



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO.

Facultad de Ingeniería

**Biodiesel vegetal con diesel PEMEX en un
motor de bomba de mando mecánico.
Emisiones y prestaciones**

T E S I S.

PARA OBTENER EL TÍTULO DE

INGENIERO MECÁNICO

P R E S E N T A N

Cárdenas Campuzano Adrián

Tinajero Cruz Beatriz

Villanueva Zúñiga Sergio

DIRECTOR DE TESIS: DR. ROGELIO GONZÁLEZ OROPEZA



CD. UNIVERSITARIA

JUNIO DE 2011



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

ÍNDICE

Introducción

CAPITULO 1 Fuentes Alternativas de Energía

- 1.1 Energía Hidráulica
- 1.2 Energía Eólica
- 1.3 Energía Solar
- 1.4 Energía Geotérmica
- 1.5 Biomasa y Biocombustibles

CAPITULO 2 Motores de Combustión Interna Alternativos (MCIA)

- 2.1 Historia del Motor de Combustión Interna y su principal aplicación, el Automóvil
- 2.2 Motores de Combustión Interna Alternativos
- 2.3 Propuestas Sobresalientes en el autotransporte
- 2.4 Uso del Biodiesel

CAPITULO 3 Emisiones Diesel y Equipos de Medición.

- 3.1 Gases Contaminantes
- 3.2 Partículas Diesel
- 3.3 Sistema Portátil de Medición de Emisiones (PEMS)
- 3.4 Sistemas RAVEM
- 3.5 Sistemas de Control de Emisiones

CAPITULO 4 Actividades Experimentales.

- 4.1 Planeación de los ensayos.
- 4.2 Datos experimentales.
- 4.3 Análisis de los resultados.
- 4.4 Conclusiones

INTRODUCCIÓN

El presente trabajo se ha desarrollado en el Laboratorio de Control de Emisiones de la Facultad de Ingeniería de la UNAM, y por tanto tiene una relación intrínseca con la contaminación atmosférica provocada por fuentes móviles.

Este tipo de contaminación es uno de los problemas medioambientales de mayor preocupación a nivel mundial porque ha ocasionado problemas no solo locales, de concentración de gases y partículas nocivas para la salud de los seres vivos, sino que se ha extendido a todos los rincones del planeta debido al calentamiento de la troposfera por el efecto invernadero [2].

Respecto al calentamiento global de la atmósfera aún existen debates sobre las raíces del problema, sin embargo la mayoría de los científicos reconoce que el planeta se está calentando. Una de las causas principales se atribuye a la alta concentración de gases como el bióxido de carbono y el metano, los cuales provocan que el calor de la Tierra quede atrapado en la atmósfera en lugar de irradiar al espacio, con lo que se produce una elevación de la temperatura atmosférica.

La lluvia ácida, una seria amenaza en todo el mundo, se produce cuando las emisiones de dióxido de azufre y el óxido de nitrógeno procedentes de la oxidación de combustibles utilizados por automóviles y centrales térmicas, que emplean combustibles fósiles, vuelven a caer sobre la tierra en forma de precipitación ácida [1]. La lluvia ácida ha provocado la contaminación de numerosos lagos en Canadá y el noreste de los Estados Unidos, entre otros casos, habiéndose registrado este tipo de lluvia incluso en las islas Hawái, escasamente industrializadas. En el Reino Unido, el 57% de todos los árboles han perdido sus hojas de forma moderada o grave debido a los residuos corrosivos y en muchas partes del mundo la producción de alimentos ha disminuido.

Desde 1800, el nivel de CO₂ en la atmósfera ha aumentado en un 25%, debido principalmente a la utilización de combustibles fósiles. Con los niveles actuales de emisiones de gases, las temperaturas medias en el mundo aumentarán entre 1 y 3 °C antes del año 2050. Como referencia, las temperaturas descendieron en sólo 3 °C durante la última etapa glaciaria, que sumergió gran parte de la tierra bajo una gran capa de hielo. De continuar el calentamiento de la atmósfera, los glaciares se fundirían, lo

que provocaría una subida del nivel del mar de hasta 65 cm, y la inundación de la mayor parte de las ciudades costeras.

Aunque la emisión de gases que provoca el efecto invernadero ha descendido un 11% en los últimos años, esto podría tratarse sólo de una pausa temporal debido a la recesión mundial y la desaceleración industrial. En efecto, sería necesaria una reducción del 60% de las emisiones para estabilizar los gases atmosféricos en sus niveles actuales.

Otro grave problema relacionado con la contaminación atmosférica es la disminución de la capa de ozono de la atmósfera que bloquea los peligrosos rayos ultravioleta (UV), los agujeros de ozono se deben a la destrucción de las moléculas de ozono por los clorofluorocarbonos (CFCs), productos químicos que se emplean en refrigerantes y aerosoles y que pueden dispersarse en la atmósfera superior si no se contienen de forma adecuada.

Algunos científicos estiman que el 60% de la capa de ozono podría haberse perdido ya a causa de la polución, y que una pérdida del 10% podría representar unos 300.000 nuevos casos de cáncer de piel y 1,6 millones de casos de cataratas oculares en todo el mundo. Los altos niveles de rayos ultravioleta también podrían perjudicar el plancton, la base de la cadena trófica de los océanos. Una importante reducción en los niveles de plancton podría provocar pérdidas catastróficas de otras formas de vida marina. Si las naciones industrializadas no mantienen su proyecto de prohibir el uso de todos los CFCs, se espera que los niveles atmosféricos lleguen a su punto máximo alrededor de fin de siglo y desaparezcan por completo dentro de ochenta años.

Debido a este tipo de problemática actualmente se buscan formas de energía alternas que contribuyan a la disminución de este tipo de contaminantes, formas de energía que puedan sustituir a los combustibles fósiles, ya que además del problema ambiental existe otra problemática debida a la inminente extinción del petróleo. A través de este trabajo se pretende encontrar los efectos del Biodiesel de origen vegetal en las prestaciones y emisiones contaminantes del motor Diesel, o motor de encendido por compresión, comparado con diesel ordinario, ya que este tipo de combustibles representa una opción viable y real a los problemas antes mencionados.

CAPITULO 1

FUENTES ALTERNATIVAS DE ENERGÍA

Una energía alterna, o más precisamente una fuente de energía alternativa es aquella que puede suplir a las energías o fuentes energéticas tradicionales, ya sea por su menor efecto contaminante, o fundamentalmente por su posibilidad de renovación.

1.1 Energía hidráulica [5].

Es la energía que se obtiene de aprovechar las energías cinética y potencial de la corriente de ríos y los saltos de agua. Una masa de agua que pasa de una posición elevada a una más baja transforma, durante la caída, su energía potencial en energía cinética

El más antiguo de los motores hidráulicos es la rueda hidráulica que está constituida por una serie de palas dispuestas en forma de rueda; en la cual el agua, al caer, choca contra las palas e impulsa a éstas con lo que se consigue el movimiento de la rueda.

Turbinas hidráulicas

Se pueden clasificar en dos grupos: turbinas de acción y turbinas de reacción. Las turbinas de acción aprovechan únicamente la velocidad del flujo de agua, mientras que las de reacción aprovechan además la pérdida de presión que se produce en su interior. Las turbinas utilizadas en las centrales hidroeléctricas actuales son:

- Turbina Pelton: La turbina Pelton es un tipo de turbina de acción se utiliza en grandes saltos con caudales pequeños.
- Turbina Kaplan: son turbinas de reacción, que funcionan de manera semejante a la hélice de un barco. Se emplean en saltos de pequeña altura y caudal muy grande.
- Turbina Francis: Se trata de una turbina de reacción Las turbinas Francis se pueden diseñar para un amplio rango de saltos y caudales, Esto, junto con su alta eficiencia, ha hecho que este tipo de turbina sea el más ampliamente usado para la producción de energía eléctrica.

Centrales hidroeléctricas.

Una central hidroeléctrica es una instalación que se utiliza para la generación de energía eléctrica mediante el aprovechamiento de la energía mecánica del agua. La

energía hidroeléctrica es una de las más rentables, aunque tiene unos gastos de construcción e instalación muy elevados. Su rentabilidad está condicionada por las condiciones pluviométricas de la zona y las condiciones del emplazamiento (altura del salto y caudal).

Tipos de centrales

Según la altura del salto de agua:

- Centrales de alta presión: Tienen grandes saltos, mayores de 200 metros. Suelen construirse en zonas de alta montaña.
- Centrales de media presión: Poseen saltos de entre 20 y 200 metros. Suelen situarse en zonas de baja y media montaña. Utilizan agua embalsada, por lo que suele estar asociadas a grandes presas.
- Centrales de baja presión: Son saltos menores a 20 metros.

Según el recorrido del agua:

- Centrales de agua fluente: No están asociadas a un embalse. El agua se retiene por medio de pequeño dique, llamado azud, y se desvía a la central mediante un canal de derivación. Este canal sirve también para controlar el caudal que se turbinan. La energía debe utilizarse en el momento en que es producida, el rendimiento energético es pequeño, pero no necesitan de largos tendidos, ya que los centros de consumo están próximos a la central. Como no embalsan agua no modifican el paisaje ni el ecosistema fluvial por lo que tienen un escaso impacto ambiental.
- Centrales de agua embalsada: Se alimentan de grandes lagos o de agua embalsada artificialmente mediante la construcción de presas. La presa obstruye el cauce del río, elevando notablemente el nivel del agua respecto del cauce primitivo. La central se construye en la base de la presa para aprovechar el desnivel creado. El agua embalsada se usa según la demanda energética, pasando un mayor o menor caudal a través de los conductos que la encauzan hacia las turbinas. Tienen un elevado rendimiento energético, producen energía limpia, barata y renovable.

Ventajas de la energía hidráulica.

- Es un recurso inagotable mientras el ciclo hidrológico se mantenga.
- No emite gases invernadero ni provoca lluvia ácida.
- Usos laterales de los embalses: sirven como almacenamiento de agua para riego o para el suministro de agua potable; pueden utilizarse para actividades de recreo como el remo, la vela etc.; regulan el caudal del río, evitando inundaciones

Inconvenientes de la energía hidráulica.

- Grandes costos de construcción.
- El estancamiento del agua embalsada puede alterar su calidad. Los principales riesgos son la disminución de la cantidad de oxígeno, cambios en la temperatura, proliferación de enfermedades.
- Los sedimentos se acumulan en el embalse empobreciendo de nutrientes el resto del río, hasta la desembocadura.
- Muchas especies recorren el río a lo largo de su ciclo vital y las presas son una barrera infranqueable para estas migraciones.
- Los cambios en las condiciones del agua pueden facilitar la colonización de especies ajenas al entorno.
- La construcción de embalses lleva a la desaparición de terrenos y propiedades inmobiliarias.

1.2 Energía eólica [5].

La energía eólica hace referencia a aquellas tecnologías y aplicaciones en que se aprovecha la energía cinética del viento, convirtiéndola a energía eléctrica o mecánica. Se pueden distinguir dos tipos de aplicaciones principales: las instalaciones para la producción de electricidad y las instalaciones de bombeo de agua.

Las primeras máquinas equipadas con generadores eléctricos, hacen su aparición hacia 1900. Durante la primera mitad del siglo, a pesar de que no hubo una activa

utilización de la energía eólica, se produjeron gran variedad de diseños cuyos principios fundamentales son válidos hasta el presente.

A título ilustrativo, se puntualizan las potencias instaladas a fines de 1996 por los principales países productores de energía eólica en el mundo: Estados Unidos 1.596 MW; Alemania 1.546 MW; Dinamarca 835 MW; España, Holanda y Gran Bretaña con algo más de 200 MW cada una. El total mundial alcanzaba a 6.056 MW.

Transformación de la energía eólica

En términos generales no se requieren grandes velocidades de viento para producir energía, más bien al contrario, cuando el viento es demasiado intenso se hace necesario detener los equipos para evitar deterioro.

En la mayoría de los casos, un equipo comienza a generar energía con una velocidad del viento de 4 metros por segundo (m/s), equivalente a unos 15 km/h. Entrega su potencia máxima cuando la velocidad es del orden de los 12 a 15m/s (40 a 55 km/h) y es necesario sacarla de servicio cuando alcanza 25m/s (90km/h).

Existen dos tipos principales de máquinas que aprovechan la energía contenida en el viento: los molinos, que se utilizan fundamentalmente para bombeo mecánico de agua, y los aerogeneradores de electricidad.

Molinos. Es muy común en el campo la utilización para extraer agua del subsuelo. El equipo utilizado se denomina molino multipala en razón de estar compuesto por un número elevado (12 a 16) de palas. La razón de este sistema radica en que con muy baja velocidad de viento está en condiciones de trabajar. Al girar acciona mecánicamente una bomba que extrae el agua necesaria.

Aerogeneradores. Estos equipos están especialmente diseñados para producir electricidad. En la actualidad se fabrican máquinas comerciales de muy variados tamaños, desde muy bajas potencias (100 a 150 W) hasta 700 y 800 kW. Y ya están superando la etapa experimental modelos de hasta 1.500 kW. de potencia.

Sintéticamente un aerogenerador está conformado por dos elementos principales: un rotor compuesto por un eje y la o las palas, y un generador que se mueve por arrastre del rotor.

Se puede diferenciar a los aerogeneradores en dos grandes grupos según sea la posición del eje de rotación: de eje vertical y de eje horizontal. Ambas tecnologías tienen sus aspectos favorables y desfavorables. Los aerogeneradores de eje vertical tienen la ventaja de no necesitar orientarse respecto a la dirección de donde sopla el viento, acciona en la misma forma sobre su rotor, ofrecen una robustez y resistencia destacable para ser utilizados en zonas de vientos extremos y de direcciones cambiantes. Como principal elemento desfavorable se puede mencionar que la eficiencia de conversión energética es algo menor que la de los del otro tipo.

En los aerogeneradores de eje horizontal el plano de rotación debe conservarse perpendicular a la dirección del viento para poder captar la máxima energía. En consecuencia, para adecuarse a las variaciones de dirección, debe instalarse algún mecanismo que oriente la posición del rotor.

En equipos pequeños y medianos (hasta unos 10 ó 15 kW.) el sistema de orientación es sencillo y mecánico, representado por un timón de cola que reacciona en forma automática.

En equipos de mayor tamaño y muy especialmente en los grandes (de más de 100 kW.), la orientación del equipo se controla electrónicamente a través de un sistema computarizado.

Como principales ventajas se pueden mencionar:

- * Es inagotable
- * No es contaminante
- * Es de libre acceso (gratuita)
- * Se puede aprovechar en la medida de las necesidades del momento

En cambio dentro de las desventajas destacan:

- * Se encuentra dispersa

* Es intermitente y aleatoria (no continua)

1.3 Energía Solar [5].

Nuestro planeta recibe del sol una cantidad de energía anual de aproximadamente 1,6 millones de Kwh, de los cuales sólo un 40% es aprovechable; es una fuente de energía descentralizada, limpia e inagotable.

Energía solar fotovoltaica

La tecnología fotovoltaica busca convertir directamente la radiación solar en electricidad. Basada en el efecto fotoeléctrico, en el proceso emplea unos dispositivos denominados celdas fotovoltaicas, los cuales son semiconductores sensibles a la luz solar; de manera que cuando se expone a esta, se produce en la celda una circulación de corriente eléctrica entre sus dos caras.

Una instalación fotovoltaica aislada está formada por los equipos destinados a producir, regular, acumular y transformar la energía eléctrica. Y que son los siguientes:

Celdas fotovoltaicas: Es dónde se produce la conversión fotovoltaica, las más empleadas son las realizadas con silicio cristalino. La incidencia de la radiación luminosa sobre la celda crea una diferencia de potencial y una corriente aprovechable.

Placas fotovoltaicas: Son un conjunto de celdas fotovoltaicas conectadas entre sí, que generan electricidad en corriente continua. Para su mejor aprovechamiento se busca orientarlas (teniendo en cuenta la ubicación y latitud) con el fin de obtener un mayor rendimiento.

Regulador de carga: Tiene por función proteger a la batería contra las sobrecargas y contra las descargas. Además se emplea para proteger a las cargas en condiciones extremas de operación, y para proporcionar información al usuario.

Baterías: Son el almacén de la energía eléctrica generada. En este tipo de aplicaciones normalmente se utilizan baterías estacionarias, las que tienen como característica de operación más importante al ciclado; durante un ciclo diario, la batería se carga durante

el día y se descarga durante la noche; sobrepuesto al ciclado diario hay un ciclo estacional, que está asociado a períodos de reducida disponibilidad de radiación.

Ondulador o Inversor: Transforma la corriente continua (de 12, 24 o 48 V) generada por las placas fotovoltaicas y acumulada en las baterías a corriente alterna (a 230 V y 50 Hz).

Energía solar térmica

Con respecto a la tecnología solar térmica que convierte la energía radiactiva en calor, su principal componente es el captador, por el cual circula un fluido que absorbe la energía radiada del sol. De acuerdo a la temperatura de aprovechamiento se puede clasificar en alta, media y baja, siendo sus límites:

- * Hasta 100° C: de baja temperatura;
- * Desde 100° C y hasta 300° C: de mediana temperatura;
- * Mayores a 300° C: de alta temperatura.

El principal parámetro que caracteriza la eficiencia de cualquier captador solar es la curva de rendimiento. En general, se define el rendimiento de un captador como la relación entre el flujo energético que llega a la superficie de este y la energía útil que se transmite al fluido; de esta forma, el rendimiento instantáneo de un captador varía en función de la radiación, la temperatura del agua que entra al captador, la temperatura ambiente, la temperatura de la placa y los materiales empleados en la construcción.

Sus principales ventajas son:

- * Evitar un costoso mantenimiento de líneas eléctricas en zonas de difícil acceso
- * Eliminar los costos ecológicos y estéticos de la instalación de líneas en esas condiciones
- * Contribuir a evitar el despoblamiento progresivo de determinadas zonas
- * Es una energía descentralizada que puede ser captada y utilizada en todo el territorio
- * Una vez instalada tiene un costo energético nulo
- * Mantenimiento y riesgo de avería muy bajo

- * Tipo de instalación fácilmente modulable, con lo que se puede aumentar o reducir la potencia instalada fácilmente según las necesidades
- * No produce contaminación de ningún tipo
- * Se trata de una tecnología en rápido desarrollo que tiende a reducir el costo y aumentar el rendimiento.

1.4 Energía Geotérmica [5].

Se entiende por energía geotérmica a aquella que, aprovechando el calor que se puede extraer de la corteza terrestre, se transforma en energía eléctrica o en calor para uso humano o procesos industriales o agrícolas. En forma esquemática y simple, se puede considerar que la tierra está conformada por tres capas concéntricas, desde la superficie hasta su centro, ubicado a una profundidad de 6.357,78 km. Estas tres capas son:

La superficial denominada CORTEZA TERRESTRE, está constituida por rocas en estado sólido y que podemos observar en forma directa. Su espesor rara vez supera los 70 km.

La segunda capa, denominada MANTO, se halla inmediatamente debajo de la anterior. Los materiales que la constituyen tienen una composición mineralógica completamente distinta de las de las rocas de la parte superficial, y una densidad bastante mayor. Debido a las altas temperaturas existentes a esas profundidades y a la naturaleza de su constitución, esos materiales se hallan en estado semifundido, otorgándole al manto un comportamiento dinámico semejante al de una masa plástica.

A partir de allí nos internamos en la tercera capa denominada NÚCLEO caracterizada porque los componentes minerales que la constituyen poseen una densidad muy superior a las de las capas anteriores.

El calor contenido en los materiales que componen el NÚCLEO y el MANTO se transmite paulatinamente a la CORTEZA generando un flujo ascendente de calor que luego de atravesarla y alcanzar la superficie terrestre se disipa en la atmósfera. Por regla general, en el sector más superficial de la corteza, la temperatura aumenta en un valor promedio de 3 grados centígrados por cada 100 metros de profundidad. Esta

variación se conoce como “gradiente geotérmico”. Cuando los valores de ese gradiente se encuentran entre 2 y 5°C cada 100 metros se consideran normales, mientras que los valores que exceden 5°C/100 m, habrá a 1.500 metros una temperatura de 180°C aproximadamente.

Manifestaciones hidrotermales

De acuerdo a las características que presentan reciben diferentes nombres, siendo las más comunes:

- Fumarolas: Nombre genérico dado a la emisión de gases y vapores a temperaturas muy elevadas, en ocasiones pueden alcanzar los 500°C. Se las suele diferenciar con base a su composición química en carbonatadas, sulfurosas, clorhídricas, etc.
- Sulfatadas: Conforman una variación de las anteriores que se diferencia por su mayor riqueza en vapor de agua, temperatura sensiblemente menor (inferior a 200°C) y por eyectar chorros intermitentes de vapor de agua, hidrógeno sulfurado, gas carbónico y otros gases.
- Géiseres: Consisten en verdaderos surtidores de una mezcla de agua y vapor (a temperaturas entre 70 y 100°C), con una gran cantidad de sales disueltas y en suspensión.

Extracción del calor

Además de las perforaciones de exploración, la explotación de un yacimiento geotérmico, al igual que uno petrolero, requiere de un cierto número de pozos de producción que, llegando hasta el acuífero, también denominado “reservorio”, permitan que el agua caliente o vapor suban a la superficie.

Es muy importante tener en cuenta que la explotación de un yacimiento geotérmico debe efectuarse de manera tal que el volumen de agua caliente o vapor que de él se extrae, no sea mayor que la recarga natural de agua que alimenta al acuífero. Sólo bajo estas condiciones, el recurso energético puede ser considerado como una fuente de carácter “renovable”.

Existen dos formas básicas de uso de la energía de origen geotérmico:

USO DIRECTO DEL CALOR, que se aplica para calentar viviendas u otros tipos de edificios; para procesos industriales que utilizan calor, como por ejemplo las fábricas de celulosa, papel, conservas, harinas de pescado; para el secado de frutas y vegetales en general; para calefacción de invernaderos, establos y criaderos, para piscicultura, para calentamiento de suelos de cultivos en zonas frías, para derretir la nieve de los caminos. Para cada una de estas aplicaciones es necesaria que la temperatura del agua sea adecuada.

USO ELÉCTRICO DEL FLUIDO. Consiste en la generación de electricidad mediante instalaciones similares a las usinas térmicas convencionales. La diferencia radica en el origen del vapor que mueve las turbinas que alimentan el generador eléctrico. En una usina térmica convencional el vapor “se fabrica” quemando derivados de petróleo, gas o carbón, mientras que en la usina o planta geotérmica no es necesario gastar combustible pues es provisto directamente por la naturaleza.

Naturalmente este proceso no es tan simple como se menciona. En general el vapor viene mezclado con agua y ésta, a su vez, tiene disueltas sales. Será entonces necesario separar el vapor del agua para que pueda ser derivado a las turbinas.

La única manera que hasta el presente permite forma técnica y económicamente aceptable disponer del calor contenido en el interior de la tierra para su utilización como recurso energético, consiste en extraerlo del agua caliente o el vapor contenido en los acuíferos hidrotermales. Pero hallar una zona apta para ser explotada energéticamente requiere de un proceso exploratorio consistente en una sucesión de etapas en las que se conjugan estudios geológicos y geofísicos progresivamente crecientes en especificidad y complejidad, y consecuentemente en inversión.

La experiencia acumulada en el mundo ha demostrado que las dimensiones superficiales de un yacimiento geotérmico se hallan comprendidas entre 10 y 100 km². Si se tiene en cuenta que el proyecto de exploración se inicia sobre la totalidad de una zona, cuya extensión casi siempre sobrepasa los 15.000 km², la localización de posibles yacimientos requiere intercalar etapas intermedias.

La primera se denomina de Reconocimiento y consiste en la realización de estudios con métodos superficiales a efectos de detectar las áreas de mejores posibilidades

para continuar la exploración. Normalmente se explora sobre áreas de más de 10.000 km².

La segunda etapa denominada Pre factibilidad, ya sobre superficies de entre 500 y 2.000 km², busca definir las características del yacimiento geotérmico para determinar la ubicación de los pozos de exploración.

Finalmente en la etapa de Factibilidad se verifica la posibilidad técnica y económica de aprovechamiento del yacimiento y se definen los posibles sistemas de explotación.

1.5 Biomasa y biocombustibles [6].

Biomasa

El término biomasa se refiere a toda la materia orgánica que proviene de árboles, plantas y desechos de animales que pueden ser convertidos en energía; o las provenientes de la agricultura (residuos de maíz, café, arroz), del aserradero (podas, ramas, aserrín, cortezas) y de los residuos urbanos (aguas negras, basura orgánica y otros). Esta es la fuente de energía renovable más antigua conocida por el ser humano, pues ha sido usada desde que nuestros ancestros descubrieron el secreto del fuego.

Desde la prehistoria, la forma más común de utilizar la energía de la biomasa ha sido por medio de la combustión directa: quemándola en hogueras a cielo abierto, en hornos y cocinas artesanales e, incluso, en calderas; convirtiéndola en calor para suplir las necesidades de calefacción, cocción de alimentos, producción de vapor y generación de electricidad.

Los avances tecnológicos han permitido el desarrollo de procesos más eficientes y limpios para la conversión de biomasa en energía; transformándola, por ejemplo, en combustibles líquidos o gaseosos, los cuáles son más convenientes y eficientes. Así aparte de la combustión directa, se pueden distinguir otros dos tipos de procesos: el termo-químico y el bio-químico.

Las fuentes más importantes de biomasa son los campos forestales y agrícolas pues en ellos se producen residuos (rastros) que normalmente son dejados en el campo al consumirse sólo un bajo porcentaje de ellos con fines energéticos. En la agroindustria,

los procesos de secado de granos generan subproductos que son usados para generación de calor en sistemas de combustión directa; tal es el caso del bagazo de caña de azúcar, la cascarilla de café y la de arroz. Por otro lado, los centros urbanos generan grandes cantidades de basura compuestas en gran parte, por materia orgánica que puede ser convertida en energía, después de procesarla adecuadamente.

Se considera que la biomasa es una fuente renovable de energía porque su valor proviene del Sol. A través del proceso de fotosíntesis, la clorofila de las plantas captura su energía, y convierte el dióxido de carbono (CO₂) del aire y el agua del suelo en carbohidratos, para formar la materia orgánica. Cuando estos carbohidratos se queman, regresan a su forma de dióxido de carbono y agua, liberando la energía que contienen. De esta forma, la biomasa funciona como una especie de batería que almacena la energía solar.

Entonces, se produce en forma sostenida - en el mismo nivel en que se consume - esa batería durará indefinidamente.

Los recursos biomásicos incluyen cualquier fuente de materia orgánica, como desechos agrícolas y forestales, plantas acuáticas, desechos animales y basura urbana. Su disponibilidad varía de región a región, de acuerdo con el clima, el tipo de suelo, la geografía, la densidad de la población, las actividades productivas, etc.; por eso, los correspondientes aspectos de infraestructura, manejo y recolección del material deben adaptarse a las condiciones específicas del proceso en el que se deseen explotar.

Las fuentes de biomasa que pueden ser usadas para la producción de energía cubren un amplio rango de materiales y fuentes: los residuos de la industria forestal y la agricultura, los desechos urbanos y las plantaciones energéticas se usan, generalmente, para procesos modernos de conversión que involucran la generación de energía a gran escala, enfocados hacia la sustitución de combustibles fósiles.

Los residuos agrícolas, como la leña y el carbón vegetal, han sido usados en procesos tradicionales en los países en vías de desarrollo y a usos primarios en pequeña escala; por ejemplo, la cocción de alimentos o las pequeñas actividades productivas como panaderías, caleras, secado de granos, etc.

Biocombustibles

El biocombustible es el término con el cual se denomina a cualquier tipo de combustible que derive de la biomasa. Los biocombustibles usan la biomasa vegetal sirviendo de fuente de energía renovable para los motores empleados. Su uso genera una menor contaminación ambiental y son una alternativa viable al agotamiento ya sensible de energías fósiles, como el gas y el petróleo, donde ya se observa incremento en sus precios. Es importante destacar que los biocombustibles son una alternativa más en vistas a buscar fuentes de energías sustitutivas, que sirvan de transición hacia una nueva tecnología

Los combustibles de origen biológico pueden sustituir parte del consumo en combustibles fósiles tradicionales, como el petróleo o el carbón.

Ventajas de los biocombustibles

- a) No incrementan los niveles de CO₂ en la atmósfera, con lo que se reduce el peligro del efecto invernadero.
- b) Proporcionan una fuente de energía reciclable y, por lo tanto, inagotable.
- c) Revitalizan las economías rurales, y generan empleo al favorecer la puesta en marcha de un nuevo sector en el ámbito agrícola.
- d) Se podrían reducir los excedentes agrícolas que se han registrado en las últimas décadas.
- e) Se mejora el aprovechamiento de tierras con poco valor agrícola y que, en ocasiones, se abandonan por la escasa rentabilidad de los cultivos tradicionales.
- f) Se mejora la competitividad al no tener que importar fuentes de energía tradicionales.

Desventajas del uso de los biocombustibles

- a) El costo de producción de los biocombustibles casi dobla al del de la gasolina o gasóleo. Por ello, no son competitivos sin ayudas públicas.

b) Se necesitan grandes espacios de cultivo, dado que del total de la plantación sólo se consigue un 7% de combustible. En España, por ejemplo, habría que cultivar un tercio de todo el territorio para abastecer sólo la demanda interna de combustible.

c) Potenciación de monocultivos intensivos, con el consiguiente uso de pesticidas y herbicidas.

d) El combustible precisa de una transformación previa compleja. Además, en los tioalcoholes, la destilación provoca, respecto a la gasolina o al gasóleo, una mayor emisión en dióxido de carbono.

e) Su uso se limita a un tipo de motor de bajo rendimiento y poca potencia.

Los biocombustibles más usados y desarrollados son el bioetanol y el biodiesel. Los cuales detallaremos a continuación.

Bioetanol

Es un alcohol, elaborado mediante un proceso similar al de la cerveza, donde el almidón de los cultivos ricos en él, (especialmente el maíz), son convertidos en azúcares y estos a su vez, fermentados y convertidos en etanol. Por último el etanol es destilado, adquiriendo su forma final. En ocasiones, es transformado en un éter, llamado etil terciario-butil éter (ETBE), con propiedades oxigenarías de los combustibles. Es utilizado para incrementar el octanaje y mejorar la calidad de las emisiones de la gasolina, al convertirla en un combustible oxigenado. El Bioetanol se puede extraer de cereales (Maíz, Trigo, Avena, Cebada), Papa, betabel, Caña de Azúcar, Biomasa Forestal, Residuos Pecuarios, y Residuos de las Cosechas y las agroindustrias. El proceso es similar al que se emplea en la fabricación de alcohol donde la materia orgánica se muele primero y luego, por efecto de la levadura y el calor, se rompen las moléculas complejas de azúcares en otras más simples resultando el etanol. El etanol $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$ o etil alcohol es un líquido claro de un olor característico que puede disolverse en el agua.

El Bioetanol ofrece diversas posibilidades de mezclas para la obtención de biocombustibles con los siguientes nombres y propiedades:

E5: El Biocombustible E5 significa una mezcla del 5% de Bioetanol y el 95% de Gasolina normal. Esta es la mezcla habitual y mezcla máxima autorizada en la actualidad por la regulación europea, sin embargo, es previsible una modificación de la normativa europea que aumentará este límite al 10% (E10) ya que diferentes estudios constatan que los vehículos actuales toleran sin problemas mezclas hasta el 10% de Bioetanol y los beneficios para el medioambiente son significativos.

E10: El Biocombustible E10 significa una mezcla del 10% de Bioetanol y el 90% de Gasolina normal. Esta mezcla es la más utilizada en EEUU ya que hasta esta proporción de mezcla los motores de los vehículos no requieren ninguna modificación y e incluso produce la elevación del número de octano mejorando el desempeño de los motores y obteniendo una notable reducción en la emisión de gases contaminantes.

E85: Mezcla de 85% de Bioetanol y 15 % de gasolina, utilizada en vehículos con motores especiales. En EEUU las marcas más conocidas ofrecen vehículos adaptados a estas mezclas. También se comercializan, en algunos otros países como Brasil y Suecia, los llamados vehículos FFV (Flexible Fuel Vehicles) o Vehículos de Combustibles Flexibles con motores adaptados que permiten una variedad de mezclas.

E95 y E100: Mezclas hasta el 95% y 100% de Bioetanol son utilizados en algunos países como Brasil con motores especiales.

E-DIESEL: El Bioetanol permite su mezcla con diesel utilizando un aditivo solvente y produciendo un biocombustible diesel el E-Diesel, con muy buenas características en cuanto a combustión y reducción de contaminantes, ofreciendo así otras alternativas al bioetanol en el campo de los vehículos Diesel. El E-Diesel ya se comercializa con éxito en EEUU y Brasil y pronto hará su aparición en España y demás países de Europa.

ETBE: No se comercializa como un biocombustible, sino que se utiliza como un aditivo de la gasolina. El ETBE (etil ter-butyl éter) se obtiene por síntesis del bioetanol con el isobutileno, subproducto de la destilación del petróleo. El ETBE posee las ventajas de ser menos volátil y más miscible con la gasolina que el propio etanol y, como el etanol, se aditiva a la gasolina en proporciones del 10-15%. La adición de ETBE o etanol sirve para aumentar el número de octano de la gasolina, evitando la adición de sales de plomo. [8]

Biodiesel.

El biodiesel es un éster (similar al vinagre) que se produce de los aceites vegetales, grasas animales y grasas comestibles recicladas. Mediante un proceso de transesterificación, los aceites orgánicos de maíz, soya, girasol y otros son combinados con alcohol (etanol o metanol) y alterados químicamente para formar ésteres grasos (biodiesel) y glicerina. La definición de biodiesel propuesta por las especificaciones ASTM (American Society for Testing and Material Standard, asociación internacional de normativa de calidad) lo describe como ésteres mono alquílicos de ácidos grasos, de cadena larga, derivados de lípidos renovables tales como aceites vegetales o grasas de animales, y que se emplean en motores de ignición de compresión. Sin embargo, los ésteres más utilizados, como veremos más adelante, son los de metanol y etanol (obtenidos a partir de la transesterificación de cualquier tipo de aceites vegetales o grasas animales o de la esterificación de los ácidos grasos) debido a su bajo costo y sus ventajas químicas y físicas.

El biodiesel puede mezclarse con diesel procedente del refinado de petróleo en diferentes cantidades. Al igual que el etanol, para el biodiesel se utilizan notaciones abreviadas según el porcentaje por volumen de biodiesel en la mezcla: B100 en caso de utilizar sólo biodiesel, u otras notaciones como B5, B15 o B30 en las que el número indica el porcentaje por volumen de biodiesel en la mezcla.

Además de los aceites vegetales y los aceites de fritura usados, las grasas animales, y más concretamente el sebo de vaca, grasas porcinas y grasas de pollo, pueden utilizarse como materia prima de la transesterificación para obtener biodiesel. Esta alternativa es cada vez más viable debido al bajo costo de este tipo de grasas (en comparación a las grasas vegetales) las cuales eran utilizadas solo para la producción de alimentos de animales, por lo cual muchas empresas comienzan a buscar alianzas, para la producción a gran escala de biodiesel de origen animal. Estudios han encontrado que el biodiesel a partir de este tipo de grasas es de consistencia más sólida que el producido a partir del aceite vegetal, por lo que de ser utilizado necesitaría un sistema de calentamiento que lo mantenga líquido, en zonas con altas temperaturas donde no llegue a cristalizarse. A partir de los 15 grados comienza a formar sólidos que no permiten su eficaz comportamiento. Pero esto se soluciona agregando un 20% de

diesel o trabajando con sistemas de calentamiento. De esta forma mejora el comportamiento en frío y puede ser utilizado a temperaturas más bajas.

CAPITULO 2
MOTORES DE COMBUSTIÓN INTERNA
ALTERNATIVOS (MCIA)

En este capítulo se hablará de una manera cronológica de la evolución de los motores de combustión interna de forma paralela con el desarrollo de automóvil, gracias a las aportaciones hechas por sus más importantes precursores. Se describirán los sistemas por los cuales está conformado un motor y se conocerán las propuestas sobresalientes del uso de combustibles alternativos, principalmente del Biodiesel.

2.1 Historia del Motor de Combustión Interna y su principal aplicación, el Automóvil

Los motores térmicos han servido para diversos propósitos por más de 250 años. Uno de los más sobresalientes fue el que utilizó al vapor de agua como fluido de trabajo, quizá durante unos 150 años, hasta que fue reemplazado por el motor de combustión interna. El motor de vapor, que poco a poco fue mejorando su funcionamiento, desde el motor de Papín hasta el de Watt, como se puede apreciar en la fig. 1. A, es un motor de combustión externa, y su prototipo de mejor rendimiento fue el que incluyó un pistón de doble efecto.

No es necesario hacer hincapié en la gran importancia que tuvo este motor, ya que es de conocimiento general su papel dentro de la Revolución Industrial y los avances tecnológicos que se sucedieron a partir de su aparición en el siglo XVIII, sin embargo si es razonable mencionarlo como un antecedente *de facto*, de los motores, tanto de combustión interna (Otto, Diesel, Brayton, Wankel) como los de combustión externa (Stirling, Rankin e), rotatorios (Brayton, Rankin e, Wankel) y alternativos (Otto, Diesel, Stirling). Aunque no se conocen motores Rankin e y motores Brayton, si se pueden asociar a ellos las centrales termoeléctricas que usan turbina de vapor, y las turbinas de gas, que siguen los ciclos de Rankine y Brayton respectivamente y que constituyen una parte importante de las máquinas térmicas.

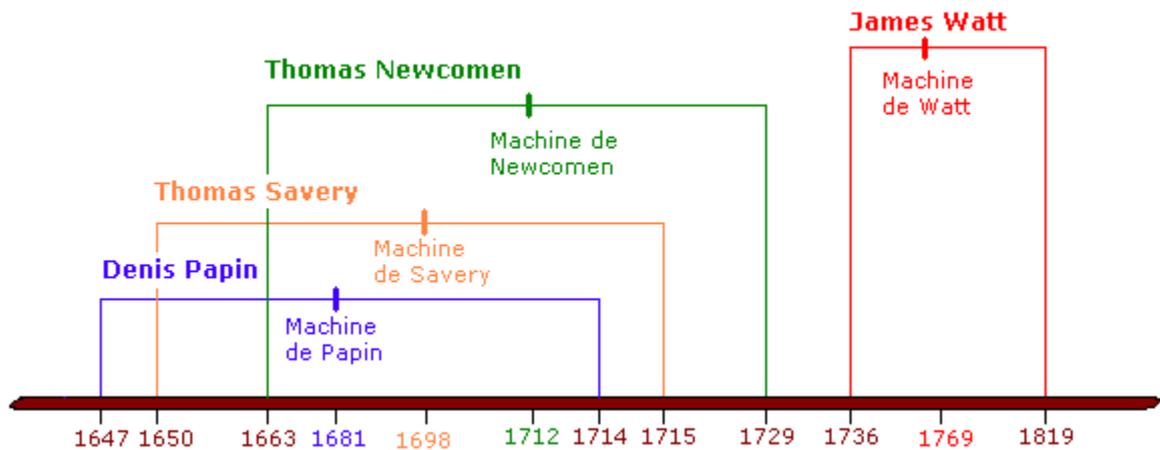


Fig. 1. A Cronología del desarrollo del motor de vapor

Así como la historia en general, también la de la ciencia y tecnología está sembrada de anécdotas personales de los protagonistas, lo cual le imprimen aspectos por demás interesantes y humanos, muy cerca de nuestras propias experiencias cotidianas.

Dentro de todos los personajes que fueron precursores de los MCI, los que le dieron impulso definitivo son los siguientes:

Jean Joseph Etienne Lenoir.

Nació el 12 de enero de 1822, en *Mussy-La-Ville* fue primero *luxemburgués* hasta sus 17 años en 1839, fecha en la que la provincia de Luxemburgo fue separada del Grand Ducado, para entrar en la *Bélgica* naciente.



Llega a Paris en 1838, frecuenta la escuela *Artes y Oficios* de Paris, donde conoce a **Alfonso Beau de Rochas**, quien le ayuda a sus investigaciones para desarrollar el motor autónomo. Vive con comodidad pues sus descubrimientos lo han puesto al amparo de sus patentes, de 1847 a 1885 ha acumulado 47 registros (patentes) de las técnicas más diversas, no obstante la idea del motor sigue “trotando” en su cabeza.

Realizador nato, sin conocimientos profundos, Lenoir, con una habilidad manual genial, no vaciló en interpretar la construcción de un motor que fue más tarde

“monstruosamente imperfecto”. Sin embargo y a pesar de sus fracasos, en 1858 influenciado por el desarrollo de la máquina de vapor de *Huygens y Papín*, las locomotoras de *G. Stephen son y M. Seguin*, el pistón de doble efecto de *Street*, la máquina de *Leban* y la máquina eléctrica de *Rivaz*, logra construir su primer motor de acción directa, doble efecto, 2 tiempos, sin compresión previa y con una velocidad de giro de 130 rpm, un regulador centrífugo de bolas controlaba dicha velocidad.

Es inaugurado en 1860 cuando obtiene la patente No. 43624 en París. En 1859 constituye la *Sociedad del Motor Lenoir* con un capital de 2.000.000 francos que instaló en París. Es un motor de dos tiempos, en el que, en la 1ª mitad de la carrera (sin compresión) se introducen el gas y el aire, y en la segunda mitad se quema la mezcla (18 litros) incrementando la presión y produciendo potencia, finalmente se completa el ciclo con la carrera de escape.

Este motor tenía una potencia alrededor de los 6 hp y 5% de eficiencia. Vendió 500 de estos motores en menos de 5 años, sin contar con una licencia de constructor.



Alphonse Eugène Beau de Rochas, ingeniero civil francés, quien se hacía llamar *Beau de Rochas* debido a que su tío Henri-Justin de Rochas, se hace cargo de su educación con la condición de que lleve los 2 apellidos, el paterno y el materno. Nace en *Digne* el 9 de abril de 1815. Laureado por el Instituto (Academia) de las Ciencias, Tenedor de la Medalla de Oro para el Estímulo a la Industria, creada por Napoleón en 1803, premio que sólo fue otorgado a : Pasteur, De Lesseps, y en el automóvil a Beau de Rochas y al marqués De Dion.

El 16 de enero de 1862, Beau de Rochas registra en la Sociedad de Protección Industrial la patente N°52-593 " *nuevas búsquedas y perfeccionamientos sobre las condiciones prácticas de la más grande utilización del calor y en general de la fuerza motriz, con aplicación a los ferrocarriles y a la navegación* ", donde describe el ciclo del motor de 4 tiempos. Beau de Rochas precisó que la inflamación del gas, previamente comprimido, puede ser provocada por una chispa o bien, de forma espontánea por autoencendido ya que detona si durante su compresión alcanza valores muy elevados.

Este trabajo, muy voluminoso, de una cincuentena de páginas es más una suma de conocimientos científicos de punta, que una patente con la finalidad industrial y comercial correspondientes.

Después de haber registrado su patente, tenía que haber pagado anualidades durante 15 años para que se respetaran sus derechos de propiedad intelectual, pero no efectuó dichos pagos.

En 1890, Beau de Rochas vive en Vincennes, sobrepasa los setenta y cinco años; es un viejo seco, orgulloso, muy derecho y todavía sólido, no temiendo la marcha a pie, y siempre siendo apasionado por el estudio, víctima de una congestión pulmonar consecuencia de un enfriamiento mal cuidado, muere el 27 de marzo de 1893.

NikolausAugust Otto

Nace el 14 de junio de 1832 en Holzhausen, Alemania. Desde su juventud empieza a experimentar con los motores a gas, se había interesado por las máquinas de gas de Lenoir y



cuando viajó al país de este último, abandonó su carrera profesional como comerciante, para dedicarse a la fabricación de motores. Otto fabricó su primera máquina en 1861, a pesar de no

Tener una formación técnica sólida, y en 1864, conjuntamente con 2 amigos, funda en Colonia, Alemania, su propia sociedad: N.A. Otto y Cía. que fue la primera fábrica de motores de combustión interna, en el mundo.

Posteriormente, en 1867 dicha sociedad la traslada a Deutz, a la otra rivera del Rhin que incluso existe hoy en día con el nombre de Deutz AG. Su primer motor fue construido en mayo de 1867 y 5 años más tarde se une con *Gottlieb Daimler y Wilhelm Maybach*, y de manera conjunta ellos producen en 1876 el motor de combustión interna de cuatro tiempos, creando una máquina motriz estática, llamada *motor 4 tiempos o motor Otto*, que sirve de base para las industrias *Daimler y Mercedes-Benz*.

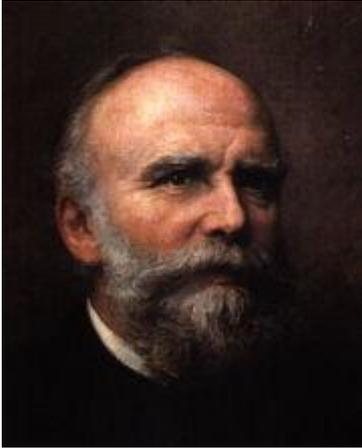
En los 17 años siguientes se vendieron más de 50.000 motores, muchos de los cuales se emplearon en fábricas de maquinaria.

La patente de Otto fue invalidada en 1886 después de que se descubriera que otro inventor, **Alphonse Beau de Rochas** ya había descrito en 1862 el principio del ciclo a cuatro tiempos, sin embargo Otto dejó registrada así su patente.

Fallece en Colonia el 28 de enero de 1891, y para 1911 su hijo Gustavo Otto, a la edad de 28 años funda la sociedad “Gustav Otto Flugmaschinenfabrikun”, fábrica de motores de avión de la cual es pionero en Múnich y Baviera, sobre la base de los motores inventados por su padre.

Su sociedad se transforma en la “BMW AG” el 21 de julio de 1917, después de la fusión con la sociedad "RappMotorenwerkeGmbH", de Karl Friedrich Rapp.

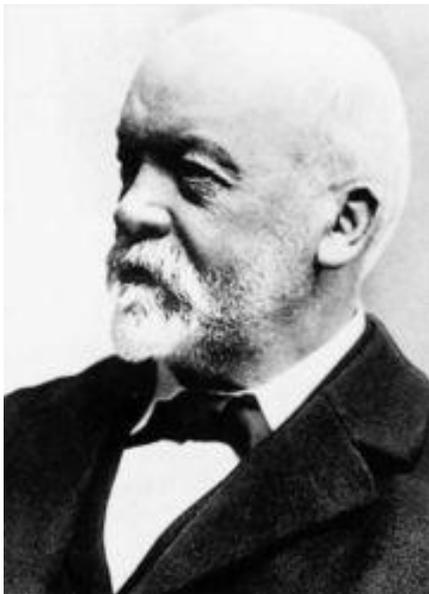
Carl Eugene Langen, nació el 9 de octubre de 1833 en Colonia, Alemania, Eugen hizo múltiples y útiles inventos en la fábrica de azúcar de su padre.



Eugene Langen fue a la escuela de más alto nivel en Colonia, estudio desde 1850 ingeniería mecánica, química y tecnología química

Desde 1862, trabajo con Nikolaus Otto en la máquina de gas, con quien colaboraría el resto de su vida, juntos fundaron en 1864 la compañía N. A. Otto y Co. La primera fábrica de motores en el mundo (como ya se dijo).

En sus últimos años Eugen se ocupó del diseño de un vagón para el transporte de pasajeros, experimentando así la suspensión para trenes. Fundó en 1894 la Sociedad Continental para empresas eléctricas en Núremberg y falleció el 2 de octubre de 1895.



Gottlieb Daimler (originalmente Däumler) nace el 17 de marzo de 1834 en Schorndorf en Gutenberg a 30 km de Stuttgart, Alemania. Trabaja como ingeniero mecánico antes de retomar sus estudios de mecánica en 1857 en la escuela politécnica de Stuttgart.

Fue un ingeniero politécnico con la especialidad en ingeniería mecánica. Realmente las ideas de Daimler pudieron hacer del motor de 4 tiempos algo práctico, utilizable, fue el inventor de los motores a gasolina, pionero del automóvil, inventor de la motocicleta y fundador de la marca de automóviles Daimler, rebautizada Daimler-Benz AG, entonces Mercedes-Benz, después de la fusión con Carl Benz en 1926.

En 1865 conoce a su amigo y más tarde socio, **Wilhelm Maybach** quien era un industrial y también inventor.

En 1869 obtiene un empleo como diseñador industrial con un fabricante de motores alemán en Karlsruhe, **Nikolaus August Otto**, más tarde hace contratar a su amigo **Wilhelm Maybach** y entre los 2 desarrollan un motor que funciona con gas de alumbrado. Tres años más tarde, en 1872 se hace director técnico y se asocia con Nikolaus Otto para fundar Deutz AG, constructor de motores fijos a gas.

El ingeniero Daimler obtiene una patente de un motor a gasolina que es más ligero y más rápido de los que existen entonces. Trabajaba desde hace algunos años en el perfeccionamiento del motor de Nikolaus Otto, mismo o muy similar al de **Bea u de Rochas** que había puesto a punto. Daimler se hace así el padre del motor del automóvil. Desde 1891, el francés *Panhard y Levas* sorutilizarán su invención. En 1885 Gottlieb Daimler y Wilhelm Maybach construyen las primeras motocicletas del mundo, después montan con éxito su motor en un barco, en un trineo y en un coche a caballo, lo que significa la invención del vehículo motorizado de 4 ruedas, el coche pues en el sentido moderno del término.



Invención de la Motocicleta Por GottliebDaimler y Wilhelm Maybach en 1885



Automóvil Daimler de 1886



Camión con motor Daimler de 1896



Mercedes Simplex, con motor Daimler 1902

Principales aportaciones de Gottlieb Daimler en el desarrollo de los vehículos automóviles.

En 1899, junto con Wilhelm Maybach le construyen un automóvil al riquísimo cónsul general del imperio Austro-Húngaro y hombre de negocios Emil Jellinek, igualmente conocido como Monsieur Mercedes (el señor Mercedes), que integra el consejo de administración de Daimler y compra la exclusividad de los derechos de la marca y las patentes técnicas Daimler, para revenderlas con éxito en Austria-Hungría, en Francia, Bélgica y los Estados Unidos, dentro de sus concesiones con el nombre de su hija mayor **Mercedes**.

Gottlieb Daimler fallece el 6 de marzo de 1900 en Stuttgart, a la edad de 64



Wilhelm Maybach (9 de agosto de 1846 - 20 de diciembre de 1929) trabajará mucho tiempo con *Gottlieb Daimler* y participará en el desarrollo de todos los primeros motores Daimler hasta el de 70 caballos de 1906.

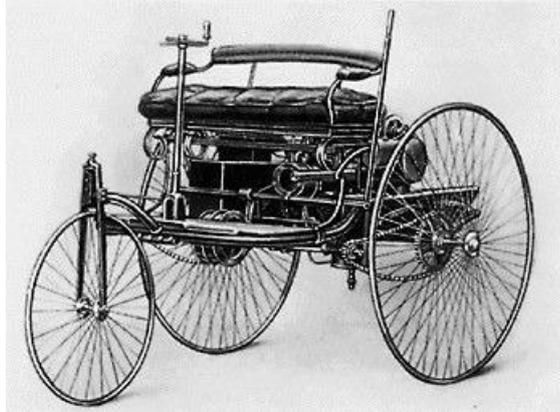
Después de un desacuerdo con Daimler (hijo), se asocia en 1907 con Fernando von Zeppelin para desarrollar motores para dirigibles. Todos los dirigibles Zepelín (hasta Graf von Zeppelin) serán equipados en exclusiva con motores Maybach.

Disponible en 1915, la serie CX de 6 cilindros y 22 litros de desplazamiento desarrolla 210 caballos (a 1300 rpm). Cerca de 2000 motores serán construidos durante la Primera Guerra mundial. Fueron famosos por su resistencia que alcanzaba 40 horas, un récord para la época. El más perfeccionado, el MBIVa suministra 260 caballos y disponía de un carburador regulable según la altitud, permitiéndole mantener su potencia hasta 1 800 metros sobre el nivel del mar.

Wilhelm Maybach muere en 1929. Durante la Segunda Guerra mundial Maybach era el principal abastecedor de motores, equipó los Panzer III, Panzer IV, Tigre I, Tigre II Königstiger, Leopards, Panther, Elefant, particularmente con motores V12 enormes, que suministraban hasta 700 caballos. La marca caerá en el olvido después de la Segunda Guerra Mundial, dentro del grupo Mercedes-Benz hasta 2002. Después del cual, bajo el nombre MaybachManufaktur es hoy la marca de más alto prestigio de dicho grupo.

Carl Friedrich Benz (1844, 1929) quién había empezado a vender motores industriales en 1883 en Manheim; había instalado uno, mono cilíndrico de 958 cm³, 0.75

caballos de potencia, refrigerado por agua en un triciclo que condujo por la ciudad ese mismo año (ver fig.).



Habiendo fabricado su primer vehículo de cuatro ruedas, el *Benz Victoria* (1883), el 29 de enero de 1886 Carl Benz solicita la patente N° 37.435 al gobierno alemán para un vehículo de tres ruedas, que es considerado el primer vehículo de la historia.

A pesar de la superioridad técnica que Benz mostró desde un inicio sobre Daimler, mostrado en un sinfín de elementos con que dotaba a sus vehículos, y de haber sido aguerridos rivales al comienzo en 1924, iniciaron un proceso de fusión que culminaría en 1926 con la formación de la compañía **Daimler-Benz**.

2.2 Motores de combustión interna alternativos [7]

Los motores de combustión interna alternativos, vulgarmente conocidos como motores de gasolina y motores diesel, son motores térmicos en los que los gases resultantes de un proceso de combustión empujan un émbolo o pistón, desplazándolo en el interior de un cilindro y haciendo girar un cigüeñal, obteniendo finalmente un movimiento de rotación.

El funcionamiento cíclico de estos motores implica la necesidad de sustituir los gases de la combustión por nueva mezcla de aire y combustible en el interior del cilindro; este proceso se denomina renovación de la carga.

Los motores Otto y los Diesel tienen los mismos elementos principales. Los cuales se describen brevemente a continuación:

Cámara de combustión

La cámara de combustión es un cilindro, por lo general fijo, cerrado en un extremo y dentro del cual se desliza un pistón muy ajustado al interior. La posición hacia dentro y hacia fuera del pistón modifica el volumen que existe entre la cara interior del pistón y las paredes de la cámara. La cara exterior del pistón está unida por un eje al cigüeñal, que convierte en movimiento rotatorio el movimiento lineal del pistón.

En los motores de varios cilindros el cigüeñal tiene una posición de partida, llamada espiga de cigüeñal y conectada a cada eje, con lo que la energía producida por cada cilindro se aplica al cigüeñal en un punto determinado de la rotación. Los cigüeñales cuentan con pesados volantes y contrapesos cuya inercia reduce la irregularidad del movimiento del eje. Un motor puede tener de 1 a 28 cilindros.

Sistema de bombeo

El sistema de bombeo de combustible de un motor de combustión interna consta de un depósito, una bomba de combustible y un dispositivo que vaporiza o atomiza el combustible líquido. Se llama carburador al dispositivo utilizado con este fin en los motores Otto. En los motores de varios cilindros el combustible vaporizado se conduce a los cilindros a través de un tubo ramificado llamado colector de admisión. Muchos motores cuentan con un colector de escape o de expulsión, que transporta los gases producidos en la combustión.

Sistema de alimentación

Cada cilindro toma el combustible y expulsa los gases a través de válvulas de cabezal o válvulas deslizantes. Un resorte mantiene cerradas las válvulas hasta que se abren en el momento adecuado, al actuar las levas de un árbol de levas rotatorio movido por el cigüeñal, estando el conjunto coordinado mediante la correa de distribución. En la década de 1980, este sistema de alimentación de una mezcla de aire y combustible se ha visto desplazado por otros sistemas más elaborados ya utilizados en los motores diesel. Estos sistemas, controlados por computadora, aumentan el ahorro de combustible y reducen la emisión de gases tóxicos.

Encendido

Todos los motores tienen que disponer de una forma de iniciar la ignición del combustible dentro del cilindro. Por ejemplo, el sistema de ignición de los motores Otto, existe un componente llamado bobina de encendido, el cual es un auto-transformador de alto voltaje al cual se le conecta un conmutador que interrumpe la corriente del primario para que se induzca la chispa de alto voltaje en el secundario. Dichas chispas están sincronizadas con la etapa de compresión de cada uno de los cilindros; la chispa es dirigida al cilindro específico de la secuencia utilizando un distribuidor rotativo y unos cables de grafito que dirigen la descarga de alto voltaje a la bujía. El dispositivo que produce la ignición es la bujía, un conductor fijado a la pared superior de cada cilindro.

La bujía contiene en uno de sus extremos dos electrodos separados entre los que la corriente de alto voltaje produce un arco eléctrico que enciende el combustible dentro del cilindro. Por ello se les conoce como motores de encendido por chispa (MECH).

En el caso de los motores de ciclo Diesel, la ignición se logra haciendo subir la temperatura del aire por compresión dentro del cilindro, es decir, el motor aspira aire ambiente, ya sea de forma natural o mediante un compresor y ya en el interior del cilindro, se realiza la carrera de compresión mediante la cual se logra incrementar significativamente la temperatura del aire. En estas condiciones se inyecta el combustible a una elevada presión para que se atomice y se pueda mezclar fácilmente con el aire y también que se quemé simultáneamente, o casi simultáneamente. Por ello se les llama motores de encendido por compresión (MEC)

Refrigeración

Dado que la combustión produce calor, todos los motores deben disponer de algún tipo de sistema de refrigeración. Algunos motores estacionarios de automóviles y de aviones y los motores fueraborda se refrigeran con aire. Los cilindros de los motores que utilizan este sistema cuentan en el exterior con un conjunto de láminas de metal que emiten el calor producido dentro del cilindro. En otros motores se utiliza refrigeración por agua, lo que implica que los cilindros se encuentran dentro de una carcasa llena de agua que en los automóviles se hace circular mediante una bomba. El agua se refrigera al pasar por las láminas de un radiador. Es importante que el líquido que se usa para enfriar el motor no sea agua común y corriente porque los motores de combustión trabajan regularmente a temperaturas más altas que la temperatura de

ebullición del agua, esto provoca una alta presión en el sistema de enfriamiento dando lugar a fallas en los empaques y sellos de agua así como en el radiador; se usa un anticongelante pues no hierve a la misma temperatura que el agua, si no a mucho más alta temperatura, tampoco se congelará a temperaturas muy bajas.

Otra razón por la cual se debe de usar un anticongelante es que este no produce sarro ni sedimentos que se adhieren en las paredes del motor y del radiador formando una capa aislante que disminuirá la capacidad de enfriamiento del sistema. En los motores navales se utiliza agua del mar para la refrigeración.

Sistema de arranque

En los motores de combustión interna debe provocarse el movimiento del cigüeñal para que se pueda iniciar el ciclo. Los motores de automoción utilizan un motor eléctrico (el motor de arranque) conectado al cigüeñal mediante un embrague automático que se desacopla en cuanto arranca el motor de combustión. Existen varios sistemas de arranque, dependiendo de las características del motor de combustión y dependiendo de su uso, por ejemplo aquellos que se arrancan con la expansión de un gas, que normalmente es CO₂ cuando hay riesgo de explosión si se usa un motor eléctrico, o bien en motores pequeños se gira el cigüeñal con una cadena o tirando de una cuerda que se enrolla alrededor del volante del cigüeñal, otros más utilizan la explosión de un cartucho para mover una turbina que a su vez está acoplada al motor de combustión, etc.

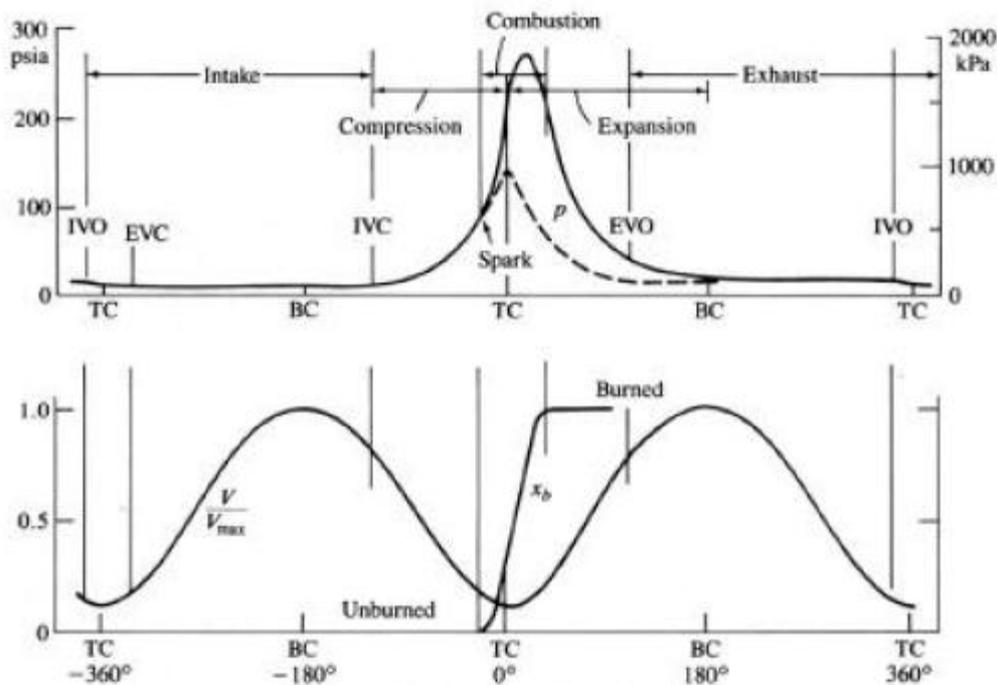


Fig. 2.2 Ciclo de trabajo en MECH.

La Fig. 2.2 muestra la secuencia de eventos que ocurren en el cilindro de un motor de 4 tiempos en función del ángulo del cigüeñal que es la variable independiente. En la gráfica superior vemos el reajuste de las válvulas, las distintas carreras y la presión, tanto en el caso de producirse el encendido de la mezcla como en el caso hipotético de no producirse. La figura inferior muestra la evolución del volumen relativo a su valor máximo y una representación de la fracción de combustible quemada.

Con el propósito de mantener buenos niveles de mezcla a altas velocidades, la válvula de admisión que normalmente abre antes del TC cierra bastante después del BC. Durante la admisión la mezcla fresca de aire y combustible se junta con los gases quemados residuales, remanentes de la carrera anterior. Una vez que la válvula cierra el contenido del cilindro se comprime por encima de la presión y temperatura atmosférica a medida que el volumen del cilindro se va reduciendo. Si bien existe transferencia de calor de la mezcla no quemada al pistón, cabeza de cilindro y paredes del cilindro, su efecto es pequeño.

Entre 10 y 40 grados antes del TC se produce una descarga eléctrica a través de los electrodos de una bujía que arranca la carrera de combustión. Esta descarga se produce porque el distribuidor rotante e impulsado por el árbol de levas interrumpe la

corriente que llega desde la batería al circuito primario de la bobina de encendida. El secundario conectado a la bujía produce un alto voltaje entre los electrodos proporcional a la variación del campo magnético.

Este sistema ahora es reemplazado por circuitos electrónicos que cumplen la misma función.

A partir de la descarga eléctrica se produce una llama turbulenta que se propaga a través de la mezcla de aire, combustible y gases residuales por el cilindro, extinguiéndose al llegar a las paredes de la cámara de combustión. La duración del quemado de la mezcla varía de acuerdo al diseño y la operación pero normalmente ronda entre los 40 y los 60 grados de cigüeñal.

A medida que la masa se quema la presión se incrementa por encima de la presión que se obtendría si el pistón fuera movido externamente sin combustión. Debido a las diferencias en los patrones de flujo y la composición de la mezcla a través de los ciclos encontramos curvas parecidas pero no exactamente iguales.

Existe un reglaje óptimo para el avance al encendido que para una dada masa de aire-combustible produce el máximo torque al freno (MBT). Este reglaje óptimo es una solución de compromiso entre

- * Comenzar la combustión demasiado temprano cuando existe transferencia de trabajo a los gases
- * Completar la combustión demasiado tarde en la carrera de expansión con una disminución de la presión de pico

A los 2 / 3 de la carrera de expansión se abre la válvula de escape y debido a que la presión del cilindro es mayor que la del múltiple se produce un barrido. Los gases quemados fluyen a través de las válvulas de escape a los múltiples hasta que la presión se equilibra. Esto depende del nivel de presiones en el cilindro. A posteriori el pistón es el encargado de desplazar los gases quemados del cilindro al múltiple. El reglaje de la válvula de escape es un compromiso entre

- * Reducción de trabajo al pistón en la carrera de expansión antes del BC
- * Reducción de trabajo del pistón después del BC

La válvula de escape permanece abierta hasta después del TC mientras que la válvula de admisión vuelve a abrir antes de TC con lo cual existe un período en el cual ambas están abiertas denominado cruce. Si la mariposa se ubica a baja carga la presión en la admisión estaría por debajo que la del escape produciendo un reflujo en la válvula de admisión apenas esta se abre.

Motor diesel [8]

El motor Diesel funciona por el principio del autoencendido o auto ignición, en el que la mezcla aire-combustible arde por la gran temperatura alcanzada en la cámara de compresión, por lo que no es necesaria la chispa como en los motores de explosión. A continuación se explica el proceso.

En cuanto el combustible frío contacta con el aire que se encuentra a gran temperatura, comienza a elevarse su temperatura, formándose vapor alrededor de cada una de las gotas. El aire circundante se enfría y toma calor de la masa de aire comprimido, transmitiéndolo nuevamente a la gota de combustible que vuelve a calentarse hasta alcanzar su temperatura de inflamación. Cuando esto ocurre, comienza la combustión y el calor producido se pasa a toda la masa de aire y combustible restante, produciéndose su inflamación.

El tiempo que transcurre entre la entrada de las primeras gotas y el inicio de la combustión se llama retardo a la inflamación, el cual representa el tiempo de giro del cigüeñal que transcurre entre el comienzo de la inyección y la inflamación del combustible. Durante este periodo se está inyectando combustible de forma continua.

Este fenómeno produce un picado particular, parecido a la detonación en los motores de gasolina, que aumenta a medida que lo hace el retardo a la inflamación.

Para reducir este fenómeno es necesario que la combustión se inicie con el menor intervalo de tiempo respecto a la inyección, por lo que se usa un combustible con un alto grado de citano así como una buena pulverización del mismo, con relaciones de compresión elevadas y cámaras de alta turbulencia.

Existen dos tipos de cámaras: de inyección directa e inyección indirecta.

a). Cámaras de inyección directa.

La inyección se realiza directamente en el cilindro, con alojamientos especiales en la cabeza del pistón que varían en su forma, para actuar como cámara de turbulencia y ayudar a la vaporización del combustible. La más usual es la de forma toroidal, que es una cavidad circular normalmente simétrica en el centro de la cabeza del pistón, con un pequeño cono en centro y apuntando hacia arriba.

Cualquiera que sea el tipo de cavidad, debe estar adaptada al inyector presente, que se monta en posición vertical o ligeramente inclinada sobre la culata, formando un ángulo preciso.

Dicho inyector contará con varios orificios de vertido del combustible, estando adaptado también al diseño de la cámara de combustión.

Dado que el grado de turbulencia es bajo, las relaciones de compresión son muy elevadas, del orden de 15:1 a 20:1, con lo que se consiguen grandes presiones y temperaturas y que hacen necesaria también una gran presión de la inyección.

Es un motor con poca pérdida de calor a través de las paredes, con lo que los arranques en frío se ven mejorados.

b). Cámaras de inyección indirecta.

En esta disposición la combustión se desarrolla en dos cámaras, una de ellas la de turbulencia que normalmente es esférica, y que desemboca en la principal, que está constituida por el espacio comprendido entre el pistón y la culata.

La cámara de turbulencia representa los dos tercios del volumen total de la cámara de combustión.

En estas cámaras la presión de inyección es menos elevada, ya que la turbulencia creada en el pre cámara ayuda a la pulverización del combustible.

Esto se traduce en un funcionamiento del motor más suave y con menos sufrimiento para los distintos órganos que lo forman, ya que el paso de la combustión de una

cámara a otra hace que la fuerza sobre el pistón se aplique de una forma más progresiva.

Dadas las elevadas compresiones que se alcanzan en estos motores y el gran calor que desarrollan, los componentes que los forman están más reforzados y son más pesados que sus equivalentes de un motor de gasolina, por lo que estos motores son menos revolucionados, pero con una mayor disponibilidad de par motor a pocas revoluciones. Sus sistemas de refrigeración están más estudiados y cuidados que otros motores.

Sistema de alimentación en los motores Diesel.

Es el encargado de suministrar el combustible necesario para el funcionamiento del motor, pudiéndose diferenciar dos apartados fundamentales:

- a). Circuito de alta presión, encargado de impulsar el combustible a una presión determinada para ser introducido en las cámaras de combustión.
- b). Circuito de baja presión, encargado de enviar el combustible desde el depósito en que se encuentra almacenado a la bomba de inyección.

El circuito quedaría formado así:

1. Depósito de combustible.
2. Bomba de alimentación.
3. Filtro.
4. Bomba de inyección.
5. Inyectores.

Este sería el funcionamiento de dicho circuito:

La bomba de aspiración succiona combustible del depósito a través de una rejilla filtrante, que se encuentra en el extremo del tubo de aspiración. Este combustible llega a través de un primer filtro que elimina las impurezas más gruesas que lleva en

suspensión el gasóleo. Después la bomba lo mandaría al filtro del combustible y de ahí pasaría a la bomba de inyección, que lo mandaría a los inyectores.

La bomba de alimentación normalmente trabaja con presiones en torno a 1 o 2 Kg/cm². Y en cantidad suficiente, siendo una válvula de descarga la que regula dichas presiones, teniendo una canalización de retorno para el combustible sobrante que va de vuelta al depósito.

Esta bomba suele contar con una pequeña bomba manual de cebado, que usa el mismo circuito y que sirve para purgar y llenar las canalizaciones de combustible.

Si la bomba de inyección es de elementos en línea, la bomba de alimentación normalmente irá acoplada a ella, recibiendo el movimiento del árbol de levas de la propia bomba de inyección.

En este caso la bomba normalmente sería del tipo de pistón con muelle antagonista y rodillo, alojados en un cilindro.

También contaría con válvulas de entrada y salida del combustible.

Si la bomba de inyección fuese rotativa ya incorporaría su propia bomba de alimentación.

La bomba de inyección suministra el combustible necesario a presión a los distintos cilindros, a los que pasa a través de los inyectores, que lo pulverizan.

Desde ellos, el sobrante que no entra en los cilindros se hace retornar por los conductos de rebose.

En el circuito de alta presión, los tubos entre la bomba de inyección y los inyectores se fabrican siempre de acero, a causa de las altas presiones que alcanza el combustible durante el funcionamiento del motor.

Para asegurar el ajuste correcto de cada cilindro y una capacidad de inyección uniforme para todos ellos, los tubos deben tener la misma longitud entre sí, ya que el cambio de longitud altera el punto de inyección de un cilindro respecto a los demás.

El filtrado del combustible.

El petróleo bruto contiene una gran cantidad de impurezas que no se eliminan por completo en el proceso de destilación. Dichas impurezas suelen estar constituidas principalmente por azufre, asfaltos y silicatos, que se presentan en forma de partículas muy duras y cuya densidad les permite mantenerse en el líquido durante cierto tiempo.

Por otra parte, y debido al uso y al paso del tiempo, el depósito de combustible puede almacenar polvo, arenas o partículas metálicas.

Por ello es esencial eliminar dichas suciedades, ya que al pasar por los diversos órganos del sistema de inyección producen una acción de esmerilado que acelera sobremanera el desgaste, con lo cual dichos componentes quedan inutilizados.

He aquí la necesidad de una escrupulosa limpieza del combustible hasta conseguir separar todas las impurezas que lleva consigo, al menos las que sean superiores a una milésima de milímetro.

Los encargados de cumplir esta misión son los filtros de combustible, que se emplazan entre la bomba de alimentación y la de inyección.

El elemento filtrante suele estar constituido por una especie de cartucho de papel poroso de celulosa especial o fieltro, impregnado de una sustancia que normalmente suele ser resina fenólica, que tiene la propiedad de absorber el agua que pueda contener el combustible, procedente de la condensación, que puede atacar a las superficies metálicas del sistema de inyección, oxidándolas y deteriorándolas.

Dada la gran importancia que tiene el sistema de filtrado en un motor Diesel, se hace necesaria la reposición de los cartuchos filtrantes periódicamente, cada 15.000 km aproximadamente.

La disposición del filtro es la siguiente:

El cartucho filtrante se fija a la cabeza del filtro por medio de un tornillo pasante, que se rosca en la cubeta. Este cartucho queda acoplado por la parte superior e inferior por sendos anillos de caucho.

El combustible circula desde la boca de entrada, a través de la materia filtrante, hasta el fondo de la cubeta, desde la cual sube por el conducto central para salir por el conducto superior hacia la salida.

En la cubeta hay un tornillo de vaciado para su limpieza de las impurezas depositadas.

Algunos filtros disponen en su cubeta inferior de un sensor capaz de detectar el agua contenida en ella, que ha sido retenida por la materia filtrante.

Dicho sensor es del tipo de sonda capacitiva, que dispone de dos puntas o electrodos separados y conectados a través de un circuito electrónico a una lámpara de control.

Ya que el agua tiene una densidad mayor que el gasóleo, cuando se acumula lo hace en el fondo, por lo que al detectar los electrodos el cambio de densidad se enciende la lámpara de control

El gasóleo utilizado en los motores de automoción tiene un alto contenido de ceras que pueden cristalizar cuando la temperatura ambiente desciende de -4°C aproximadamente. Dichos cristales obstruyen los conductos de paso del combustible del circuito de alimentación, provocando fallos en el funcionamiento del motor e incluso la imposibilidad de arrancar al mismo.

Esto hace que existan aditivos que se añaden al combustible en invierno, para evitar estos depósitos de cera, aunque a temperaturas extremadamente bajas no pueda evitarse la acumulación de pequeños tapones de cera.

Por esta razón algunos filtros están dotados de un sistema de caldeo consistente en una resistencia eléctrica que rodea el cartucho filtrante o una placa sumergida en el propio filtro y que calienta el combustible cuando pasa.

En algunas ocasiones el filtro incorpora una pequeña bomba de cebado de pistón, emplazada en la cabeza del filtro, junto a un tornillo de purga situado en el conducto de salida. En otros casos puede ser del tipo membrana y tener una implantación similar a la anterior.

Sistemas de inyección de combustible diesel

Inicialmente, Rudolf Diesel tuvo la idea de inyectar directamente el combustible en la cámara de combustión (como se realiza actualmente) pero tropezó con detalles prácticamente insalvables en sus tiempos; sin embargo, el sistema que utilizaron de soplar el combustible con aire comprimido dio resultados prácticos aceptables.

Actualmente se usa una bomba de alta presión y un inyector por cada pistón. Este sistema debe cumplir con las siguientes condiciones:

- a. Inyectar la cantidad de combustible que se requiere de acuerdo con la carga aplicada al motor y mantener esta cantidad constante de ciclo a ciclo y de cilindro a cilindro.
- b. Inyectar el combustible en el instante correcto del ciclo para todos los rangos de velocidades del motor.
- c. Inyectar el combustible en la proporción deseada para controlar la combustión y la elevación resultante de la presión.
- d. Atomizar el combustible adecuadamente.
- e. Distribuir el combustible dentro de toda la cámara de combustión.
- f. Iniciar y terminar la inyección instantáneamente.³

Los elementos que constituyen el sistema de inyección son:

Sistema de bomba individual

Un dosificador y una bomba de alta presión independientes para cada cilindro del motor.

Sistema de distribuidor

Una sola bomba para dosificar y comprimir todo el combustible, y un mecanismo divisor para distribuirlo hacia los diferentes cilindros.

Sistema de conducto común

Una sola bomba para comprimir el combustible y un elemento dosificador para cada cilindro.

En todos estos sistemas se utiliza cuando menos una bomba de baja presión para transferir el combustible del tanque de almacenamiento y cargar el sistema de alta presión; también se instalan varios filtros para garantizar la limpieza del combustible.

Los tres sistemas difieren sólo en que las distintas funciones del equipo de inyección las llevan a cabo diferentes componentes. El sistema de bomba individual tiene varias bombas completas e independientes, las cuales envían e incrementan la presión del combustible. En el sistema de distribución solamente se emplea una bomba que eleva la presión; la repartición del combustible se hace mediante un distribuidor.

La bomba de alta presión del sistema del conducto común necesita suministrar combustible a un solo acumulador (el conducto común); la presión se debe controlar mediante una válvula de desahogo. La dosificación del combustible se hace a través de un elemento separado para cada cilindro.

Sistema auxiliar (turbo cargador)

El turbo cargador es un sobre alimentador del tipo centrífugo que se usa en motores de 4 tiempos y en algunos casos en motores de 2 tiempos. El turbo cargador aprovecha la energía de los gases de escape del motor para introducir aire a alta presión al múltiple de admisión. Con este dispositivo se logra aumentar la potencia de un motor hasta en un 30%.

El turbo cargador consta de una turbina y un compresor acoplados a una única flecha, soportada en bujes o cojinetes radiales, rodeado por un soporte o cubo y dos cubiertas una del compresor y otra de la turbina. Los gases de escape del motor se dirigen hacia la entrada de la turbina (garganta) después se reduce su diámetro (en forma de cuerno) y se descargan los gases hacia las aletas de la turbina, para que gire y esto permite, hacer girar en el otro extremo, al compresor, que introduce aire a presión al cilindro.

A pesar de no existir ningún acoplamiento mecánico entre el motor y el turbo cargador, la velocidad de este se acopla automáticamente a la marcha y a los requerimientos del motor.

2.3 Propuestas sobresalientes en el auto-transporte [17]

En los últimos años, en el autotransporte se han introducido parcialmente algunos combustibles alternativos, como son el gas natural comprimido, el gas licuado de petróleo y el alcohol, lo que ha posibilitado sustituir una pequeña parte de los que tradicionalmente se utilizan con este fin en el país (gasolina y diésel).

En el mundo contemporáneo el incremento del consumo de energía se debe, entre otras razones, a la demanda de gasolina y diésel para el uso de los vehículos terrestres.

Desde principios del siglo XX los combustibles derivados del petróleo se impusieron a otras fuentes que ya habían sido utilizadas ampliamente en el transporte, como fue el caso de la energía eléctrica. Esto se debió a la política adoptada por muchos países sobre el uso de los combustibles derivados del petróleo, lo que propició también el desarrollo de la industria automovilística y conllevó a la proliferación del empleo de estos combustibles en el autotransporte.

Sólo en tiempos de crisis, como durante la Segunda Guerra Mundial, el uso del alcohol y la energía eléctrica tomaron nuevo auge, que desapareció o disminuyó posteriormente al concluir esta. A partir de la crisis del petróleo de los años setenta, debido al alza del precio de los combustibles fósiles y la incipiente preocupación por disminuir la contaminación ambiental provocada por el transporte, en el mundo se intensificaron los estudios para la introducción de los combustibles alternativos. Se conocen como tal aquellos combustibles que no son el diésel y la gasolina, tradicionalmente empleados por los medios de transporte. Ofreciendo un panorama general del consumo de este tipo de portador energético y sus resultados obtenidos a partir de la década de los noventa, cuando se comenzaron a desarrollar diferentes estudios y trabajos para la introducción de nuevos tipos de combustibles en el autotransporte.

Consumo de energía en el autotransporte

Para su análisis podemos clasificar los combustibles alternativos en tres grandes grupos: los que proceden de fuentes renovables, los de origen fósil y los limpios, considerando dentro de estos el hidrógeno y la electricidad.

Combustibles obtenidos de fuentes renovables

Se consideran energías renovables aquellas que son capaces de reponerse en un período no superior al requerido para su formación. Las más conocidas y empleadas por el hombre son la energía hidráulica, la eólica, la solar y la procedente de la biomasa.

La energía hidráulica no tiene prácticamente aplicación directa en los medios de transporte. La eólica, a pesar de haber mantenido la comunicación entre continentes por varios siglos con una tecnología tan simple como una vela, desafortunadamente cayó en desuso casi total.

La aplicación de la energía solar en el transporte se limita sólo al uso de los paneles solares en los sistemas de señalización (vial, ferroviario y naval) y en algunas instalaciones de comunicaciones, en lugares donde no es económicamente rentable la construcción de una línea de suministro de energía o de comunicaciones.

La amplia red de las líneas de distribución de energía eléctrica, no hacen rentables el uso de los paneles solares para el sector, con excepción de su utilización en boyas y faroles en los cayos y zonas muy aisladas.

En los últimos años en varios países se han fabricado diferentes tipos de vehículos ligeros que utilizan los paneles solares para suministrar energía eléctrica a los vehículos. Sin embargo, aún estos se encuentran en una fase primaria de experimentación, y son relativamente caros, frágiles, voluminosos y de baja capacidad de carga.

En cuanto a la biomasa, sí puede ser de amplias posibilidades en medios de transporte mediante el etanol, el metanol, los biocombustibles sólidos, el biodiesel y el biogás.

Etanol

Se obtiene a partir de la fermentación y posterior destilación de jugos ricos en azúcares, tales como: la caña de azúcar, el maíz, la remolacha, el sorgo dulce y otros. Puede ser empleado como combustible puro (100 %) en motores diseñados con este fin, o en forma de mezclas, generalmente entre 5 y 25 %, con los combustibles tradicionales (diésel y gasolina). También puede emplearse como aditivo antidetonante (sustituyendo al tetra etilo de plomo) en la gasolina.

El uso de las mezclas etanol-gasolina, en motores con encendido provocado, son conocidas desde principios del siglo pasado; alcanzaron su mayor auge a mediados de la década de los setenta con el Programa Pro alcohol de Brasil; también en esa época se desarrolló el motor de alcohol. El etanol en los motores diésel se comienza a utilizar a partir de la década del ochenta, motivado por el interés de disminuir la contaminación atmosférica. Países como los Estados Unidos, Suecia, Alemania, India, Kenya yZimbabue, entre otros, también han ejecutado programas al respecto.

En general, el uso del etanol como combustible presenta las ventajas siguientes:

- Sustitución de derivados del petróleo.
- Se obtiene a partir de fuentes renovables.
- Tiene un índice de octano superior al de la gasolina.
- Fácil manipulación.

No obstante, el empleo del etanol tiene algunas desventajas, como su menor poder calórico (menos energía para un mismo volumen que los combustibles fósiles) y presenta algunos problemas de corrosión en las partes mecánicas y en los elastómeros (sellos de goma).

Metanol

El alcohol metílico o de madera recibe este nombre por su obtención original a partir de la viruta de la madera, aunque en estos momentos las grandes producciones de metanol se logran a partir de la hidrólisis del metano. Puede ser empleado como

combustible puro(al 100 %), en mezclas, como antidetonantes y como portador de hidrógeno.

Existe una amplia experiencia internacional (Brasil, Estados Unidos, Canadá, Alemania, Suecia) sobre su uso en los vehículos automotores. Se han realizado algunos estudios al respecto y hay una experiencia muy interesante de su empleo como portador del H₂.

Sin embargo, a pesar de que puede ser un combustible renovable (según su origen) y tener efectos ambientales muy favorables, su alto costo no lo hace recomendable, además de ser altamente tóxico.

Biocombustibles sólidos

Fue uno de los primeros combustibles que emplearon las locomotoras de vapor en forma de troncos de madera (leña). En la actualidad este combustible lo utilizan trenes de algunos países como India y Pakistán, vinculados a la producción de azúcar. Su empleo está limitado al ferrocarril.

La forma más eficiente del uso de este portador es utilizando los residuos agro-industriales, como la paja de la caña, el bagazo, la cáscara del arroz y los residuos de aserrío, entre otros. Generalmente se aplican en un proceso de quema directa. Sin embargo, el limitado poder calórico y su baja densidad obligan a emplear técnicas de compactación al combustible y de modernizaciones termo-energéticas en las locomotoras.

El uso de los biocombustibles sólidos presenta las ventajas siguientes:

- Sustitución sustancial de derivados del petróleo.
- Su aplicación favorece el medio ambiente.
- Reducción de los costos de transporte ferroviario.
- Aprovechamiento del residual que se quema en el campo sin utilización (se consume menos de 5 % de los residuos agrícolas de la caña de azúcar).

Biodiesel

Es un combustible similar al diésel, producido a partir de oleaginosas, tales como la soya, el girasol, el maní, la colza, el coco, el maíz, la semilla de algodón, la palma, aceites usados, sebos y otros. Cuando la grasa vegetal o animal reacciona con el metanol o el etanol, en presencia de un catalizador, se produce un éster (que es el combustible) y glicerina como un subproducto.

Aunque puede emplearse puro (100 %) sin modificar los motores, generalmente brinda los mejores resultados en mezclas de 20-30 % de éster con 80-70 % de diésel común. El tanto por ciento que se debe utilizar, así como la oleaginosa tomada como base dependen de las disponibilidades y posibilidades de cada territorio. Existen experiencias a diferentes escalas en Alemania, Austria y otros países de Europa Central, en Brasil, España, Filipinas, los Estados Unidos y Francia. Se puede utilizar en cualquier tipo de transporte automotor de carretera, el ferrocarril e incluso en la navegación marítima.

El uso del biodiesel como combustible presenta las ventajas siguientes:

- Se obtiene de fuentes renovables.
- Sustitución de derivados del petróleo.
- No se requiere de modificaciones en los motores ni para el suministro y abastecimiento.
- Disminuye la contaminación ambiental.

Biogás

Este combustible se obtiene a partir de la descomposición anaerobia de materias orgánicas. Habitualmente contiene cerca de 35-40 % de CO₂ y 60-65 % de metano (CH₄). Con esta composición tiene un reconocido empleo para la iluminación y la cocción de alimentos en zonas rurales. También es posible aplicarlo al transporte, para lo cual es necesario extraer el CO₂; el resultado es un gas con más de 90 % de CH₄.

La obtención controlada del biogás reduce las emisiones de gases de efecto invernadero, y su aplicación en el transporte reduce los contaminantes que emiten los vehículos. Sin embargo, la reducida autonomía de los automóviles que trabajan con este tipo de combustible conlleva a que su aplicación sea relativamente cara y de aplicación local.

Combustibles alternativos de origen fósil

Desde que el mundo tomó conciencia de que un elevado porcentaje de los contaminantes presentes en la atmósfera son emitidos por los vehículos de combustión interna, que consumen combustibles fósiles, se comenzaron a diseñar diferentes alternativas tendientes a generar compuestos o desarrollar sistemas que dañen menos al medio ambiente y permitan sustituir los combustibles tradicionales. Entre ellos se encuentran:

El gas natural comprimido (GNC) y el gas licuado de petróleo (GLP).

Gas licuado de petróleo (GLP)

El propano o gas licuado de petróleo, como se conoce, es el combustible alternativo más desarrollado tecnológicamente y comercialmente; se emplea por más de diez millones de vehículos en el mundo, y los países que se destacan son Corea del Sur, Japón, Italia, Australia y Holanda, entre otros. Se obtiene en cantidades limitadas del proceso de refinación del petróleo (gases producidos en el cracking).

Gas natural comprimido (GNC)

Es los combustibles de origen fósil de más baja emisión de contaminantes. Actualmente más de cincuenta países y de 3,5 millones de vehículos lo emplean como combustible automotor, y los países que se destacan son Argentina, Italia, Pakistán, Brasil, los Estados Unidos, Venezuela y la India, entre otros. Esta tecnología también es utilizada en el ferrocarril.

El uso del GNC como combustible presenta las ventajas siguientes:

- Sustituye derivados del petróleo.

- Disminuye sustancialmente la contaminación ambiental.
- Reduce los gastos de mantenimiento.
- Solo requiere ligeras modificaciones en los motores y muchas firmas reconocidas del sector ofertan motores diseñados expresamente para GNC.

Como desventaja se considera que su implementación requiere de cierta inversión inicial en las estaciones de suministro y en el equipamiento que se debe adicionar al vehículo automotor para los casos de adaptación. También el incremento del peso de los cilindros empleados para el almacenaje del GNC a bordo.

Una investigación encaminada a valorar el uso del GNC en el transporte automotor, arrojó, entre otros resultados, que los vehículos de gasolina adaptados reducían su potencia entre 8 y 12 % y las prestaciones del vehículo en 5 %,

Los costos de mantenimiento (vinculados a la combustión) en 33 % y que medioambientalmente era mucho menos contaminante.

Estos resultados están en el entorno de lo reportado por la bibliografía internacional.

Combustibles limpios

Los combustibles limpios que se utilizan en el transporte son la electricidad y el hidrógeno.

Electricidad

La electricidad ha sido empleada en el transporte ferroviario desde finales del siglo XIX y principios del XX, en el servicio colectivo. Su mayor auge mundial lo logran los tranvías en los años veinte y treinta del siglo pasado; disminuye considerablemente su empleo debido a las facilidades que ofrecían los vehículos automotores con el uso de combustibles fósiles y la imposibilidad institucional de hacer coexistir este tipo de transporte con el automotor.

Durante la Segunda Guerra Mundial y la crisis del petróleo de la década del setenta, algunos países retomaron este medio de transporte y trabajaron en su

perfeccionamiento. Sin embargo, no es hasta finales del siglo pasado que se logran resultados significativos, lo que ha conllevado a la electrificación de una gran cantidad vías férreas en Europa del Este y en los países asiáticos, utilizándose fundamentalmente en la transportación de pasajeros.

En los últimos años, dos nuevas tecnologías que se están imponiendo mundialmente están destinadas a servir de soporte a la implementación de los vehículos con motores de tracción eléctricos. Estos son los vehículos híbridos y la célula de combustible.

Ambas tecnologías están destinadas a imponerse en el transporte, al reducir los consumos de combustibles y las emisiones, además de ser cada día más factible su implementación.

Hidrógeno

A pesar del alto contenido de energía por unidad de peso, la abundancia de hidrógeno y su combustión completamente limpia, su obtención de forma industrial requiere de un proceso altamente consumidor de energía, además de que el almacenamiento y la transportación son procesos complejos y costosos.

Durante décadas innumerables empresas internacionales trabajaron en la aplicación del H₂ a los motores de combustión interna alternativos (MCIAs); sin embargo, no se ha logrado su producción a precios comerciales.

En los últimos años se ha producido un giro casi absoluto a la aplicación del hidrógeno mediante las células de combustible, a tenor de la elevada eficiencia lograda por estas, y se comercializaron vehículos de este tipo por las más prestigiosas firmas del sector.

La aplicación de esta tecnología aún es relativamente cara, por lo que su empleo no se prevé de inmediato.

2.4 Uso del Biodiesel [18] [19]

Con los precios del combustible en alza y la preocupación creciente por la contaminación del ambiente, la necesidad de considerar una alternativa energética viene a ser ahora toda una real necesidad. Una de las alternativas disponibles es usar el combustible biodiesel, que ha llegado a ser popular. A causa de que el biodiesel es

un combustible que se quema limpio y está formado de materias primas naturales y renovables sus fuentes, los empleos actuales pueden llegar a ser sorprendentes.

Debajo hay una lista de nueve formas de biodiesel que se están aprovechando, algunas de las cuales seguramente usted no había imaginado.

- Alquiler de autos movidos a biodiesel. Comenzó la oferta en Maui (Hawai) y Los Ángeles en los EEUU. Son vehículos que alcanzan una autonomía entre 400 y 800 millas por tanque, lo que no está nada mal, teniendo en cuenta el valor actual de la gasolina.

- Calefacción para el hogar en base a Biodiesel. Mucha gente está apuntando sus ojos hacia el Biodiesel como una alternativa para la calefacción de la casa. Las calderas a petróleo pueden funcionar bien con Biodiesel (B20), combustible fabricado con 80% de aceite de petróleo y 20% de Biodiesel. Hay quienes han reformado sus calderas para Biodiesel (B100), un combustible realizado enteramente con aceites vegetales, quema más limpio que el petróleo convencional.

- Generadores de electricidad en base a combustible Biodiesel, estos son una alternativa superior al tradicional quemado de carbón de piedra. El Biodiesel es más económico, además es limpio y renovable para generar electricidad.

- Camiones de transporte alimentados con Biodiesel. Poco a poco, más y más tractores de transporte de mercaderías cambian de diesel a Biodiesel, los beneficios que obtienen son numerosos, para no mencionar las ventajas de ayudar al medioambiente y reducir la dependencia de petróleo extranjero mientras se ahorra dinero.

- Maquinaria agrícola: Aprovecha el aceite biodiesel que ayuda a producir, en los motores de los tractores y las diferentes máquinas del campo, en bombas de irrigación, generadores, sistemas para irrigación, que habitualmente venían usando combustible diesel, ahora el uso de aceite biodiesel como combustible para conseguir energía, cierra un círculo virtuoso en la agricultura, desde productores a consumidores.

- Embarcaciones de fletes comerciales como ferries, yates de paseo, botes de vela y de motor son todos candidatos al uso de aceite biodiesel como combustible alternativo. La

empresa "PacificWhaleFoundation", localizada en Hawai (EEUU) emplea también el biodiesel en sus barcos.

- Tasas de incentivo: El IRS de los EEUU (Oficina de impuestos) ofrece tasas de incentivo para producir aceite biodiesel. El gobierno de los EEUU está trabajando para reducir gases que producen contaminación ambiental, dándoles a los productores de aceite biodiesel fondos del Estado. Los fondos ayudan a los consumidores, bajando el precio de venta al público del combustible alternativo.

- Aditivos lubricantes en base a aceite biodiesel, porque es un buen lubricante en comparación al de uso actual en base a petróleo poco sulfurado, los inyectores de combustible y otros tipos de bombas de combustible, pueden perfectamente ser lubricados con aceite biodiesel.

Con los aditivos correctos, la performance del encendido puede mejorar, haciendo los motores más duraderos. Otras aplicaciones se han pensado, como aditivo para la tolva de concreto y los tractores de asfalto. Por las propiedades solventes, limpia las partes mecánicas con seguridad reduciendo la irritación de ojos asociada con otros limpiadores.

- Medioambiente limpio: el biodiesel reduce la emisión de Dióxido de Carbono en un 80% y a causa de esto se reduce también el riesgo de los compuestos tóxicos asociados al cáncer. El biodiesel se descompone en residuos naturales sin contaminar el ambiente. (Hay quienes cuestionan esto)

La producción de biodiesel a escala comercial puede ser factible en México en el mediano plazo para realizar acciones integrales que deben incluir aspectos técnicos, económicos y medioambientales, de concertación con el sector agrario y agroindustrial así como un esfuerzo importante en investigación y desarrollo tecnológico.

El biodiesel puede producirse a partir de una gran variedad de cultivos oleaginosos, de grasas animales y de aceites y grasas recicladas. En este proyecto se estudiaron como insumos para este combustible a la semilla de colza, soya, jatropha, girasol, y cártamo, así como el uso de sebo animal y aceite reciclado. Se analizó la producción de biodiesel en plantas con dedicación exclusiva a este combustible o como anexos a plantas existentes para la extracción de aceites comestibles.

La producción de biodiesel a partir de semilla de colza y soya es técnicamente madura en todo el mundo. El biodiesel producido a partir de jatropha es técnicamente viable aunque no tiene tanta experiencia a nivel internacional; finalmente el biodiesel de palma tiene el inconveniente de no permitir que los ésteres satisfagan los requerimientos de flujo en frío en las regiones templadas.

El análisis económico muestra que en todos los casos los precios de producción del biodiesel son mayores que el costo de oportunidad del diesel comercializado por PEMEX. En este sentido, la situación en México no es muy diferente de la de otros países, pero es más evidente el bajo costo del diesel de petróleo, el cual cuenta incluso con subsidios especiales dentro del sector agrícola. Los costos de producción del biodiesel tienen un rango de entre \$5.3 a \$12.4 pesos por litro equivalente. Los cultivos más competitivos son la palma, girasol y soya.

La jatropha es promisorio pero debe resolverse el problema de posibles toxinas en la glicerina y otros subproductos generados en el proceso. Los costos de los insumos agrícolas representan entre el 59% y 91% de los costos de producción del biodiesel. En muchos casos, como la soya, estos costos dependen en gran medida de la posibilidad de vender los subproductos agrícolas.

Al igual que en el caso del etanol, este estudio sugiere una estrategia gradual de introducción del biodiesel en México. De manera inmediata, la introducción del biodiesel podría basarse sobre todo en el uso de materias primas de bajo costo como aceites y grasas recicladas. En el mediano plazo se requerirán esquemas de incentivos para la introducción del biodiesel de manera masiva a fin de permitir la sustitución de entre el 2% y 5% del diesel de petróleo después del 2012. Para lograr estas metas se necesita un plan de desarrollo del mercado de este combustible que contemple aspectos como: establecer de manera inmediata el marco legal—por ejemplo, una directiva de biodiesel con metas claras, estándares nacionales para este combustible e incentivos a la producción agrícola y comenzar a desarrollar una industria nacional de producción de biodiesel, incluyendo actividades de capacitación y de investigación y desarrollo. Así mismo, se necesita aumentar de manera muy significativa el área de cultivos oleaginosos, puesto que nuestro país no cubre actualmente ni siquiera la demanda de aceites comestibles.

Para llegar a sustituir un 5% del diesel de petróleo en el país será necesario instalar 10 plantas industriales con capacidad de 100.000 t/año cada una o más de 140 plantas pequeñas con capacidad de 5,000 t/año cada una. Para optimizar el suministro de los cultivos agrícolas, y reducir el costo de distribución de biodiesel y sus subproductos, las plantas de producción deben instalarse en las cercanías de refinerías o de las plantas productoras de aceites vegetales.

Desde el punto de vista logístico, la mejor opción son plantas integradas de producción de aceites vegetales y biodiesel. Las inversiones estimadas para llegar al escenario de 5% de biodiesel alcanzan \$3,100 millones de pesos, puesto que cada planta industrial de gran escala tiene un costo unitario de \$311 millones de pesos. Aunque la producción de biodiesel estaría orientada al mercado nacional, el combustible podría también exportarse ocasionalmente a otros mercados como Europa o los Estados Unidos.

Las ventajas de un programa nacional de biodiesel serían muy importantes. Desde el punto de vista ambiental, la sustitución de diesel de petróleo por biodiesel permitiría ahorrar alrededor de 1.7 millones de toneladas de CO₂/año hacia el año 2010 y 7.5 millones de toneladas de CO₂/año hacia el 2014.

Dentro del sector rural, apropiadamente diseñado, un programa de introducción de biodiesel podría presentar un balance ecológico positivo y ayudar al desarrollo de las economías regionales y locales. Para lograr estos objetivos es muy importante que, en las zonas tropicales, los cultivos de biodiesel –ej. Aquéllos basados en aceite de palma– se establezcan sobre bosques naturales. Asimismo, se debe evitar la competencia por el uso de la tierra para fines de alimentación, o evitar la contaminación por el uso intensivo de fertilizantes químicos y pesticidas. En este sentido, se debería enfatizar un enfoque agroecológico e impulsar los cultivos perennes –como la *Jatropha*– que permitan el uso de tierras de temporal y/o marginales y aseguren una mayor cobertura del suelo para control de erosión.

De hecho, un programa nacional de biodiesel debería basarse en un esquema diverso e integrado regionalmente tanto en aspectos de la demanda y procesamiento –utilizando plantas de distintas capacidades– como en la oferta de cultivos. En todos los casos el énfasis de un programa de biodiesel es la creación de valor agregado y empleo en México. Para esto se recomienda que la producción y procesamiento de este

combustible se haga con tecnología diseñada y construida localmente. La transferencia de tecnología en áreas específicas es importante, pero debe evitarse la importación directa de las plantas.

Los principales cuellos de botella para la introducción del biodiesel en México están en el sector agrícola. Por esta razón se tiene que establecer un amplio plan de apoyo a la agricultura para lograr el suministro nacional de los insumos. Los estímulos para una economía rural más dinámica deberían incluir los siguientes aspectos:

- Apoyar cultivos oleaginosos a pequeña escala, los cuales aumentan el valor añadido de la agricultura rural y contribuyen a la biodiversidad, debería iniciarse un plan de promoción específico (como ejemplo, el programa brasileño de biodiesel).
- Para algunos cultivos oleaginosos como la *Jatropha* es necesario un mejor conocimiento del cultivo. Asimismo necesitan más tiempo para su establecimiento. Los conocimientos resultantes de estas actividades de investigación tendrán que ser transferidos a la población rural a través de programas educativos.
- La formación de cooperativas especializadas, que permitirían crear sinergias a través de una utilización conjunta de la maquinaria; debería fomentarse el acceso a financiamiento y asistencia técnica.
- Agencias de financiamiento, como FIRA, podrían crear programas especiales para el biodiesel o su producción a tasas de interés preferenciales.
- Debería fomentarse la integración de la producción de semillas oleaginosas y prensado de semillas/refinado de aceites/producción de biodiesel (siendo económicamente viable) para crear una retención más fuerte de valor añadido en las áreas rurales.

La producción a gran escala de biodiesel en México requiere de un esfuerzo importante en investigación y desarrollo. Las actividades que deberían enfatizarse son, por ejemplo, el establecimiento de investigación agrícola para mejorar la productividad de cultivos energéticos, especialmente para ampliar las variedades de las diferentes especies, y el establecimiento de nuevos sistemas de cultivo. Igualmente debería existir una cooperación con las investigaciones de PEMEX sobre el conocimiento de las

opciones de hidrogenación, en especial para el uso de aceite de palma. Otra medida necesaria sería la creación de centros de investigación y desarrollo regional sobre biodiesel/biocombustibles y aportar continuamente fondos. Las industrias privadas deberían ser bienvenidas a participar, pero los fondos básicos deberían ser aportados por el Gobierno para asegurar la disponibilidad de la información relevante de los interesados. Estos fondos de base podrían ser aportados a través de un módico impuesto estatal sobre los biocombustibles. En estos centros deberían llevarse a cabo programas de alcance institucional y de asistencia técnica y parte de este esfuerzo podría ser combinado con los centros existentes de investigación y tecnología agrícola operados por Fideicomisos Instituidos en Relación con la Agricultura en el Banco de México (FIRA).

CAPITULO 3 EMISIONES DIESEL Y EQUIPOS DE MEDICIÓN

En esta sección se hablara de los principales gases contaminantes producto de la combustión en los motores utilizados en la industria pero principalmente en el

autotransporte, así como también de las partículas que acompañan a estos gases en el caso de los motores diesel. Se resaltarán las ventajas en la utilización de Sistemas de Medición de Emisiones contaminantes Portátiles y se describirá un ejemplo de estos equipos de medición (RAVEM).

3.1 Gases contaminantes [9]

Gases contaminantes

Después de la Segunda Guerra Mundial se da en forma masiva el uso de vehículos automotores, que surge como una necesidad debido al incremento que se genera por el desarrollo social e industrial.

El desarrollo del transporte ha estado íntimamente ligado al avance tecnológico que a su vez, ha permitido lograr los niveles actuales de desarrollo económico industrial de los países.

De acuerdo a lo anterior, las características que ha presentado la industria en el devenir del tiempo han sido las mismas para el transporte, al igual que cuando la industria conseguía su producción sin importar medios o consecuencias adversas al medio ambiente, el transporte también se efectuaba con las mismas consideraciones.

El crecimiento demográfico, las grandes concentraciones urbanas, el deterioro por el ineficiente uso de los recursos naturales, pero sobre todo, el reconocimiento universal de que carece de sentido el producir satisfactores para la humanidad cuando al mismo tiempo se generan condiciones que ponen en peligro su supervivencia, ha obligado a los gobiernos a preocuparse y ocuparse por tomar medidas que impiden lo anteriormente mencionado.

Es así como desde hace dos décadas, el transporte, los países desarrollados, y también en los países que se encuentran en vías de desarrollo, han efectuado acciones orientadas fundamentalmente “a disminuir las emisiones contaminantes” nocivas a la salud provenientes de los motores de combustión interna, además de lograr una evolución tecnológica en los diseños de los automotores que han hecho disminuir el consumo de combustible; recordando que aún la eficiencia termodinámica de los motores de combustión interna a gasolina y a diesel sigue baja, de tal forma que de

cada kg de combustible, solamente se aprovecha del 30 a 35% de su energía, así mismo, han evolucionado y ha aumentado la calidad en estos combustibles.

Respecto a la emisión de contaminantes de las fuentes móviles es muy variada, los datos registrados en algunas ciudades, estiman desde un 15 hasta un 80% dependiendo de las características del lugar, de la distribución de sus industrias y del tipo de contaminante: CO, CO₂, NO_x, HC, Pb, SO₂, Partículas.

Las normativas actuales y futuras que se imponen a los productores de motores de combustión interna prevén una reducción importante en óxidos de nitrógeno (NO_x), monóxido de carbono (CO), bióxido de carbono (CO₂), hidrocarburos sin quemar (HC), plomo (Pb), óxidos de azufre (SO_x) y partículas.

Las exigencias de las normativas, junto con la reducción de ruidos y un mejoramiento constante de los combustible utilizables en los motores, permiten prever no solamente una importante evolución de estos motores, sino también la adopción de nuevas técnicas como por citar algunas que afectan directamente al proceso de combustión: un sistema de inyección, nuevas geometrías de cámaras de combustión, sistemas de escape, y sistemas de pos tratamiento de gases, entre otros.

La gasolina y el diesel son dos de los combustibles con mayor demanda en el transporte automotriz, de pasajeros y de carga. A nivel mundial representan el 99% del consumo total y el 1% restante lo constituye el gas natural comprimido, gas licuado, metanol y el bio-etanol.

La gasolina es un combustible derivado del petróleo elaborado para utilizarse en motores de combustión interna con encendido por chispa; es una mezcla de hidrocarburos parafínicos, oleofínicos, naftenícos y aromáticos y sus niveles de calidad son función de los requerimientos de los usuarios, según el tipo de motor del vehículo y de los reglamentos que se establezcan para preservar la calidad del aire.

En los motores de encendido provocado se ha podido tener un control significativo en la emisión de óxidos de nitrógeno (generalmente NO y NO₂), de monóxido de carbono (CO) y de hidrocarburos sin quemar (HC). Esto mediante el sistema de inyección del combustible, en el cual, un microprocesador indica la cantidad de combustible que se

debe inyectar para mantener una relación aire/combustible en un entorno, muy cerca al valor estequiométrico.

Esta condición es necesaria para que un catalizador de tres vías pueda oxidar el CO y los HC y, reducir los NOx, simultáneamente.

La disminución del contenido de plomo de la gasolina, se ha reflejado a nivel mundial y los avances en este sentido han dependido de las políticas particulares de cada país. Sin embargo, la tendencia global es eliminarlo.

México no se podía quedar atrás en esta tendencia y uno de los objetivos más importantes, es el de mejorar la calidad de la gasolina, eliminando el plomo, acción que desde 1982 se está llevando a cabo.

Los automóviles que funcionan con gasolina que contiene plomo, emiten partículas a razón de 0.1 a 0.15 (g/km) de las cuales, del 25 al 60% es plomo; la tasa de emisión es considerablemente mayor cuando el motor está frío.

La presencia de azufre en el diesel tiene influencia en el desgaste de partes internas del motor, además forma depósitos en el mismo y contribuye con emisiones de bióxido de azufre en los gases de escape, lo que deteriora la atmósfera.

Existe hoy en día un gran interés en los centros de investigación tratando de reducir, principalmente, la emisión de partículas, ya sea mediante el diseño adecuado del motor o mediante el pos tratamiento de gases de escape.

Las emisiones del motor diesel comprenden una gran variedad de compuestos, algunos de los cuales salen a la atmósfera en fase gaseosa y otros, que forman parte de las partículas, pueden condensar y sumarse en la fase líquida o sólida.

Dentro de las emisiones gaseosas se encuentran los HC, CO, CO₂, NOx, etc.

En fase líquida, los sulfatos y agua ligada e hidrocarburos. En fase sólida, el hollín, compuestos metálicos, cenizas, etc.

Las características que engloba el proceso de combustión en los motores diesel (mezcla heterogénea, reacciones piro líticas, altas temperaturas, compuestos

hidrocarburos pesados, azufre, etc.) favorecen la formación de óxidos de nitrógeno y de los elementos que constituyen las partículas, uno de los principales contaminantes que emiten estos motores.

Los procesos, tanto físicos como químicos que se desarrollan para la formación de partículas, se inician tan pronto se inyectan el combustible en el cilindro y continúan en la atmósfera durante y después de la dilución de los gases de escape.

Socialmente, el motor diesel no ha sido bien aceptado debido al ruido y al humo del escape, su olor es muy fuerte y desagradable. Causa náusea y dolor de cabeza, irritación en los ojos, nariz y garganta, sin embargo, en la medida en que se pueda controlar la emisión de contaminantes, también se reducirán estos efectos nocivos.

A pesar de que las partículas no dejan de ser el “talón de Aquiles” del motor Diesel, se señalan considerables ventajas con respecto al motor de encendido provocado, entre otras muchas, su alto rendimiento térmico y bajo consumo específico de combustible.

Dichas características han motivado el desarrollo de nuevos y mejores diseños y, al mismo tiempo, se redoblan esfuerzos a fin de controlar de una manera efectiva y duradera, sus emisiones.

Hasta la fecha, la gran mayoría de los sistemas que parecían más prometedores de pos tratamiento de gases de escape (trampas de partículas autorregenerables) no han reportado éxitos comerciales. Y aquellos que son factibles de uso son excesivamente caros.

El motor Diesel tiene un gran futuro, aunque este se dará en la medida en que se reduzcan las partículas. En este sentido, ha adquirido una importancia fundamental la medición y control de dichas partículas.

3.2 Partículas diesel [10] [11]

Una de las principales características de las partículas emitidas por los motores diesel, es su elevada inestabilidad que depende no sólo de las condiciones en que se efectúe la combustión, sino de la fase y composición del combustible, de las condiciones de lubricación y de las trazas de impurezas o aditivos, que también tienen implicaciones

considerables. Su medición en un sistema: gas-partículas durante el proceso de escape, no sólo depende de cómo se haga sino también de dónde y cuándo se realice para lograr una correcta e imparcial descripción de su naturaleza.

Por todas estas consideraciones, es necesario conocer la terminología utilizada en este contexto y, consecuentemente las características a que obedecen dichos términos.

Se considera partícula, en el ámbito de las emisiones contaminantes por motores de combustión interna alternativos, a:

“Cualquier materia, sólida o líquida, que esté presente en los gases de escape diluidos, en condiciones aproximadamente ambientales o bien, que se hayan recolectado en un filtro especificado tras de haber diluido los gases de escape a una temperatura inferior o igual a 325 K (52 °C) con aire limpio filtrado”.

El concepto de dilución tiene especial importancia por la gran inestabilidad que tienen las partículas respecto a la variabilidad de sus características, a medida que los gases de escape van mezclándose con el aire, difundiendo el calor del escape desde su salida de la cámara de combustión, hasta que alcanzan el equilibrio térmico en la atmósfera.

Por ello, para medir la masa de partículas emitidas por un motor diesel, se requiere de un proceso de dilución, simulando lo que ocurre durante su formación en la atmósfera.

Una descripción amplia de las partículas diesel, requiere el uso de términos relacionados con su formación y con otras de sus características. Con esta idea, parece adecuado definir los siguientes conceptos:

- * **Agregados**, son partículas o grupos de partículas unidas por fuerzas intermoleculares o fuerzas atómicas de cohesión. Son muy estables.
- * **Aglomerados**, son dos o más partículas unidas por fuerzas de cohesión relativamente débiles.
- * **Aerosoles**, dispersión de partículas microscópicas, sólidas o líquidas en un medio gaseoso, generalmente menores de 50 μm de diámetro.

Las emisiones gaseosas contaminantes (HC, NO_x, CO, CO₂ y SO_x) se pueden medir con exactitud, directamente en los gases de escape crudos (sin diluir) debido a que, a la temperatura a la que son medidos, las reacciones de formación o descomposición están congeladas, en cambio, las partículas tienen una dinámica de formación totalmente diferente.

Obedeciendo por una parte a la dinámica de formación y por otro, a la separación entre los contaminantes primarios y secundarios, las partículas se han clasificado en primarias y secundarias.

Las **primarias**, son aquellas que resultan de los procesos que ocurren en el motor mismo, es decir, directamente en la combustión.

Las partículas **secundarias**, son formadas como consecuencia de las interacciones de nucleación, agregación, etc. en la fase gas-vapor o gas-vapor -sólido, en el sistema de escape del motor o, finalmente, en la atmósfera.

Las trayectorias de formación que siguen las partículas diesel pueden ser distintas, desde la composición del combustible hasta los procesos que se dan en el escape y asimismo, las interacciones que existen entre ellas: sedimentación, difusión, evaporación, condensación, crecimiento y colisión, ganancia o pérdida de carga eléctrica en la superficie, reacciones en las fases líquida y sólida, adsorción, procesos fotoquímicos etc., que pueden ocurrir en algunas de ellas en forma simultánea y en otras, en forma secuenciada.

Algunos fragmentos de combustible sólido o líquido, pueden pasar a través del sistema de combustión virtualmente inalterada, o bien, pueden evaporarse y subsecuentemente condensarse como partículas sólidas o líquidas. Asimismo, las cenizas y otros fragmentos no combustibles pueden emitirse como partículas muy finas.

La fase gas-vapor de inicio a la formación de núcleos embriones o partículas precursoras. Estas partículas son muy pequeñas y crecen mediante el proceso de agregación, de un tamaño (0.01 μm) otro intermedio (0.1 μm).

A partir de la expulsión de los productos de la combustión, las moléculas que normalmente tienen una forma esferoidal (glóbulos), experimentan un crecimiento de

su superficie y se unen mediante un proceso de aglomeración formando cadenas. Dichas partículas al diluirse en el aire atmosférico, completan su formación.

La composición de las partículas que emite un motor diesel depende del tipo de motor, de sus condiciones de funcionamiento y del combustible utilizado. La fig. 3.2 corresponde a un promedio de las muestras tomadas en un motor sobrealimentado, de inyección directa potencia media y en un cierto ciclo de utilización.

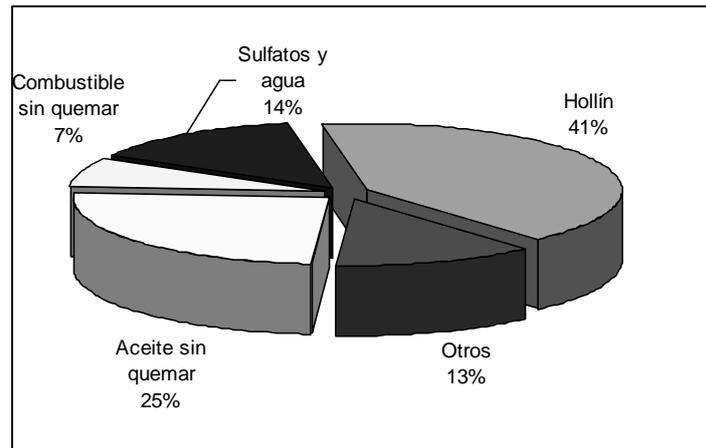


Fig. 3.2 Composición de partículas diesel.

Medición de partículas diesel

Como se mencionó anteriormente las emisiones gaseosas contaminantes (HC, NO_x, CO, CO₂ y SO_x) se pueden medir con exactitud, directamente en los gases de escape crudos (sin diluir). A diferencia de estas el método utilizado para medir las partículas que son emitidas por los motores diesel, trata de reproducir las condiciones en que éstas son expulsadas a la atmósfera. Dicho procedimiento se realiza con aire que previamente se ha filtrado y desecado. De esta forma, se toman en cuenta los efectos dinámicos que sufren las partículas en su trayecto desde el cilindro hasta la atmósfera.

Una vez que dichas partículas son recolectadas, se les puede analizar mediante microscopía electrónica, cromatografía, espectrometría y otras técnicas, a fin de obtener información de su comportamiento físico y químico.

Para la medición de partículas que son emitidas por los motores de combustión interna alternativos se han diseñado ciertos dispositivos, llamados túneles de dilución, en los cuales se propicia un mezclado homogéneo entre los gases escape y aire limpio. En

principio, estos túneles se construyeron para muestrear partículas procedentes de los motores de encendido provocado y posteriormente, se han usado para motores Diesel.

El túnel de dilución consiste en un cilindro cuyo largo es al menos 10 veces el diámetro. La totalidad de los gases de escape es inyectada al túnel de dilución, donde se mezcla con aire ambiente. La mezcla se homogeniza a lo largo del túnel durante un trayecto no inferior a 10 veces el diámetro. Al final de dicho túnel se encuentra una sonda biocinética que toma una muestra de la mezcla sin perturbar el flujo. Se le llama biocinética porque se busca que, en el momento del muestreo, en toda la sección del conducto se tenga la misma velocidad.

La función del túnel es homogenizar el flujo de aire con los gases de escape, donde disminuye la temperatura (no superior a 52 °C) y la concentración de los gases bajo condiciones de flujo constante.

3.3 Sistema Portátil de Medición de Emisiones (PEMS) [20]

Los PEMS se comenzaron a desarrollar a finales de los años noventa con el fin de medir el rendimiento real de los vehículos, están diseñados para medir las emisiones durante el uso de un motor de un automóvil.

Un PEMS es esencialmente un “laboratorio portátil” que es utilizado para evaluar y/o examinar emisiones de fuentes móviles (p.ej. autos, camiones, equipo de construcción, generadores, trenes, etc.), utilizado para propósitos de conformidad, regulación y toma de decisiones. Entidades gubernamentales como la USEPA (Agencia de protección al ambiente de los Estados Unidos), la Unión Europea, así como varias estatales y del sector privado han empezado a utilizar los PEMS para reducir de igual manera sus costos y el tiempo en tomar decisiones sobre emisiones móviles. Varias agencias estatales, federales e internacionales empezaron a referirse a este término abreviado desde principios del 2000 y ahora se ha convertido en parte del lenguaje de la industria.

Antecedentes

Desde mediados de 1800, los Dinamómetros han sido utilizados para medir el torque y la velocidad rotacional (rpm) a partir de la cual se puede calcular la potencia producida

por una máquina, un motor u otro dispositivo giratorio. Un dinamómetro de chasis mide la potencia de la máquina a través de las ruedas. El vehículo es estacionado sobre unos rodillos en los que el carro gira y la salida es así medida. Esos dinamómetros pueden ser fijos o portátiles. Debido a las pérdidas mecánicas y por fricción en varios componentes, los caballos de potencia (HP) medidos son generalmente de 15 al 20% menor que los HP de frenado medidos en el cigüeñal o en el volante de un dinamómetro de banco. Aunque históricamente las pruebas con el dinamómetro de emisiones son muy costosas y normalmente involucran el remover una flotilla de vehículos del servicio por un largo periodo de tiempo. Además, los datos obtenidos a través de este tipo de exámenes no son representativos de las condiciones de manejo en el “mundo real” y no pueden considerarse como cuantificables, especialmente debido a la relativamente baja cantidad de repeticiones.

Introducción a los PEMS

Los sistemas portátiles se empezaron a desarrollar a finales de los '90s para identificar mejor el desempeño actual de los vehículos en uso. Los PEMS están diseñados para medir emisiones durante el uso actual de un vehículo con motor de combustión interna en su operación regular diaria de manera similar a la operación con un Dinamómetro de chasis. Esta metodología y enfoque ha sido reconocido por la USEPA.

Muchas entidades gubernamentales (tales como la USEPA y el UNFCCC) han identificado fuentes contaminantes en varios tipos móviles tales como CO₂, NO_x, PM, CO, HC, para asegurar que los estándares se están consiguiendo. Además, esos cuerpos gubernamentales han empezado a adoptar programas de evaluación “en uso” para maquinas a diesel no rodantes, así como para otros tipos de máquinas de combustión interna que están requiriendo el uso de exámenes con PEMS.

Es importante delinear las varias clasificaciones de los últimos equipos de evaluación “transferibles” del equipo PEMS para entender mejor el deseo de portabilidad en evaluaciones de emisiones de campo.

Portabilidad

Un paso importante en la evaluación de un dispositivo PEMS empieza por definir lo que un PEMS es, así como entender las varias clasificaciones de “equipo de evaluación de vehículos transferible”.

Para tener una mejor visión del significado de portabilidad para definir lo que es un PEMS, se revisará el significado de las siguientes palabras.

La palabra portátil implica un objeto que es “cargado o transportado con facilidad; algo así como una máquina de escribir ligera o pequeña.

La definición de móvil esencialmente es “...capaz de moverse o ser movido de un lugar a otro con diligencia: un organismo móvil o un sistema de misiles móvil”.

Por lo tanto, la sutil diferencia entre portátil y móvil es que un sistema portátil es un dispositivo ligero capaz de ser transportado; mientras que un sistema móvil puede ser transportado con diligencia.

Instrumentado significa que el equipo de evaluación ha sido incorporado dentro de un sistema anfitrión, es decir, ser un dispositivo para grabar, medir o controlar un dispositivo que funcione como parte de un sistema de control. Estas distinciones son críticas, especialmente considerando las directrices de varios estándares de Estados Unidos e Internacionales.

Definición determinada por el Instituto Nacional para la Seguridad y Salud Ocupacional (NIOSH)

El NIOSH define estos términos basados en una ecuación conocida como el “NIOSH lifting equation o Ecuación de Levantamiento” y el “NIOSH procedures for analysing lifting Jobs o procedimientos para el análisis de levantamiento en puestos de trabajo”.

Estos claramente recalcan los equipos y procedimientos de seguridad, también especificados en el art. 29 de seguridad en el trabajo acto peligro.

Pautas de Seguridad y Estándares (La Ecuación del NIOSH)

Es imperativo hacer referencia a los estándares federales y lineamientos cuando se determina un procedimiento ergonómicamente seguro y correcto. No solo es importante asegurar la integridad del trabajador sino también asegurar la reducción de responsabilidad futura potencial. Por lo tanto, la ecuación revisada del NIOSH lifting o levantamiento es una excelente fuente de información para determinar lo que un solo trabajador debería y no debería desempeñar.

El Diagrama del Manual NIOSH (Archivo NIOSH lift.gif)

Basándose en la ecuación de levantamiento del NIOSH y asumiendo que este diagrama es análogo al levantamiento de un PEMS en la cabina de un camión de carga pesada, el umbral superior del peso total de un dispositivo PEMS, típicamente no debe exceder de las 45 libras (20 kg), para ser congruentes con los estándares de seguridad nacional e internacional. Esto no solo permite una maniobrabilidad mucho más segura y facilidad de uso sino también reduce la cantidad de trabajadores requeridos para hacer dichas tareas.

Ventaja Económica del Equipo PEMS

Debido a que una unidad PEMS es capaz de ser cargada fácilmente por una persona de sitio de trabajo en sitio de trabajo y que puede ser usado sin el requisito de “levantamiento en equipo”, los proyectos de evaluación de emisiones requeridas son económicamente viables. Simplemente, más evaluaciones pueden hacerse más rápidamente con menos trabajadores, incrementando drásticamente la cantidad de evaluaciones hechas en un periodo.

Esto significativamente reduce el “costo de evaluación” y al mismo tiempo incrementa la exactitud requerida en un ambiente del “mundo real”. Debido al hecho de que la ley de los grandes números creará una convergencia de resultados, es decir, la repetibilidad, predictibilidad y exactitud son resaltadas, mientras que al mismo tiempo se reduce el costo total de la evaluación.

Trayectorias Identificadas en Misiones “Onroad” (En el camino) por PEMS

Casi todas las máquinas modernas cuando son evaluadas nuevas y de acuerdo a los protocolos de evaluación aceptadas en laboratorio, producen emisiones relativamente bajas dentro de cierto conjunto de estándares. Como todas las máquinas individuales de la misma serie se supone que son idénticas solo una o algunas de estas máquinas son evaluadas. Los exámenes han mostrado que:

1. El granel o “bulk” del total de emisiones puede provenir de episodios relativamente cortos de altas emisiones.
2. Emisiones características pueden ser diferentes aún entre máquinas idénticas.
3. Emisiones fuera de las fronteras del procedimiento de evaluaciones de laboratorio están frecuentemente por encima de las condiciones de operación y ambientales comparables a aquellas que se obtuvieron durante la prueba de laboratorio.
4. Las emisiones deterioran significativamente la vida útil de los vehículos.
5. Hay grandes variaciones entre las tasas de deterioro y las tasas de altas emisiones frecuentemente atribuibles a varios desperfectos mecánicos.

Estos descubrimientos son consistentes con la literatura publicada y con los datos obtenidos de una mirada de estudios subsecuentes. Ellos son más aplicables a las máquinas de encendido provocado y considerablemente menos con las de encendido por compresión; pero con los avances en las regulaciones de la tecnología de máquinas diesel (comparables a los avances en máquinas de encendido por chispa que se han tenido desde 1970) puede esperarse que esos descubrimientos sean susceptibles de ser aplicables a las nuevas generaciones de máquinas diesel. Desde el año 2000, múltiples entidades han utilizado datos* de los PEMS para medir cientos de máquinas diesel de autobuses escolares, (*de emisiones en uso y en el camino) autobuses de tránsito o públicos, camiones de entrega, pick-ups, vans, excavadores, generadores, compresores, locomotoras, ferries de pasajeros y otras aplicaciones en carretera, fuera de carretera y de no carretera. Todos los descubrimientos citados anteriormente fueron demostrados, además, fue notificado que la mayoría de las máquinas puede tener un impacto significativo en las emisiones durante la operación subsecuente.

Además, los exámenes PEMS identificaron algunas anomalías en las máquinas donde las emisiones del combustible (específicamente NO_x) fueron dos o tres veces mayores que los esperados durante algunos modos de operación, sugiriendo alteraciones deliberadas del ajuste de la unidad de control de la máquina (ECU).

Dicho conjunto de datos puede ser usado para inventario de emisiones así como para evaluar mejoras en los motores, combustibles y otras áreas (datos recopilados en flotillas convencionales que sirven como directrices contra las que se comparan las mejoras). Este conjunto de datos también pueden ser examinados con estándares de emisiones no excedentes (NTE) y en uso, que son sedes estándares de emisiones que requieren exámenes en camino.

Exactitud del PEMS, Medición de los Errores

La pregunta normalmente aparece tan pronto se alcanza la exactitud de los PEMS. Debido a que los PEMS son normalmente de tamaño limitado y su peso y consumo de potencia también lo son, frecuentemente es difícil para los PEMS ofrecer la misma exactitud y variedad de especies medidas a diferencia de la instrumentación de un laboratorio de primera línea. Por esta razón, se han hecho reclamaciones en contra del uso de PEMS para la verificación de conformidad.

Por otra parte, las emisiones de flotillas deducidas de emisiones de laboratorio, pueden ser sujeto de inexactitudes significativas si la máquina seleccionada y las condiciones de operación no fueron representativas de la flotilla o si anomalías deliberadas no fueron demostradas en los exámenes de laboratorio.

La pregunta de cómo calibrar un sistema de monitoreo necesita ser, por lo tanto, respondida de una manera no objetiva, pues un sistema de monitoreo no puede ser fácilmente diseñado sin considerar primero la aplicación del sistema y los errores asociados a las diferentes aproximaciones.

Se espera que una variedad de sistemas “a bordo” sean diseñados en un rango desde PEMS a la medida, hasta tráileres instrumentados que sigan al camión evaluado. Los

beneficios de cada aproximación necesitan, considerados a la luz de otras fuentes de errores asociados con el monitoreo de emisiones, entre ellas la diferencia vehículo a vehículo, y la variabilidad de emisiones dentro del vehículo mismo. En otras palabras, se necesita considerar un total de:

1. La diferencia entre lo que es medido y lo que es emitido durante la prueba.
2. La diferencia entre lo que es emitido durante la prueba y lo que el vehículo emite durante su uso diario.
3. La diferencia entre las emisiones características del vehículo evaluado y el total del nivel de emisiones de la flotilla completa.

Por ejemplo, cuando se evalúa el beneficio de combustibles limpiadores en una flotilla de autobuses de la ciudad, se necesita comprar tomando un autobús fuera de servicio, instalarle el sistema de monitoreo de grado laboratorio, cargarlo con bultos de arena y conducirlo en una ruta simulada contra la evaluación de varios autobuses en sus rutas regulares, con pasajeros a bordo y utilizando un sistema de monitoreo más simple (y posiblemente menos exacto).

Crterios adicionales de PEMS

Otro aspecto importante que necesita ser evaluado es el uso seguro de PEMS en vías públicas. Extensiones del escape, líneas y cables extendidos más allá de los costados del vehículo, llevar baterías ácidas en el compartimiento de pasajeros en un autobús, objetos filosos, componentes a altas temperaturas accesibles a los transeúntes, equipo bloqueando las salidas de emergencia o interfiriendo con el conductor, perder componentes susceptibles de ser atrapados por partes móviles y otros daños potenciales que necesitan ser analizados. Además, cualquier modificación o desmontaje del vehículo evaluado (p.ej. Barrenados exhaustivos, removiendo la entrada al sistema de aire) necesitan ser examinadas para su aceptación por el conductor y el administrados de la flotilla especialmente en vehículos de transporte de pasajeros. La fuente de poder de los PEMS es un tema preocupante, ya que sólo una cantidad limitada de potencia puede ser extraída del sistema eléctrico del vehículo. Baterías ácidas selladas, celdas de combustible y generadores han sido utilizados

como fuentes de potencia externas, todas con un significativo peligro potencial cuando se conduce en el carretera. Un PEMS también puede ser práctico.

El tiempo de instalación y el nivel de experiencia requerida para instalar y operar el PEMS tendrán un impacto significativo en el costo de la instalación y en el número de vehículos evaluados. Versatilidad (la habilidad para evaluar diferentes vehículos) puede ser importante si se está evaluando máquinas o vehículos que no son similares. El tamaño, peso y transportabilidad total de los PEMS necesita ser considerado cuando se hacen pruebas en diferentes localidades, incluyendo los cualquier tipo de consumibles tales como gases de calibración. Cualquier tipo de restricción en el transporte de materiales peligrosos (p.ej. los gases de calibración o el combustible FID) deben de ser tomados en cuenta.

La habilidad del personal para reparar PEMS en campo con los recursos locales disponibles es esencial cuando se hacen pruebas fuera de la base. Por lo tanto, el protocolo de evaluación de PEMS debiera ser expandido. En complemento a los exámenes de laboratorio, que son una medida de qué tan exactas son las mediciones de los PEMS cuando se opera en un laboratorio, la exactitud y repetibilidad de los PEMS debería ser también examinados en la carretera, posiblemente mientras se conduce un auto a lo largo de una ruta bien definida, repetible o mientras se conducen pruebas de ciclos de dinamómetro de chasis.

Aplicación Idónea de los PEMS

Últimamente debe ser demostrado que los PEMS son adecuados para ciertas aplicaciones. Si el objetivo último es verificar la conformidad con los requisitos de emisiones de motores en uso, una flotilla de vehículos con características conocidas – incluyendo maquinas con doble asignación u otra máquina no-obediente – debieran hacerse disponibles para evaluar. Por lo tanto, debiera ser responsabilidad de los fabricantes de PEMS el prácticamente demostrar cómo esos vehículos no-obedientes pueden ser identificados con el uso de los sistemas que venden.

Volumen de Evaluación y Repetibilidad Segura.

Con el propósito de alcanzar la cantidad requerida de “volumen de evaluación” necesario para validar los exámenes en el “mundo real”, tres puntos deben ser considerados:

- 1.- Exactitud del sistema
- 2.- Estándares o lineamientos federales o estatales de seguridad y salud
- 3.- Viabilidad económica basada en los primeros dos puntos

Una vez que un sistema portátil de evaluación de emisiones ha sido identificado y aceptado como exacto, el siguiente paso es asegurarse que el trabajador o trabajadores están propiamente protegidos contra peligros asociados con las tareas desempeñadas en el uso del equipo de medición. Por ejemplo, entre las funciones típicas de un trabajador puede encontrarse la de transportar el equipo al sitio de trabajo (p.ej. autos, camiones, trenes o aviones), cargar el equipo a el sitio de trabajo y levantar el equipo a la posición de trabajo.

Ventajas de los PEMS

Las evaluaciones de emisiones en vehículos en movimiento son muy diferentes de las evaluaciones de laboratorio, aunque ambas aportan retos y beneficios considerables: como el examen puede tener lugar durante la operación regular del vehículo evaluado, una gran cantidad de vehículos se pueden evaluar en un periodo de tiempo relativamente corto y a un costo relativamente bajo. Las máquinas que de otra manera no pueden ser evaluadas (p.ej. las máquinas de propulsión de ferris) ahora podrían ser evaluados. Emisiones del mundo real pueden ser obtenidas.

Los instrumentos deben de ser pequeños, ligeros, resistir ambientes adversos, y no deben representar un peligro de seguridad. Los datos de las emisiones son sujeto de varianzas considerables sobre todo si las condiciones del mundo real no están bien definidas o no son repetibles; además de que las pueden existir diferencias en las emisiones de máquinas que de otra manera serían idénticas. Por lo tanto, los exámenes de emisiones en carretera deben tener una enfoque diferente a las

evaluaciones tradicionales de laboratorio, y usar modelos de predicción de desempeño en el mundo real.

En ausencia de métodos establecidos para el uso de PEMS se requiere una aproximación cuidadosa, meditada y amplia. Estas consideraciones deben ser tomadas en cuenta al momento de diseñar, evaluar y seleccionar PEMS para la aplicación deseada.

3.4 Sistema RAVEM [14] [15]

El **RAVEM** (*RideAlongVehicleEmissionsMeasurement*, medición de emisiones a lo largo del recorrido) por sus siglas en inglés, es uno de los nuevos tipos de sistemas de medición de emisiones portátiles que han empezado a estar disponibles en los últimos años. La tecnología del RAVEM fue desarrollada por la empresa Motor, Combustible e Ingeniería de Emisiones, Inc. (EF&EE, Engine, Fuel & Emissions Engineering, por sus siglas en inglés).

El RAVEM es un sistema de medición de emisiones desarrollado especialmente para funcionar donde los métodos convencionales de dinamómetro de chasis no son aplicables, por ejemplo, en bulldozers, locomotoras, buques marinos; el sistema es adecuado para hacer mediciones de emisiones en vehículos y bajo condiciones de operación que son difíciles o imposibles de medir en un laboratorio convencional. Dos ejemplos de aplicaciones son el uso del dispositivo para la medición de emisiones de una turbina de gas usada para la propulsión de una locomotora, mientras ésta se encontraba en servicio, y el uso en camiones de recolección de basura. El sistema fue diseñado para medir emisiones de motores diesel, de gasolina y combustibles alternativos.

El sistema RAVEM se basa en un muestreo de flujo-parcial, proporcional de volumen constante (CVS, ConstantVolumeSample, por sus siglas en inglés) a partir del tubo de escape del vehículo. El principio CVS es ampliamente utilizado en la medición de emisiones vehiculares, ya que los ajustes de dilución son tales que la concentración de contaminantes en el túnel de dilución del CVS es proporcional a la tasa de flujo de masa en el escape del vehículo. La concentración de contaminantes puede medirse sin grandes problemas, mientras que medir las tasas de flujo de masa resulta costoso y

difícil de medir con exactitud, especialmente en condiciones de tránsito, al circular en la vía pública.

La ventaja de un sistema CVS es que la concentración de contaminantes en el túnel de dilución es proporcional al flujo másico de contaminantes en el escape. Un túnel de dilución es una cámara a la cual se lleva una muestra de gases de escape del motor para mezclarla con aire atmosférico filtrado hasta alcanzar la temperatura de equilibrio, después, la mezcla se hace pasar por un Venturi, a fin de lograr una mezcla homogénea y de esta forma poder llevar a cabo todas las mediciones correspondientes. Mediante un sistema de extracción y bombeo la muestra diluida se hace pasar por un filtro para capturar partículas, a la vez que se efectúan las mediciones correspondientes de los contaminantes. La dilución se hace con objeto de simular las condiciones ambientales que se presentan en la vida real.

El principio de operación del RAVEM es similar a un sistema CVS, pero con una diferencia clave. La diferencia consiste en que el RAVEM extrae y diluye solamente una pequeña y fija fracción del flujo en el escape, usando un sistema de muestreo proporcional patentado.

Este sistema funciona manteniendo condiciones biocinéticas en la entrada de la sonda de muestreo. El muestreo isocinético se mantiene mediante un sistema de control que reacciona con la diferencia de presión estática entre el interior y el exterior de la sonda.

La ecuación de Bernoulli nos dice que la diferencia de presión entre el interior y el exterior es inversamente proporcional a la diferencia de velocidades, y es cero cuando las velocidades son las mismas.

El sistema de control del RAVEM ajusta el flujo volumétrico a través de la sonda para provocar que la diferencia de presión sea cero. Bajo esta condición la velocidad de la muestra de gas fluyendo dentro de la sonda es igual que la del resto del gas por fuera de la sonda. El flujo volumétrico de la muestra a través de la sonda es entonces linealmente proporcional al flujo volumétrico en el resto de los gases de escape. El diámetro interior de la sonda es de 6.16 [mm]. El diámetro típico del tubo de escape de un vehículo de servicio pesado es de 72 a 123 [mm], entonces la fracción del volumen

que pasa a través de la sonda de muestreo es de alrededor del 0.22% al 0.66%. Esto hace posible el uso de una alta relación de dilución.

El sistema de muestreo isocinético proporcional está formado por la sonda de muestreo, línea de muestreo, un medidor de presión sensible y un motor de pasos acoplado a la mariposa de entrada al túnel de dilución. Abriendo y cerrando dicha mariposa cambia la presión dentro del túnel de dilución y por lo tanto el flujo a través de la línea de muestreo.

Un sistema de control electrónico ajusta continuamente la posición de la mariposa para llevar la diferencia de presión a cero, esto es lo que mantiene las condiciones biocinéticas a la entrada de la sonda de muestreo. El resto del RAVEM comprende el sistema CVS con un túnel de dilución y dispositivos para el muestreo de gases y partículas, similares a los que se usan en laboratorios convencionales de medición de emisiones.

El túnel de dilución mide 102 [mm] de diámetro por 1.3 [m] de largo, haciendo al sistema muy fácil de transportar. Un ventilador de velocidad variable y un sistema de flujo de aire de lazo cerrado van conectados al final del túnel de dilución para controlar el flujo del sistema CVS. El flujo del sistema CVS puede variar entre 0.4 [m³/min] y 1.6 [m³/min] para optimizar la relación de dilución.

Como en todos los sistemas CVS, la concentración de contaminante en los gases diluidos que van dejando el túnel de dilución es proporcional al flujo másico de gases crudos que entran al túnel. Emisiones en tiempo real de CO, CO₂ y NO_x pueden ser determinadas mediante la medición de las concentraciones de dichos contaminantes en los gases diluidos. Las concentraciones de los gases son medidas mediante un California Analytical Instruments (CAI) modelo ZRH-2, con un analizador del tipo NDIR para el CO y CO₂, y un analizador por quimioluminiscencia CAI 400S-HCLD para los NO_x.

La medición de hidrocarburos no se recomienda ya que puede ser peligrosa, debido al uso de una flama de hidrógeno. Ambos analizadores están montados en una cubierta especial de tipo militar para su transporte. Las emisiones son medidas en unidades de masa por viaje, por unidad de tiempo y por unidad de combustible consumido.

A parte de las mediciones de tiempo real, se pueden coleccionar muestras de gases diluidos y aire de dilución en bolsas Tedlar, esto para un análisis posterior.

Para mediciones de partículas, muestras de gases diluidos y aire de dilución son tomados en los extremos del túnel de dilución. Estos gases pasan a través de filtros pre pesado (Pallflex 37 mm) que coleccionan las partículas. Los filtros son pesados posteriormente para determinar la concentración de partículas en cada prueba. El flujo en la muestra para determinar las partículas es controlado mediante controles de flujo programables. El aire de dilución se hace pasar a través de un filtro HEPA, haciendo que su contenido de partículas sea efectivamente cero.

El sistema RAVEM (fig.3.3) está compuesto de los siguientes subsistemas claves:

- * Sistema de dilución de volumen constante
- * Sistema de muestreo isocinético
- * Sistema de bolsas de muestreo
- * Sistema analizador de gases
- * Sistema de muestreo de partículas
- * Sistema de muestreo de cartuchos
- * Sistema de procesamiento y manejo de datos
- * Entradas auxiliares

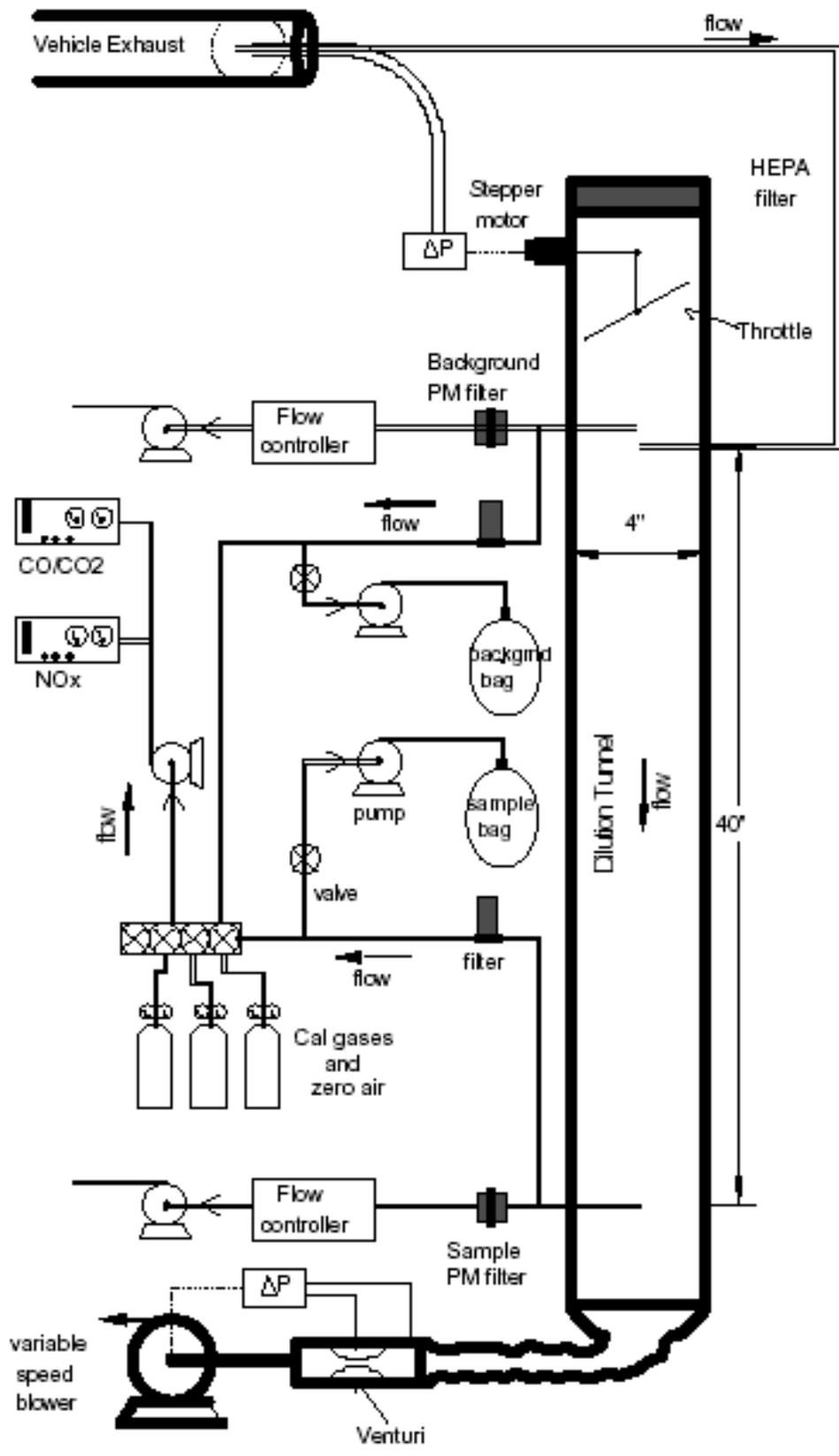


Fig. 3.3 Sistema RAVEM

3.5 Sistemas de control de emisiones [12]

En la actualidad existen millones de vehículos circulando por el mundo y cada uno de ellos es una fuente de contaminación.

Para solucionar este problema los gobiernos de algunos países han establecido leyes que limitan la cantidad de contaminantes que un vehículo puede generar, lo que obligó a la industria automotriz a buscar medios para hacer más eficientes y menos contaminantes sus motores. Sin embargo, por más eficiente que sea un vehículo siempre genera contaminantes, esto es precisamente lo que motivó al uso del convertidor catalítico ya que es un sistema que trata los gases de escape del motor antes de dejarlos libres en la atmósfera.

El término control de emisiones en automóviles cubre todas las tecnologías que son empleadas para reducir las causas de las emisiones contaminantes del aire producidas por los automóviles.

Los sistemas de control de emisiones se clasifican en cuanto a la combustión del motor del automóvil, su clasificación se divide en:

Sistemas de control de emisiones en pre-combustión:

Combustibles.

- * Combustibles Alternos
- * Aditivos
- * Recirculación de gases

Sistemas de control de emisiones en post-combustión:

Tratamiento de emisiones

- * Convertidor catalítico
- * Trampas de partículas

Sistemas de control de emisiones en motores diesel.

Sistemas de control antes de la combustión [13]

Biodiesel

Como se mencionó anteriormente este tipo de combustible ayuda a reducir las emisiones contaminantes del motor diesel, además que con el uso a la par de otros tipos de sistemas puede representar una opción viable a solucionar el problema de contaminación ambiental, también este tipo de combustible representa un sustituto a los combustibles derivados del petróleo, lo cual es de gran ayuda para su inminente extinción.

Combustibles con azufre de 150 ppm

Hacen a los vehículos existentes más limpios. Estos combustibles reducen las emisiones de CO, HC, y NOx de los vehículos a gasolina equipados con catalizadores, y las emisiones de material articulado de vehículos a diesel, con o sin catalizadores de oxidación. Estos beneficios se incrementan cuando los vehículos están diseñados para alcanzar normas de emisión más elevadas.

Combustibles con azufre de 50 ppm

Permiten mayores beneficios al incorporar tecnologías avanzadas de control para vehículos diesel. Los filtros de partículas de diesel pueden usarse con combustibles de bajo azufre pero sólo alcanzan un 50% de eficiencia de control aproximadamente, sin embargo la reducción catalítica selectiva puede aplicarse en este caso para lograr un control de emisiones de NOx superior al 80%.

Combustibles de ultra bajo azufre (15 ppm)

Permiten el uso de equipo de absorción de NOx, incrementando su control hasta niveles superiores al 90%, tanto en vehículos a diesel como de gasolina. Esto permite diseños de motores más eficientes, que son compatibles con los actuales sistemas de control de emisiones. Los filtros de partículas alcanzan su máxima eficiencia con combustibles de ultra bajo azufre (cerca del 100% de reducción de material articulado).

Aditivos.

Normalmente se utilizan (orgánico o inorgánico) mezclado con el combustible, para intentar mejorar la calidad del diesel convencional, que viene a ser realmente una nueva formulación para ofrecer un mejor desempeño ambiental.

Catalizador Líquido.

El sistema de catalizador líquido consiste en dosificar una pequeña proporción de PLATINO en la línea de combustible diesel, justo antes de entrar al motor. Ofrece beneficios en reducción de misiones de CO (60%), HC (66%), NOX (27%) y Opacidad (80%). Esta tecnología también ofrece reducción en el consumo de combustible de entre el 8 al 10%, así como el incremento de potencia del 16% HP.

Recirculación de gases de escape

Estos sistemas reducen la temperatura de combustión y por lo tanto, la formación de NOx por las altas temperaturas. Si bien el contenido de azufre en el combustible no afecta la eficiencia de control de estos dispositivos, sí implica reducciones en la durabilidad y confiabilidad del sistema, debido a la presencia de ácido sulfúrico, que se forma al enfriar los gases de salida para introducirlos al sistema de recirculación.

Sistemas de control después de la combustión

Catalizadores de oxidación para vehículos diesel

Estos catalizadores oxidan el CO y los hidrocarburos, así como la fracción orgánica soluble de las partículas para formar CO₂ y H₂O en presencia del exceso de oxígeno que se encuentra a la salida del escape.

Filtros de partículas

Los filtros de regeneración continua y los filtros catalizados han demostrado eficiencias superiores a 95% para la remoción de partículas, cuando se usan en conjunto con combustible de Ultra Bajo Azufre (10 a 15 ppm), alcanzando niveles de emisión inferiores a los de vehículos a gasolina. El contenido de azufre en el combustible afecta

el desempeño de los filtros, ya que la eficiencia de estos equipos se reduce a casi cero cuando se utilizan con diesel de alto azufre.

Asimismo, con un contenido mayor de azufre (350 ppm)³ las emisiones alcanzan valores dos veces mayores en comparación con la línea base.

Sistemas de control de NOx

Dentro de los dispositivos que se desarrollan actualmente para el control de emisiones de NOx, se encuentran la recirculación de gases de salida, las trampas de almacenamiento de NOx y la reducción catalítica selectiva. Estos sistemas representan las opciones más viables para el futuro cumplimiento de normas cada vez más estrictas para vehículos diesel.

Trampas de almacenamiento de NOx

Estos catalizadores funcionan de manera similar a sus contrapartes para vehículos a gasolina, en este caso, el catalizador también almacena de manera muy eficiente el SO₂ (en forma de sulfatos), eventualmente se satura y las temperaturas de regeneración del mismo se elevan.

Reducción catalítica selectiva

Estos dispositivos son los más usados en Europa para el próximo cumplimiento de las normas Euro IV y Euro V para vehículos pesados a diesel. La reducción catalítica selectiva utiliza un agente reductor (generalmente urea) que se inyecta a los gases de escape antes de su paso por el catalizador, para alcanzar una mayor conversión del NOx a N₂. Adicionalmente, para evitar que se forme amoníaco a partir de la urea en los gases de escape, se instala un catalizador de oxidación en conjunto con estos sistemas

CAPITULO 4

ACTIVIDADES EXPERIMENTALES

Para la planeación de las pruebas se intentó tomar en cuenta las distintas circunstancias a las cuales es llevado un motor Diesel comúnmente con el objetivo de que su evaluación sea lo más cercana a la realidad y con esto obtener resultados, los cuales sean de mayor aplicación y utilidad, ya que al probar este tipo de estados los resultados son útiles y aplicables a un número mayor de motores en circulación.

4.1 Planeación de las pruebas

Como se mencionó anteriormente se buscó llevar al motor a estado y circunstancias cercanas a la realidad, por lo cual se realizó una tabla o matriz de ensayos (tabla 4.1), buscando con esta abarcar la mayor cantidad de parámetros sobresalientes en este tipo de pruebas.

| Combustible | Ensayos | | | | |
|---------------|--|------------------|--------------------------|---------------------|--|
| Diesel 15 ppm | Línea Base (curvas de par y potencia) | | | | |
| Diesel 30 ppm | 13 modos con DOC | 13 modos sin DOC | Curvas de par y potencia | Pruebas de opacidad | |
| B-5 | 13 modos con DOC | 13 modos sin DOC | Curvas de par y potencia | Pruebas de opacidad | |

Tabla 4.1 Tabla de ensayos

Curvas de potencia y línea base

Este tipo de prueba tiene como objetivo principal el encontrar los valores máximos de par y potencia característicos del motor, y a su vez la velocidad a la cual se alcanzan estos valores. Esta prueba por tanto fue la que se realizó en primera instancia, ya que a través de ésta se conforma la línea base de nuestro motor, la cual es necesaria para la construcción de muestra tabla de 13 modos

Para la realización de la línea base se planearon y realizaron tablas con velocidades teóricas dadas (tabla 4.2), tomando en cuenta el valor mínimo (600 RPM) y máximo (2400 RPM) en el motor. Posteriormente el motor fue acelerado hasta dichas velocidades y a su vez se le fue agregando carga y acelerando para mantener la

velocidad constante (y con esto garantizar los valores máximos de par y potencia), hasta el punto en el cual era imposible acelerar más al motor.

| nt [rpm] | n [rpm] | M [lbf*pie] | Ne[HP] |
|---------------------|----------------|------------------------|---------------|
| 600 | | | |
| 800 | | | |
| 1000 | | | |
| 1200 | | | |
| 1400 | | | |
| 1600 | | | |
| 1800 | | | |
| 2000 | | | |
| 2200 | | | |
| 2400 | | | |

Tabla 4.2 Valores de Velocidad teórica

Dónde:

Nt- Velocidad Teórica. [Rpm]

n- Velocidad Real. [Rpm]

M- Par. [Lbf*pie]

Ne- Potencia [HP]

Con los datos obtenidos se realizaron las respectivas curvas Par vs Velocidad y Potencia vs Velocidad, para poder determinar los valores máximos de par y potencia, así como sus velocidades características. Para posteriormente construir la tabla del ciclo 13 modos.

Prueba 13 Modos [16]

En este ciclo se indican 13 modos o formas de operación característicos de los motores diesel, montando un motor diesel en un dinamómetro de banco, los cuales se señalan en la directiva R-49 de la Unión Europea

Esta prueba consiste en un ciclo prescrito de condiciones de funcionamiento del motor caliente, las cantidades de dichos gases contaminantes se determinarán de forma continua tomando una muestra del gas de escape sin diluir. El ciclo de pruebas consiste en un número determinado de fases de régimen y de potencia que cubren la gama típica de las condiciones de funcionamiento de los motores diesel. Durante cada

fase, se determina la concentración de cada contaminante, el caudal de gas de escape y la potencia desarrollada, y se ponderan los valores determinados. La muestra de partículas deberá diluirse con aire ambiente acondicionado. Se tomará una muestra a lo largo de todo el procedimiento de prueba, mediante los filtros adecuados.

Los ciclos o modos realizados en este tipo de prueba se muestran en la tabla 4.3

| Modo | Velocidad | Carga, % | Factor de ponderación | |
|------|------------------------------|-------------|-----------------------|--------|
| | | | R49 | US |
| 1 | Ralentí | - | 0.25/3 | 0.20/3 |
| 2 | Velocidad de Par Máximo | 10 | 0.08 | 0.08 |
| 3 | | 25 | 0.08 | 0.08 |
| 4 | | 50 | 0.08 | 0.08 |
| 5 | | 75 | 0.08 | 0.08 |
| 6 | | 100 | 0.25 | 0.08 |
| 7 | Ralentí | - | 0.25/3 | 0.20/3 |
| 8 | Velocidad De potencia Máxima | 100 | 0.1 | 0.08 |
| 9 | | 75 | 0.02 | 0.08 |
| 10 | | 50 | 0.02 | 0.08 |
| 11 | | 25 | 0.02 | 0.08 |
| 12 | | 10 | 0.02 | 0.08 |
| 13 | Ralentí | - | 0.25/3 | 0.20/3 |

Tabla 4.3 Ciclo de prueba ESC o 13 modos.

Prueba de opacidad

La prueba de opacidad consiste en la medición de humo a la salida del escape de los vehículos automotores en circulación que usan diesel como combustible, y se realiza de la siguiente manera:

Con el motor operando en marcha lenta y sin carga, se acciona el acelerador hasta obtener la intervención del gobernador en un lapso entre 2 y 3 segundos y cuando se obtenga ésta, se suelta el pedal del acelerador hasta que el motor regrese a la velocidad de ralentí y el opacímetro se establezca en condiciones mínimas de lectura. No se tomarán en cuenta las lecturas del opacímetro mientras la velocidad del motor sea menor de las revoluciones por minuto de marcha lenta

Para la realización de las pruebas se utilizó un motor Mercedes Benz modelo 1992 con datos de placa:

- * Potencia nominal: 127W (170HP)/2600 rpm.
- * Entrega de combustible: 76-80 mm³/carrera.
- * Velocidad de vacío: 600 ±50 rpm.

Además de un dinamómetro marca Clayton con datos de placa:

- * Modelo: A31060-CAM250E-10456
- * Potencia: 250 HP (200 kW)
- * Rango de velocidad: 2190 a 8000 rpm
- * Par: 600 ft*lb (813 N*m).

También se hizo uso del banco de mediciones y las instalaciones del Laboratorio de Control de Emisiones de la Facultad de Ingeniería de la UNAM, al igual de un opacímetro marca Bosch (figura 4.1).



Fig. 4.1 Opacímetro.

Durante la realización de las pruebas del ciclo 13 modos se realizaron mediciones segundo a segundo a través del equipo RAVEM de emisiones contaminantes. Se probaron dos tipos de combustibles diesel de alto azufre (350 PPM) para tener un comparativo y Biodiesel de origen vegetal en una mezcla de 5%. También se realizaron sus respectivas curvas de potencia y par las cuales sirvieron para comparar el desempeño del motor con el uso de estos combustibles. Para dichas pruebas también se evaluó en dispositivo de control de emisiones, dicho dispositivo consistió en un convertidor catalítico de dos vías para motor Diesel.

4.2 Datos experimentales

Como se mencionó anteriormente la línea base fue la primera de las pruebas realizadas para ésta se utilizó Diesel de ultra bajo azufre para garantizar el mejor funcionamiento del motor, ya que al utilizar otro tipo de combustible cabía la posibilidad de que las líneas de combustible alteraran el desempeño del mismo.

En la tabla 4.4 se muestran los valores obtenidos de dicha línea base

Tabla de valores promedio de la línea base

| np [rpm] | n [rpm] | M [lbf*pie] | Ne[HP] |
|-----------------|----------------|--------------------|---------------|
| 600 | 610.333333 | 166.233333 | 19.4333333 |
| 800 | 804.666667 | 186.866667 | 29.0666667 |
| 1000 | 1007 | 240.266667 | 46.5 |
| 1200 | 1212 | 276.966667 | 64.4666667 |
| 1400 | 1405.33333 | 362.633333 | 97.4333333 |
| 1600 | 1605.66667 | 368.366667 | 112.566667 |
| 1800 | 1807.33333 | 378.333333 | 130.5 |
| 2000 | 2013.66667 | 364.1 | 139.8 |
| 2200 | 2209.33333 | 348 | 146.9 |
| 2400 | 2405.33333 | 320.633333 | 146.733333 |

Tabla 4.4 Línea Base.

Como se puede apreciar el par máximo (378.33 lbf ft) se alcanza a una velocidad de 1800 RPM y la potencia máxima (146.9 HP) a una velocidad de 2200 RPM, estos valores son de suma importancia ya que a través de éstos se construye la tabla de 13 modos (tabla 4.3), pero con nuestros valores de par y potencia máximos.

En la siguiente tabla 4.5 se muestra la tabla con los 13 modos a los cuales se debió de llevar el motor de manera teórica

| Modo | Velocidad | Carga, % | Factor de ponderación | |
|------|-----------|----------|-----------------------|--------|
| | | | R49 | US |
| 1 | 600.000 | 0.000 | 0.25/3 | 0.20/3 |
| 2 | 1800.000 | 37.800 | 0.08 | 0.08 |
| 3 | 1800.000 | 94.500 | 0.08 | 0.08 |
| 4 | 1800.000 | 189.100 | 0.08 | 0.08 |
| 5 | 1800.000 | 283.700 | 0.08 | 0.08 |
| 6 | 1800.000 | 378.300 | 0.25 | 0.08 |
| 7 | 600.000 | 0.000 | 0.25/3 | 0.20/3 |
| 8 | 2200.000 | 378.300 | 0.1 | 0.08 |
| 9 | 2200.000 | 283.700 | 0.02 | 0.08 |
| 10 | 2200.000 | 189.100 | 0.02 | 0.08 |
| 11 | 2200.000 | 94.500 | 0.02 | 0.08 |
| 12 | 2200.000 | 37.800 | 0.02 | 0.08 |
| 13 | 600.000 | 0.000 | 0.25/3 | 0.20/3 |

Tabla 4.5 13 Modos del motor.

Posteriormente a la realización de esta tabla se llevó el motor a los estados mostrados a la vez se midió la potencia del motor (N_e), las temperaturas del aceite, antes del convertidor y después del convertidor (T_{ac} , T_{1c} , T_{2c}), así como las velocidades (n), pares reales (M) a los que se llegaron y el consumo de combustible. La duración de cada prueba fue de 30 minutos y se realizaron 3 réplicas de cada una de ellas.

A continuación se muestran las tablas promedio para cada ensayo:

Datos promedios de pruebas 13 modos

| t[s] por modo | modo | Tac [°C] | T1c [°C] | T2c [°C] | np [rpm] | n [rpm] | Mp [lbf pie] | M [lbf pie] | Ne [HP] |
|----------------------|-------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|----------------|---------------------|--------------------|----------------|
| 3.000 | 1.000 | 78.667 | 77.333 | 79.000 | 600.000 | 568.667 | 0.000 | 0.567 | 0.167 |
| 2.000 | 2.000 | 78.000 | 155.333 | 164.000 | 1800.000 | 1791.667 | 37.800 | 37.933 | 13.067 |
| 2.000 | 3.000 | 76.333 | 203.333 | 214.000 | 1800.000 | 1807.000 | 94.500 | 78.100 | 32.633 |
| 2.000 | 4.000 | 76.667 | 283.667 | 296.000 | 1800.000 | 1811.000 | 189.100 | 190.200 | 65.633 |
| 2.000 | 5.000 | 77.667 | 361.667 | 370.333 | 1800.000 | 1836.000 | 283.700 | 283.300 | 99.167 |
| 2.000 | 6.000 | 80.333 | 429.667 | 433.667 | 1800.000 | 1811.333 | 378.300 | 378.767 | 130.800 |
| 4.000 | 7.000 | 84.333 | 286.333 | 300.000 | 600.000 | 579.333 | 0.000 | 1.100 | 0.200 |
| 2.000 | 8.000 | 89.667 | 414.333 | 418.000 | 2200.000 | 2156.000 | 378.300 | 370.900 | 152.533 |
| 2.000 | 9.000 | 90.333 | 431.333 | 433.333 | 2200.000 | 2189.000 | 283.700 | 284.100 | 118.267 |
| 2.000 | 10.000 | 89.667 | 400.667 | 404.667 | 2200.000 | 2180.333 | 189.100 | 187.867 | 78.167 |
| 2.000 | 11.000 | 90.667 | 338.667 | 347.000 | 2200.000 | 2183.333 | 94.500 | 93.900 | 39.067 |
| 2.000 | 12.000 | 93.333 | 277.333 | 285.667 | 2200.000 | 2167.333 | 37.800 | 37.267 | 62.267 |
| 3.000 | 13.000 | 95.333 | 193.333 | 199.667 | 600.000 | 575.000 | 0.000 | 0.967 | 0.200 |

Tabla 4.6 Promedio 13 modos 350 sin DOC.

Datos promedios de pruebas 13 modos

| T[s] modo | por modo | Tac [°C] | T1c [°C] | T2c [°C] | np [rpm] | n [rpm] | Mp [lbf pie] | M [lbf pie] | Ne [HP] |
|----------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|--------------------------|-------------------------------|------------------------------|----------------|
| 3.000 | 1.000 | 77.837 | 79.167 | 81.423 | 600.000 | 622.000 | 0.000 | 1.467 | 0.267 |
| 2.000 | 2.000 | 76.013 | 149.397 | 159.090 | 1800.000 | 1809.667 | 37.800 | 37.867 | 13.133 |
| 2.000 | 3.000 | 76.087 | 210.200 | 221.100 | 1800.000 | 1812.333 | 94.500 | 94.667 | 32.800 |
| 2.000 | 4.000 | 76.377 | 285.900 | 302.133 | 1800.000 | 1820.000 | 189.100 | 191.133 | 66.200 |
| 2.000 | 5.000 | 78.487 | 370.267 | 385.707 | 1800.000 | 1816.000 | 283.700 | 283.400 | 98.233 |
| 2.000 | 6.000 | 80.187 | 436.067 | 447.433 | 1800.000 | 1822.333 | 378.300 | 378.800 | 131.900 |
| 4.000 | 7.000 | 87.190 | 279.733 | 309.333 | 600.000 | 583.667 | 0.000 | 0.867 | 0.167 |
| 2.000 | 8.000 | 91.737 | 464.500 | 443.233 | 2200.000 | 2162.333 | 378.300 | 368.667 | 152.167 |
| 2.000 | 9.000 | 91.513 | 440.867 | 447.800 | 2200.000 | 2194.000 | 283.700 | 283.767 | 118.733 |
| 2.000 | 10.000 | 94.533 | 401.833 | 411.300 | 2200.000 | 2186.667 | 189.100 | 753.533 | 78.833 |
| 2.000 | 11.000 | 95.270 | 338.567 | 351.033 | 2200.000 | 2176.000 | 94.500 | 94.067 | 39.100 |
| 2.000 | 12.000 | 96.440 | 273.400 | 288.867 | 2200.000 | 2185.333 | 37.800 | 37.633 | 15.767 |
| 3.000 | 13.000 | 98.270 | 193.850 | 211.280 | 600.000 | 615.000 | 0.000 | 1.800 | 0.633 |

Tabla 4.7 Promedio 13 modos 350 con DOC.

Datos promedios de pruebas 13 modos

| t[s] por modo | modo | Tac [°C] | T1c [°C] | T2c [°C] | np [rpm] | n [rpm] | Mp [lbf pie] | M [lbf pie] | Ne [HP] |
|---------------|--------|----------|----------|----------|----------|----------|--------------|-------------|---------|
| 3.000 | 1.000 | 76.710 | 77.083 | 78.867 | 600.000 | 602.333 | 0.000 | 1.633 | 0.467 |
| 2.000 | 2.000 | 74.533 | 160.267 | 167.733 | 1800.000 | 1787.667 | 37.800 | 37.367 | 12.867 |
| 2.000 | 3.000 | 75.733 | 212.667 | 225.167 | 1813.333 | 1811.667 | 94.500 | 94.633 | 32.767 |
| 2.000 | 4.000 | 76.500 | 279.933 | 261.400 | 1800.000 | 1806.667 | 189.100 | 189.300 | 65.433 |
| 2.000 | 5.000 | 77.267 | 366.867 | 375.667 | 1800.000 | 1825.333 | 283.700 | 283.767 | 99.067 |
| 2.000 | 6.000 | 80.967 | 432.367 | 369.767 | 1800.000 | 1810.333 | 378.300 | 378.500 | 130.900 |
| 4.000 | 7.000 | 79.147 | 285.733 | 292.100 | 600.000 | 611.000 | 0.000 | 0.433 | 0.133 |
| 2.000 | 8.000 | 85.400 | 404.967 | 408.233 | 2200.000 | 2157.667 | 378.300 | 369.700 | 145.733 |
| 2.000 | 9.000 | 87.033 | 419.833 | 424.733 | 2200.000 | 2175.000 | 283.700 | 283.700 | 117.867 |
| 2.000 | 10.000 | 88.300 | 390.467 | 394.033 | 2200.000 | 2189.333 | 189.100 | 188.833 | 78.900 |
| 2.000 | 11.000 | 86.900 | 328.367 | 337.567 | 2200.000 | 2188.667 | 94.500 | 94.533 | 39.533 |
| 2.000 | 12.000 | 88.300 | 266.500 | 274.467 | 2200.000 | 2163.000 | 37.800 | 37.467 | 15.567 |
| 3.000 | 13.000 | 83.967 | 192.600 | 200.300 | 600.000 | 594.667 | 0.000 | 0.467 | 0.233 |

Tabla 4.8 Promedio 13 modos B-5 sin DOC

Datos promedios de pruebas 13 modos

| t[s] modo | por modo | Tac [°C] | T1c [°C] | T2c [°C] | np [rpm] | n [rpm] | Mp [lbf pie] | M [lbf pie] | Ne [HP] |
|--------------|-------------|-------------|-------------|------------|------------|-------------|-----------------|-------------|------------|
| 3 | 1 | 79.4666667 | 81.1 | 84.7 | 600 | 595.6666667 | 0 | 0.66666667 | 0.2 |
| 2 | 2 | 77.53333333 | 158.3333333 | 167.6 | 1800 | 1799.333333 | 37.8 | 37.5 | 12.9666667 |
| 2 | 3 | 78.5666667 | 213.3 | 220.6 | 1813.33333 | 1810.333333 | 94.5 | 94.5 | 32.7 |
| 2 | 4 | 78.2333333 | 285.633333 | 294.8 | 1800 | 1824.666667 | 189.1 | 189.566667 | 66.1 |
| 2 | 5 | 80.7 | 374.366667 | 384.033333 | 1800 | 1822.666667 | 283.7 | 283.4 | 98.8 |
| 2 | 6 | 80.9 | 433.266667 | 436 | 1800 | 1823 | 378.3 | 378.566667 | 131.9 |
| 4 | 7 | 81.4666667 | 288.233333 | 320.166667 | 600 | 592.3333333 | 0 | 0.6 | 0.2 |
| 2 | 8 | 88.2 | 426.633333 | 428.7 | 2200 | 2163.666667 | 378.3 | 363.633333 | 150.166667 |
| 2 | 9 | 88.5333333 | 432.533333 | 436.7 | 2200 | 2173.666667 | 283.7 | 282.6 | 117.4 |
| 2 | 10 | 89.3 | 395.1 | 401.4 | 2200 | 2203.666667 | 189.1 | 189.3 | 79.6666667 |
| 2 | 11 | 87.6333333 | 335.433333 | 348.833333 | 2200 | 2185.333333 | 94.5 | 94.6333333 | 39.5 |
| 2 | 12 | 89.2333333 | 269.466667 | 282.1 | 2200 | 2190.333333 | 37.8 | 37.7666667 | 15.1666667 |
| 3 | 13 | 84.9666667 | 197.1 | 219.033333 | 600 | 589.6666667 | 0 | 0.66666667 | 0.16666667 |

Tabla 4.9 Promedio 13 modos B-5 con DOC

Dónde:

Tac- Temperatura del aceite

T1c- Temperatura antes del catalizador

T2c- Temperatura después del catalizador

Nt- Velocidad teórica

Mt-Par teórico.

Estas tablas muestran un promedio de todas las mediciones excepto las emisiones realizadas durante las pruebas se puede observar cómo se mencionó anteriormente que se monitoreo las temperaturas el tiempo potencia y par reales o medidos, además de los teóricos o a medirse

En cuanto a las emisiones como se mencionó anteriormente el sistema RAVEM arrojo valores de éstos segundo a segundo lo cual aunado a la duración total de las pruebas, se tuvo la necesidad de manejar 1800 valores por cada replica, para el manejo de estos valores se tomaron los últimos 60 segundos de cada modo para garantizar la estabilidad de éste y se realizó un promedio por cada modo, posteriormente estos valores promedio se multiplicaron por el factor de ponderación (el cual es una constante que sirve para corregir dichos valores), para posteriormente sumar los valores de los 13 modos para obtener finalmente el valor de emisiones totales.

En las siguientes tablas se muestran los promedios y cálculos obtenidos para cada combustible de los parámetros:

| Promedios de pruebas | Promedio últimos 60 segundos de cada modo | | | Factor de ponderación R49 | Promedio de los últimos 60 segundos multiplicado el por factor de ponderación R49 | | |
|----------------------|---|-----------|-----------|---------------------------|---|-----------|-----------|
| | CO g/min | NOx g/min | CO2 g/min | | CO g/min | NOx g/min | CO2 g/min |
| 1 | 0.466 | 1.166 | 52.297 | 0.083 | 0.039 | 0.097 | 4.358 |
| 2 | 1.964 | 2.943 | 258.871 | 0.080 | 0.157 | 0.235 | 20.710 |
| 3 | 1.074 | 4.594 | 353.603 | 0.080 | 0.086 | 0.368 | 28.288 |
| 4 | 1.152 | 7.496 | 624.905 | 0.080 | 0.092 | 0.600 | 49.992 |
| 5 | 1.516 | 9.375 | 884.420 | 0.080 | 0.121 | 0.750 | 70.754 |
| 6 | 2.172 | 11.637 | 1168.670 | 0.250 | 0.543 | 2.909 | 292.168 |
| 7 | 0.169 | 0.948 | 39.042 | 0.083 | 0.014 | 0.079 | 3.253 |
| 8 | 2.993 | 10.672 | 1565.731 | 0.100 | 0.299 | 1.067 | 156.573 |
| 9 | 1.354 | 9.493 | 1157.758 | 0.020 | 0.027 | 0.190 | 23.155 |
| 10 | 1.039 | 7.107 | 789.866 | 0.020 | 0.021 | 0.142 | 15.797 |
| 11 | 0.917 | 4.275 | 455.313 | 0.020 | 0.018 | 0.086 | 9.106 |
| 12 | 1.397 | 2.582 | 303.078 | 0.020 | 0.028 | 0.052 | 6.062 |
| 13 | 0.292 | 0.917 | 41.836 | 0.083 | 0.024 | 0.076 | 3.486 |

| | | | |
|--------------------------|--------------|--------------|----------------|
| Emisiones totales | 1.470 | 6.651 | 683.703 |
|--------------------------|--------------|--------------|----------------|

Tabla 4.10 Cálculos de emisiones 350 sin DOC

| Promedios de pruebas | Promedio últimos 60 segundos de cada modo | | | Factor de ponderación | Promedio de los últimos 60 segundos multiplicado por el factor de ponderación R49 | | |
|----------------------|---|----------|-----------|-----------------------|---|-------|----------|
| | Modo | CO g/min | NOx g/min | | CO2 g/min | R49 | CO g/min |
| 1 | 0.505 | 1.222 | 54.150 | 0.083 | 0.042 | 0.102 | 4.512 |
| 2 | 2.214 | 3.128 | 273.870 | 0.080 | 0.177 | 0.250 | 21.910 |
| 3 | 1.297 | 4.971 | 409.246 | 0.080 | 0.104 | 0.398 | 32.740 |
| 4 | 0.988 | 7.552 | 632.471 | 0.080 | 0.079 | 0.604 | 50.598 |
| 5 | 0.602 | 9.534 | 931.714 | 0.080 | 0.048 | 0.763 | 74.537 |
| 6 | 0.692 | 11.966 | 1251.156 | 0.250 | 0.173 | 2.992 | 312.789 |
| 7 | 0.017 | 0.978 | 39.858 | 0.083 | 0.001 | 0.082 | 3.321 |
| 8 | 1.547 | 10.676 | 1635.853 | 0.100 | 0.155 | 1.068 | 163.585 |
| 9 | 0.473 | 9.375 | 1211.545 | 0.020 | 0.009 | 0.187 | 24.231 |
| 10 | 0.396 | 7.064 | 811.701 | 0.020 | 0.008 | 0.141 | 16.234 |
| 11 | 0.366 | 4.250 | 473.224 | 0.020 | 0.007 | 0.085 | 9.464 |
| 12 | 1.119 | 2.595 | 309.178 | 0.020 | 0.022 | 0.052 | 6.184 |
| 13 | 0.231 | 0.915 | 42.883 | 0.083 | 0.019 | 0.076 | 3.574 |

| | | | |
|--------------------------|--------------|--------------|----------------|
| Emisiones totales | 0.846 | 6.799 | 723.679 |
|--------------------------|--------------|--------------|----------------|

Tabla 4.11 Cálculos de emisiones 350 con DOC

| Promedios de pruebas | Promedio últimos 60 segundos de cada modo | | | Factor de ponderación R49 | Promedio de los últimos 60 segundos multiplicado por el factor de ponderación R49 | | |
|----------------------|---|-----------|-----------|---------------------------|---|-----------|-----------|
| | CO g/min | NOx g/min | CO2 g/min | | CO g/min | NOx g/min | CO2 g/min |
| 1 | 0.512 | 1.119 | 39.282 | 0.083 | 0.043 | 0.093 | 3.273 |
| 2 | 2.368 | 2.726 | 232.017 | 0.080 | 0.189 | 0.218 | 18.561 |
| 3 | 1.206 | 4.785 | 353.671 | 0.080 | 0.096 | 0.383 | 28.294 |
| 4 | 1.199 | 7.889 | 598.174 | 0.080 | 0.096 | 0.631 | 47.854 |
| 5 | 1.465 | 9.819 | 880.953 | 0.080 | 0.117 | 0.786 | 70.476 |
| 6 | 2.278 | 12.558 | 1217.904 | 0.250 | 0.570 | 3.139 | 304.476 |
| 7 | 0.202 | 1.000 | 36.998 | 0.083 | 0.017 | 0.083 | 3.083 |
| 8 | 3.319 | 10.945 | 1565.356 | 0.100 | 0.332 | 1.095 | 156.536 |
| 9 | 1.379 | 9.907 | 1195.597 | 0.020 | 0.028 | 0.198 | 23.912 |
| 10 | 0.986 | 7.377 | 786.957 | 0.020 | 0.020 | 0.148 | 15.739 |
| 11 | 0.924 | 4.318 | 465.777 | 0.020 | 0.018 | 0.086 | 9.316 |
| 12 | 1.364 | 2.573 | 284.900 | 0.020 | 0.027 | 0.051 | 5.698 |
| 13 | 0.277 | 0.810 | 27.750 | 0.083 | 0.023 | 0.067 | 2.313 |

| | | | |
|--------------------------|--------------|--------------|----------------|
| Emisiones totales | 1.576 | 6.979 | 689.531 |
|--------------------------|--------------|--------------|----------------|

Tabla 4.12 Cálculos de emisiones B-5 sin DOC

| Promedios de pruebas | Promedio últimos 60 segundos de cada modo | | | Factor de ponderación | Promedio de los últimos 60 segundos multiplicado por el factor de ponderación R49 | | |
|----------------------|---|----------|-----------|-----------------------|---|-------|----------|
| | Modo | CO g/min | NOx g/min | | CO2 g/min | R49 | CO g/min |
| 1 | 0.574 | 1.088 | 46.484 | 0.083 | 0.048 | 0.091 | 3.874 |
| 2 | 2.310 | 2.822 | 248.162 | 0.080 | 0.185 | 0.226 | 19.853 |
| 3 | 1.344 | 4.631 | 375.436 | 0.080 | 0.107 | 0.370 | 30.035 |
| 4 | 1.101 | 7.344 | 627.216 | 0.080 | 0.088 | 0.588 | 50.177 |
| 5 | 0.733 | 9.019 | 865.239 | 0.080 | 0.059 | 0.722 | 69.219 |
| 6 | 1.003 | 11.300 | 1223.304 | 0.250 | 0.251 | 2.825 | 305.826 |
| 7 | 0.393 | 0.949 | 40.522 | 0.083 | 0.033 | 0.079 | 3.377 |
| 8 | 1.535 | 9.619 | 1480.178 | 0.100 | 0.153 | 0.962 | 148.018 |
| 9 | 0.894 | 9.498 | 1307.884 | 0.020 | 0.018 | 0.190 | 26.158 |
| 10 | 0.472 | 6.871 | 813.141 | 0.020 | 0.009 | 0.137 | 16.263 |
| 11 | 0.437 | 4.148 | 482.084 | 0.020 | 0.009 | 0.083 | 9.642 |
| 12 | 1.213 | 2.502 | 300.409 | 0.020 | 0.024 | 0.050 | 6.008 |
| 13 | 0.263 | 0.872 | 35.735 | 0.083 | 0.022 | 0.073 | 2.978 |

| | | | |
|--------------------------|--------------|--------------|----------------|
| Emisiones totales | 1.006 | 6.395 | 691.427 |
|--------------------------|--------------|--------------|----------------|

Tabla 4.13 Cálculos de emisiones B-5 con DOC

| | | |
|--------------------|-------------------------|-------------------------------|
| 350 sin DOC | Promedio PM grs. | Consumo de combustible |
| | 3.456 | 4621.673 |
| 350 con DOC | Promedio PM grs. | Consumo de combustible |
| | 3.623 | 4850.148 |
| B-5 sin DOC | Promedio PM grs. | Consumo de combustible |
| | 3.347 | 4568.827 |
| B-5 con DOC | Promedio PM grs. | Consumo de combustible |
| | 3.575 | 4636.126 |

Tabla 4.14 Promedio de partículas y consumo de combustible

| n [rpm] | M [lbf*pie] | Ne[HP] |
|-------------|-------------------|-------------------|
| 610 | 169.933333 | 20 |
| 801.333333 | 183.666667 | 28.1333333 |
| 1001.666667 | 243.266667 | 46.6333333 |
| 1205.666667 | 310.6 | 71.7 |
| 1403.333333 | 415.3 | 111.566667 |
| 1606 | 415.933333 | 127.833333 |
| 1803.666667 | 415.033333 | 143.366667 |
| 2004.666667 | 396.366667 | 151.866667 |
| 2197 | 378.2 | 158.9 |
| 2398.333333 | 353.066667 | 161.766667 |

Par y Potencia máxima 350 sin DOC

| n [rpm] | M [lbf*pie] | Ne[HP] |
|-------------|-------------------|-------------------|
| 657.333333 | 162.566667 | 21.4 |
| 801.333333 | 190.433333 | 29.2666667 |
| 1002 | 250.466667 | 48.1 |
| 1196.666667 | 356.766667 | 81.8666667 |
| 1406.666667 | 418.566667 | 112.566667 |
| 1603.333333 | 416.433333 | 127.866667 |
| 1798.666667 | 414.033333 | 142.466667 |
| 2004 | 392.3 | 150.3 |
| 2195.666667 | 374.766667 | 157.333333 |
| 2401 | 346.733333 | 158.966667 |
| 2500.333333 | 332.7 | 158.866667 |

Par y Potencia máxima B-5 sin DOC

Tablas 4.15 Par y Potencia máximas

| n [rpm] | M [lbf*pie] | Ne[HP] |
|-------------|-------------------|--------------|
| 604.666667 | 165.6 | 19.2333333 |
| 797.666667 | 181.433333 | 27.8 |
| 998.666667 | 233.933333 | 44.7666667 |
| 1208 | 288.133333 | 66.6 |
| 1405.666667 | 406.6 | 109.433333 |
| 1600.333333 | 407.633333 | 124.833333 |
| 1805.333333 | 408.533333 | 141.066667 |
| 2003.333333 | 389.1 | 149.133333 |
| 2198 | 370.633333 | 155.6 |
| 2398.333333 | 345.266667 | 158.4 |

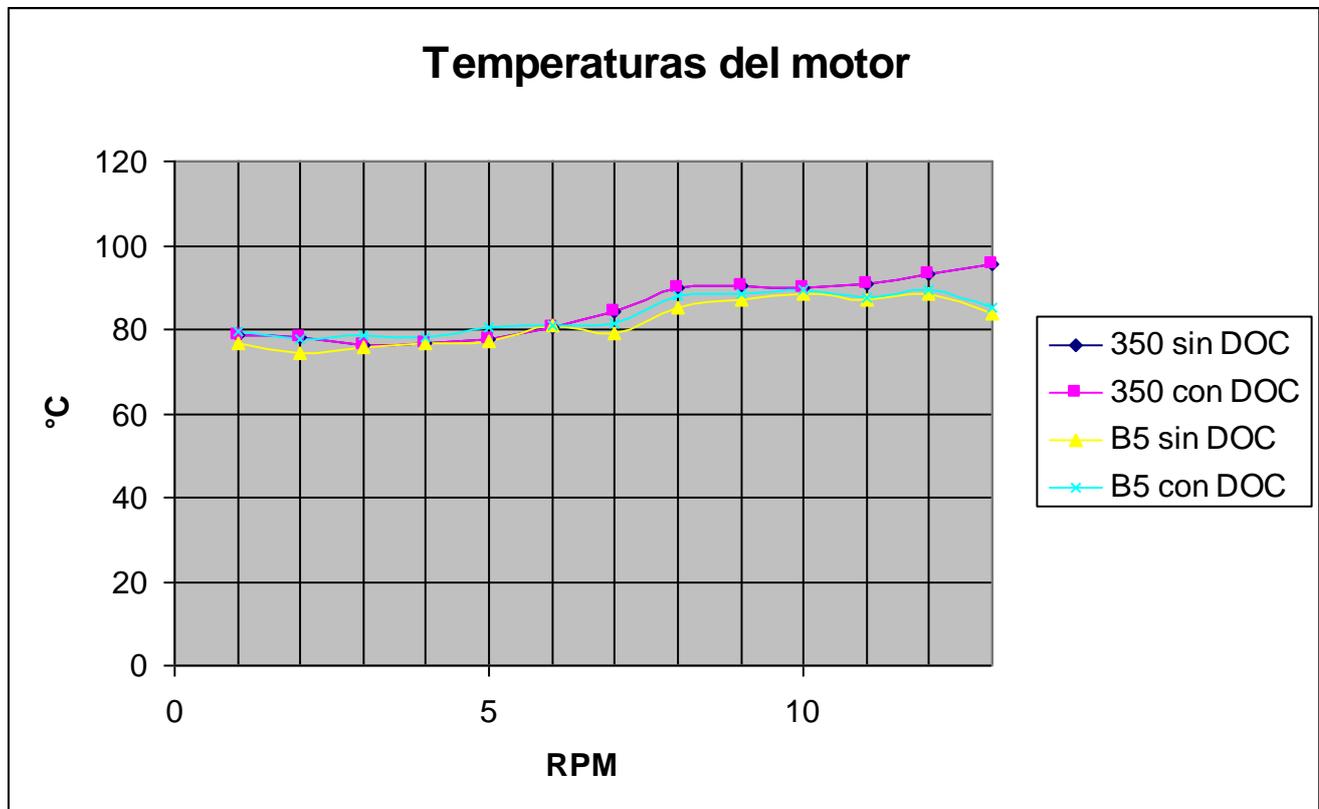
Par y Potencia máxima 350 con DOC

| n [rpm] | M [lbf*pie] | Ne[HP] |
|-------------|-------------------|------------|
| 675 | 160.166667 | 20.7333333 |
| 806.666667 | 181.166667 | 27.9 |
| 1003.333333 | 237.533333 | 45.6 |
| 1201.333333 | 299.166667 | 68.8 |
| 1404 | 374.066667 | 103.133333 |
| 1606.666667 | 384.233333 | 117.9 |
| 1802 | 381.566667 | 131.333333 |
| 1996.666667 | 363.533333 | 138.6 |
| 2198.666667 | 352.733333 | 148.1 |
| 2406 | 326.966667 | 150 |
| 2478 | 316.833333 | 149.733333 |

Par y Potencia máxima B-5 con DOC

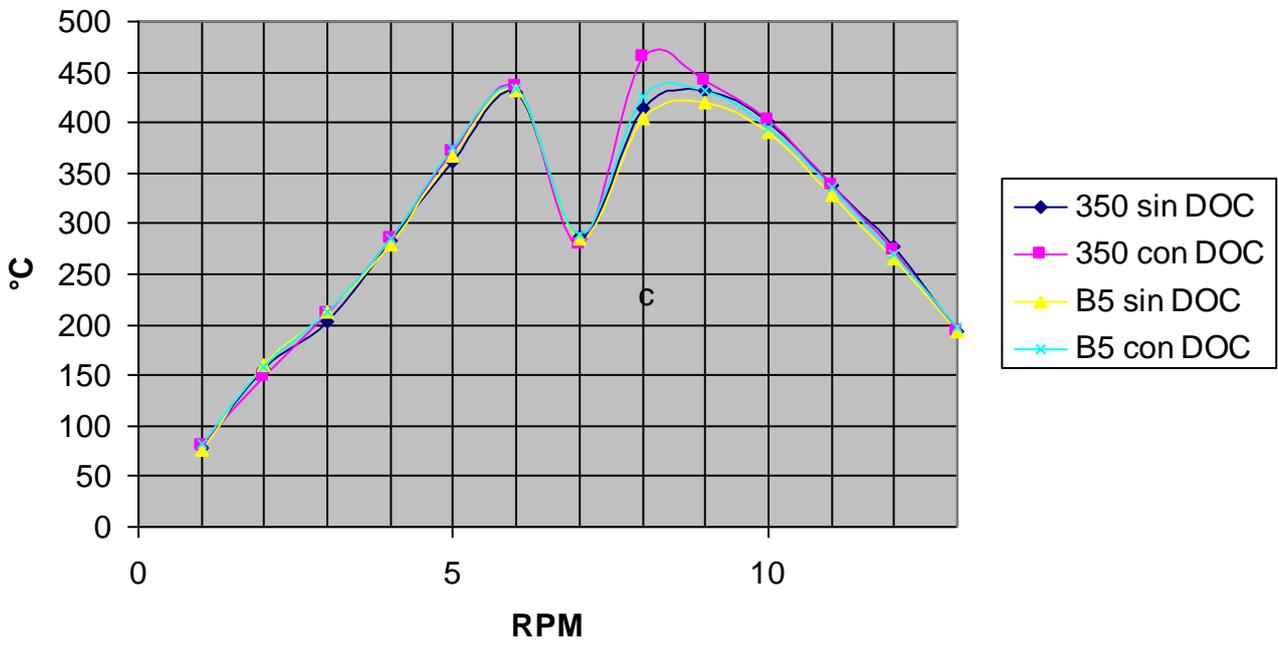
4.3 Análisis de resultados

TEMPERATURAS

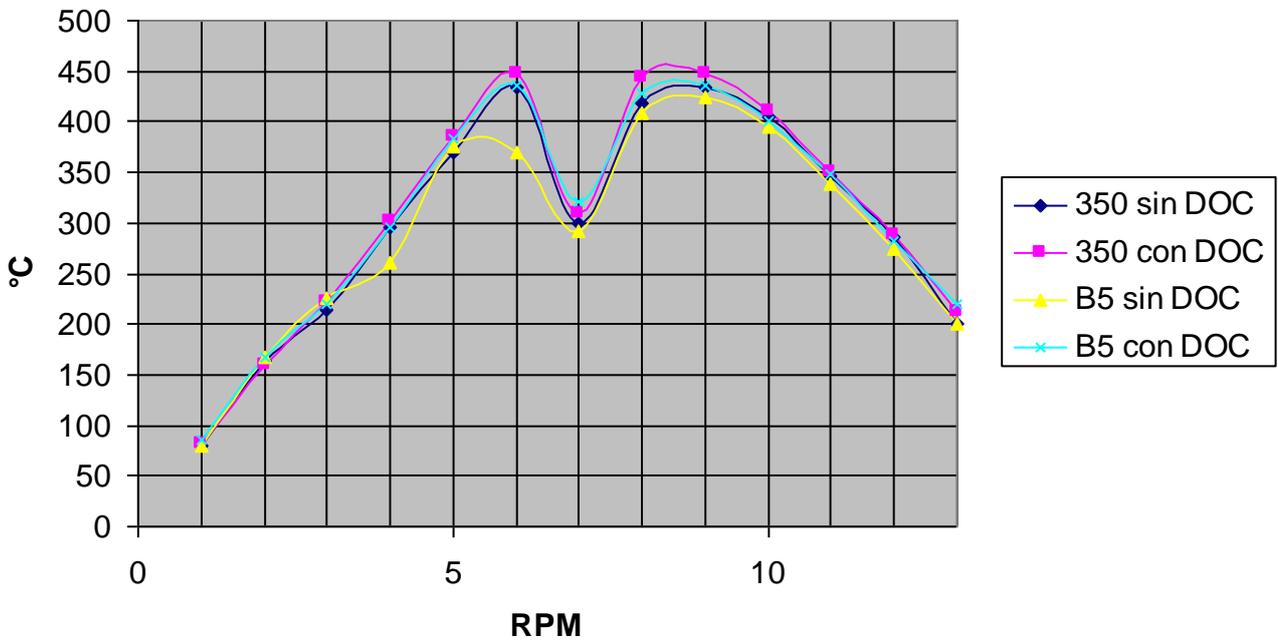


La temperatura del motor es de gran utilidad e importancia en este tipo de pruebas ya que nos muestra el comportamiento o en otras palabras el funcionamiento correcto del motor a lo largo de la prueba. En la gráfica 4.1 se puede notar que la temperatura del motor evaluado se encuentra dentro del rango de temperaturas promedio de un motor alrededor de 90°C.

Temperaturas antes del catalizador



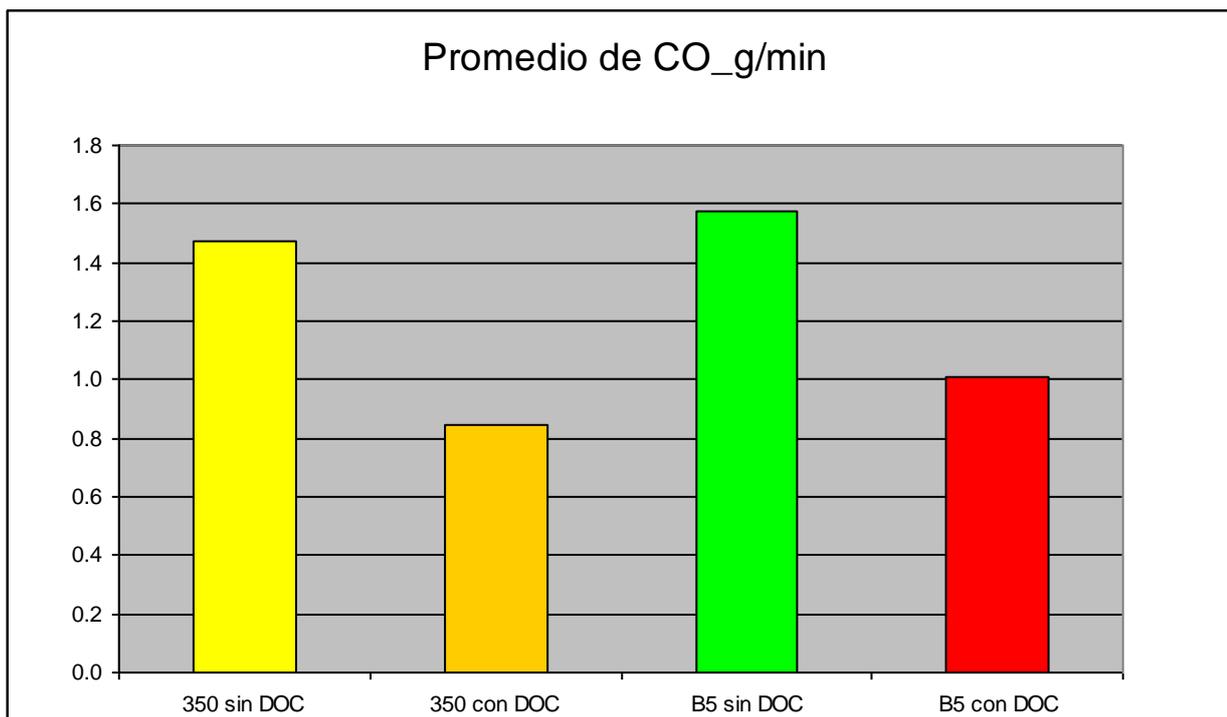
Temperaturas después del catalizador



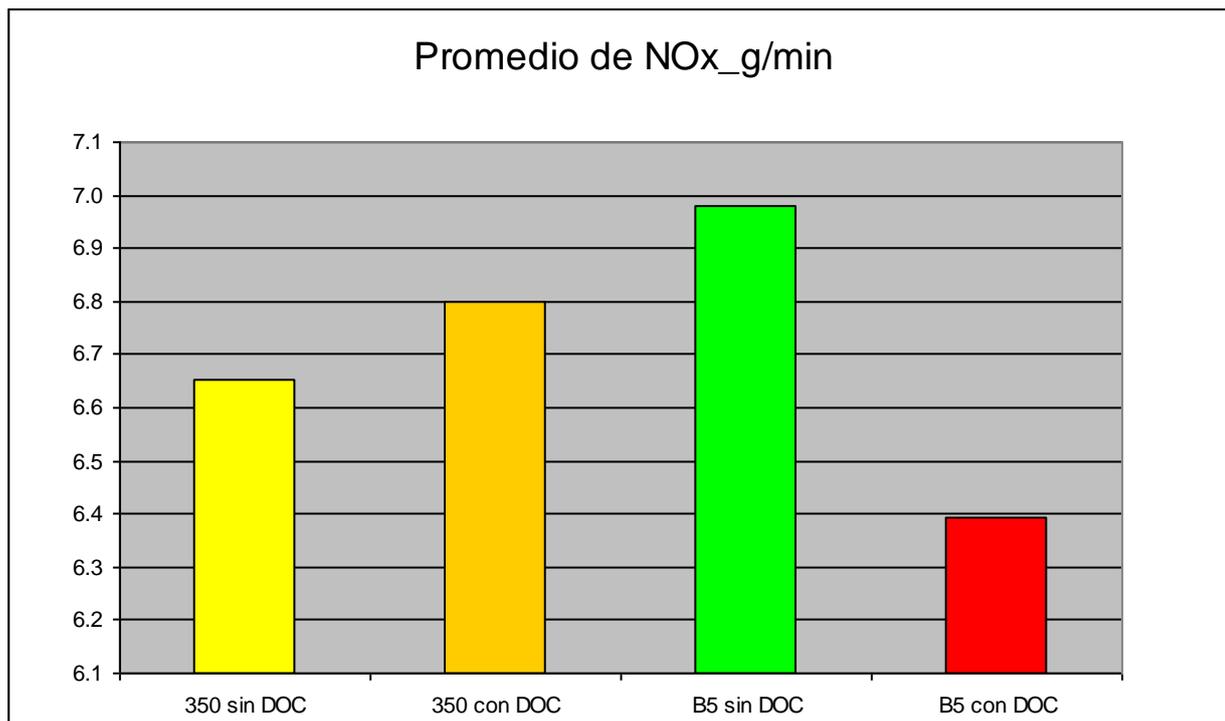
En cuanto a las temperaturas monitoreadas en el convertidor catalítico nos muestran el buen funcionamiento del dispositivo ya que al observar que las temperaturas aumentan al pasar por el convertidor significa una oxidación del mismo lo cual indica su buen funcionamiento.

En las gráficas como se puede ver se muestra una elevación de temperaturas lo cual nos indica que nuestro convertidor funciona de manera correcta.

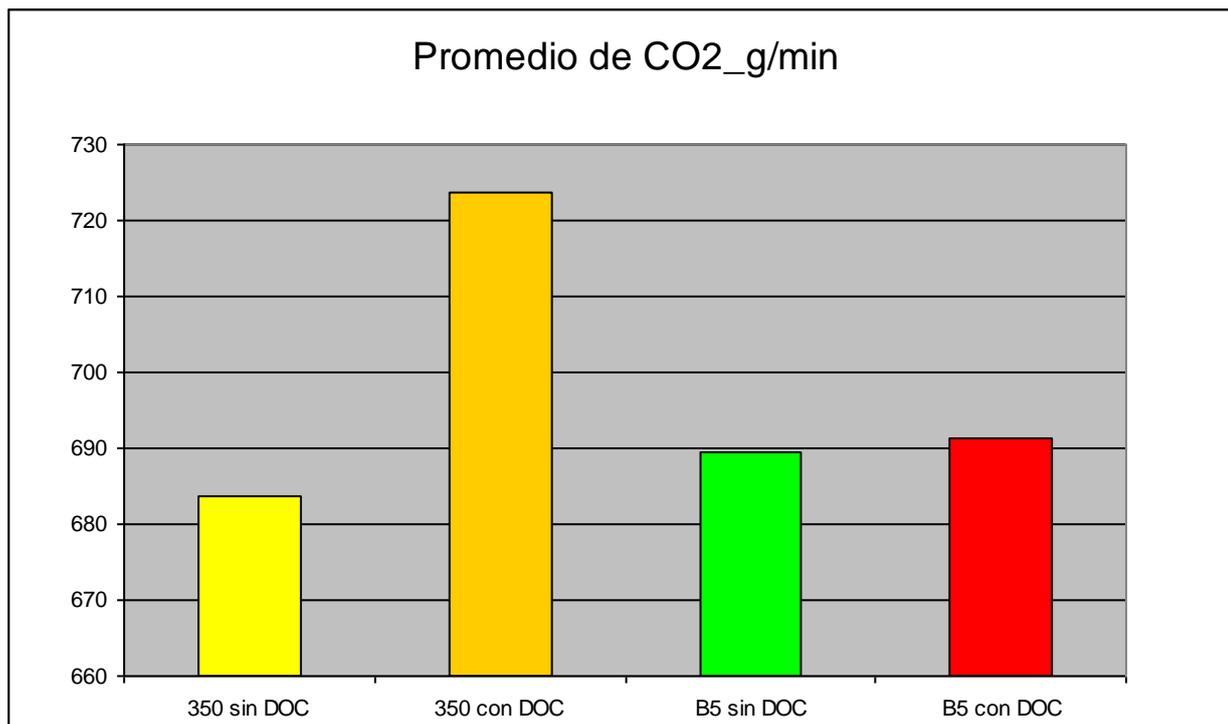
EMISIONES



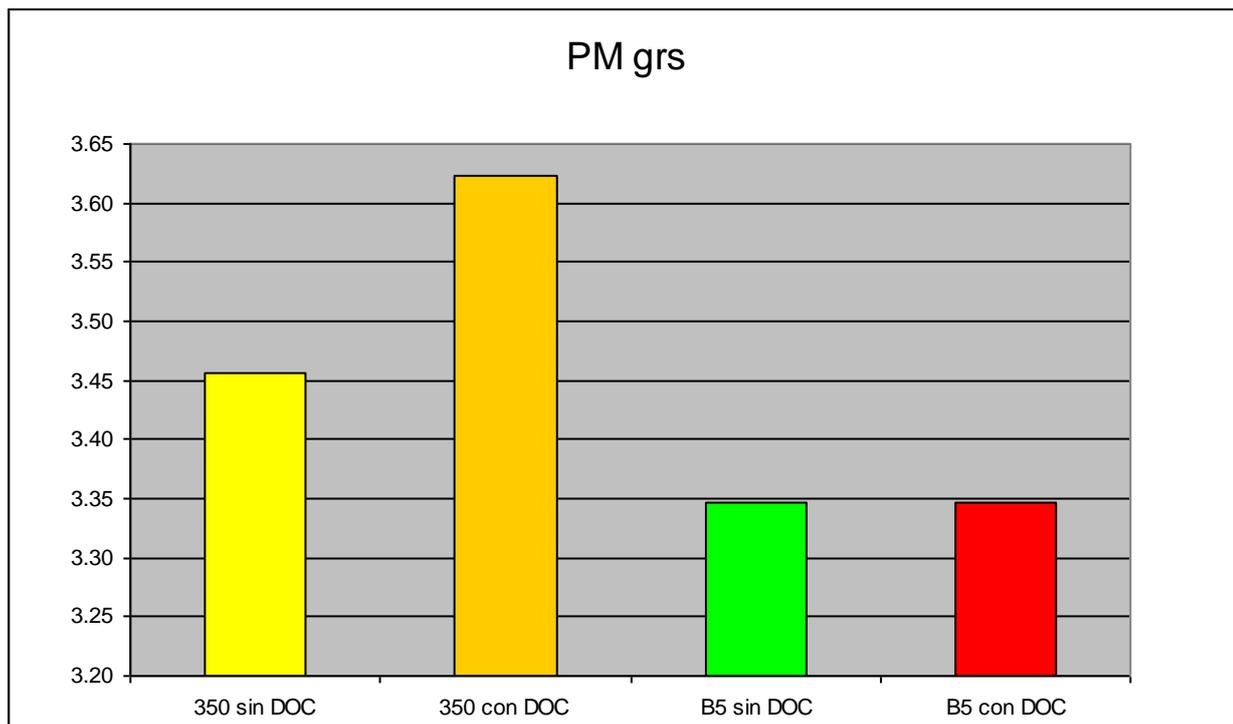
En cuanto al CO cabe destacar la notable disminución de este gas al agregar el convertidor lo cual indica que el CO es oxidado de manera correcta, en cuanto a la comparación entre combustibles destaca que el combustible 350 se comporta mejor que la mezcla en ambos sentidos.



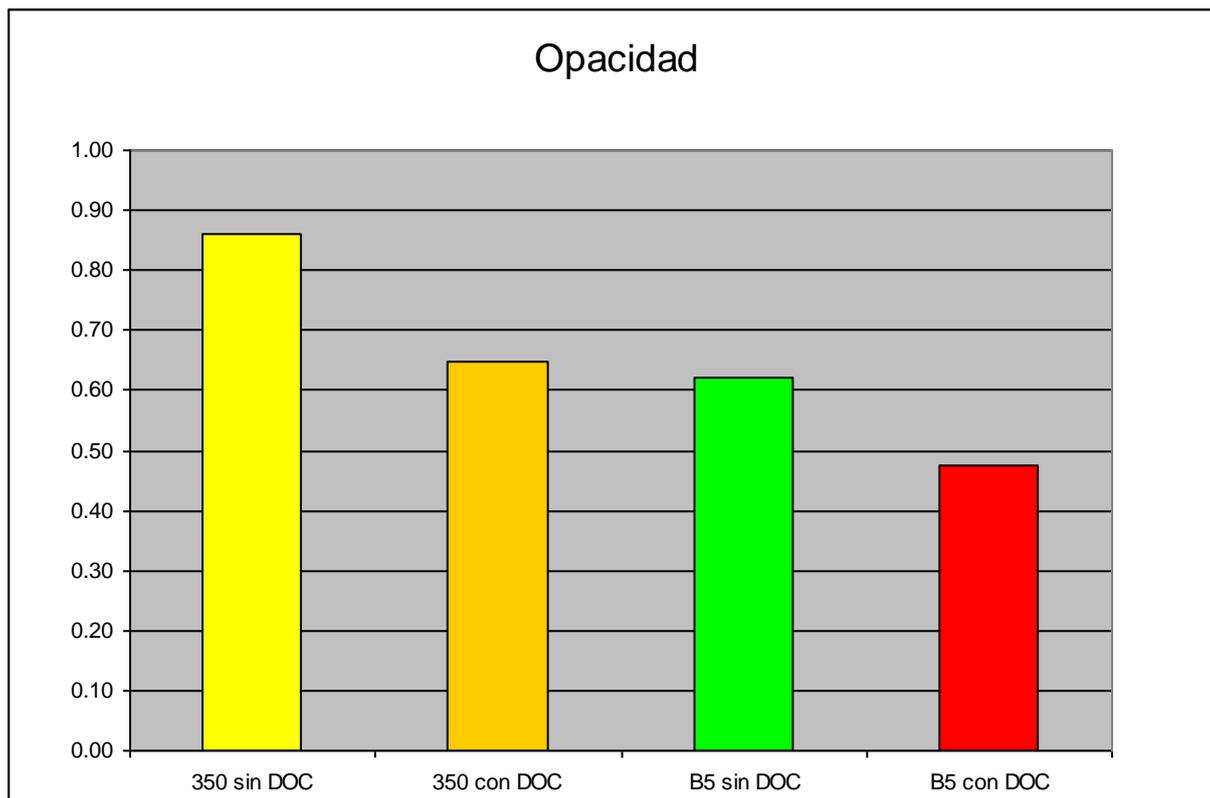
En cuanto a los NOx puede observarse en la gráfica que en el caso de 350 el convertidor aumenta la cantidad de NOx, sin embargo para el caso de nuestra mezcla el convertidor disminuye la cantidad de NOx, al comparar entre combustibles nuevamente se observa un mejor comportamiento en el diesel de 350ppm.



El CO₂ se puede apreciar que aumenta al agregar el convertidor, lo cual nos indica que éste funciona de manera correcta, ya que el CO y los HC son oxidados y convertidos en CO₂ y agua, por lo tanto al ver un incremento en los CO₂ significa que se oxidó de manera correcta o en otras palabras que el CO se convirtió en CO₂.

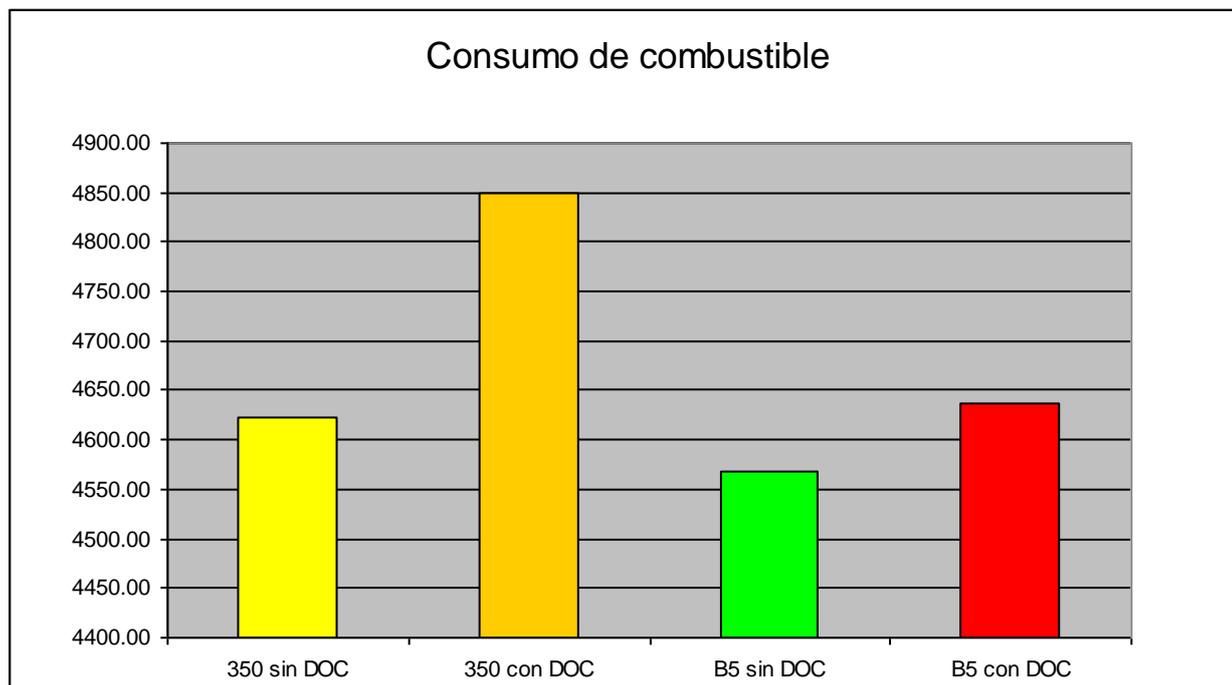


En el caso de las partículas se observa que no hay una certidumbre en cuanto al convertidor en el caso de combustibles se puede observar la diferencia entre el diesel 350 y el biodiesel con el cual se observan valores más bajos



En el caso de la opacidad también destaca la disminución de esta con el uso de biocombustibles, ya que puede observarse una disminución con el biodiesel de origen vegetal, en el caso del uso del convertidor destaca la disminución de la opacidad con el uso de este dispositivo

CONSUMO DE COMBUSTIBLE

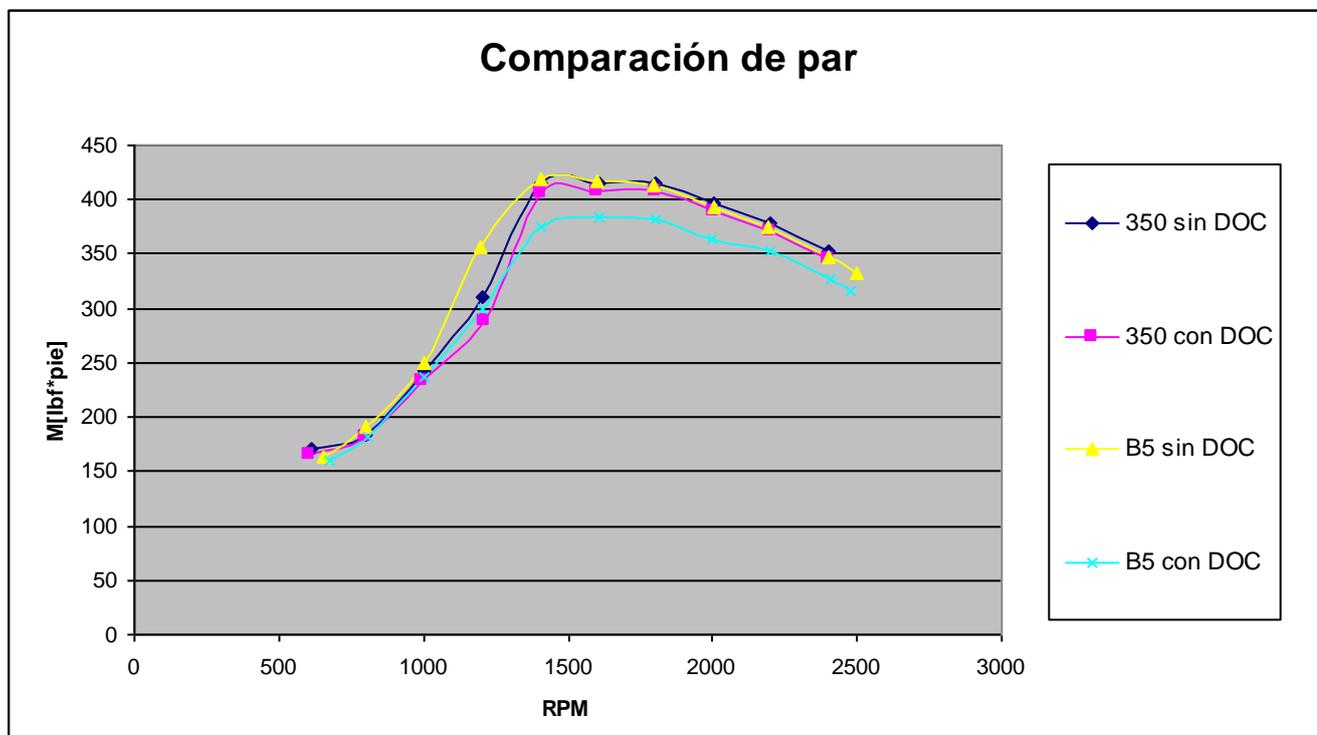


En el caso del consumo de combustible destaca el mayor consumo que se alcanza con el uso del diesel 350 ppm y mayormente con el uso del convertidor, la mezcla de biodiesel nuevamente se comporta de mejor manera que el diesel ordinario

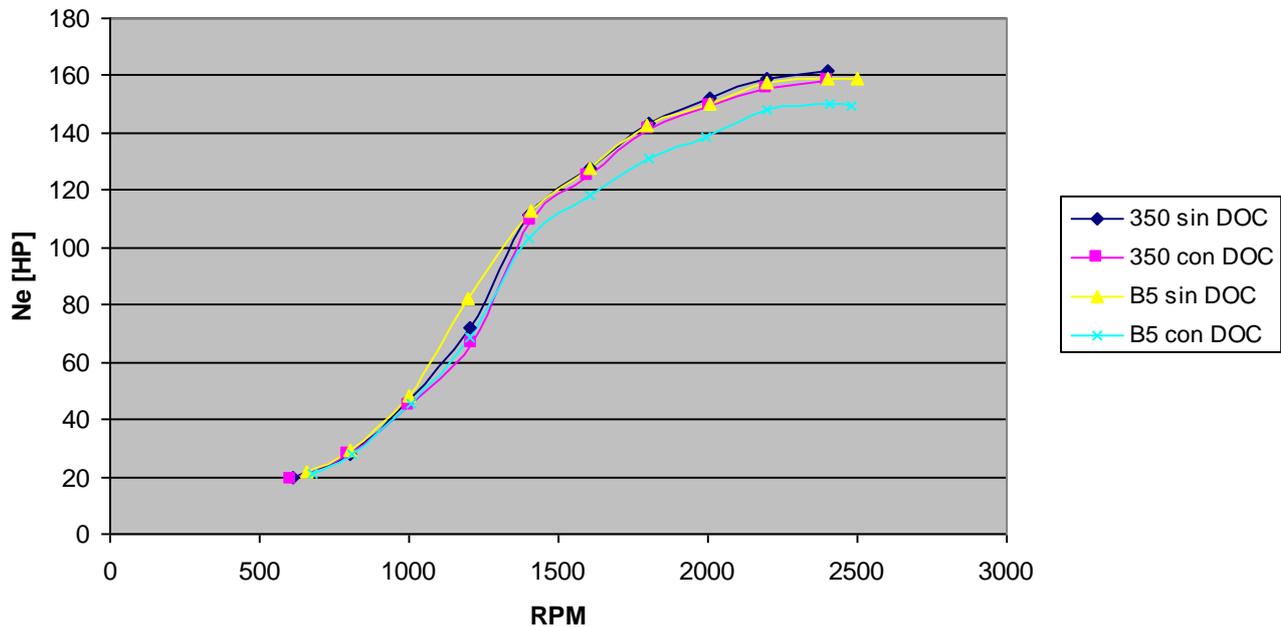
PAR Y POTENCIA DEL MOTOR

Valores máximos

| | | |
|--------------------|-------------------|-------------------|
| | M [lbf*pie] | Ne[HP] |
| 350 sin DOC | 415.933333 | 161.766667 |
| | | |
| | M [lbf*pie] | Ne[HP] |
| 350 con DOC | 408.533333 | 158.4 |
| | | |
| | M [lbf*pie] | Ne[HP] |
| B5 sin DOC | 414.033333 | 157.333333 |
| | | |
| | M [lbf*pie] | Ne[HP] |
| B5 con DOC | 374.066667 | 150 |



Comparación de potencia



En cuanto al desempeño mecánico del motor se puede observar en las gráficas que el diesel 350 se comporta de mejor manera que el biodiesel en términos de potencia y de par, ya que los valores máximos de potencia y par se obtienen cuando el motor trabaja con diesel ordinario sin ningún dispositivo de control de emisiones.

Aunque la diferencia no es muy significativa esta problemática es de gran importancia en cuanto al desempeño del motor y una disminución en potencia es de suma importancia.

4.4 Conclusiones

Se puede concluir entre otras cosas, que el convertidor funciona tal como se esperaba, es decir al utilizar una mezcla de biodiesel con diesel de alto azufre, se observa una disminución en los niveles de gases contaminantes emitidos, sin embargo al utilizarlo con diesel de alto contenido de azufre, las partículas se dispararon notablemente.

En el caso del Biodiesel cabe destacar muchos aspectos importantes, ya que en la mayoría de los casos las emisiones disminuyen (excepto en el caso de los NOx) con el uso del biocombustible. En el caso de potencia del motor también destaca la disminución de potencia que conlleva el uso del mismo, ya que el mejor rendimiento en este sentido se obtiene con el uso de diesel ordinario de 350 ppm, hecho que de un inicio se esperaba que sucediera, ya que dentro de las ventajas y desventajas antes mencionadas destaca el aspecto ambiental como una ventaja de este tipo de combustibles, y la posible pérdida de potencia como desventaja en comparación con el diesel ordinario. En el caso particular de los óxidos de nitrógeno (NOx) que fue lo único que no se redujo, creemos que puede deberse a un aumento de temperatura en la cámara de combustión, lo cual pudo haber ocasionado un aumento de NOx.

En cuanto al consumo de combustible no se puede apreciar una diferencia significativa entre ambos combustibles, pero de cualquier forma esos valores al ser cercanos puede significar que el uso de biocombustibles no afecta el consumo de combustible en los motores.

En términos generales creemos que las pruebas fueron de suma importancia ya que de los resultados han sido congruentes con lo que se ha leído en la literatura especializada. Tanto el convertidor como el biodiesel funcionan de manera muy aceptable, lo cual nos lleva a pensar que tal vez la manera correcta de solucionar el problema ambiental sea con la combinación de distintos métodos o dispositivos, sin embargo algo si es contundente, se debe disminuir el azufre en el combustible.

El biodiesel disminuye las emisiones pero con la posible limitante de la pérdida de potencia lo cual para ciertas aplicaciones puede representar un problema, pero creemos que en términos generales no es tan significativa

De manera general este tipo de pruebas son de gran ayuda y utilidad, no sólo para disminuir las emisiones y presentar alternativas al grave problema ambiental y al problema de la

inminente extinción del petróleo, sino también para prepararnos a usar otras fuentes de energía alternativas y apoyar la industria nacional en términos de producción de biocombustibles.

En lo personal este tipo de pruebas nos ayudaron a crearnos una conciencia sobre este tipo problemática y el estar dentro de este proyecto logramos una satisfacción personal.

Esperamos que este trabajo sea un referente a futuros proyectos y que sirva a crear inquietudes y motivaciones a futuras generaciones, las cuales esperamos sigan trabajando y en este y otros problemas.

REFERENCIAS

- [1] Contreras López, Alfonso. *Introducción al estudio de la contaminación y su control*. Universidad Nacional de Educación a Distancia. Madrid 1998
- [2] Martínez N. *Ecológico Otro Mundo es posible*. Diario CoLatino. 2008
- [3] Enkerlin, Ernesto C. *Ciencia Ambiental y desarrollo Sostenible*. Ed Internacional Thompson. México 1997
- [4] Comisión para el ahorro de Energía. *Energía Solar*. México 2008. www.conae.gob.mx
- [5] Carless Jennifer. *Energía renovable*. Ed. EDAMEX. México 1998
- [6] Creus Solé, Antonio. *Energías Renovables*. Ed. Ceysa, 2004
- [7] Álvarez, Flores. *Motores alternativos de combustión interna*. Ed UPC.2005
- [8] Ralbovsky, E. *Motores Diesel*. Ed. Paraninfo. España 1999.
- [9] Nett Technologies Inc. *Emissions FAQ*. <http://www.nett.ca/faq/diesel.html>.
- [10] Rojas Tapia, A. Padilla Martínez, C. *Muestreo, medición y análisis de partículas diesel*. Facultad de Ingeniería UNAM. 1996.
- [11] González Oropeza, Rogelio. *Análisis paramétrico de la emisión de partículas en un motor diesel de inyección directa mediante sonda de muestreo*. Universidad politécnica de Valencia. 1993
- [12] Schwartz, Joel. *No Way Back: Why Air Pollution Will Continue to Decline* AEI Press, Washington, D.C 2003.
- [13] SEMARNAT. Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales. *Evaluación del convertidor catalítico de oxidación en vehículos a diesel, Car Sound/ Magnaflow serie 60000 modelo 60011, (reporte de opacidad, contrapresión y temperatura)*. México 2007.

[14] RAVEM C.S. Weaver and L.E. Petty "Reproducibility and Accuracy of On-Board Emission Measurements Using the RAVEM™ System ", SAE Paper No. 2004-01-0965, March, 2004.

[15] RAVEM Weaver, C.S. and M.V. Balam-Almanza, "Development of the 'RAVEM' Ride-Along Vehicle Emission Measurement System for Gaseous and Particulate Emissions", SAE Paper No. 2001-01-3644.

[16] Diesel.net. *Emissions Standards*. <http://www.dieseln.net.com/standars>

[17] ALEA DÍAZ, J. J.; R. E. DÍAZ Y K. SOCARRÁS. Uso del alcohol como combustible en el transporte. Informe final. La Habana: Centro de Investigaciones del Transporte, 2000.

BUENO CAPOTE, J. Uso de etanol como combustible en el autotransporte. Informe del Instituto de Investigaciones del Transporte. La Habana: diciembre de 1995.

ORDIERES BOUSAREÑS, L. «México en el contexto mundial de los combustibles alternativos» Ponencia de la I Convención Internacional del Transporte. La Habana: septiembre de 2001. Resolución 47-03 del Ministerio del Transporte de la República de México.

SALCINES SOLER, F.; L. ORDIERES, ET AL. «Posibilidades de utilización del hidrógeno en los motores de combustión interna». Trabajo investigativo desarrollado por un grupo multidisciplinario de especialistas de distintos Órganos de la Administración Central del Estado. La Habana: diciembre de 1999. Términos de referencia para el estudio de factibilidad del sistema de trolebuses de la Ciudad de La Habana. La Habana: Ministerio del Transporte de la República de México, 2002.

[18] Nota: www.biodiesel.2clixs.com, Mike Boyd, Idioma original Inglés
Traducción de Héctor H. Zorrilla, Buenos Aires Argentina

[19] Potenciales y Viabilidad del Uso de Bioetanol y Biodiesel para el Transporte en México (SENER-BID- GTZ) Resumen Ejecutivo pág. 5 y 6

[20] John Dinkel, "ChassisDynamometer", *Road and Track Illustrated Automotive Dictionary*, (Bentley Publishers, 2000) p. 46.

United States Environmental Protection Agency In-Use Testing Program for Heavy-Duty Diesel Engines and Vehicles

El-Shawarby I., Ahn K., and Rakha H. (2005), Comparative Field Evaluation of Vehicle Cruise Speed and Acceleration Level Impacts on Hot Stabilized Emissions. Transportation Research Part D, 10 (1), pp 13–30