolina superior se hace necesario el uso de aditivos.

Las refinerías antiguas tienen problemas para producir gasolina sin plomo. Muchas lo que hacen es importar gasolina de alto octanaje para mezclarla con la propia producción. Además del plomo, existen otros agentes antidetonantes que deben ser usados con mucho cuidado. Los que tienen base metálica son tóxicos. Los más aceptables son los oxigenados. Se le llama así a ciertos alcoholes y éteres que contienen carbono, hidrógeno y generalmente un átomo de oxígeno. Estos tienen un número de octano alto y por consiguiente buenas características antidetonantes.

Los alcoholes comprenden el metanol, que se obtiene de gas natural o de carbón; el etanol, que se obtiene de la fermentación de biomasa; y los alcoholes sintéticos superiores. Por lo general los alcoholes se usan solamente como aditivo. Los fabricantes recomiendan no usar más de 10 por ciento de etanol y no más de 5 por ciento de metanol en la gasolina. (Para mayor explicación ver el subcapítulo 2.2. que comprende todo lo relacionado con combustibles alternos).

Entre los éteres el más conocido es el MTBE o Metil Terciario *Butil Eter*. Este es el sustituto de plomo más recomendable. Se puede usar en concentraciones hasta de 20 por ciento sin dar problemas mecánicos y no es tóxico al quemarlo sin catalizador.

2.5.2. Uso de aditivos

El uso de aditivos en general para la gasolina y el aceite es innecesario, ya que los fabricantes los añaden en su formulación, son aditivos de dinero solamente.

En el caso del aceite, es probable que un tercio de la lata este compuesto por aditivos y el resto por aceite base. El aceite base que usan los fabricantes, es prácticamente igual para todos. La diferencia esta en los aditivos que cada uno le añade. El aceite base no pierde sus características, no importando cuántas veces se use. El aceite se cambia porque se contamina y porque los aditivos se degradan. De manera que el aceite reciclado sí necesita los aditivos que se venden en el mercado. Este es el único caso en que se justifican. Sin embargo, su uso no es recomendable. Los aditivos no serán necesariamente los especificados y el aceite tendrá un grado indefinido.

Esto último se debe a que en los recipientes que generalmente se usan para almacenar aceite usado, se mezcla aceite de diferentes grados, el cual está diseñado para diferentes condiciones de funcionamiento del motor.

Otros aditivos de aceite, están diseñados para detener el deterioro o rejuvenecer un motor gastado. El principio es que un motor deteriorado a este punto no debería estar funcionando, porque consume más combustible, consume aceite y es altamente contaminante.

En el caso de la gasolina, en su formulación se le añaden los aditivos necesarios para evitar el envejecimiento y degradación, la corrosión, la formación de depósitos, y no es necesario ponerle aditivos adicionales. Es posible que al introducir la gasolina sin plomo en un país, algunos comerciantes ofrezcan aditivos para sustituir al plomo como lubricante y proteger los asientos de las válvulas de los carros antiguos. Esto solamente es recomendable para vehículos anteriores a 1971 usados en condiciones extremas. Esto es, mucha velocidad o mucha carga durante mucho tiempo. Estas condiciones solamente se dan en autopistas, por lo que el uso de estos aditivos es innecesario en las condiciones de manejo de Centroamérica.

Algunos de estos aditivos contienen metales y pueden ser tóxicos. Es recomendable leer siempre la etiqueta para ver el contenido. En resumen, los aditivos tanto para la gasolina como para el aceite, son un gasto innecesario y en algunos casos pueden ser dañinos a la salud.

3. CONTAMINANTES Y SUS EFECTOS

3.1. La atmósfera

La atmósfera de la tierra, a la cual comúnmente se le denomina aire, está formada principalmente por 2 gases: oxígeno, que ocupa el 21 por ciento del volumen y nitrógeno, que ocupa 78 por ciento. Del 1 por ciento restante, 0,95 por ciento está formado por pequeñas cantidades de gases nobles y el 0,5 por ciento restante está compuesto por contaminantes, la mayoría depositados a baja altura.

Las emisiones de gases, vapores y partículas causadas por el ser humano, aumentan cada día. Pero el volumen y flujo de aire permanece igual, lo cual hace difícil que los contaminantes se diluyan.

3.2. El Motor de Combustión Interna (MCI)

La energía mecánica, indispensable para poner en acción diferentes máquinas, se puede obtener utilizando energía térmica, hidráulica, solar y eólica. La que más se utiliza es la energía térmica obtenida de los combustibles de naturaleza orgánica. Los equipos energéticos que más aceptación han tenido, son los Motores de Combustión Interna (MCI), a ellos corresponde más de un 80 por ciento de la totalidad de la energía producida en el mundo.

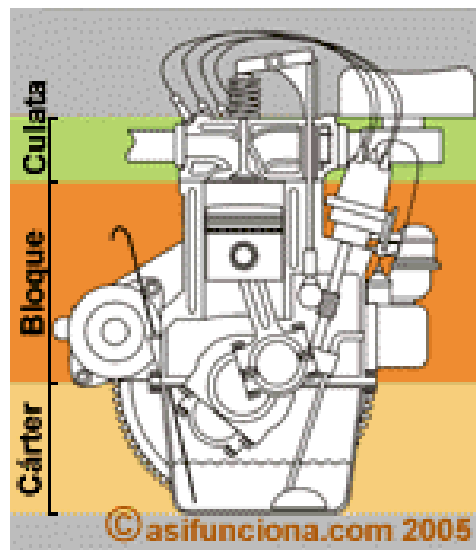
En la Unión Europea, aunque los medios de locomoción son responsables únicamente de un 5 por ciento de las emisiones de dióxido de azufre (SO₂), son responsables del 25 por ciento de las emisiones de dióxido de carbono (CO₂),

del 87 por ciento de las de monóxido de carbono (CO) y del 66 por ciento de las de óxidos de nitrógeno (NO).

3.2.1. Estructura y funcionamiento

Desde el punto de vista estructural, el cuerpo de un motor de explosión o de gasolina, se compone de 3 secciones principales; la culata, el bloque y el cárter. A continuación se describe cada una de ellas para tener un panorama mas específico de la estructura:

Figura 4. **Cuerpo de un motor de explosión o de gasolina**



Fuente: www.google.com.gt/search?q=Cuerpo+de+un+motor+de+explosi%C3%B3n+de+gasolina&source. Consulta: 6 de julio de 2013.

- Culata

Constituye una pieza de hierro fundido (o de aluminio en algunos motores), que va colocada encima del bloque del motor. Su función es sellar la parte superior de los cilindros para evitar pérdidas de compresión y salida inapropiada de los gases de escape. En la culata se encuentran situadas las válvulas de admisión y de escape, así como las bujías. Posee además, 2 conductos internos: uno conectado al múltiple de admisión (para permitir que la mezcla aire-combustible penetre en la cámara de combustión del cilindro) y otro conectado al múltiple de escape (para permitir que los gases producidos por la combustión sean expulsados al medio ambiente). Posee, además, otros conductos que permiten la circulación de agua para su enfriamiento.

La culata está firmemente unida al bloque del motor por medio de tornillos. Para garantizar un sellaje hermético con el bloque, se coloca entre ambas piezas metálicas una junta de culata, constituida por una lámina de material de amianto o cualquier otro material flexible que sea capaz de soportar, sin deteriorarse, las altas temperaturas que se alcanzan durante el funcionamiento del motor

- Bloque

En el bloque están ubicados los cilindros con sus respectivas camisas, que son barrenos o cavidades practicadas en el mismo, por cuyo interior se desplazan los pistones. Estos últimos se consideran el corazón del motor. La cantidad de cilindros que puede contener un motor es variable, así como la forma de su disposición en el bloque. Existen motores de uno o de varios cilindros, aunque la mayoría de los coches o automóviles, utilizan motores con bloques de 4, 5, 6, 8 y 12 cilindros, incluyendo algunos vehículos pequeños

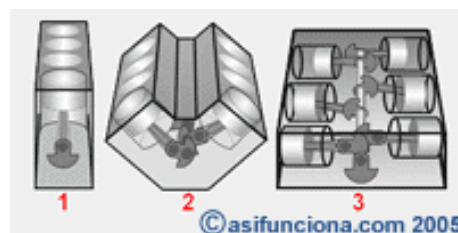
que emplean sólo 3. El bloque del motor debe poseer rigidez, poco peso y poca dimensión, de acuerdo con la potencia que desarrolle.

- Partes fundamentales del motor de gasolina

Las disposiciones más frecuentes que se pueden encontrar de los cilindros en los bloques de los motores de gasolina, son las siguientes:

- En línea: pueden contener 3, 4, 5 o 6 cilindros.
- En V: tienen los cilindros dispuestos en doble hilera en forma de V. Los más comunes que se pueden encontrar son V-6, V-8, V-10 y V-12.
- Planos con los cilindros opuestos: son poco utilizados en los motores de gasolina, aunque se pueden encontrar de 4, 6 y hasta de 12 cilindros en unas pocas marcas de automóviles.

Figura 5. **Disposición de los cilindros en el bloque de los motores de gasolina**



Fuente: www.google.com.gt/search?q=Disposici%C3%B3n+de+los+cilindros+en+el+bloque+de+los+motores+de+gasolina&source. Consulta: 6 de julio de 2013.

Existen además otras disposiciones de los pistones en un bloque, como por ejemplo los radiales o de estrella, estructura que se empleó durante muchos años en la fabricación de motores de gasolina para aviones.

Figura 6. **Radiales o de estrella**



Fuente: www.asifunciona.com. Consulta: 6 de julio de 2013.

- **Cárter**

Es el lugar donde se deposita el aceite lubricante, que permite lubricar el cigüeñal, los pistones, el árbol de levas y otros mecanismos móviles del motor. Durante el tiempo de funcionamiento del motor, una bomba de aceite extrae el lubricante del cárter y lo envía a los mecanismos que requieren lubricación.

Existen también algunos tipos de motores que en lugar de una bomba de aceite, emplean el propio cigüeñal, sumergido parcialmente dentro del aceite del cárter, para lubricar por salpicadura el mismo cigüeñal, los pistones y el árbol de levas.

3.2.2. Componentes de un motor de gasolina

Aunque desde la década de los años 80's del siglo pasado, los fabricantes, sobre todo de automóviles, han introducido una serie de cambios y mejoras en los motores de gasolina, a continuación se exponen los componentes básicos que forman parte todavía en muchos casos o con algunas variantes, de un motor de explosión o gasolina.

Figura 7. **Motor de gasolina**



Fuente: www.asifunciona.com. Consulta: 6 de julio de 2013.

- Filtro de aire

Su función es extraer el polvo y otras partículas para limpiar lo más posible el aire que recibe el carburador, antes que la mezcla aire-combustible pase al interior de la cámara de combustión de los cilindros del motor.

Los motores más modernos y actuales no utilizan ya carburador, sino que emplean un nuevo tipo de dispositivo denominado inyector de gasolina. Este inyector se controla de forma electrónica para lograr que la pulverización de la gasolina en cada cilindro se realice en la cantidad realmente requerida en cada

momento preciso, lográndose así un mayor aprovechamiento y optimización en el consumo del combustible.

Es necesario aclarar que los inyectores de gasolina no guardan ninguna relación con los inyectores o bomba de inyección que emplean los motores diesel, cuyo funcionamiento es completamente diferente.

Figura 8. **Inyector de gasolina**



Fuente: www.google.com.gt/search?q=Inyector+de+gasolina&source=Inms&tbm=isch&sa=X&ei=wc47Upb7LpTU9QSfloHgBQ&ved=0CAcQ_AUoAQ&biw=1024&bih=667&d=1#facrc. Consulta: 6 de julio de 2013.

- **Distribuidor o delco**

Distribuye entre las bujías de todos los cilindros del motor, las cargas de alto voltaje o tensión eléctrica provenientes de la bobina de encendido o ignición. El distribuidor está acoplado sincrónicamente con el cigüeñal del motor de forma tal que al rotar el contacto eléctrico que tiene en su interior, cada bujía recibe en el momento justo la carga eléctrica de alta tensión necesaria para provocar la chispa que enciende la mezcla aire-combustible, dentro de la cámara de combustión de cada pistón.

- Bomba de gasolina

Extrae la gasolina del tanque de combustible, para enviarla a los inyectores cuando se presiona el acelerador de pie de un vehículo automotor o el acelerador de mano en un motor estacionario. Desde hace muchos años atrás, se utilizan bombas mecánicas de diafragma, pero últimamente los fabricantes de motores las están sustituyendo por bombas eléctricas, que van instaladas dentro del propio tanque de la gasolina.

- Bobina de encendido o ignición

Dispositivo eléctrico perteneciente al sistema de encendido del motor, destinado a producir una carga de alto voltaje o tensión. La bobina de ignición, constituye un transformador eléctrico, que eleva por inducción electromagnética la tensión entre los 2 enrollados que contiene en su interior. El enrollado primario de baja tensión, se conecta a la batería de 12 volt, mientras que el enrollado secundario, la transforma en una corriente eléctrica de alta tensión de 15 mil o 20 mil voltios.

Esa corriente se envía al distribuidor y este a su vez, la envía a cada una de las bujías en el preciso momento que se inicia en cada cilindro el tiempo de explosión del combustible.

- Filtro de aceite

Recoge cualquier basura o impureza que pueda contener el aceite lubricante, antes de pasar al sistema de lubricación del motor.

- Bomba de aceite

Envía aceite lubricante a alta presión a los mecanismos del motor como son, por ejemplo; los cojinetes de las bielas que se fijan al cigüeñal, los aros de los pistones, el árbol de leva y demás componentes móviles auxiliares, asegurando que todos reciban la lubricación adecuada para que se puedan mover con suavidad.

- Aceite lubricante

Su función principal, es la de lubricar todas las partes móviles del motor, con el fin de disminuir el rozamiento y la fricción entre ellas. De esa forma se evita el excesivo desgaste de las piezas, teniendo en cuenta que en las diferentes etapas de rotación el cigüeñal puede llegar a superar las 6 000 revoluciones por minuto.

Como función complementaria, el aceite lubricante ayuda también a refrescar los pistones y los cojinetes, así como mantenerlos limpios. Otra de las funciones del lubricante, es ayudar a amortiguar los ruidos que produce el motor cuando está funcionando.

El aceite lubricante se consume y desgasta en un mínimo porcentaje, también con el tiempo se va ensuciando y sus aditivos van perdiendo eficacia, hasta tal punto que pasado un tiempo dejan de cumplir su misión de lubricar. Por ese motivo, periódicamente el aceite se debe cambiar por otro limpio del mismo grado de viscosidad, recomendada por el fabricante del motor. Este cambio se realiza normalmente de acuerdo con el tiempo que estipule el propio fabricante, para que así los aditivos vuelvan a ser efectivos y puedan cumplir

su misión de lubricar. Un tercio del contenido de los aceites son aditivos, cuyas propiedades especiales proporcionan una lubricación adecuada.

- Toma de aceite

Punto desde donde la bomba de aceite succiona el aceite lubricante depositado en el cárter.

- Cables de alta tensión de las bujías

Son los cables que conducen la carga de alta tensión o voltaje, desde el distribuidor hasta cada bujía para que la chispa se produzca en el momento adecuado.

- Bujía

Electrodo recubierto con un material aislante de cerámica. En su extremo superior se conecta uno de los cables de alta tensión o voltaje, procedentes del distribuidor, por donde recibe una carga eléctrica de entre 15 000 y 20 000 volt aproximadamente. En el otro extremo, la bujía posee una rosca metálica para ajustarla en la culata y un electrodo que queda situado dentro de la cámara de combustión.

La función de la bujía es hacer saltar en el electrodo una chispa eléctrica dentro de la cámara de combustión del cilindro, cuando recibe la carga de alta tensión procedente de la bobina de ignición y del distribuidor. En el momento justo, la chispa provoca la explosión de la mezcla aire-combustible que pone en movimiento a los pistones. Cada motor requiere una bujía por cada cilindro que contenga su bloque.

- Balancín

En los motores del tipo *Over Head Valves* – Válvulas en la culata (OVH), el balancín constituye un mecanismo semejante a una palanca que báscula sobre un punto fijo, que en el caso del motor se halla situado normalmente encima de la culata.

La función del balancín es empujar hacia abajo las válvulas de admisión y escape, para obligarlas a que se abran. El balancín, a su vez, es accionado por una varilla de empuje movida por el árbol de levas. El movimiento alternativo o de vaivén de los balancines, está perfectamente sincronizado con los tiempos del motor.

- Muelle de válvula

Muelle encargado de mantener normalmente cerradas las válvulas de admisión y escape. Cuando el balancín empuja una de esas válvulas para abrirla, el muelle que posee cada una, las obliga a regresar de nuevo a su posición normal de cerrada a partir del momento que cesa la acción de empuje de los balancines

- Válvula de escape

Pieza metálica en forma de clavo grande con una gran cabeza, cuya misión es permitir la expulsión al medio ambiente de los gases de escape que se generan dentro del cilindro del motor, después que se quema la mezcla aire-combustible durante el tiempo de explosión.

Normalmente los motores poseen una sola válvula de escape por cilindro; sin embargo, en la actualidad algunos motores modernos pueden tener más de una por cada cilindro.

- Válvula de admisión

Válvula idéntica a la de escape, que normalmente se encuentra junto a aquella. Se abre en el momento adecuado para permitir que la mezcla aire-combustible procedente del inyector, penetre en la cámara de combustión del motor, para que se efectúe el tiempo de admisión.

Hay motores que poseen una sola válvula de admisión por cilindro; sin embargo, los más modernos pueden tener más de una por cada cilindro.

- Múltiple o lumbrera de admisión

Vía o conducto por donde le llega a la cámara de combustión del motor la mezcla de aire-combustible, procedente del carburador para dar inicio al tiempo de admisión.

- Cámara de combustión

Espacio dentro del cilindro entre la culata y la parte superior o cabeza del pistón, donde se efectúa la combustión de la mezcla aire-combustible que llega del carburador. La capacidad de la cámara de combustión, se mide en cm^3 y aumenta o disminuye con el movimiento alternativo del pistón. Cuando el pistón se encuentra en el Punto Muerto Superior (PMS) el volumen es el mínimo, mientras que cuando se encuentra en el Punto Muerto Inferior (PMI) el volumen es el máximo.

- Varilla empujadora

Varilla metálica encargada de mover los balancines en un motor del tipo *Over Head Valves* – Válvulas en la culata (OHV). La varilla empujadora sigue siempre el movimiento alternativo que le imparte el árbol de levas.

- Árbol de levas

Eje parecido al cigüeñal, pero de un diámetro mucho menor, compuesto por tantas levas como válvulas de admisión y escape tenga el motor. Encima de cada leva, se apoya una varilla empujadora metálica, cuyo movimiento alternativo se transmite a los balancines que abren y cierran las válvulas de admisión o las de escape.

El árbol de levas se encuentra sincronizado de forma tal que efectúa medio giro por cada giro completo del cigüeñal. Los motores *Over Head Valves* – Válvulas en la culata (OHV) tienen un solo árbol de levas, mientras que los *Dual Over Head Valves* – Válvulas dobles en la culata (DOHV) tienen 2 árboles de levas perfectamente sincronizados, por medio de 2 engranes accionados por el cigüeñal.

En los motores DOHV, los árboles de levas están colocados encima de la culata y actúan directamente sobre las válvulas sin necesidad de incluir ningún otro mecanismo intermediario, como las varillas de empuje y los balancines que requieren los motores OHV.

- Anillos del pistón

Los aros son unos segmentos de acero que se alojan en unas ranuras que posee el pistón. Los hay de 2 tipos, de compresión o fuego y rascador de aceite. Las funciones de los aros son las siguientes:

- De compresión o fuego
 - Sella la cámara de combustión para que durante el tiempo de compresión, la mezcla aire-combustible no pase al interior del cárter; tampoco permite que los gases de escape pasen al cárter una vez efectuada la explosión.
 - Ayuda a traspasar a los cilindros, parte del calor que libera el pistón durante todo el tiempo que se mantiene funcionando el motor.
 - Ofrece cierta amortiguación entre el pistón y el cilindro cuando el motor se encuentra en marcha.
 - Bombea el aceite para lubricar el cilindro.
- Rascador de aceite
 - Permite que cierta cantidad de lubricante pase hacia la parte superior del cilindro y barre el sobrante o el que se adhiere por salpicadura en la parte inferior del propio cilindro, devolviéndolo al cárter por gravedad.

Normalmente cada pistón posee 3 ranuras para alojar los aros. Las 2 primeras, la ocupan los 2 aros de compresión o fuego, mientras que la última la ocupa un aro rascador de aceite. Los aros de compresión son lisos, mientras que el aro rascador de aceite, posee pequeñas aberturas a todo su alrededor para facilitar la distribución pareja del lubricante en la superficie del cilindro o camisa por donde se desplaza el pistón.

- Pistón

El pistón constituye una especie de cubo invertido, de aluminio fundido en la mayoría de los casos, vaciado interiormente. En su parte externa posee 3 ranuras donde se insertan los aros de compresión y el aro rascador de aceite.

Más abajo de la zona donde se colocan los aros, existen 2 agujeros enfrentados uno contra el otro, que sirven para atravesar y fijar el bulón que articula el pistón con la biela.

- Estructura del pistón
 - Cabeza
 - Aros de compresión o de fuego
 - Bulón
 - Biela
 - Cojinetes
 - Aro rascador de aceite

Figura 9. **Pistón**



Fuente: www.asifunciona.com. Consulta: 6 de julio de 2013

- **Biela**

Es una pieza metálica de forma alargada, que une el pistón con el cigüeñal para convertir el movimiento lineal y alternativo del primero, en movimiento giratorio en el segundo.

La biela tiene en cada uno de sus extremos un punto de rotación, uno para soportar el bulón que la une con el pistón y otro para los cojinetes que la articula con el cigüeñal. Las bielas pueden tener un conducto interno que sirve para hacer llegar a presión el aceite lubricante al pistón.

- **Bulón**

Es una pieza de acero que articula la biela con el pistón. Es la pieza que más esfuerzo tiene que soportar dentro del motor.

- Cigüeñal

Constituye un eje con manivelas, con 2 o más puntos que se apoyan en una bancada integrada en la parte superior del cárter y que queda cubierto después por el propio bloque del motor, lo que le permite poder girar con suavidad. La manivela o las manivelas (cuando existe más de un cilindro) que posee el cigüeñal, giran de forma excéntrica con respecto al eje. En cada una de las manivelas se fijan los cojinetes de las bielas que le transmiten al cigüeñal la fuerza que desarrollan los pistones durante el tiempo de explosión.

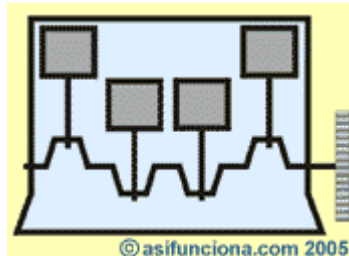
Figura 10. **Cigüeñal y árbol de levas**



Fuente: www.asifunciona.com. Consulta: 7 de julio de 2013.

En la siguiente Ilustración esquemática se puede apreciar la forma en que los pistones transforman el movimiento rectilíneo alternativo que producen las explosiones en la cámara de combustión, en movimiento giratorio en el cigüeñal.

Figura 11. **Cámara de combustión**



Fuente: www.asifunciona.com. Consulta: 7 de julio de 2013.

- **Múltiple de escape**

Conducto por donde se liberan a la atmósfera los gases de escape producidos por la combustión. Normalmente al múltiple de escape, se le conecta un tubo con un silenciador, su función es amortiguar el ruido que producen las explosiones dentro del motor. Dentro del silenciador, los gases pasan por un catalizador, con el objetivo de disminuir su nocividad antes que salgan al medio ambiente y de esta manera reducir la contaminación ambiental.

- **Refrigeración del motor**

Sólo entre el 20 y el 30 por ciento de la energía liberada por el combustible durante el tiempo de explosión en un motor se convierte en energía útil; el otro 70 u 80 por ciento restante de la energía liberada se pierde en forma de calor.

Las paredes interiores del cilindro o camisa de un motor, pueden llegar a alcanzar temperaturas aproximadas a los 800 grados Celsius. Por tanto, todos

los motores requieren un sistema de refrigeración que le ayude a disipar ese excedente de calor.

Entre los métodos de enfriamiento más comúnmente utilizados, se encuentra el propio aire del medio ambiente o el tiro de aire forzado que se obtiene con la ayuda de un ventilador. Esos métodos de enfriamiento se emplean solamente en motores que desarrollan poca potencia como las motocicletas y vehículos pequeños. Para motores de mayor tamaño, el sistema de refrigeración más ampliamente empleado y sobre todo el más eficaz, es el hacer circular agua a presión por el interior del bloque y la culata.

Para extraer a su vez el calor del agua una vez que ha recorrido el interior del motor, se emplea un radiador externo compuesto por tubos y aletas de enfriamiento. Cuando el agua recorre los tubos del radiador, transfiere el calor al medio ambiente, ayudado por el aire natural que atraviesa los tubos y el tiro de aire de un ventilador que lo fuerza a pasar a través de esos tubos.

En los vehículos antiguos, las aspas del ventilador del radiador y la bomba que ponía en circulación el agua, se movían juntamente con el cigüeñal del motor por medio de una correa de goma, pero en la actualidad se emplean ventiladores con motores eléctricos, que se ponen en funcionamiento automáticamente cuando un termostato que mide los grados de temperatura del agua dentro del sistema de enfriamiento, se lo indica. El radiador extrae el calor del agua hasta hacer bajar su temperatura a unos 80 o 90 grados Celsius, para que el ciclo de enfriamiento del motor pueda continuar.

En los vehículos modernos, el sistema de enfriamiento está constituido por un circuito cerrado, en el que existe una cámara de expansión, donde el vapor del agua caliente que sale del motor se enfría y condensa. Esta cámara

de expansión sirve también de depósito para poder mantener la circulación del agua fresca por el interior del motor.

En invierno, en aquellos lugares donde la temperatura ambiente desciende por debajo de 0 grados Celsius (32 °F), es necesario añadir al agua de enfriamiento del motor, sustancias anticongelante para evitar su congelación, ya que por el efecto de expansión que sufre esta al congelarse puede llegar a romper los tubos del sistema, o dejar de circular, lo que daría lugar a que el motor se fundiera.

- Varilla medidora del nivel de aceite

Es una varilla metálica que se encuentra introducida normalmente en un tubo que entra en el cárter y sirve para medir el nivel del aceite lubricante, existente dentro del mismo. Esta varilla tiene una marca superior con la abreviatura Max para indicar el nivel máximo de aceite y otra marca inferior con la abreviatura Min para indicar el nivel mínimo. Es recomendable vigilar periódicamente que el nivel del aceite no este nunca por debajo del mínimo, porque la falta de aceite puede llegar a ocasionar daños y fundir el motor.

- Motor de arranque

Constituye un motor eléctrico especial, que a pesar de su pequeño tamaño, comparado con el tamaño del motor térmico que debe mover, desarrolla momentáneamente una gran potencia para poder ponerlo en marcha.

El motor de arranque posee un mecanismo interno con un engrane denominado bendix, que entra en función cuando el conductor acciona el

interruptor de encendido del motor con la llave de arranque. Esa acción provoca que una palanca acoplada a un electroimán impulse dicho engrane hacia delante, coincidiendo con un extremo del eje del motor, y se acople momentáneamente con la rueda dentada del volante, obligándola también a girar. Esta acción provoca que los pistones del motor comiencen a moverse, el inyector de gasolina, y el sistema eléctrico de ignición se pongan funcionamiento y el motor arranque.

Una vez que el motor arranca y dejar el conductor de accionar la llave en el interruptor de encendido, el motor de arranque deja de recibir corriente y el electroimán recoge de nuevo el piñón del bendix, que libera el volante. De no ocurrir así, el motor de arranque se destruiría al incrementar el volante las revoluciones por minuto, una vez que el motor de gasolina arranca.

- Volante

En un motor de gasolina de 4 tiempos, el cigüeñal gira solamente media vuelta por cada explosión que se produce en la cámara de combustión de cada pistón; es decir, que por cada explosión que se produce en un cilindro, el cigüeñal debe completar por su propio impulso una vuelta y media más, correspondiente a los 3 tiempos restantes. Por tanto, mientras en uno de los tiempos de explosión el pistón entrega energía útil, en los 3 tiempos restantes se consume energía para que el cigüeñal se pueda mantener girando por inercia.

Esa situación obliga a que parte de la energía que se produce en cada tiempo de explosión, sea necesario acumularla de alguna forma para mantener girando el cigüeñal durante los 3 tiempos siguientes sin que pierda impulso. De esa función se encarga una masa metálica denominada volante de inercia, es

decir, una rueda metálica dentada, situada al final del eje del cigüeñal, que absorbe o acumula parte de la energía cinética que se produce durante el tiempo de explosión y la devuelve después al cigüeñal para mantenerlo girando.

Cuando el motor de gasolina está parado, el volante también contribuye a que se pueda poner en marcha, pues tiene acoplado un motor eléctrico de arranque que al ser accionado obliga a que el volante se mueva y el motor de gasolina arranque. En el caso de los vehículos automotores, la rueda del volante está acoplada también al sistema de embrague con el fin de transmitir el movimiento del cigüeñal al mecanismo diferencial que mueve las ruedas del vehículo.

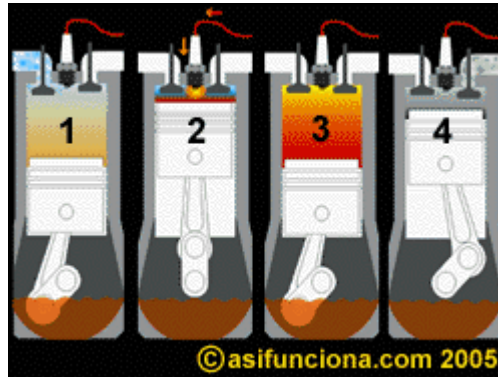
3.2.3. Tipos de motores de combustión interna

Los motores de combustión interna pueden ser de 2 tiempos, o de 4 tiempos, siendo los motores de gasolina de 4 tiempos los más comúnmente utilizados en los automóviles y para muchas otras funciones en las que se emplean como motor estacionario.

Una vez se conocen las partes, piezas y dispositivos que conforman un motor de combustión interna, se explica cómo funciona un motor típico de gasolina. Como el funcionamiento es igual para todos los cilindros que contiene el motor, se toma como referencia uno sólo, para ver qué ocurre en su interior:

- Admisión (1)
- Compresión (2)
- Explosión (3)
- Escape (4)

Figura 12. **Ciclos de tiempos de un motor de combustión interna**



Fuente: www.asifunciona.com. Consulta: 7 de julio de 2013.

3.2.3.1. Funcionamiento del motor de combustión interna de cuatro tiempos

A continuación se muestran los 4 tiempos del motor de combustión interna; admisión, compresión, explosión y escape se brinda una breve explicación sobre cada uno de ellos.

3.2.3.1.1. Primer tiempo (admisión)

Al inicio de este tiempo el pistón se encuentra en el Punto Muerto Superior (PMS). En este momento la válvula de admisión se encuentra abierta y el pistón, en su carrera o movimiento hacia abajo va creando un vacío dentro de la cámara de combustión a medida que alcanza el Punto Muerto Inferior (PMI), ya sea ayudado por el motor de arranque cuando se pone en marcha el motor, o debido al propio movimiento que por inercia le proporciona el volante una vez que ya se encuentra funcionando.

El vacío que crea el pistón en este tiempo, provoca que la mezcla aire-combustible que envía el carburador al múltiple de admisión, penetre en la cámara de combustión del cilindro a través de la válvula de admisión abierta.

3.2.3.1.2. Segundo tiempo (compresión)

Una vez que el pistón alcanza el Punto Muerto Inferior (PMI), el árbol de leva, que gira sincrónicamente con el cigüeñal y que ha mantenido abierta hasta este momento la válvula de admisión para permitir que la mezcla aire-combustible penetre en el cilindro, la cierra. En ese preciso momento, el pistón comienza a subir comprimiendo la mezcla de aire y gasolina que se encuentra dentro del cilindro.

3.2.3.1.3. Tercer tiempo (explosión)

Una vez que el cilindro alcanza el Punto Muerto Superior (PMS) y la mezcla aire-combustible ha alcanzado el máximo de compresión, salta una chispa eléctrica en el electrodo de la bujía, que inflama dicha mezcla y hace que explote. La fuerza de la explosión obliga al pistón a bajar bruscamente y ese movimiento rectilíneo se transmite por medio de la biela al cigüeñal, donde se convierte en movimiento giratorio y trabajo útil.

3.2.3.1.4. Cuarto tiempo (escape)

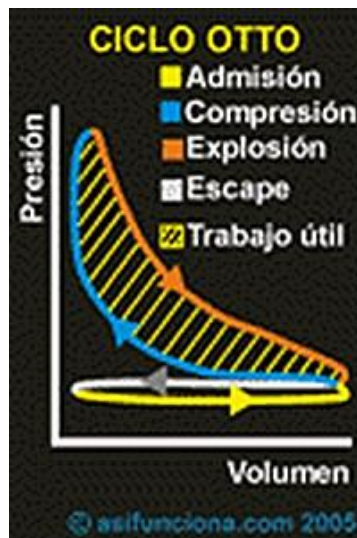
El pistón, que se encuentra ahora de nuevo en el PMI después de ocurrido el tiempo de explosión, comienza a subir. El árbol de leva, que se mantiene girando sincrónicamente con el cigüeñal, abre en ese momento la válvula de escape y los gases acumulados dentro del cilindro, producidos por la

explosión, son arrastrados por el movimiento hacia arriba del pistón, atraviesan la válvula de escape y salen hacia la atmósfera por un tubo conectado al múltiple de escape. De esta forma se completan los 4 tiempos del motor, que continuarán efectuándose ininterrumpidamente en cada uno de los cilindros, hasta tanto se detenga el funcionamiento del motor.

3.2.3.2. Ciclo Otto

El motor de gasolina de 4 tiempos, se conoce también como motor de ciclo Otto, denominación que proviene del nombre de su inventor, el alemán Nikolaus August Otto (1832-1891). El ciclo de trabajo de un motor Otto de 4 tiempos, se puede representar gráficamente, tal como aparece en la siguiente figura.

Figura 13. Ciclo Otto



Fuente: www.asifunciona.com. Consulta: 7 de julio de 2013.

- La línea amarilla representa el tiempo de admisión. El volumen del cilindro conteniendo la mezcla aire-combustible aumenta, no así la presión.
- La línea azul representa el tiempo de compresión. La válvula de admisión que ha permanecido abierta, durante el tiempo anterior se cierra y la mezcla aire-combustible se comienza a comprimir. Como se puede ver en este tiempo, el volumen del cilindro se va reduciendo a medida que el pistón se desplaza. Cuando alcanza el Punto Muerto Superior (PMS) la presión dentro del cilindro ha subido al máximo.
- La línea naranja representa el tiempo de explosión, momento en que el pistón se encuentra en el PMS. Como se puede apreciar, al inicio de la explosión del combustible la presión es máxima y el volumen del cilindro mínimo, pero una vez que el pistón se desplaza hacia el Punto Muerto Inferior (PMI) transmitiendo toda su fuerza al cigüeñal, la presión disminuye mientras el volumen del cilindro aumenta.
- Por último la línea gris clara, representa el tiempo de escape. Como se puede apreciar, durante este tiempo, el volumen del cilindro disminuye a medida que el pistón arrastra hacia el exterior los gases de escape sin aumento de presión, es decir, a presión normal, hasta alcanzar el PMS.

El sombreado de líneas amarillas dentro del gráfico, representa el trabajo útil desarrollado por el motor.

3.2.4. Causas que impiden el buen funcionamiento de un motor de gasolina

Las causas para que el motor de gasolina falle o no funcione correctamente, pueden ser muchas. No obstante la mayoría de los problemas que puede presentar un motor de gasolina, se deben principalmente a defectos eléctricos, de combustible o de compresión. A continuación se mencionan algunos de los fallos más comunes:

3.2.4.1. Defectos eléctricos

A continuación se detallaran los defectos eléctricos de un MCI, los cuales afectan significativamente el buen funcionamiento del mismo, la mayoría de los defectos están centralizados en el deterioro de algunos componentes:

- Bujía demasiado vieja o con mucho carbón acumulado.
- Cables deteriorados que producen salto de chispa y, por tanto, pérdidas de la corriente de alto voltaje.
- Cable partido o flojo en la bobina de ignición, el distribuidor, las bujías o en el sistema electrónico de encendido.
- La bobina de ignición, el ruptor o el distribuidor que envía la chispa a la bujía no funciona adecuadamente.
- Distribuidor desfasado o mal sincronizado con respecto al ciclo de explosión correspondiente, lo que produce que la chispa en la bujía se atrase o adelante con relación al momento en que se debe producir.

- Batería descargada, por lo que el motor de arranque no funciona.
- Cables flojos en los bornes de la batería.

3.2.4.2. Fallos de combustible

Muchas de las fallas importantes en un MCI son a causa de distintos y diferentes problemas en el combustible que utilizan, a continuación se detallan las fallas más importantes:

- No hay combustible en el tanque, por lo que el motor trata de arrancar utilizando solamente aire sin lograrlo.
- Hay gasolina en el tanque, en los inyectores, pero la toma de aire se encuentra obstruida, impidiendo que la mezcla aire-combustible se realice adecuadamente.
- El sistema de combustible puede estar entregando muy poca o demasiada gasolina, por lo que la proporción de la mezcla aire-combustible no se efectúa adecuadamente.
- Hay impurezas en el tanque de gasolina como por ejemplo, agua o basuras, que se mezclan con el combustible.

3.2.4.3. Fallos de compresión

Cuando la mezcla de aire-combustible no se puede comprimir de forma apropiada, la combustión no se efectúa correctamente dentro del cilindro

produciendo fallos en el funcionamiento del motor. Estas deficiencias pueden estar ocasionadas por:

- Aros de compresión o fuego del pistón gastados, por lo que la compresión de la mezcla aire-combustible no se efectúa convenientemente y el motor pierde fuerza.
- Las válvulas de admisión o las de escape, no cierran herméticamente en su asiento, provocando escape de la mezcla aire-combustible durante el tiempo de compresión.
- Escapes de compresión y de los gases de combustión por la culata, debido a que la junta de culata, que la sella herméticamente con el bloque del motor, se encuentra deteriorada.

Otros defectos que pueden ocasionar el mal funcionamiento del motor de gasolina son los siguientes:

- Cojinetes de las bielas desgastados, impidiendo que el cigüeñal gire adecuadamente.
- Tubo de escape obstruido.
- Falta de lubricante en el cárter, lo que impide que el pistón se pueda desplazar suavemente por el cilindro, llegando incluso a gripar o fundir el motor.

3.3. Origen de los contaminantes

El 95 por ciento de los requerimientos de energía a nivel global, es satisfecho por combustibles fósiles en la forma de carbón, petróleo y gas natural. Actualmente no se discute el hecho de que son el factor que más contribuye a la contaminación ambiental.

Se pueden identificar 3 fuentes principales: las estacionarias (incineradores y uso doméstico), las instalaciones industriales y los medios de transporte. El tráfico de vehículos automotores contribuye al total de contaminantes producidos por el uso de combustibles fósiles en la siguiente forma:

- 40 por ciento > de los óxidos de nitrógeno.
- 50 por ciento > de los hidrocarburos no quemados.
- 90 por ciento del monóxido de carbono.
- 90 por ciento del plomo.

Estas no son más que aproximaciones. Si bien es difícil establecer en forma confiable, cuál es la demanda y el uso de las fuentes primarias de energía, es aún más difícil efectuar un cálculo preciso de la cantidad y el origen de los contaminantes. Esto se debe a la diversidad de equipos usados, los diferentes grados de tecnología y los diferentes modos de operación.

3.4. Contaminantes producidos por vehículos automotores y sus efectos en la salud

Se puede definir la contaminación del aire como la presencia en la atmósfera de una o más sustancias que han sido incorporadas directa o

indirectamente por el hombre o por fuentes naturales en cantidades suficientes que puedan afectar adversamente a los animales, a la vegetación, a los materiales y al hombre mismo.

Existen 2 categorías, los contaminantes primarios que son emitidos directamente al aire y los contaminantes secundarios que son sustancias que se forman por la reacción en el ambiente de los contaminantes primarios.

Generalmente estas reacciones requieren energía solar y son llamadas fotoquímicas. El mejor ejemplo es el ozono. Los principales contaminantes producidos por los vehículos automotores y sus efectos en la salud son:

- Dióxido de carbono (CO₂)

El dióxido de carbono, es producto de la combustión perfecta de un combustible de hidrocarburo. Es uno de los componentes de los gases del escape de los automóviles. No es venenoso; se deposita en el suelo y desplaza al aire; imposibilita la respiración y apaga la llama. También es producido al respirar.

- Monóxido de carbono (CO)

Entre los productos de la combustión incompleta, se tiene el monóxido de carbono, que es muy peligroso en áreas mal ventiladas. Es incoloro, inodoro y no es irritante, lo cual lo hace doblemente peligroso. Reduce la capacidad de la sangre de transportar oxígeno. En niveles bajos, produce dolor de cabeza. En concentraciones mayores produce náusea, fatiga, deterioro del juicio, desmayos y colapsos. Una exposición severa puede tener secuelas tales como desórdenes neuropsiquiátricos.

Los hidrocarburos son producto de la combustión incompleta de combustibles. Están constituidos por diferentes combinaciones de hidrógeno y carbono. Los hidrocarburos activos, tales como las definas y los aromáticos, reaccionan con la luz del sol y producen ozono, el cual da lugar a la formación de *smog*.

Los hidrocarburos no quemados, son la causa del mal olor de los gases de escape. Irritan los revestimientos de los órganos respiratorios y fomentan el cáncer.

Existen motores que usan gas metano como combustible. Una alta proporción de las emisiones de hidrocarburos que emiten, consiste en metano sin quemar. Este gas tiene muy baja reactividad, por lo que casi no contribuye a la formación de *smog*. Es por esto que en algunas mediciones se descuenta la parte de metano del total de hidrocarburos medidos; de esta forma se tienen hidrocarburos totales e hidrocarburos no metanos. En inglés se identifican con las siglas THC y NMHC respectivamente.

- Óxidos de nitrógeno (NO_x)

Los óxidos de nitrógeno u óxidos azoicos, son productos secundarios de la combustión. El aire que provee el oxígeno necesario para la combustión, también provee nitrógeno. Una pequeña cantidad del nitrógeno reacciona con el oxígeno en la cámara de combustión para formar diferentes óxidos de nitrógeno, tales como NO , NO_2 , N_2O_3 . Por conveniencia se les llama NO_x . Mientras más alta es la temperatura de combustión, la formación de NO_x es mayor. Los óxidos de nitrógeno irritan los ojos, nariz y garganta; causan tos, dolores de cabeza y dañan los pulmones. Contribuyen a formar el *smog* fotoquímico.

- *Smog* fotoquímico (oxidantes)

Los hidrocarburos no quemados y especialmente los óxidos de nitrógeno concentrados en la atmósfera, chocan con los rayos del sol dando lugar a que ocurra una reacción fotoquímica que produce compuestos llamados oxidantes.

Entre ellos esta el ozono que se manifiesta en forma de niebla espesa, parecida al humo y se observa desde los puntos altos de las grandes urbes. El fenómeno es conocido como *smog* fotoquímico. Obstruye la visión, irrita los ojos y el sistema respiratorio; es causa de cáncer; su inhalación en grados severos puede producir edema pulmonar.

- Ácido sulfuroso (H_2SO_3)

El azufre también forma parte de los carburantes como componente del petróleo. Al quemarlo en el motor se produce un gas incoloro de olor picante llamado dióxido de azufre (SO_2), que se disuelve en agua y produce ácido sulfuroso (H_2SO_3). Provoca corrosión y lluvia ácida, la cual puede dañar objetos expuestos al ambiente, tales como monumentos y vehículos. Es causa de inflamación en la garganta e irritación de las membranas del sistema respiratorio.

- Plomo (Pb)

El plomo (Pb) proviene de los aditivos de tetraetilo y tetrametilo de plomo que se añaden a la gasolina como antidetonantes. Al ser quemados en el escape producen óxidos y haluros de plomo.

El plomo es un contaminante altamente tóxico para el ser humano. Es acumulativo en el cuerpo, lo cual lo hace muy peligroso aún ingerido o inhalado en pequeñas cantidades. Tiene capacidad de atravesar la placenta, afecta prácticamente todos los órganos del cuerpo humano. Los niños son los más afectados, ya que su cerebro y su sistema nervioso se encuentran en desarrollo. Aún en bajos niveles puede causar desórdenes en el comportamiento, tales como irritabilidad, intranquilidad y agresividad, principalmente en los niños.

Puede reducir el nivel de cociente intelectual, afectar la memoria, las reacciones y la habilidad para concentrarse. Los síntomas de intoxicación incluyen dolores abdominales, debilidad muscular y fatiga.

Exposiciones severas pueden causar encefalitis, desórdenes en el sistema nervioso, anemia, presión sanguínea alta e inclusive la muerte. La intoxicación severa también ha sido asociada con esterilidad, abortos y muertes neonatales.

Sin embargo, los argumentos más fuertes para eliminar el plomo de la gasolina provienen del hecho de que inhibe por completo la acción de los catalizadores, que hoy en día son la única forma de controlar al mismo tiempo el resto de los contaminantes de la gasolina.

- Dioxine y furane

El plomo tiende a formar depósitos. La gasolina con plomo contiene un aditivo limpiador llamado *scavenger* que tiene por objeto eliminar estos depósitos. En el proceso de la combustión este aditivo produce dioxine y furane; estos compuestos son altamente tóxicos y producen cáncer.

- Partículas

Están formadas principalmente por el hollín o humo negro. Se les llama material particulado suspendido, porque flotan en el aire. En inglés se les identifica con las siglas TSP. Las partículas pequeñas con un diámetro menor de 10 micrones, son llamadas PM10.

Las partículas pueden causar bronquitis, afectar la respiración y aumentar la susceptibilidad al asma y al resfriado común. Son más dañinas para la salud cuando se combinan en la atmósfera con anhídrido sulfuroso.

Resumiendo, los principales contaminantes de la gasolina son hidrocarburos no quemados (HC), monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrógeno (NO_x) y plomo (Pb). A diferencia de la gasolina, el diesel no tiene plomo pero a cambio produce partículas. Los principales contaminantes del diesel son HC, CO, NO_x y hollín.

- El diesel

Los motores diesel producen menos hidrocarburos (HC) y monóxido de carbono (CO) que los motores de gasolina. Esto se debe a que para funcionar utilizan una mezcla de combustible más pobre. Sin embargo, en estos motores, los óxidos de nitrógeno (NO_x) son más difíciles de controlar.

El desarrollo de dispositivos para controlar las emisiones de los motores diesel, siempre ha sido difícil. Para controlar los NO_x, se utiliza una válvula de recirculación de gases que tiene el inconveniente que produce humo negro. Se ha ensayado con trampas de hollín en el tubo de escape, pero se obstruyen demasiado rápido. El uso de catalizadores se ha hecho difícil porque el humo

los tapa. No fue sino hasta hace pocos años que se desarrollaron sistemas de inyección electrónica de diesel, que permiten el uso de catalizadores, pero su uso aún no se ha difundido.

Los problemas de calidad del diesel, generalmente son presencia de agua, alto contenido de azufre y bajo cetanaje. El cetanaje del diesel equivale al octanaje de la gasolina.

La contaminación de agua en el diesel, puede ser controlada instalando una trampa que la atrapa antes de que llegue a la bomba de inyección, en donde luego se saca del sistema por medio de un drenaje. En la actualidad se está difundiendo el uso de diesel con bajo contenido de azufre, el cual produce menos emisiones de hollín. Se aconseja usar diesel con un contenido máximo de 0,2 por ciento de azufre.

El diesel con un número de cetano pobre, es causa de encendido pobre y de producción de humo negro. Para motores pequeños en general se recomienda un número de cetano 45 o mayor, aunque lo mejor es consultar la recomendación del fabricante.

Otro factor que contribuye aunque en forma indirecta a las emisiones de partículas en motores diesel, es la selección del lubricante. Para contrarrestar el efecto del contenido de azufre, se hace un tratamiento químico al aceite, son básicos, el cual se especifica cómo Numero de Base Total (*Total Base Number*). Como regla de dedo, el número de TBN debe ser 20 veces más que el contenido de azufre. Por ejemplo, si el contenido de azufre es 0,5 por ciento se multiplica esta cifra por 20 y el resultado es 10. En otras palabras, para diesel con 0,5 por ciento de azufre se debe usar aceite con 10 TBN.

El uso de aceite con TBN excesivo, propicia la formación de depósitos de ceniza sulfatada que hacen que si peguen los anillos del motor. Esto causa consumo de aceite y por supuesto mayores emisiones. El número de ceniza (*ash content*) del aceite, también debe ser considerado. Este último no debe ser mayor de 0,10 o bien lo que especifique el fabricante. Mientras menor sea este número, es mejor para el motor.

Algunos países han hecho leyes que obligan a los autobuses urbanos diesel a poner una extensión al tubo de escape, para que el humo salga a nivel del techo. Con esta medida no se está logrando nada positivo, ya que el volumen y la calidad de las emisiones sigue siendo la misma. Pero sí puede causar un problema.

Cada tubo de escape específico, está diseñado para un motor específico. Al alargar el escape más allá de lo especificado, se forma una presión reversa que eventualmente daña las válvulas del motor, provocando pérdida de fuerza y aumento de las emisiones.

Mientras se difunden los nuevos sistemas de control de emisiones de diesel, se debe buscar soluciones locales efectivas que ayuden a reducir las emisiones. Se han identificado 3 áreas en las cuales se cree que con un poco de buena voluntad, se pueden lograr buenos resultados:

- Administración: los dueños de flotillas deben tener programas de mantenimiento, historiales de servicio para cada unidad y unidades de reserva para sustituir a aquéllas que envían al taller.
- Mantenimiento: se recomienda limpiar constantemente el filtro de aire y cambiarlo cuando sea necesario. Si el mantenimiento

normal no reduce las emisiones, se deben revisar los inyectores y la bomba de inyección, así como verificar la compresión del motor para establecer si necesita una reparación completa.

- Evitar las malas costumbres: muchas personas tienen la costumbre de enriquecer la mezcla de combustible moviendo el ajuste exterior de la bomba de inyección para lograr más potencia. Esto produce más consumo de combustible y más humo negro. También se debe evitar sobrecargar el vehículo. Manejar con el acelerador a fondo produce más humo negro.

3.5. Contaminación de los motores diesel versus motores de gasolina

Los motores diesel tienen más eficiencia energética que los de gasolina. Por potencia de máquina, emiten menos contaminantes. Comparando motores ajustados de tecnologías similares, el humo negro de los motores diesel, es menos contaminante que el humo invisible de los motores de gasolina.

Por ejemplo, un motor diesel ajustado con bomba mecánica de inyección de combustible, contamina menos que un motor de gasolina ajustado con carburador y que no este equipado con catalizador. Siguiendo en la misma línea, un motor diesel ajustado con bomba electrónica de inyección de combustible y con catalizador, es más limpio que un motor de gasolina ajustado con inyección electrónica de combustible y con catalizador.

Sin embargo, esto no funciona así en los países en desarrollo. La falta de mantenimiento hace que los motores diesel del transporte público y transporte pesado, rara vez funcionen ajustados. Esto hace que en la práctica, el diesel cause los más serios problemas ambientales.

Cuando se hacen comparaciones de contaminantes, es conveniente diferenciar entre calidad y cantidad. En Centroamérica por ejemplo, el 80 por ciento de la flota está formada por vehículos con motor de gasolina. También el 80 por ciento de la flota es de uso particular. Es por esto que en un principio se le ha puesto tanta importancia al control de los motores de gasolina.

Esto no significa que no se pueda comenzar paralelamente un programa para controlar las emisiones del diesel. El siguiente paso es controlar las industrias.

3.6. El motor de combustión interna y su impacto ambiental

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

Las discusiones internacionales acerca de las causas e implicaciones para la humanidad del llamado efecto invernadero, provocado por las crecientes emisiones a la atmósfera de gases, tales como: CO₂, metano, óxido nitroso y los cloro-fluorocarbonatos, reflejan la necesidad de un enfoque integral en el tratamiento de los problemas ambientales y del desarrollo, así como la necesidad de una acción concertada de la comunidad internacional para mitigar los efectos del calentamiento global.

En el presente trabajo, se analizan los factores que influyen sobre los niveles de toxicidad y ruido de los MCI más usados en la agricultura y se ofrecen algunas medidas que pueden tomarse para disminuir los mismos.

- Desarrollo

Formas de acción del motor de combustión interna sobre el medio ambiente. Las formas más importantes de acción del motor sobre el medio ambiente son:

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

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

Se llaman sustancias tóxicas a las que ejercen influencia nociva sobre el organismo humano y el medio ambiente. Durante el trabajo de los MCI de

émbolo se desprenden las siguientes sustancias tóxicas principales: óxidos de nitrógeno, hollín, monóxido de carbono, hidrocarburos, aldehídos, sustancias cancerígenas (bencipireno), compuestos de azufre y plomo. Además de los gases de escape de los MCI, otras fuentes de toxicidad son también los gases del cárter y la evaporación del combustible a la atmósfera. Incluso en un motor bien regulado la cantidad de componentes tóxicos que se expulsan durante su funcionamiento puede alcanzar los siguientes valores.

Tabla IV. **Compuestos emitidos al medio ambiente durante la combustión**

Componentes tóxicos	Motores Diesel	Motores de carburador
Monóxido de carbono	0,2	6
Óxidos de nitrógeno	0,35	0,45
Hidrocarburos	0,04	0,4
Dióxido de azufre	0,04	0,007
Hollín/ mg/l	0,3	0,05

Fuente: www.asifunciona.com. Consulta: 7 de julio de 2013.

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

3.6.2. Contaminación de los motores diesel

Convertidos en la bestia negra de los ecologistas (muchos de ellos con más entusiasmo que preparación técnica), los motores diesel tienen mucha menos responsabilidad en la contaminación ambiental de la que se les imputa

normalmente, lo que se puede observar al remitir a la tabla ofrecida anteriormente; aunque su contaminación se ve más por la típica emisión de humo negro formado por partículas microscópicas que no son tóxicas pero si molestas. Además, estudios realizados demuestran que los niveles de emisión de dióxido de carbono en motor diesel, son claramente más bajos que un motor de gasolina de igual potencia.

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

De acuerdo con estimaciones del Panel Intergubernamental sobre Cambios Climáticos; de mantenerse las actuales tendencias en las emisiones de gases del efecto invernadero, la temperatura media global aumentaría a un ritmo de 0,3 grados Celsius por década. Consecuentemente, se producirán incrementos en el nivel del mar que pudiera ser entre 20 y 50 centímetros para el año 2005 y de alrededor de 1 metro para el 2100.

Los métodos de reducción de la toxicidad y el humeado de los MCI pueden ser divididos en 2 grupos: los constructivos y los explotativos. Entre los métodos constructivos se puede citar: la recirculación de los gases de escape y la neutralización de los mismos. Dentro los métodos explotativos se encuentran: el estado técnico del MCI y su correcta regulación, perfeccionamiento de los procesos de formación de la mezcla y de combustión, la correcta selección de los combustibles y sus aditivos, y la utilización de los biocombustibles.

Para la neutralización de los gases de escape, desde hace años se habla de catalizadores de 3 vías, de catalizadores de oxidación, de sondas lambda o de válvulas exhaust gas recirculation (ERG).

El sensor que proporciona al sistema la capacidad de mantener la estequiometría, es el sensor o sonda lambda. Se coloca atornillada en el colector de escape, suministra a la computadora información sobre el contenido de oxígeno de los gases residuales que se escapan de los cilindros.

Esencialmente es una pila seca, ya que produce voltaje del potencial eléctrico entre 2 sustancias, en este caso, el aire ambiental y el escape; cuanto más oxígeno hay en el escape (lo cual corresponde a una condición de mezcla pobre) menor será el potencial y el voltaje producido, pero cuando hay menos oxígeno (como en una mezcla rica) mayor será el potencial y el voltaje creado.

El índice de aire y combustible estequiométrico (o sea, una relación aire a combustible por peso de 14,6:1) en los motores de encendido por chispa, asegura que todo el combustible que entra en la cámara de combustión tenga la cantidad adecuada de oxígeno para combinarse logrando un quemado completo, reduciendo de esta manera las emisiones de hidrocarburos (HC) y de monóxido de carbono (CO).

El convertidor catalítico de oxidación de doble vía, puede limpiar una gran cantidad de HC y CO después de dejar los cilindros; un contaminante más difícil de eliminar son los NO_x (óxidos de nitrógeno, un ingrediente del *esmog* fotoquímico). Si bien la EGR realiza una tarea razonablemente buena en mantener baja la formación de NO_x reduciendo las temperaturas máximas de combustión, no puede hacer lo suficiente para satisfacer los requisitos de algunos países.

El convertidor catalítico de 3 vías tiene una sección de oxidación que utiliza platino y paladio, más una sección de reducción que utiliza rodio para reducir los NO_x a nitrógeno y oxígeno inocuos, sin embargo esta reacción de reducción sólo se puede mantener si hay una relación estequiométrica de aire y combustible.

El catalizador de 3 vías se instala en la mayoría de los vehículos modernos acompañado de la sonda Lambda, mientras que en los motores diesel para tractores y autos pesados el más empleado es el catalizador de oxidación.

4. MARCO EXPERIMENTAL

4.1. Variables

Se analizarán las partículas totales en suspensión en su fracción $PM_{2.5}$, las cuales son todas aquellas partículas sólidas o líquidas dispersas en el aire con un diámetro menor a 2,5 micrómetros. Por su fracción son menores a las de 10 micrones, consideradas como partículas finas. Por lo regular se conforman por polvo, cenizas, hollín, partículas metálicas, cemento y polen.

Se originan principalmente en los procesos mecánicos, como obras de construcción, resuspensión de polvo de caminos y vientos, y estas principalmente de fuentes de combustión. Naturalmente se producen por erosión, erupciones volcánicas o incendios forestales. Es probable que la composición de partículas de este rango de tamaño, varíe sustancialmente dentro de la misma ciudad, según la geografía, la meteorología y las fuentes específicas de la localidad aledaña a los puntos de muestreo.

4.2. Delimitación del campo de estudio

Para los beneficiarios del proyecto, conocer los resultados del mismo representará un fortalecimiento cultural, quienes a través de otros sistemas de educación ambiental, puedan basarse en los resultados obtenidos en esta investigación y de esta forma generar o fortalecer la conciencia colectiva e individual en relación al cuidado del aire que se respira.

- Campo de estudio: motores de combustión interna, material particulado $PM_{2.5}$, contaminantes y sus efectos.
- Proceso: se utilizará el método material particulado $PM_{2.5}$ por ser un mejor indicador de la contaminación urbana, puesto que las $PM_{2.5}$ en buena medida provienen de las emisiones de los vehículos automotores en el Campus Central universitario.

Al determinar la concentración de partículas totales en suspensión en su fracción menor a 2,5 micrómetros ($PM_{2.5}$) en el Campus Central de la Universidad de San Carlos de Guatemala, en un período de 6 semanas, se puede determinar el grado de contaminación del aire, provocado principalmente por emisiones de vehículos automotores, y con esto evaluar la calidad del aire en dicha ciudad universitaria.

4.3. Metodología de muestreo

Este proyecto tiene como objetivo evaluar el impacto del parque automotor en la calidad del aire en el Campus Central de la Universidad de San Carlos de Guatemala, por medio de la determinación de partículas totales en suspensión en su fracción menor a 2,5 micrómetros ($PM_{2.5}$), información que complementará los resultados obtenidos para otros contaminantes, criterios del aire. Se establecerán 3 puntos de muestreo, que se cuentan hoy en día con seguridad y requerimientos de energía mínimos para la instalación del equipo, uno ubicado en un área de alta circulación vehicular, otro en un área de media circulación y otro en un área de baja circulación vehicular.

La medición de las partículas $PM_{2.5}$ se llevará a cabo durante 3 días, semanalmente, durante 6 semanas alternando los puntos, el punto número 1

será medido la semana 1 y la semana 4, el punto número 2 será medido la semana 2 y la semana 5 y el punto número 3 será medido la semana 3 y la semana 6 respectivamente.

Con los resultados obtenidos, se realizará una comparación con los valores guía sugeridos por la Organización Mundial de la Salud (OMS), que se refieren a valores de 24 horas de medición y el valor semanal correspondiente, con lo que se evaluará el impacto de las emisiones contaminantes del parque vehicular en la calidad del aire en el Campus Central de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

4.4. Recurso humano disponible

Este proyecto de investigación, es asesorado por el Ing. Julio César Campos Paiz, quien es consultor del Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales (MARN) de Guatemala.

- Tesista: Carlos Humberto Aroche Sandoval
- Asesor: Ing. Julio César Campos Paiz
- Otros: Laboratorio de Monitoreo del Aire de la Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia Universidad de San Carlos de Guatemala.

4.5. Recurso de equipo disponible

En el presente proyecto de investigación, se hizo uso de los siguientes equipos, los cuales constan con certificados de normas internacionales para garantizar los resultados, todos ellos con el fin de poder alcanzar los objetivos expuestos.

- Frm OMNI - Método de Referencia Gravimétrico
- Bomba de vacío
- filtros de teflón, diámetro 46,2 milímetros
- Cajas petri
- Estufa
- Horno
- Desecadora
- Micro balanza analítica
- Medidor de temperatura y porcentaje de humedad
- Computadora
- Vehículo
- Guantes
- Material de librería
- Pinzas

4.6. Técnica de muestreo

En el presente proyecto de investigación, se utilizó la técnica de muestreo por medio del método activo, basada principalmente en gravimetría, ya que los resultados obtenidos son de mayor confiabilidad.

4.6.1. Método activo

La mayoría de los métodos aplicados para la evaluación de la contaminación del aire por partículas en las zonas metropolitanas, se basa en la gravimetría. En lo siguiente, se sentarán las bases para la determinación de las PM_{2,5}. como regla general, se puede decir que el diseño físico de los instrumentos para la determinación de las partículas en el aire, está basado en principios aerodinámicos.

4.6.1.1. Frm Omni método de referencia gravimétrico

El Omni es un muestreador de partículas extremadamente flexible, preciso y confiable que puede emplearse para el monitoreo de PST, PM₁₀, PM_{2.5}, PM_{1.0} y plomo. Es totalmente portátil, pesa menos de 1,4 kilos y puede operar con corriente alterna, baterías o celda solar. Es ideal para muestreos perimetrales, estudios de remediación, monitoreo en localidades remotas y estudios de saturación. El Omni es un equipo que provee la misma calidad de información y resultados que un equipo de mayor tamaño, pero a una tercera parte del costo.

Figura 14. **Omni**



Fuente: www.asifunciona.com. Consulta: 3 de agosto de 2013.

4.6.1.2. Preparación del filtro

Utilizando un numerador continuo, codifique el filtro, teniendo mucho cuidado que este no se contamine, o se rompa. No se debe tocar o manipular directamente los filtros, utilizar guantes de poliestireno de baja densidad, no se les pega el polvo.

Figura 15. Filtros I



Fuente: Laboratorio de Monitoreo del Aire de la Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia, Universidad de San Carlos de Guatemala.

Figura 16. **Filtros II**



Fuente: Laboratorio de Monitoreo del Aire de la Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia, Universidad de San Carlos de Guatemala.

Después de haber permanecido 24 horas en una estufa a 28 – 30 grados Celsius, el filtro se pesa y luego se almacena nuevamente durante un mínimo de 24 horas a la temperatura antes indicada, para eliminar la humedad adquirida por efectos del ambiente. Se pesa nuevamente el filtro patrón o de referencia. El objetivo es balancear la ganancia o pérdida de humedad ambiental durante el período de muestreo.

4.6.1.2.1. Exposición del filtro

Se coloca el filtro con su porta filtros en la unidad de impacción, siguiendo la dirección del macho en la parte superior, el equipo Omni debe estar colocado en una superficie plana y estable. Se acciona el equipo dejándolo funcionar por 24 horas, anotando el tiempo inicial. Recolección del filtro y análisis.

Se anota el tiempo final de la medición de 24 horas. El filtro expuesto se retira del porta filtros con una pinza, se coloca dentro de una caja petri y se etiqueta. La caja petri con el filtro se coloca en una estufa a 28 – 30 grados Celsius o más por 24 horas, para eliminar la humedad ambiental, después se coloca en un desecador durante 30 minutos.

El filtro se pesa 3 veces, del valor promedio se resta luego el peso del filtro de referencia. Calibración del equipo el flujo Q_{real} (m^3/min).

Cálculo

Las partículas $PM_{2.5}$ en microgramos por metro cúbico $\mu g/m^3$ se calculan de la siguiente manera:

$$PM_{2.5} (\mu g/m^3) = \frac{(P \text{ final} - P \text{ inicio})}{Q \text{ real} \times t \text{ muestreo}}$$

De donde

Peso inicial (P inicio)

Peso final (P final)

Flujo Real (Q real)

Tiempo de muestreo (t muestreo) en minutos

El filtro expuesto, luego se coloca en un sobre de papel pergamino, se etiqueta y se coloca en la estufa adecuada para eliminar la humedad. Así quedan los filtros almacenados para cualquier análisis posterior.

4.7. Localización de los puntos de muestreo

Los puntos de muestreo se han localizado tomando en cuenta factores técnicos que permiten realizar un análisis representativo de la calidad del aire en ciertas áreas del Campus Central de la Universidad de San Carlos de Guatemala. Entre otros, los factores principales son el tráfico vehicular, la densidad industrial, el flujo del viento y la seguridad para colocar el equipo.

Con base en lo anterior, se han establecido 3 tipos de puntos de muestreo, uno ubicado en zona con alto tráfico vehicular, otro ubicado en una zona con medio flujo vehicular y otro ubicado en zona con bajo tráfico vehicular.

- Entrada principal Campus USAC por periférico
Parámetros medidos: $PM_{2.5}$

Figura 17. Entrada USAC por Periférico I



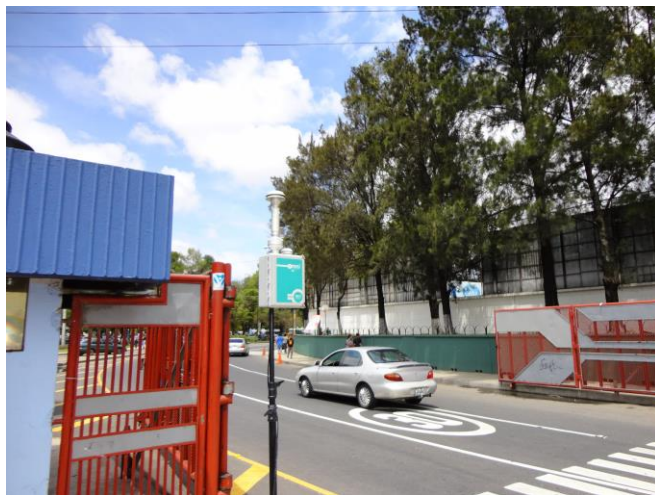
Fuente: entrada Ciudad Universitaria por Anillo Periferico.

Figura 18. **Entrada USAC por Periférico II**



Fuente: entrada Ciudad Universitaria por Anillo Periférico.

Figura 19. **Entrada USAC por Periférico III**



Fuente: entrada Ciudad Universitaria por Anillo Periférico.

- Edificio T4 Facultad de Ingeniería Campus Central, USAC
Parámetros medidos: $PM_{2.5}$

Figura 20. **Edificio T4 USAC I**



Fuente: Ciudad Universitaria, edificio T4, Facultad de Ingeniería.

Figura 21. **Edificio T4 USAC II**



Fuente: Ciudad Universitaria, edificio T4, Facultad de Ingeniería.

Figura 22. **Edificio T4 USAC III**



Fuente: Ciudad Universitaria, edificio T4, Facultad de Ingeniería.

- Escuela de Formación de Profesores de Enseñanza Media (EFPEM):
Parámetros medidos: $PM_{2.5}$

Figura 23. **EFPEM I**



Fuente: Ciudad Universitaria, modulo A, EFPEM.

Figura 24. **EFPEM II**



Fuente: Ciudad Universitaria, modulo A, EFPEM.

Figura 25. **EFPEM III**



Fuente: Ciudad Universitaria, modulo A, EFPEM.

4.7.1. Recolección de datos

Se utilizará una tabla base, en la cual se agregará cada uno de los datos obtenidos en el análisis de partículas totales en suspensión en su fracción menor a 2,5 micrómetros ($PM_{2.5}$), en la cual aparece cada una de las semanas en las que se muestreo cada punto.

Tabla V. **Formato para recolección de datos I**

	PM_{2.5} en $\mu\text{g}/\text{m}^3$					
	semana 1			semana 4		
Punto de Muestreo	1	2	3	1	2	3
Ingreso USAC Periférico						

Fuente: elaboración propia.

Tabla VI. **Formato para recolección de datos II**

	PM_{2.5} en $\mu\text{g}/\text{m}^3$					
	semana 2			semana 5		
Punto de Muestreo	1	2	3	1	2	3
Edificio T4 Fac. Ingeniería						

Fuente: elaboración propia.

Tabla VII. **Formato para recolección de datos III**

	PM_{2.5} en $\mu\text{g}/\text{m}^3$					
	semana 3			semana 6		
Punto de Muestreo	1	2	3	1	2	3
Ingreso USAC Av. Petápa						

Fuente: elaboración propia.

5. RESULTADOS

5.1. Datos obtenidos

Determinar la concentración de partículas totales en suspensión en su fracción menor a 2,5 micrómetros ($PM_{2.5}$), en 3 puntos ubicados en el Campus Central de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

- Punto: ingreso USAC Periférico
Parámetro muestreado: partículas totales en suspensión $PM_{2.5}$
Unidad de concentración: microgramos/metro cúbico
Media en 24 horas

Tabla VIII. Datos de punto de muestreo I

Punto de Muestreo	PM _{2.5} en $\mu\text{g}/\text{m}^3$					
	semana 1			semana 4		
	1	2	3	1	2	3
Ingreso USAC Periférico	46	40	39	58	36	42

Fuente: elaboración propia.

- Punto: edificio T4 Facultad de Ingeniería
Parámetro muestreado: partículas totales en suspensión $PM_{2.5}$
Unidad de concentración: microgramos/metro cúbico
Media en 24 horas

Tabla IX. **Datos de punto de muestreo II**

Punto de Muestreo	PM _{2.5} en µg/m ³					
	semana 2			semana 5		
	1	2	3	1	2	3
Edificio T4 Fac. Ingeniería	32	22	15	8	24	29

Fuente: elaboración propia.

- Punto: Ingreso USAC Av. Petapa
 Parámetro muestreado: partículas totales en suspensión PM_{2.5}
 Unidad de concentración: microgramos/metro cúbico
 Media en 24 horas

Tabla X. **Datos de punto de muestreo III**

Punto de Muestreo	PM _{2.5} en µg/m ³					
	semana 3			semana 6		
	1	2	3	1	2	3
Ingreso USAC Av. Petápa	54	60	39	61	35	47

Fuente: elaboración propia.

5.2. Comparación y discusión de resultados

Comparar los resultados de concentración de partículas totales en suspensión en su fracción menor a 2,5 micrómetros (PM_{2.5}), en 3 puntos ubicados en el Campus Central de la Universidad de San Carlos de Guatemala, con valores guía de la Organización Mundial de la Salud (OMS)

relacionados con calidad del aire. Las guías de la calidad del aire de la Organización Mundial de la Salud (OMS), son las guías existentes y que predominan para los países desarrollados y en vías de desarrollo, ajustarse a ellas para crear en el futuro, las guías y normativos que sirvan para controlar las emisiones de una urbe.

Estas guías tienen como objeto, ofrecer asesoría en la reducción de los impactos sobre la salud provenientes de la contaminación del aire, sobre las bases de la evaluación, hecha por expertos, de la evidencia científica actual.

Desde la actualización más reciente de las guías, terminada en 2005, Bonn, Alemania, ha habido una creciente toma de conciencia, en la comunidad científica y entre las autoridades que formulan las políticas públicas. Acerca de la índole mundial de los problemas de salud pública que se deben a la exposición a la contaminación del aire.

En la literatura científica, se han publicado cientos de nuevos estudios sobre los efectos en la salud de la contaminación del aire, incluso importantes investigaciones nuevas en los países de ingresos bajos y medios, en los cuales los niveles de contaminación del aire son los más elevados.

Una evaluación que organizó la OMS acerca de la carga mundial y regional de enfermedades debidas a la contaminación del aire, atrajo atención a la distribución geográfica y la escala del problema: más de 2 millones de muertes prematuras al año se atribuyen a la contaminación del aire intramuros, por la quema de combustibles sólidos, y más de la mitad de dicha carga pesa sobre las poblaciones de países en desarrollo.

La OMS inicio entonces una consulta mundial referida a las conclusiones que iban surgiendo de la evidencia científica acumulada y su utilidad para la actualización de las guías.

Tabla XI. **Valores guía OMS de calidad del aire de PM_{2.5}**

	PM_{2.5}
Valores Guía OMS	Nivel permisible máximo
Media anual	10 µg/m³
Media 24 horas	25 µg/m³

Fuente: Guías de calidad del aire de la OMS relativas al material particulado, el ozono, el dióxido de nitrógeno y el dióxido de azufre, actualización mundial 2005. Consulta: 1 de septiembre 2013.


µg/m³: dimensional de concentración de contaminantes atmosféricos, dados en microgramos por metro cúbico.

A continuación se presenta la tabla de los resultados obtenidos, correspondientes a los 3 puntos de muestreo ubicados en el Campus Central de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

Tabla XII. **Resultados obtenidos**

Valores media 24 horas

Puntos de Muestreo	PM _{2.5} en µg/m ³																		Promedio 6 semanas
	Sémana 1			Sémana 2			Sémana 3			Sémana 4			Sémana 5						
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3				
Ingreso USAC Periferico	46	40	39	nm	nm	nm	nm	nm	nm	58	36	42	nm	nm	nm	nm	nm	nm	44
Edificio T4 Fac. Ingeniería	nm	nm	nm	32	22	15	nm	nm	nm	nm	nm	nm	8	24	29	nm	nm	nm	22
Ingreso USAC Av. Petapa	nm	nm	nm	nm	nm	nm	54	60	39	nm	nm	nm	nm	nm	nm	61	35	47	49

 Valor que sobre pasa el límite sugerido.

Fuente: elaboración propia.

Se puede observar que los valores guías sugeridos por la Organización Mundial de la Salud (OMS), para el parámetro PM_{2.5} deben ser menores a 25 micro gramos por metro cúbico en su media de 24 horas, por lo que en los resultados encontrados es notable que 2 de los 3 puntos medidos sobrepasan el límite permisible, por lo tanto el parámetro medido afecta negativamente la calidad del aire del área de influencia correspondiente, pudiendo afectar la calidad de vida de los habitantes del sector.

Uno de los graves problemas con este tipo de contaminante, es que al igual que algunos gases, no son fácilmente observables, pero los daños que causan son sumamente serios, principalmente a nivel del sistema cardiopulmonar del ser humano, el ambiente en general, la visibilidad y a los materiales, principalmente monumentos históricos.

5.3. Daños a la salud y al medio ambiente

Recolectar información sobre daños a la salud de trabajadores y estudiantes, así como también a la infraestructura del Campus Central.

Conocer la magnitud de las emisiones, es solamente una cara de la moneda. También se debe estar consciente de los efectos que causan en el hombre y en la naturaleza. Los métodos usados para generar datos toxicológicos, generalmente se refieren a pruebas en organismos individuales de una especie determinada. Poca atención se ha dado a la importancia que tiene la evaluación de los efectos químicos en un ecosistema.

5.3.1. Formas de acción de los vehículos automotores sobre el medio ambiente

Los vehículos automotores actúan de manera negativa con el medio ambiente y su entorno, afectando significativamente la calidad humana, a continuación se detallan algunas formas importantes de acción de los mismos:

- Agotamiento de materias primas no renovables, consumidas durante el funcionamiento de los MCI.
- Consumo de oxígeno que contiene el aire atmosférico.
- Emisión y contaminación de la atmósfera con gases tóxicos que perjudican al hombre, la flora y la fauna.
- Emisión de sustancias que provocan el llamado efecto invernadero, contribuyendo a la elevación de la temperatura de nuestro planeta.

- Consumo de agua potable.
- Emisión de altos niveles de ruido a la atmósfera que disminuye el rendimiento de los trabajadores y ocasiona molestias en sentido general.

5.3.2. Daños a trabajadores y estudiantes

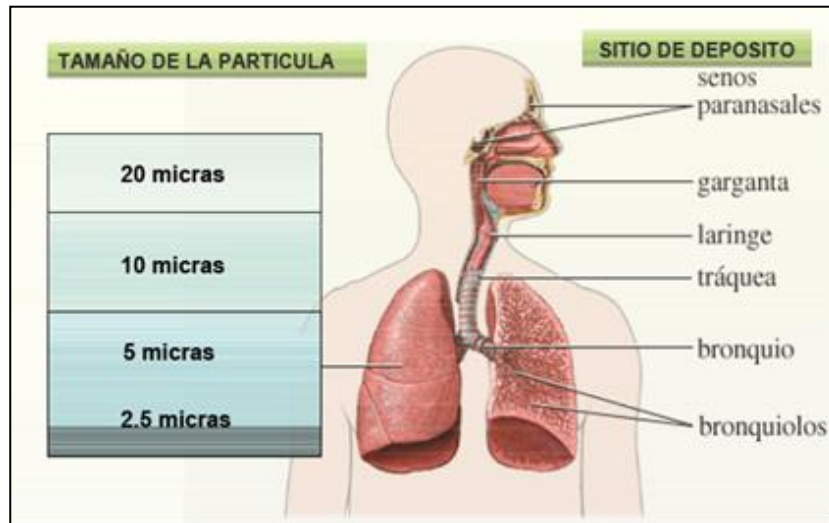
Daños a la salud de trabajadores, estudiantes e individuos que tienen contacto con el Campus Central de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

Se sabe que las concentraciones elevadas de material particulado en suspensión, en especial las partículas más finas como las PM_{2.5}, suponen una seria amenaza para la salud humana cuando se acumulan en el sistema respiratorio. La forma en que el material en partículas, puede afectar su salud depende del tamaño de las partículas y su concentración en el aire. Las partículas más finas se pueden inhalar y llegan profundamente a los pulmones, en donde permanecen incrustadas durante largos períodos de tiempo, o se pueden absorber en el torrente sanguíneo.

La exposición prolongada a las partículas finas, pueden causar aumento de la incidencia de enfermedades respiratorias, disminución de la función pulmonar, bronquitis crónica e incluso la muerte prematura a causa de problemas respiratorios.

La exposición a corto plazo a partículas grandes, pueden agravar padecimientos respiratorios como el asma, también puede causar aumento de la tos, sibilancias, irritación de las vías respiratorias y dolor al respirar, también pueden dispersar la luz y disminuir la visibilidad a distancia.

Figura 26. **Exposición a partículas**



Fuente: www.google.com.gt/search?q=enfermedades+respiratorias+por+particulas&source=isch&sa=o55AUuKOlpDK9QTm4IHICved. Consulta: 11 de agosto de 2013.

La vegetación es la fuente principal de alimento para el hombre y los animales y juega un papel muy importante en transferir los químicos al sistema. La contaminación tiene efectos fisiológicos en el vigor de las plantas. El proceso de la fotosíntesis se desacelera. La vida de las hojas y las agujas de las coníferas puede ser acortada. La resistencia a los parásitos y otros agresores disminuye.

Especies muy sensitivas pueden morir y la biomasa total puede ser reducida, con la consecuente reducción de la vegetación como purificadora del aire. El ozono especialmente puede afectar severamente a la vegetación. Reduce la productividad agrícola y puede llegar a destruir biotopos completos.

Además contribuyen a la formación de lluvia ácida, lo que conlleva a daños en el ecosistema y deterioro de materiales, infraestructura de edificios y monumentos históricos.

5.4. Migración de partículas contaminantes

Se realizó una evaluación de la migración de partículas contaminantes provenientes de zonas aledañas al Campus Central por arrastre de vientos, con el fin de determinar una mayor contaminación del aire en el Campus Central.

Tabla XIII. **Parámetros de caracterización de la ciudad capital de Guatemala**

PARÁMETRO	VALOR
Área del valle de la Ciudad de Guatemala: principalmente conformada por la cuenca del río de Las Vacas y la cuenca del río Villa Lobos	850 Km ²
Altura: depende de la región del área metropolitana, la cual se conforma desde el valle central hasta las montañas periféricas.	De 1 500 a 2 300 msnm
Precipitación pluvial: depende de la región del área metropolitana. El valor presentado es para la región central del valle.	1 100 – 1 200 mm de lluvia (l/m ² /año)
Épocas Climáticas: 2 épocas climáticas, época seca y época lluviosa.	Época Lluviosa: de mayo a octubre Época Seca: de noviembre a abril
Vientos: la mayoría del año los vientos provienen del noreste.	Noreste - sur

Fuente: www.marn.gob.gt/documentos/novedades/ilma11.pdf. Consulta: 14 de agosto de 2013.

La situación geográfica de la ciudad de Guatemala, cuenta con la condición orográfica de poseer una vía libre para la circulación del viento, proveniente del noreste la mayor parte del año, lo cual representa una adecuada dilución y dispersión de los contaminantes gaseosos y particulados, ya que los mismos pueden ser transportados por el viento, lo que favorece un continuo sistema de limpieza del aire de la ciudad, sin embargo dicha circulación puede no ser suficiente corriendo el riesgo de inversiones térmicas, principalmente en la época seca.

En la época lluviosa, se tiene un promedio de precipitación pluvial de 1 100 a 1 200 milímetros de lluvia para el centro del valle de la ciudad, lo cual puede provocar que algunos contaminantes del aire se depositen en el suelo. Esto se puede corroborar en los resultados obtenidos desde 1995, en donde para algunos contaminantes se observa un descenso de los valores en la época lluviosa.

A continuación se muestra la ubicación del Campus Central de la Universidad de San Carlos de Guatemala, zonas y avenidas aledañas con tráfico vehicular.

Figura 27. **Ciudad Universitaria**



Fuente: División de Servicios Generales. USAC.

Se puede observar que el Campus Central de la Universidad de San Carlos de Guatemala, tiene como puntos aledaños a su ubicación la avenida Petapa y el Anillo Periférico, dichas ubicaciones fueron evaluadas y encontradas con alta contaminación vehicular, por sobrepasar los valores sugeridos por la OMS, por lo tanto tomando en consideración los datos del INSIVUMEH respecto a la dirección del viento en la ciudad capital de

Guatemala, en dirección noreste – sur, el Campus Central es totalmente afectado y contaminado por la migración de partículas contaminantes, las cuales son arrastradas por la dirección del viento, afectando negativamente la calidad del aire, la salud de los estudiantes, trabajadores y personas que permanecen en el Campus Central, así como la vegetación y la infraestructura del mismo.

Para ver detalladamente el mapa de la ciudad universitaria ver anexo I.

CONCLUSIONES

1. En los puntos de muestreo del edificio T4 de la Facultad de Ingeniería, ingreso Universidad de San Carlos de Guatemala por Periférico y Avenida Petapa, se determinó que la concentración de partículas totales en su fracción $PM_{2.5}$, fueron en promedio $22 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $44 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y $49 \mu\text{g}/\text{m}^3$ respectivamente.
2. En comparación con valores de referencia internacionales relacionados con la calidad del aire de la concentración de partículas totales que se determino en los puntos de muestreo, sobrepasan $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en su media de 24 horas sugeridos por la OMS.
3. Los daños a la salud que provocan a los trabajadores y estudiantes la contaminación que se determinó son: bronquitis crónica, disminución de la función pulmonar y problemas respiratorios, además del daño a la infraestructura de edificios y monumentos históricos, debido a la formación de lluvia ácida.
4. El arrastre de partículas contaminantes por los vientos que tiene una dirección constante noroeste-sur al Campus Central afectan negativamente en un 30 por ciento la calidad del aire.

RECOMENDACIONES

1. Dar continuidad al monitoreo de la calidad del aire en el Campus Central de la Universidad de San Carlos de Guatemala.
2. Promover la iniciativa de reglamento para el control de emisiones contaminantes, provenientes de vehículos automotores terrestres preparado por el MARN.
3. Elaborar propuestas de normas relativas a la calidad del aire, como norma de calidad del aire y norma para fuentes estacionarias.
4. Incentivar e implementar cambios a nivel político, técnico y cultural, que propicien el cuidado de la calidad del aire por parte de todos los guatemaltecos.
5. Implementar tecnología de monitoreo automático para medir con más periodicidad los contaminantes que hasta la fecha se han estudiado, y desarrollar la medición de otros contaminantes que pueden tener efectos negativos en la calidad de vida de trabajadores, estudiantes e individuos.
6. Proveer a la Facultad de Ingeniería un equipo de monitoreo de la calidad del aire, para poder evaluar futuros estudios relacionados con este tema.

7. Desarrollar el monitoreo de la calidad del aire en los distintos centros regionales pertenecientes a la Universidad de San Carlos de Guatemala.
8. Implementar un sistema de vigilancia de calidad del aire conformado por los actores claves.
9. Divulgar en Radio Universidad, TV USAC y periódicos internos que los valores encontrados son mayores al límite permisible de $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ sugeridos por la OMS y que el tamaño de estas partículas afectan directamente la calidad del aire.
10. Trabajar en forma conjunta con organizaciones afines en la propuesta de soluciones a este problema.

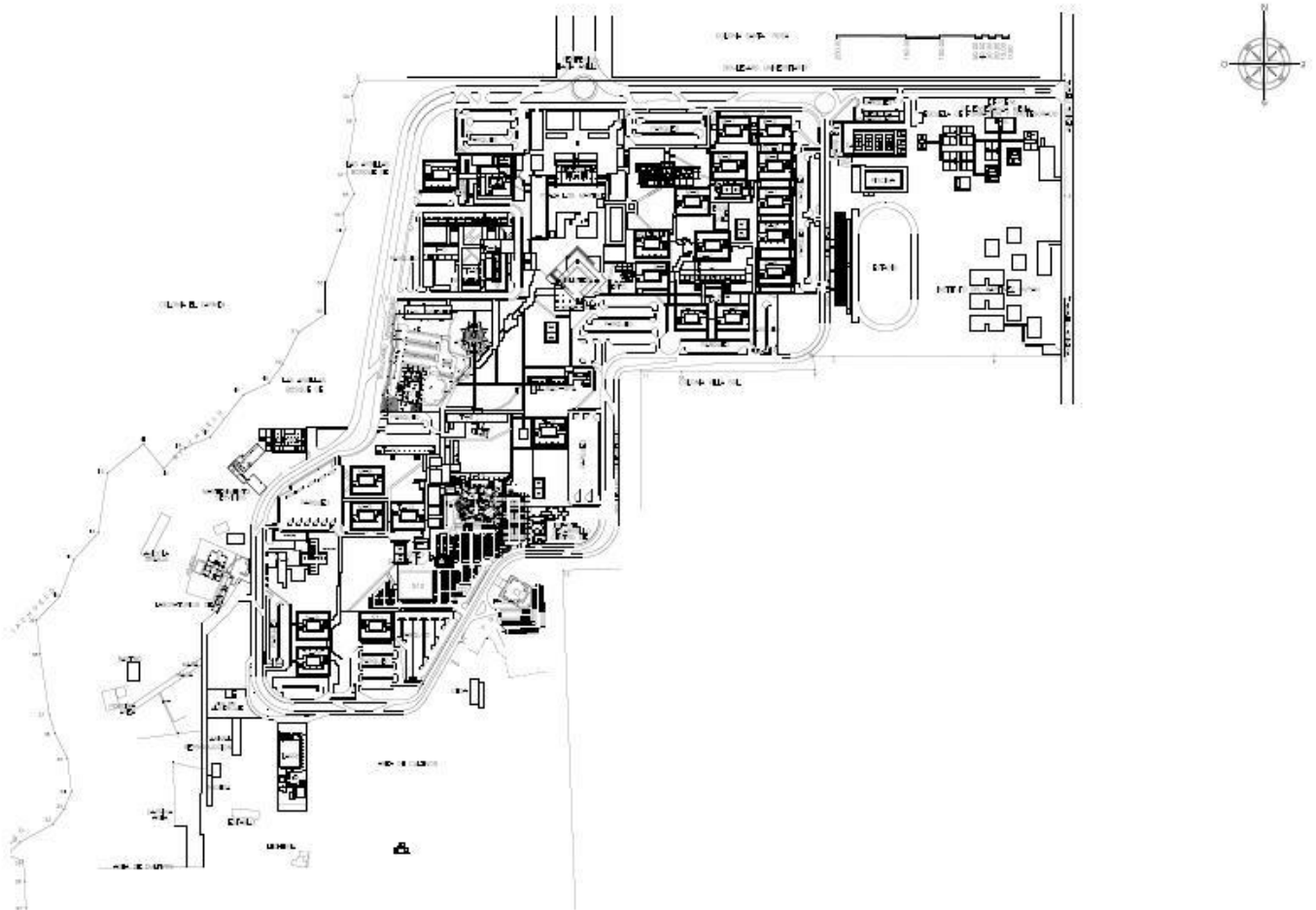
BIBLIOGRAFÍA

1. ALFARO, Rosario. ALVARADO, Thelma. *Manual de laboratorio para determinar emisiones vehiculares en el ambiente*. San Salvador: Swisscontact/ProEco, 1998. 25 p.
2. ALVARADO, Thelma. *Informe anual de monitoreo del aire en ciudad de Guatemala*. Guatemala: Laboratorio de Monitoreo del Aire, Universidad de San Carlos de Guatemala, Escuela de Química, Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia, 1999. 44 p.
3. ALVAREZ, Jhoni. *Informe anual de monitoreo del aire en ciudad de Guatemala*. Guatemala: Laboratorio de Monitoreo del Aire, Universidad de San Carlos de Guatemala, Escuela de Química, Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia, 2009. 65 p.
4. Comisión Centroamericana de Ambiente y Desarrollo. *Diagnóstico de la normativa técnica sobre calidad del aire en Centro América*. San Salvador, 2007. 33 p.
5. DE NEVERS, Noel. *Ingeniería de control de la contaminación del aire*. México, D.F.: McGraw-Hill, 1997. 112 p.
6. LIU, David; LIPTAK, Béla. *Air pollution*. Estados Unidos: CRC Press LLC, 2000. 53 p.

7. MARTÍNEZ, Ana Patricia. *Introducción al monitoreo atmosférico*. México, D.F.: ECO/OPS, 1997. 121 p.
8. OLIVA, Pablo. *Informe anual de monitoreo del aire en ciudad de Guatemala. Laboratorio de monitoreo del aire*. Universidad de San Carlos de Guatemala, Escuela de Química, Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia, 2008. 14 p.
9. Organización Mundial de la Salud. *Guías de Calidad del Aire. Actualización Mundial 2005*. Organización Panamericana de Salud. Suiza, 2005. 9 p.
10. RIVAS, Olga; GUZMÁN, José. *Apuntes de legislación ambiental e instrumentos técnicos ambientales*. Guatemala, 2005. 77 p.
11. ROBERTS, Alley, *Manual de control de la calidad del aire*. México, D.F.: McGraw-Hill, 2002. 140 p.
12. TOLEDO ORDOÑEZ, José. *Control de la contaminación del aire*. Guatemala, 1996. 49 p.

ANEXOS

Figura 28. **Campus Central croquis Universidad de San Carlos de Guatemala actualización 2013**



Fuente: División de Servicios Generales. USAC.

