



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE QUÍMICA

CUANTIFICACIÓN DE EMISIONES DE BIODIESEL
EN UN CAMIÓN DE TRANSPORTE DE CARGA EN LA
ZMVM

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
INGENIERO QUÍMICO

PRESENTA

SAMUEL XICOTÉNCATL MIGUEL RICO



MÉXICO, D. F.

2010



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.

JURADO ASIGNADO:

PRESIDENTE: Profesor: JESÚS TORRES MERINO

VOCAL: Profesor: NÉSTOR NOÉ LÓPEZ CASTILLO

SECRETARIO: Profesor: ARÓN JAZCILEVICH DIAMANT

1er. SUPLENTE: Profesor: JOSÉ AGUSTÍN GARCÍA REYNOSO

2° SUPLENTE: Profesor: ALFONSO DURÁN MORENO

SITIO DONDE SE DESARROLLÓ EL TEMA: CENTRO DE CIENCIAS DE LA ATMOSFERA

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

ASESOR DEL TEMA:

Dr. Aron Jazcilevich Diamant

SUPERVISOR TÉCNICO:

Dr. Modesto Javier Cruz Gómez

SUSTENTANTE:

Samuel Xicoténcatl Miguel Rico

Agradecimientos:

A los proyectos PICS08-31 del Instituto de Ciencia y Tecnología del D.F. y CONACYT-SEMARNAT 23600, por su financiamiento, para el desarrollo de este proyecto.

A la UNAM, y en especial a la Facultad de Química, por brindarme la oportunidad de formar parte de ella, siendo la institución educativa más importante de Latinoamérica.

Al Dr. Arón Jazcilevich Diamant, por todo su apoyo, en la elaboración de esta tesis, además de todas las oportunidades que me ha brindado para seguirme superando.

Al área de instrumentación del Centro de Ciencias de la Atmosfera, Ing. Wilfrido Gutiérrez López, Ing. Manuel García Espinoza, por su ayuda y asistencia técnica.

A FEMSA, Coca-Cola, por su aportación, en el préstamo del camión de transporte.

A Josué Medina, Ulises Rojas, Brenda Valle, Hugo Barrera y Miguel de Cosío, por su asistencia técnica.

Dedicatoria:

A mi madre, por apoyarme siempre, aun cuando parecía haber fallado; por creer en mí, hoy te dedico este triunfo y tómallo como si fuera tuyo. Me educaste para seguir adelante, para superarme y te puedo decir que lo lograste. Gracias.

A mi hermano, que me apoyo cuando lo necesite, por sus palabras de motivación, y eso consejos que me ayudaron en lo profesional y en la vida misma.

A mi familia, en especial a la Familia Rico Flores, que un día creyeron en mí, y me apoyaron a continuar, siendo casi como mi familia directa. Gracias por esas palabras de motivación, sus palabras y por la educación que también me impartieron.

A mi novia que vivió conmigo esta parte final de mi carrera, siendo siempre un apoyo y un aliciente para lograr mis metas, gracias por todo.

Contenido

1.	Introducción.....	9
1.1.	Objetivo.....	9
1.2.	Justificación.....	9
1.2.1.	Salud Pública.....	9
1.2.2.	Consumo energético y cambio climático.....	11
1.2.3.	Efectos en el motor por el uso de biodiesel.....	12
1.3.	Producción de combustibles en México.....	13
1.4.	Principales forzantes de la contaminación en la ZMVM.....	17
1.4.1.	Situación geográfica.....	17
1.4.2.	Población.....	18
1.4.3.	Aumento del parque vehicular.....	19
1.5.	Efectos en la salud.....	27
1.6.	Medidas en el ZMVM.....	31
2.	Diesel y biodiesel.....	34
2.1.	Diesel mineral.....	34
2.1.1.	El diesel mexicano.....	39
2.2.	Biodiesel.....	40
2.2.1.	Ventajas.....	40
2.2.2.	Desventajas.....	43
2.2.3.	Proceso de producción: Transesterificación de aceites para biodiesel.....	43
2.2.4.	El biodiesel en México.....	48
3.	Metodología.....	50
3.1.	Equipo.....	50
3.1.1.	Instalación.....	53
3.2.	Factores que influyen en las emisiones de autobuses.....	60
4.	Comparativo de los factores de emisión bajo las mismas condiciones de tráfico.....	63
5.	Vehicle Specific Power (VSP).....	69
5.1.	Filtraje para obtener inclinación.....	70
5.2.	Análisis VSP.....	73
5.2.1.	Emisiones VSP para caso base.....	76
5.2.2.	Emisiones VSP para UBA.....	77

5.2.3.	Emisiones VSP para B10.....	78
5.2.4.	Emisiones VSP para B20.....	79
5.3.	Comparación de emisiones usando VSP.....	80
5.3.1.	Comparación usando VSP entre el caso base y UBA.....	81
5.3.2.	Comparación usando VSP entre el caso base y B10.....	82
5.3.3.	Comparación usando VSP entre el caso base y B20.....	84
6.	Análisis de datos.....	86
6.1.	Análisis para las emisiones por kilómetro.....	86
6.2.	Análisis para VSP.....	88
7.	Conclusiones.....	90
8.	Bibliografía.....	96
Anexo 1.	Normatividad para vehículos a diesel.....	98

ÍNDICE TABLAS

Tabla 1.1. Municipios y Delegaciones de la ZMVM (Ambiente, Inventario de Emisiones Contaminantes Criterio de la ZMVM 2008, 2010).....	18
Tabla 1.2. Emisiones por sector en el ZMVM. (Ambiente, Inventario de Emisiones Contaminantes Criterio de la ZMVM 2008, 2010).....	20
Tabla 1.3. Consumo anual de combustibles en la ZMVM. (Ambiente, Inventario de Emisiones Contaminantes Criterio de la ZMVM 2008, 2010).....	21
Tabla 1.4. Consumo energético en la ZMVM. (Ambiente, Inventario de Emisiones Contaminantes Criterio de la ZMVM 2008, 2010).....	22
Tabla 1.5. Flota vehicular en la ZMVM, por tipo. (Ambiente, Inventario de Emisiones Contaminantes Criterio de la ZMVM 2008, 2010).....	23
Tabla 1.6. Porcentajes de vehículos por tipo de tecnología. (Ambiente, Inventario de Emisiones Contaminantes Criterio de la ZMVM 2008, 2010).....	23
Tabla 1.7. Factores de emisiones por tipo de vehículo en el DF. (Ambiente, Inventario de Emisiones Contaminantes Criterio de la ZMVM 2008, 2010).....	25
Tabla 1.8. Factores de emisiones promedio de los vehículos a diesel registrados en el EDOMEX. (Ambiente, Inventario de Emisiones Contaminantes Criterio de la ZMVM 2008, 2010).....	25
Tabla 1.9. Emisiones anuales por tipo de vehículo. (Ambiente, Inventario de Emisiones de Contaminantes Toxicos 2008, 2010)	26
Tabla 1.10. Porcentaje de emisiones anuales por tipo de vehículo. (Ambiente, Inventario de Emisiones Contaminantes Criterio de la ZMVM 2008, 2010)	26
Tabla 1.11. Metas del GDF para reducir las emisiones de gases invernadero. (SMA)	32
Tabla 1.12. Cumplimiento de las Normas Oficiales Mexicanas de Salud Ambiental en 2007.	33
Tabla 2.1. Año de adopción de la especificación de diesel UBA.	37
Tabla 2.2. Especificación del Diesel Mexicano.	39
Tabla 2.3. Rendimiento por hectárea en la producción de biodiesel.	47
Tabla 3.1. Especificación del camión de experimentación.	53
Tabla 3.2. Datos de los combustibles utilizados.	56
Tabla 3.3. Variación respecto al Diesel en el poder calorífico.	56
Tabla 3.4. Datos de las pruebas.	59
Tabla 4.1. Emisiones por prueba en masa por kilómetro recorrido.	64
Tabla 4.2. Rendimiento de combustible por prueba.	64
Tabla 4.3. Velocidad promedio y tiempo de cada prueba.	65
Tabla 5.1. Bins de la pruebas.	74
Tabla 6.1 Reducción de emisiones. CO ₂	91
Tabla 6.2 Reducción de emisiones. CO	91
Tabla 6.3 Reducción de emisiones. NO _x	91
Tabla 6.4 Reducción de emisiones. PM ₁₀	92
Tabla 6.5 Reducción de Emisiones. COV	92

ÍNDICE GRÁFICAS

Gráfica 1.1. Crecimiento de la flota vehicular en circulación, ZMVM. (Ambiente, Inventario de Emisiones Contaminantes Criterio de la ZMVM 2008, 2010)	11
Gráfica 1.2. Reservas comprobadas en México anuales.....	14
Gráfica 1.3. Producción anual de crudo en México.	15
Gráfica 1.4. Producción anual de productos petrolíferos en México.	16
Gráfica 1.5. Población en la ZMVM. (INEGI).	19
Gráfica 1.6. Número de vehículos a Diesel por año. (Ambiente, Inventario de Emisiones de Contaminantes Toxicos 2008, 2010)	24
Gráfica 4.1. Variación porcentual respecto a la línea base. CO ₂	65
Gráfica 4.2. Variación porcentual respecto a la línea base. CO.....	66
Gráfica 4.3. Variación porcentual respecto a la línea base. HC.....	66
Gráfica 4.4. Variación porcentual respecto a la línea base. NO _x	67
Gráfica 4.5. Variación porcentual respecto a la línea base. PM ₁₀	67
Gráfica 4.6. Variación porcentual rendimiento respecto a la línea base. km/L.....	68
Gráfica 5.1. Localización (latitud y longitud) y alturas incurridas durante el ciclo de manejo.	72
Gráfica 5.2. Histograma VSP de velocidades del recorrido base.	74
Gráfica 5.3. Emisiones por bin de VSP para caso base (diesel convencional). En (a) para CO ₂ , en (b) para HC, en (c) para NO _x , en (d) para CO y en (e) para PM ₁₀ . Se muestran las barras de error estándar (longitud de la barra = 2 x error estándar).....	76
Gráfica 5.4. Emisiones por bin de VSP para el caso UBA. En (a) para CO ₂ , en (b) para HC, en (c) para NO _x , en (d) para CO y en (e) para PM ₁₀ . Se muestran las barras de error estándar (longitud de la barra = 2 x error estándar).....	77
Gráfica 5.5. Emisiones por bin de VSP para el caso B10. En (a) para CO ₂ , en (b) para HC, en (c) para NO _x , en (d) para CO y en (e) para PM ₁₀ . Se muestran las barras de error estándar (longitud de la barra = 2 x error estándar).....	78
Gráfica 5.6. Emisiones por bin de VSP para B20. En (a) para CO ₂ , en (b) para HC, en (c) para NO _x en (d) para CO y en (e) para PM ₁₀ . Se muestran las barras de error estándar (longitud de la barra = 2 x error estándar).....	79
Gráfica 5.7. Porcentaje de variación con respecto al caso base por bin de VSP entre los casos UBA y base. En (a) para CO ₂ , en (b) para HC, en (c) para NO _x , en (d) para CO y en (e) PM ₁₀	81
Gráfica 5.8. Porcentaje de variación con respecto al caso base por bin de VSP entre los casos B10 y base. En (a) para CO ₂ , en (b) para HC, en (c) para NO _x , en (d) para CO y en (e) para PM ₁₀	83
Gráfica 5.9. Porcentaje de variación con respecto al caso base por bin de VSP entre los casos B20 y base. En (a) para CO ₂ , en (b) para HC, en (c) para NO _x , en (d) para CO y en (e) para PM ₁₀	84
Gráfica 6.1. Reducción de emisiones. CO ₂	93
Gráfica 6.2. Reducción de emisiones. CO.	93
Gráfica 6.3. Reducción de emisiones. NO _x	94
Gráfica 6.4. Reducción de emisiones. PM ₁₀	94
Gráfica 6.5. Reducción de emisiones. COV.	95

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1. Proceso de refinación del petróleo.....	34
Figura 2.2. Compuestos que caracterizan al diesel.....	35
Figura 2.3. Transesterificación de un ácido grado.	44

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1.1. Flota Vehicular por tipo de combustible. ZMVM. (Ambiente, Inventario de Emisiones Contaminantes Criterio de la ZMVM 2008, 2010).....	22
Ilustración 2.1. Proceso de producción del biodiesel.	47
Ilustración 3.1. Camión repartidor de Coca-Cola.....	53
Ilustración 3.2. Instalación del inclinómetro HMR300 en el camión de Coca-Cola.	54
Ilustración 3.3. Equipo AXION instalado en el camión.....	54
Ilustración 3.4. (A) sensor de Temperatura. (B) Sensor de Presión. (C) Tacómetro (D) Transductor de Señal.....	55
Ilustración 3.5. (A) Contenedores de combustible. (B) Sistema de mangueras. Contenedor, motor, y recirculación.....	57
Ilustración 3.6. Recorrido en Ciudad Universitaria.	58
Ilustración 3.7. Alturas durante el recorrido.....	58
Ilustración 5.1. Filtro real FIR pasa bajo diseñado para quitar el ruido de vibración a la señal del inclinómetro.....	70
Ilustración 5.2. Inclinación en grados obtenidos por el inclinómetro durante un ciclo de manejo. (a) señal adquirida, (b) filtrada, (c) comparación entre la señal adquirida y filtrada y (d) señal adquirida y filtrada.....	71

1. Introducción

1.1. Objetivo

Comparar las cantidades emitidas de bióxido de carbono (CO_2), monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrógeno (NO_x), compuestos orgánicos volátiles (COV) y material particulado (PM_{10}) por la combustión de diesel suministrado en la Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM), mezclas de biodiesel B10, B20 y diesel Ultra Bajo en Azufre (UBA) en un camión de carga.

Se cuantificarán las emisiones, para ser analizadas utilizando emisiones por kilómetro recorrido (g/km) y por el análisis de y Vehicle Specific Power (VSP) (Younglove T, 2004)

1.2. Justificación

1.2.1. Salud Pública

A pesar de los esfuerzos realizados para mejorar la calidad del aire en la ZMVM y de la disminución paulatina de contaminantes como el ozono (O_3) y las partículas menores a 10 micrómetros (PM_{10}), aún no es posible cumplir con los límites que establecen las Normas Oficiales Mexicanas (NOM) de Salud Ambiental.

En la ZMVM se excede en 220 días, los límites de O_3 de la NOM, que establece 0.11 ppm promedio por hora. En el caso de las PM_{10} se excede los 120 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ percentil 98 anual.

Las evidencias científicas obtenidas en estudios humanos y en animales indican que las exposiciones agudas o a corto plazo a las emisiones de diesel (ED) en altas concentraciones, pueden inducir irritación ocular, nasal y faríngea así como respuestas inflamatorias en las vías respiratorias y pulmonar. También producen efectos alérgicos e inmunológicos (Diesel, 2005) (Etzet RA, 1999).

Las ED contienen diversos irritantes de la mucosa conjuntival y respiratoria en las fases de gas y particulado (NO_x , SO_2 , aldehídos, etc.). La exposición aguda además de las irritaciones descritas previamente (conjuntivitis, rinitis y faringitis), también ocasiona otros síntomas respiratorios (tos, expectoración, disfonía, etc.) y neurofisiológicos como cefalalgia, mareos, náuseas, vómitos y parestesias de las extremidades. Estos síntomas han sido descritos tanto en trabajadores como en estudios clínicos de humanos expuestos de forma aguda a altas concentraciones de las ED (Health, 1988).

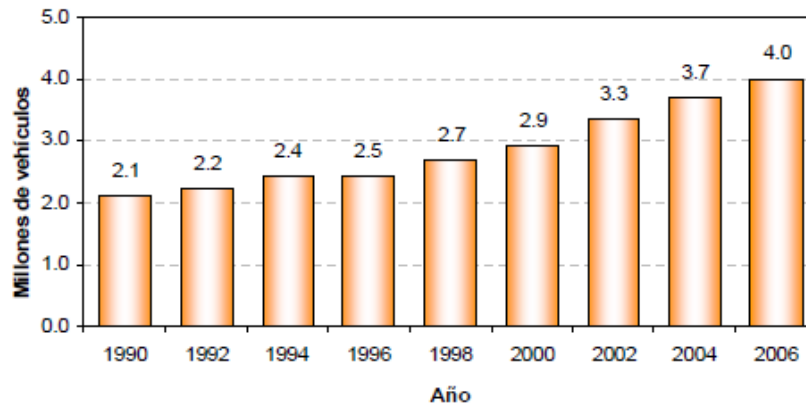
Los estudios profesionales disponibles de exposición no han proporcionado evidencia sobre disminuciones significativas de la función pulmonar en exposiciones agudas o en corto plazo de tiempo. Animales (ratones, ratas, hámster, gatos, etc.) expuestos a altas concentraciones de ED de forma aguda o subcrónica presentan cambios inflamatorios en las vías respiratorias con reducciones mínimas de la función pulmonar. Estudios recientes en humanos y en animales muestran que episodios agudos de exposición a las ED pueden exacerbar reacciones inmunológicas a otros alérgenos o iniciarlas específicamente a componentes de las ED. Esta última posibilidad se asocia tanto a la fracción orgánica como al núcleo de carbono de los componentes particulados. Sin duda alguna es un aspecto prioritario en sanidad pública, dado el incremento de hipersensibilidad alérgica en las poblaciones de los países occidentales. (RO., 1984).

La ZMVM sufre las consecuencias de su enorme crecimiento poblacional, industrial y comercial que caracteriza a las grandes metrópolis. Se emiten a la atmósfera más de 2.5 millones de toneladas al año de contaminantes, de los cuales, los vehículos son responsables del 84%, lo que provoca que 6 de cada 10 días se rebase alguna norma de calidad del aire, con costos en salud pública por los padecimientos respiratorios de la población más susceptible.

1.2.2. Consumo energético y cambio climático

La energía destinada al consumo final de la ZMVM para el año 2006, se estimó en 545 PetaJoule (PJ) a diferencia del año 1990 que fue de 443PJ, lo que significó un aumento de 102PJ, que podría representar alrededor del 23% de incremento en las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) generados por la combustión de combustibles fósiles. (Ambiente, Inventario de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero y Carbon Negro 2008, 2010).

Debido al crecimiento poblacional de la ZMVM, las zonas urbanizadas han crecido en forma horizontal sin un ordenamiento y planeación, haciendo que las distancias y tiempos de traslado dentro de la misma hayan aumentado. Asimismo, la falta de un transporte público metropolitano masivo y eficiente, ha ocasionado que continúe creciendo la flota vehicular de uso particular principalmente. Ver gráfica 1.1.



Gráfica 1.1. Crecimiento de la flota vehicular en circulación, ZMVM. (Ambiente, Inventario de Emisiones Contaminantes Criterio de la ZMVM 2008, 2010)

Estimaciones realizadas por la autoridad federal mexicana, referente a las emisiones de gases de efecto invernadero a nivel nacional y presentadas ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático, muestran que en México en el año 2002, se generaron 553 millones de toneladas equivalentes de bióxido de carbono (eq. CO₂), indicando un incremento del 30%, comparada con las emisiones de 1990. (Ambiente, Inventario de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero y Carbon Negro 2008, 2010).

De acuerdo con el Anexo A del Protocolo de Kyoto, las sustancias principales causantes del efecto invernadero son: el bióxido de carbono (CO₂), el metano (CH₄), el óxido nitroso (N₂O), los hidrofluorocarbonos (HFC), los perfluorocarbonos (PFC) y hexafluoruro de azufre (SF₆).

De acuerdo con datos de la Tercera Comunicación Nacional presentada por México ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático, y el Inventario Nacional de Emisiones 1990-2002, nuestro país contribuye con cerca del 1.5% de las emisiones mundiales de gases de efecto invernadero (GEI), estimándose en poco más de 643 millones de toneladas equivalentes de dióxido de carbono (eq.CO₂), con lo que se ubica en el lugar 12 entre los países con mayores emisiones a escala mundial. De esta contribución se ha estimado que la Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM) aporta el 6.7% de las emisiones nacionales de GEI (43.4 millones de toneladas equivalentes CO₂ para el año 2006).

Se espera que al utilizar biodiesel disminuya la emisión de gases tóxicos, así como de gases criterio como NO_x, CO, por lo cual se tiene que comparar estas. (John Sheehan, 1998)

1.2.3. Efectos en el motor por el uso de biodiesel

Como ejemplo del efecto mecánico por el uso de biodiesel tenemos el estudio del Instituto Nacional de Tecnología Industrial de Argentina (INTI) indican que la calidad del biodiesel es similar al diesel, dando similares, torques, potencia y consumo, así como mayor lubricidad utilizando biodiesel B100. (Industrial, 2000) (Council, 1982)

Estos estudios indican que las características del B100 no se alteran, ya que sus propiedades son similares a las de diesel producido a partir del petróleo. El B100 tiene mejor lubricidad permite una mayor vida útil del motor (Industrial, 2000). Al mantener las propiedades similares permite que se pueda utilizar en cualquier motor sin modificación o mínimas modificaciones (Industrial, 2000).

1.3. Producción de combustibles en México

El petróleo en México se refina en la actualidad en 6 refinerías que se encuentran en Cadereyta, Madero, Salamanca, Tula, Minatitlán y Salinas Cruz, en las cuales se obtienen los siguientes productos que son utilizados en la industria para consumo nacional y exportación.

1. Combustibles específicos para transportes, industria, generación eléctrica y uso doméstico.

- La gasolina utilizada en los motores de combustión interna de automóviles.
- El combustóleo se utiliza en las grandes plantas termoeléctricas y en las calderas de los buques.
- El diesel se utiliza, fundamentalmente, como combustible en el parque vehicular equipado con motores diseñados para combustible diesel. Por ejemplo camiones de carga de servicio ligero y pesado, autobuses de servicio urbano y de transporte foráneo, locomotoras, embarcaciones, maquinaria agrícola, industrial y de la construcción.
- El gasavión se utiliza en aviones con motores del ciclo Otto, esto es, motores con ignición por chispa eléctrica (spark-ignition engine) y especificaciones más estrictas.
- La turbosina se utiliza como combustible para motores de avión de turbina.

2. Productos especiales:

- a) Lubricantes
- b) Parafinas
- c) Asfaltos
- d) Productos de uso industrial

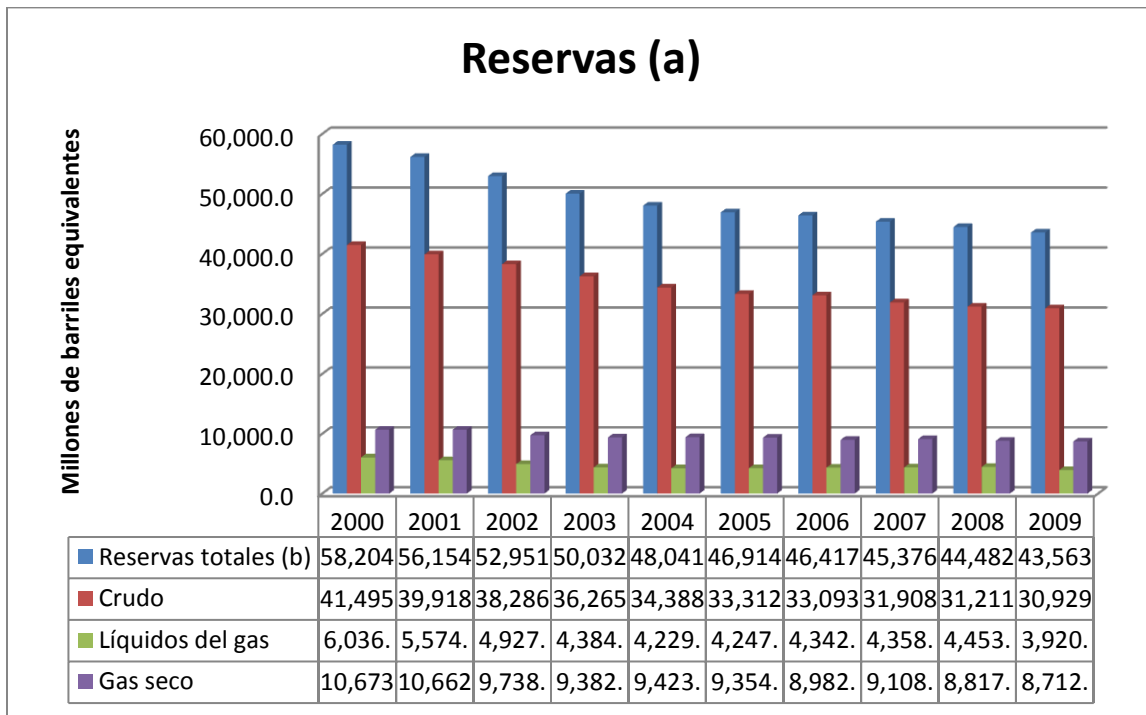
3. Materias primas para la industria petroquímica básica.

a) Naftas:

- Tolueno, benceno, xilenos.

b) Propano

La producción de diesel en México está basada en sus reservas totales de hidrocarburos. Como se observa en la tabla 1.2 las reservas totales en crudo han venido disminuyendo del año 2000 al 2009, por lo cual si no existe un cambio en esta tendencia se tendrá que explorar nuevos yacimientos y además introducir nuevas tecnologías para producir energía.



Gráfica 1.2. Reservas comprobadas en México anuales.

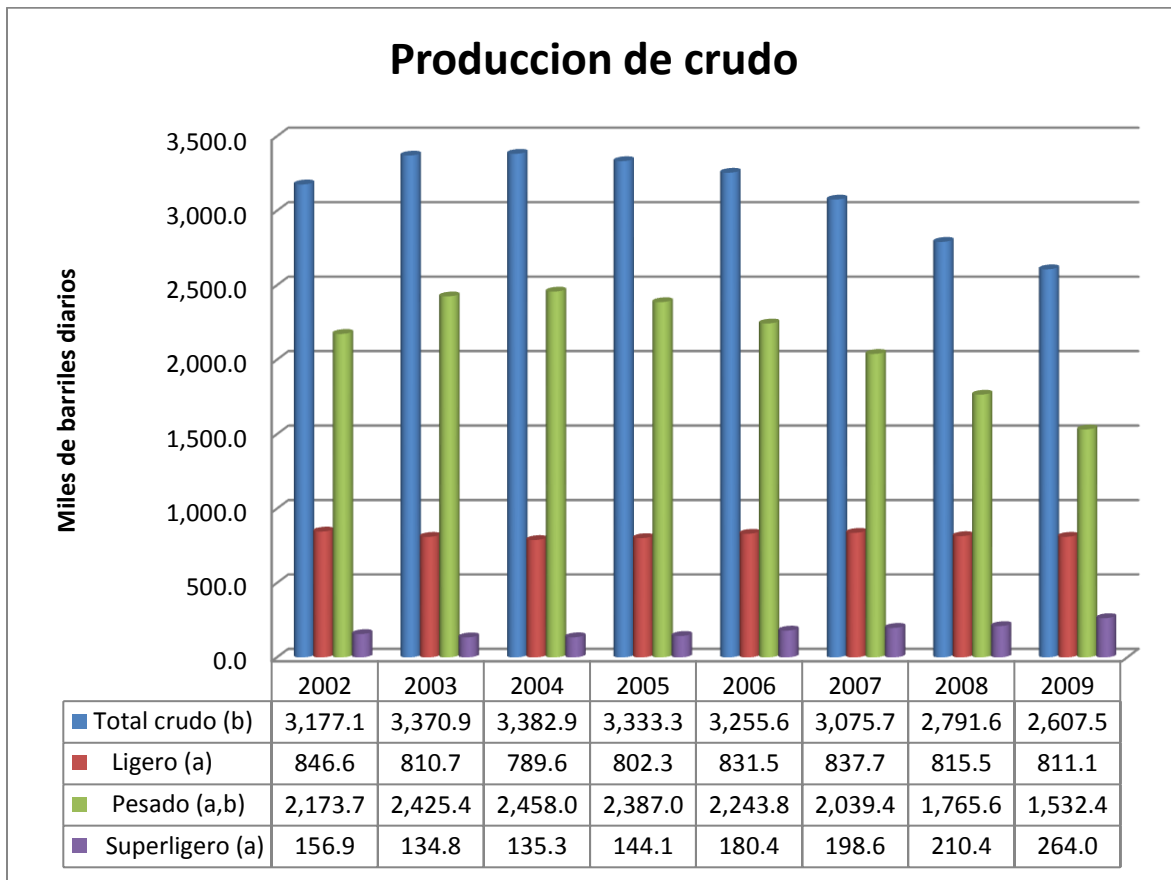
a. Cifras al 1° de enero de cada año.

b. Para la estimación de las reservas probadas, desde 2003 se emplearon las definiciones de la Securities and Exchange Commission (SEC) de Estados Unidos, para años anteriores las cifras fueron ajustadas.

Fuente: Sistema de Información Energética, con información de Petróleos Mexicanos.

Como se aprecia en la gráfica 1.3, la producción total de crudo ha decrecido a partir del 2004, lo cual indica que se deben de buscar nuevas alternativas en el país,

para poder abastecer la demanda interna de combustibles. De seguir esta tendencia se necesitará importar crudo para cumplir con la demanda actual de combustible.



Gráfica 1.3. Producción anual de crudo en México.

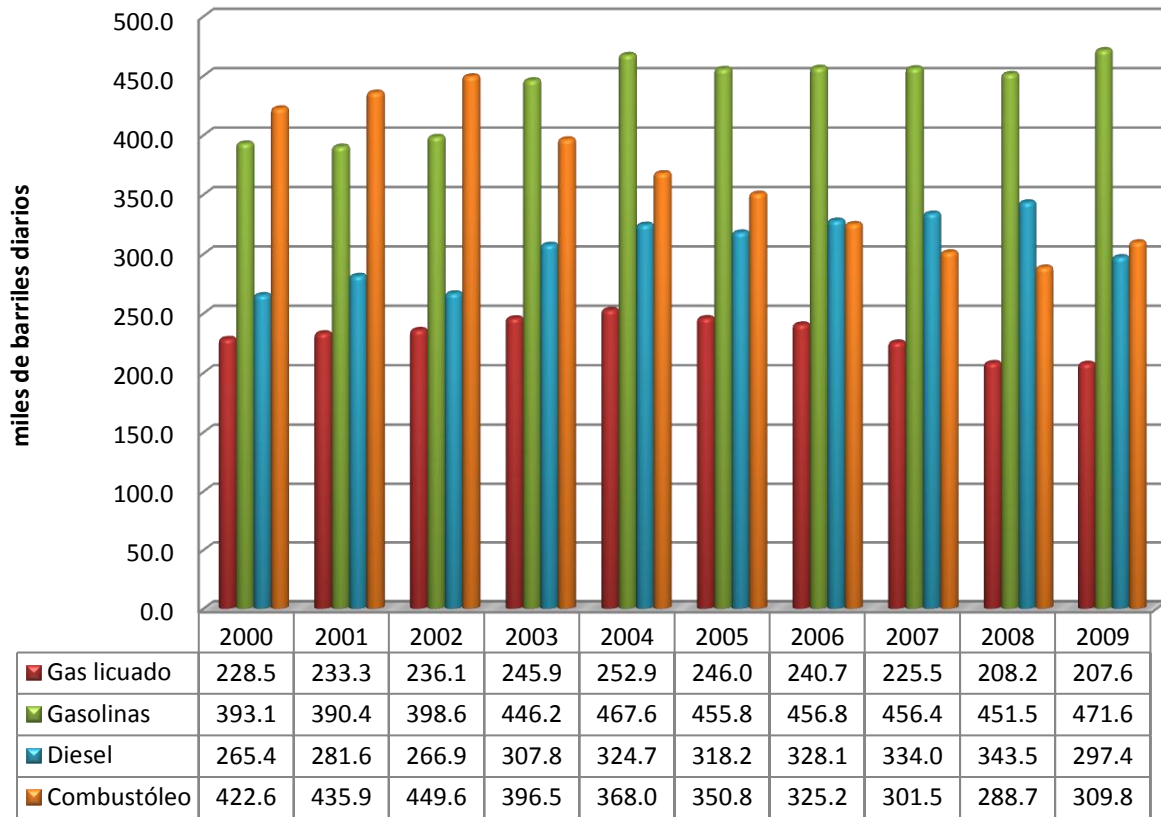
a A partir de 2004, el tipo de crudo se clasifica desde el pozo, situación que refleja desde 2002 para fines comparativos.

b El volumen de producción en diciembre de 2006, registra una baja debido al cierre de pozos por condiciones climatológicas adversas.

Fuente: Sistema de Información Energética, con información de Petróleos Mexicanos.

La baja producción de crudo no ha alterado la de diesel (ver gráfica 1.3), al contrario, ésta ha tenido una tendencia a la alza por lo menos hasta el año 2008, ver gráfica 1.4. En el año 2009 ha tenido una disminución debido a la crisis económica mundial, Esto implica que el biodiesel tiene mercado que puede cubrir o al utilizarse en mezcla podríamos cubrir mayor parte del mercado, dejado de importar.

Productos petroliferos



Gráfica 1.4. Producción anual de productos petrolíferos en México.

Fuente: Sistema de Información Energética, con información de Petróleos Mexicanos.

1.4. Principales forzantes de la contaminación en la ZMVM

1.4.1. Situación geográfica

La ZMVM forma parte de una cuenca endorreica, con una altitud promedio de 2,240 m sobre el nivel del mar, que abarca la totalidad del Distrito Federal y parte del Estado de México. En el contexto geográfico, la zona de estudio, se ubica en la parte Este de la región conocida como Sistema Neovolcánico Transversal, formando parte del ecosistema de bosque templado y de la región fisiográfica del eje Neovolcánico. Se sitúa entre los 19°03´-19° 54´ de latitud Norte, y los 98° 38´-99° 31´ de longitud Oeste.

Por las características de crecimiento, dinámica social, económica y ambiental, en el año 2006, se publicó el decreto mediante el cual se amplía la ZMVM, quedando integrada por las 16 delegaciones del Distrito Federal y 59 municipios del Estado de México; ésta nueva superficie representa 0.25% de la superficie total del país.

En el Valle de México donde se sitúa la Ciudad de México, y la zona conurbana del Estado de México, se tienen problemas de contaminación atmosférica, como se mencionó anteriormente, en parte se debe a la reducción en la ventilación por la presencia de las sierras de Monte Alto, Monte Bajo, Las Cruces, Pachuca, así como la Sierra Nevada y la serranía de Chichinauhtzin.

La ZMVM se conforma por las 16 delegaciones del Distrito federal y por 59 municipios del Estado de México, como lo muestra la tabla 1.1.

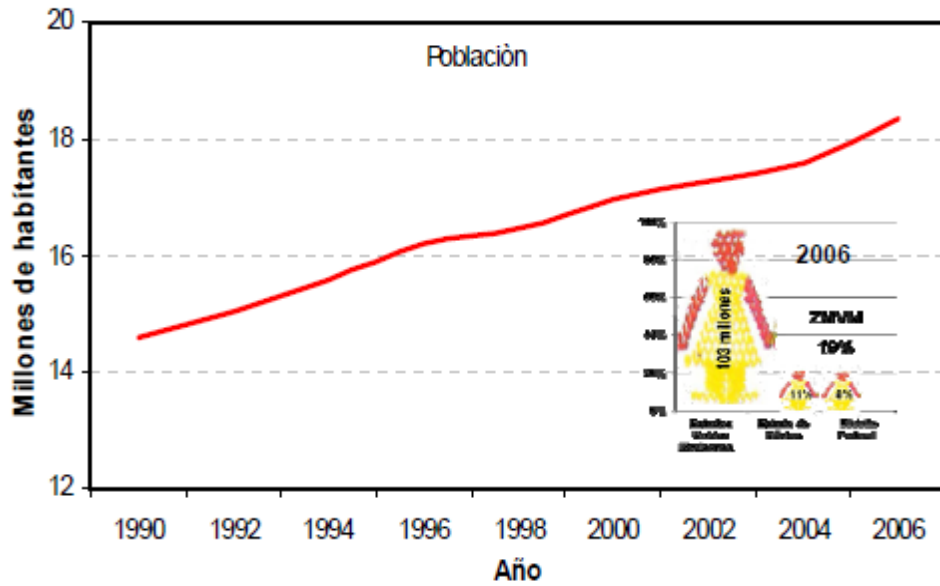
Tabla 1.1. Municipios y Delegaciones de la ZMVM (Ambiente, Inventario de Emisiones Contaminantes Criterio de la ZMVM 2008, 2010)

Delegación	Municipio	Municipio	Municipio
Álvaro Obregón	Acolman	Huehuetoca	Temamatla
Azcapotzalco	Amecameca	Hueyoptla	Temascalapa
Benito Juárez	Apaxco	Huixquilucan	Tenango del Aire
Coyoacán	Atenco	Isidro Fabela	Teoloyucán
Cuajimalpa	Atizapán de Zaragoza	Ixtapaluca	Teotihuacán
Cuauhtémoc	Atlautla	Jaltenco	Tepetlaoxtoc
Gustavo A. Madero	Axapusco	Jilotzingo	Tepetlixpa
Iztacalco	Ayapango	Juchitepec	Tepotzotlán
Iztapalapa	Coacalco de Berriozábal	La Paz	Tequixquiac
M. Contreras	Cocotitlán	Melchor Ocampo	Texcoco
Miguel Hidalgo	Coyotepec	Naucalpan de Juárez	Tezoyuca
Milpa Alta	Cuautitlán	Nextlalpan	Tlalmanalco
Tláhuac	Cuautitlán Izcalli	Nezahualcóyotl	Tlalnepantla de Baz
Tlalpan	Chalco	Nicolás Romero	Tonanitla
Venustiano Carranza	Chiautla	Nopaltepec	Tultepec
Xochimilco	Chicoloapan	Otumba	Tultitlán
	Chiconcuac	Ozumba	Valle de Chalco Solidaridad
	Chimalhuacán	Papalotla	Villa del carbón
	Ecatepec de Morelos	San Martín de las Pirámides	Zumpango
	Ecatzingo	Tecámac	

1.4.2. Población

En la ZMVM convergen las dos entidades más pobladas del país, como consecuencia del gran desarrollo de actividades económicas y sociales que se generan. El Estado de México es la entidad con mayor número de habitantes, seguida por el Distrito Federal. De acuerdo con las Proyecciones de la Población de México 2005-2030 (CONAPO, 2008), para el año 2008, la ZMVM registró un total de 19.7 millones de habitantes, el 45% (8.8 millones) pertenecen al Distrito Federal y el 55% restante (10.9 millones) residen en los 59 municipios conurbados del Estado de México.

Datos del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) tiene una tendencia de aumento en la población como lo indica la gráfica 1.5, esta población es en la que impacta la contaminación.



Gráfica 1.5. Población en la ZMVM. (INEGI).

1.4.3. Aumento del parque vehicular

Datos de la Secretaria del Medio Ambiente (SMA) indican que en la ZMVM los problemas que se observan en las principales vialidades, durante los horarios de máxima afluencia son:

- A. El congestionamiento vehicular que complica la circulación del transporte de pasajeros y de carga de mercancías.
- B. El aumento de los tiempos de traslado tanto de personas como de productos.
- C. Un mayor consumo de combustibles.

Esto se traduce en mayores emisiones contaminantes y en consecuencia, niveles más elevados de contaminación del aire.

1.4.3.1. Emisiones del parque vehicular

La SMA ha dividido en sectores las fuentes de emisiones, siendo una de las más importantes las fuentes móviles, la cual incluyen automóviles a gasolina, gas LP, gas natural y diesel, como se observa en la tabla 1.2.

Tabla 1.2. Emisiones por sector en el ZMVM. (Ambiente, Inventario de Emisiones Contaminantes Criterio de la ZMVM 2008, 2010).

SECTOR	CO ₂		CO		NO _x		PM ₁₀		COV	
	[ton/año]	[%]	[ton/año]	[%]	[ton/año]	[%]	[ton/año]	[%]	[ton/año]	[%]
Fuentes Puntuales	14,805,764	39.0	6,961	0.4	20,094	10.7	4,986	20.5	129,178	21.8
Fuentes aéreas			9,263	0.6	12,043	6.4	14,678	60.4	241,252	40.8
Fuentes móviles	22,290,505	58.7	1,552,204	99.0	154,919	82.4	3,902	16.1	185384	31.3
Vegetación y suelos	889,249	2.3	NA	NA	1,031	0.5	730	3.0	35,585	6.0
Total	37,985,518	100	1,568,428	100	188,087	100	24,296	100	946,733	100

Como lo indica la tabla 1.2, el sector que contribuye principalmente en las emisiones de CO₂, CO y NO_x son las fuentes móviles. En el caso de las PM₁₀ y COV aunque las fuentes móviles, no son la mayor fuente, si es importante su contribución.

De acuerdo con datos de la Tercera Comunicación Nacional presentada por México ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático, y el Inventario Nacional de Emisiones 1990-2002, nuestro país contribuye con cerca del 1.5% de las emisiones mundiales de gases de efecto invernadero (GEI), estimándose en poco más de 643 millones de toneladas equivalentes de dióxido de carbono (eq. CO₂), con lo que se ubica en el lugar 12 entre los países con mayores emisiones a escala mundial. (Ecología, 2010). De esta contribución se ha estimado que la ZMVM aporta el 6.7% de las emisiones nacionales de GEI (43.4 millones de toneladas eq. CO₂ para el año 2006). (Ambiente, Inventario de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero y Carbon Negro 2008, 2010).

El combustible usado que predomina en la ZMVM es la gasolina Magna con un 39.7%; este es el combustible más económico¹. El diesel, que es el que nos corresponde, en este estudio, es del 13.9% y el diesel UBA solo el 1.5%, aunque principalmente se utiliza para la industria. Ver tabla 1.3.

Tabla 1.3. Consumo anual de combustibles en la ZMVM. (Ambiente, Inventario de Emisiones Contaminantes Criterio de la ZMVM 2008, 2010)

Tipo de Combustible	Consumo Anual [millones de barriles]	Consumo Anual [millones de litros]	Energía disponible	
			[PJ]	[%]
Gasolina Premium	5.0	797	25.2	4.4
Gasolina Magna	45.6	7,246	229	39.7
Diesel Industrial bajo azufre	1.3	201	7.1	1.2
PEMEX Diesel	13.9	2,211	78.6	13.6
Gas Natural	22,057.6	3,506,880	124.2	21.5
Gas LP	26.7	4,244	112.3	19.5
Total ZMVM	22,150.1	3,521,579	576.4	100

La flota vehicular registrada en la ZMVM, se estima en más de 4.5 millones de vehículos, de los cuales, el 64% corresponde a las unidades registradas en el Distrito Federal y el 36% restante a las unidades registradas en el Estado de México. (Ambiente, Inventario de Emisiones Contaminantes Criterio de la ZMVM 2008, 2010).

El 95% de la flota vehicular de la ZMVM utiliza gasolina como combustible, el 4% son unidades diesel, los vehículos restantes utilizan principalmente gas licuado de petróleo (GLP) y en menor volumen gas natural comprimido. Es importante mencionar que el programa de uso de gases carburantes presenta un descenso importante en el número de vehículos que utilizan dichos combustibles. Esta situación probablemente es una consecuencia del incremento en el precio del gas, así como en la oferta en el mercado nacional de vehículos ligeros a diesel. Ver ilustración 1.1.

¹ Agosto del 2010. Precio por litro. Magna \$8.36. Premium \$9.90. Diesel \$8.72. M.N.

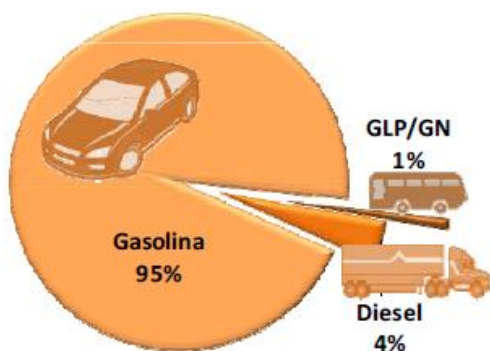


Ilustración 1.1. Flota Vehicular por tipo de combustible. ZMVM. (Ambiente, Inventario de Emisiones Contaminantes Criterio de la ZMVM 2008, 2010).

Si traducimos la cantidad de combustible en energía, es decir en PJ, se observa que el mayor consumo en energía es en gasolina magna, y en segundo lugar el diesel, con un 22.8%, lo que significa 78.6 PJ, como se observa en la tabla 1.4.

Tabla 1.4. Consumo energético en la ZMVM. (Ambiente, Inventario de Emisiones Contaminantes Criterio de la ZMVM 2008, 2010).

Tipo de Combustible	Consumo energético	
	[PJ]	[%]
Gasolina Magna	229	66.5
Gasolina Premium	25.2	7.3
PEMEX Diesel	78.6	22.8
Gas Natural Comprimido	0.4	0.1
Gas Licuado de Petróleo	11.3	3.3
Total	344.5	100

A continuación, en la tabla 1.5 presenta la flota vehicular, por tipo de combustible; en este caso se observa que los autos particulares corresponden al 81.4% del total de la flota vehicular, los vehículos que consumen mayor cantidad de diesel son tractocamiones, autobuses, vehículos de hasta y más de 3 toneladas y metrobusés, que suman el 5.0%; aunque hay que descartar de estos los que usan otro tipo de combustible.

Tabla 1.5. Flota vehicular en la ZMVM, por tipo. (Ambiente, Inventario de Emisiones Contaminantes Criterio de la ZMVM 2008, 2010)

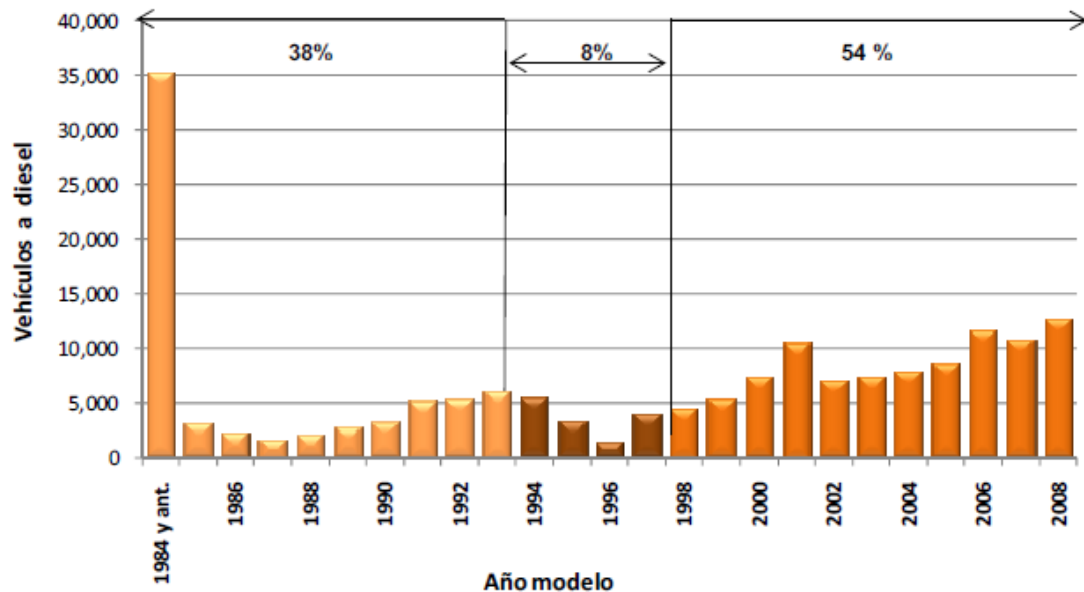
Tipo de Vehículo	Número de vehículos					Porcentaje
	Gasolina	Diesel	GLP	GNC	Total	
Autos particulares	3,684,015	6,728	2,578	30	3,693,351	81.4
Taxis	156,589	38	NA	NA	156,627	3.5
Vagonetas y Combis	29,021	822	20	NA	29,863	0.7
Microbuses	15,774	240	17,800	282	34,096	0.8
Pick Up	115,763	1,660	1,018	NA	118,441	2.6
Vehículos de hasta 3 ton	40,769	26,093	4,287	8	71,157	1.6
Tractocamiones	NA	71,055	NA	NA	71,055	1.6
Autobuses	2,283	41,353	70	NA	43,706	1.0
Vehículos de más de 3 ton	49,969	25,665	4,945	10	80,589	1.8
Motocicletas	237,808	NA	NA	NA	237,808	5.2
Metrobuses	NA	221	NA	NA	221	0.005
Total	4,331,991	173,875	30,718	330	4,536,693	100
Porcentaje	95.49	3.83	0.68	0.01	100	

Aunque el porcentaje del parque vehicular que utiliza diesel es bajo, tan solo el 4% del total, se debe considerar que la mayor parte de estos son modelos antiguos, con tecnologías viejas. Como se sabe entre más viejo sea el motor térmico, el rendimiento en la combustión es menor, ocasionado mayores emisiones. En la tabla 1.9 se observan los porcentajes en grupos, según su tecnología.

Tabla 1.6. Porcentajes de vehículos por tipo de tecnología. (Ambiente, Inventario de Emisiones Contaminantes Criterio de la ZMVM 2008, 2010)

Año modelo	DF	EDOMEX	ZMVM	%
1990 y ant.	34,040	15,947	49,987	28.7
1991-1993	12,099	4,532	16,631	9.6
1993-1997	9,731	4,303	14,034	8.1
1998-2008	59,496	33,727	93,223	53.6
Total	115,366	58,509	173,875	100

De las unidades que utilizan diesel, alrededor del 38% son unidades modelo 1993 y anteriores, aproximadamente el 8% cumple con los estándares de emisión EPA 94 y cerca del 54%, EPA 98. Este 64% que cumple con EPA94 y EPA 98, son vehículos que traen mejoras tecnológicas para cumplir con los estándares más actuales. Ver gráfica 1.6.



Gráfica 1.6. Número de vehículos a Diesel por año. (Ambiente, Inventario de Emisiones de Contaminantes Tóxicos 2008, 2010)

Los cambios en la tecnología de los vehículos a diesel, han dado como resultado que los vehículos actuales, tengan niveles de emisión más bajos a los modelos 1990 y anteriores. Actualmente, los motores diesel han evolucionado a tal punto, que han reducido las emisiones de los óxidos de nitrógeno en un 40% y las partículas PM₁₀ en un 77%.

Para continuar con la reducción de estos contaminantes, se espera que los nuevos vehículos diesel que se comercialicen en México, cuenten con convertidores catalíticos y trampas de partículas, además de sistemas de tren de válvulas y tasa de compresión variable, lo cual permitirá una disminución de las emisiones contaminantes.

Como se observa en las tablas 1.7 y 1.8, los vehículos diesel (vehículos de hasta 3 toneladas, tractocamiones, autobuses) son los que más emisiones tienen por kilómetro recorrido. En el caso del CO₂ la SMA indica en su último inventario del 2008 que no existen estos datos, por lo cual no son incluidos en este trabajo.

Tabla 1.7. Factores de emisiones por tipo de vehículo en el DF. (Ambiente, Inventario de Emisiones Contaminantes Criterio de la ZMVM 2008, 2010).

Tipo de vehículo	Factores de emisiones [g/km]			
	NO _x	CO	PM ₁₀	COV
Autos particulares	0.654	1.175	0.143	0.306
Combis	0.842	1.682	0.139	0.535
Microbuses	1.007	1.850	0.135	0.765
Pick Up	0.788	1.672	0.136	0.483
Vehículos de hasta 3 ton	1.369	2.714	0.156	1.280
Tractocamiones	10.273	16.699	0.894	2.794
Autobuses	14.621	18.568	0.259	3.492
Vehículos de más de 3 ton	6.761	9.971	0.807	1.769
Metrobuses	17.360	5.510	0.480	3.161

Tabla 1.8. Factores de emisiones promedio de los vehículos a diesel registrados en el EDOMEX. (Ambiente, Inventario de Emisiones Contaminantes Criterio de la ZMVM 2008, 2010).

Tipo de vehículo	Factores de emisiones [g/km]			
	NO _x	CO	PM ₁₀	COV
Autos particulares	0.734	0.856	0.128	0.321
Combis	0.806	1.512	0.129	0.479
Microbuses	0.982	1.779	0.129	0.698
Pick Up	1.414	2.811	0.130	1.273
Vehículos de hasta 3 ton	1.930	4.077	0.132	1.949
Tractocamiones	10.291	16.789	0.898	2.804
Autobuses	14.418	18.556	0.254	3.391
Vehículos de más de 3 ton	6.917	10.374	0.823	1.831

El inventario de la SMA muestra que los vehículos que usan diesel (vehículos de hasta y más de 3 toneladas, autobuses y metrobuses) Son una fuente importante en las emisiones anuales en lo que respecta a CO₂, NO_x, PM₁₀. Ver tabla 1.9 y 1.10.

Tabla 1.9. Emisiones anuales por tipo de vehículo. (Ambiente, Inventario de Emisiones de Contaminantes Tóxicos 2008, 2010)

Tipo de vehículo	Número de vehículos	Emisiones [ton/año]				
		CO ₂	CO	NO _x	PM ₁₀	COV
Autos particulares	3,395,800	11,552,488	638,104	60,662	963	90,653
Taxis	155,126	2,191,517	190,259	20,995	183	14,362
Combis	239,746	535,185	114,161	5,868	49	7,585
Microbuses	36,056	1,626,482	106,237	10,923	52	14,063
Pick Up	133,352	762,710	106,005	4,930	68	9,526
Vehículos de hasta 3 ton	81,628	563,260	44,535	2,791	103	4,816
Tractocamiones	60,938	1,337,160	27,177	16,702	1,455	4,544
Autobuses	43,108	2,261,578	35,267	22,005	391	5,588
Vehículos de más de 3 ton	100,819	1,061,440	134,444	8,194	541	7,985
Motocicletas	180,701	380,453	155,951	1,648	91	26,225
Metrobuses	221	18,232	64	201	6	37
Total	4,427,495	22,290,505	1,552,204	154,919	3,902	185,384

Tabla 1.10. Porcentaje de emisiones anuales por tipo de vehículo. (Ambiente, Inventario de Emisiones Contaminantes Criterio de la ZMVM 2008, 2010)

Tipo de Vehículo	Número de vehículos	Emisiones [%]				
		CO ₂	CO	NO _x	PM ₁₀	COV
Autos particulares	3,395,800.00	51.83	41.11	39.16	24.68	48.90
Taxis	155,126.00	9.83	12.26	13.55	4.69	7.75
Combis	239,746.00	2.40	7.35	3.79	1.26	4.09
Microbuses	36,056.00	7.30	6.84	7.05	1.33	7.59
Pick Up	133,352.00	3.42	6.83	3.18	1.74	5.14
Vehículos de hasta 3 ton	81,628.00	2.53	2.87	1.80	2.64	2.60
Tractocamiones	60,938.00	6.00	1.75	10.78	37.29	2.45
Autobuses	43,108.00	10.15	2.27	14.20	10.02	3.01
vehiculos de más de 3 ton	100,819.00	4.76	8.66	5.29	13.86	4.31
Motocicletas	180,701.00	1.71	10.05	1.06	2.33	14.15
Metrobuses	221.00	0.08	0.004	0.13	0.15	0.02
Total	4,427,495.00	100	100	100	100	100

1.5. Efectos en la salud

Los principales gases emitidos por la combustión del diesel, se componen de una mezcla compleja de gases y de partículas. Los componentes son entre otros:

- Monóxido de carbono.
- Dióxido de carbono.
- Dióxido de azufre.
- Óxidos de nitrógeno.
- Benceno y formaldehído.
- Hidrocarburos.
- Hidrocarburos aromáticos policíclicos. (en inglés PAH).
- Hollín (carbón).

El componente principal de los gases de diesel es el hollín (60%-80%). Eso es lo que se ve cuando sale del tubo de escape.

La mayoría del material particulado o también conocido como material de partículas finas, consiste en partículas tan pequeñas que se inhalan fácilmente y se depositan en la parte baja de los pulmones donde ocasionan daños a la salud.

El problema de contaminación atmosférica, o contaminación del aire, en México es muy grave. Cinco de las principales ciudades del país presentan altos índices de contaminación, lo que se traduce en una población enferma y vulnerable. Los dos contaminantes de mayor importancia en la Ciudad de México, son el ozono (O_3) y PM_{10} , son los causantes de que miles de mexicanos mueran prematuramente al año por complicaciones de enfermedades respiratorias, así como de innumerables admisiones hospitalarias por problemas respiratorios y cardiovasculares, pérdida de días laborables e ingresos asociados y ausencias escolares. (CEMDA) Tan solo en la Ciudad de México, Monterrey, Guadalajara y Toluca, por lo menos 26 millones de habitantes están expuestos frecuentemente a la contaminación en niveles nocivos: O_3 y PM_{10} .

A corto plazo, aspirar los gases de la combustión del diesel puede provocar tos, picazón o quemazón en los ojos, presión en el pecho, respiración con silbido y respiración dificultosa. Esos efectos desaparecen cuando la persona se aleja de la fuente de donde provienen los gases. (Sahai, 2003).

A largo plazo, la exposición a los gases de diesel puede aumentar el riesgo de cáncer en los pulmones y posiblemente en la vejiga. También existe evidencia adicional de que las partículas finas del material formado, pueden agravar los problemas del corazón y enfermedades respiratorias como el asma. (Agency, 1988).

El combustible de los vehículos de carga y transporte público es el diesel, y este es el principal origen de las partículas finas y ultra finas, que pueden causar cáncer. Según datos de la Organización Mundial de la Salud (OMS) del 2002, más de 800 mil personas en el mundo mueren prematuramente cada año y millones sufren enfermedades respiratorias y cardiovasculares debido a la contaminación del aire por partículas. Los principales afectados son los niños, los adultos mayores y los enfermos de pulmones y corazón.

Los contaminantes asociados con los problemas de salud son diversos, pero son principalmente las exposiciones de corta duración a partículas respirables (PM_{10} y $PM_{2.5}$), ozono, monóxido de carbono, bióxido de nitrógeno y bióxido de azufre, los que impactan directamente el sistema respiratorio, causando varias afectaciones a la salud, como son:

- Muerte prematura.
- Cáncer de pulmón.
- Bronquitis crónica.
- Exacerbación del asma.
- Tos crónica y otros problemas respiratorios.
- Cambios en la función pulmonar.
- Envejecimiento prematuro de los pulmones.

Todavía no son conocidos, en toda su dimensión los efectos a la exposición de largo plazo de las partículas respirables, los compuestos asociados a éstas y otros tóxicos del aire (dióxido de azufre, compuestos orgánicos, etc).

Por otra parte, en México, al menos el 40% de la población urbana del país vive en ciudades con problemas de contaminación del aire. Además de la ZMVM, otras áreas metropolitanas donde se registran niveles de contaminación del aire fuera de las normas de protección a la salud son Guadalajara, Monterrey, Ciudad Juárez, Tijuana, Mexicali, Toluca y Coahuila. Esto quiere decir que la mitad de los mexicanos son altamente vulnerables a los efectos del humo, si estamos muy expuestos, si son niños, ancianos o tienen alguna enfermedad cardiorrespiratoria.

La Environmental Protection Agency (EPA) de los Estados Unidos de América, ha llegado a la conclusión de que las emisiones de la combustión del diesel son un probable cancerígeno humano. La información más precisa para sugerir un peligro carcinógeno es la asociación consistente que se ha observado entre el cáncer pulmonar agudo y la exposición a emisiones de diesel. Aproximadamente 30 estudios epidemiológicos individuales entre un 20% a 89%, muestran un aumento dentro de la población en los riesgos de padecer un cáncer pulmonar agudo.

En el ZMVM se requiere disminuir la contaminación del aire en más de un 50% para cumplir con los límites que establecen las NOM para la protección a la salud. Estudios de la Universidad de Harvard, el Banco Mundial y el Sector Salud revelan que podrían evitarse severos efectos a la salud, si los niveles actuales de contaminación del aire disminuyeran.

Las emisiones de diesel merecen una exposición especial debido a que tienden a ser una fuente dominante de riesgo a provocar cáncer. La EPA determinó en 1993 una referencia de concentración para minimizar efectos de salud contra el cáncer, como resultado de las exposiciones a las emisiones de escapes de diesel en el **Health**

Assessment Document for Diesel Emissions (Documento de Acuerdo para las Emisiones de Diesel).

Otro aspecto en materia de partículas proveniente del diesel, que es motivo de inquietud es su tamaño entre el 50% al 90% de las partículas en las emisiones de diesel se encuentra dentro del rango de partículas ultrafinas del 0.005 a 0.05 micras, promediando un tamaño de aproximadamente 0.02 micras. Aproximadamente, el 85% de la masa de dicha materia en partículas oscila entre 0.05 y 1.0 micras con un diámetro medio por partícula de 0.2 micras.

Estas partículas tan finas poseen una considerable área superficial por cada grano de masa, lo cual las convierte en excelentes portadoras de compuestos orgánicos e inorgánicos que se adsorben y que de manera efectiva pueden llegar a los conductos respiratorios más bajos dentro de los pulmones, lo cual aumenta la vulnerabilidad a enfermedades o muerte. Los efectos en la salud de los habitantes de las grandes ciudades, tanto de países desarrollados como aquellos que se encuentran en vías de desarrollo, generados por la inhalación de partículas suspendidas en el aire, son amplios y afectan a los sistemas respiratorio y cardiovascular, e incluyen a niños y adultos además de un gran número de grupos susceptibles. (CEMDA).

Para tratar de remediar esta situación, el 26 de Abril del 2006, se publicó en el Diario Oficial de la Federación el **Proyecto de Norma llamado NOM-044-SEMARNAT-2006**, que prácticamente busca controlar las elevadas emisiones producidas por los vehículos que utilizan diesel como combustible. Así se podrá hablar de reducir el humo negro que los escapes de estos camiones emiten, y prevenir las enfermedades y muertes que este humo causa.

La manera de controlar estas emisiones y de reducir o eliminar el humo del escape, es teniendo un diesel más limpio (que generalmente implica tener un diesel de bajo contenido de azufre) y teniendo tecnología que filtra los gases del vehículo para eliminar las emisiones de las partículas. Estas dos soluciones las podemos encontrar

en dos estándares internacionales de emisiones de vehículos que se llaman **EPA** (por las siglas en inglés de la institución que los creó, Environmental Protection Agency de Estados Unidos) y **EURO** (creados en Europa).

Aunque estos estándares internacionales sirven para limitar la contaminación atmosférica por vehículos, la norma Euro IV es más estricta que su homóloga EPA 2004, siendo 86% más elevadas para los óxidos de nitrógeno (NOx) y 20% más estrictas para las PM. Se puede decir que los estándares EURO IV actuales es más estricta y limpia que las EURO III o que las EPA.

1.6. Medidas en el ZMVM

El PROAIRE 2002-2010 tiene como antecedentes el Programa para Mejorar la Calidad del Aire de la Zona Metropolitana del Valle de México 1995-2000 (PROAIRE, 1995-2000) y el Programa Integral Contra la Contaminación Atmosférica (PICCA), y su diseño integra un conjunto de acciones de corto, mediano y largo plazo con las que se busca:

- a) Eliminar las concentraciones de O₃ superiores a 200 puntos del Índice Metropolitano de Calidad del Aire. (IMECA).
- b) Reducir el número de días con concentraciones de O₃ entre 101 y 200 puntos IMECA.
- c) Aumentar el número de días con concentraciones de O₃ inferiores al límite de 0.110 ppm que señala la NOM (100 puntos del IMECA).

En el PROAIRE 2002-2010 se plantea también que es necesario continuar con la reducción y control, de las emisiones de dióxido de azufre (SO₂) y monóxido de carbono (CO), para lo cual prevé que disminuyan los promedios diarios o anuales y los eventos de incremento extraordinario del primero de estos contaminantes. En el caso de CO se señala que es necesario eliminar las concentraciones que exceden 9 ppm.

Las mejoras que representa el diesel UBA serían altas, dado que el incumplimiento de la NOM086 vigente, representa un gasto por 11 mil 373 millones de dólares en 130 mil visitas hospitalarias, cinco mil casos de asma grave y siete mil muertes anuales por contaminación atmosférica. Pemex Refinación tiene que invertir 4 mil 863 millones de dólares para producir el diesel UBA, lo que arroja un 42% del gasto sanitario que significa no tener un diesel limpio. El diesel actual tiene 314 ppm de azufre mientras que el UBA solamente tiene 15, lo que permitiría cumplir con la norma Euro IV, el cual es un estándar que garantiza muy bajas emisiones de óxido de nitrógeno, un precursor del ozono y las partículas suspendidas menores a 2.5 micras.

En la tabla 1.11 se muestran algunas de las metas del Gobierno del Distrito Federal (GDF) que pretende realizar para el mejoramiento de la calidad del aire en la ciudad. Como ya se ha presentado el parque vehicular en la ZMVM el 47% es modelo 1993 o anterior, por lo cual en el punto 5 de las metas a cumplir, es sustituir el 70% por tecnología más nueva, lo cual disminuiría las emisiones ya que los nuevos modelos cumplen con la EURO IV.

Tabla 1.11. Metas del GDF para reducir las emisiones de gases invernadero. (SMA)

Año compromiso	Metas
A partir de 2007	<ul style="list-style-type: none"> • Incorporar un transporte público con tecnologías limpias, EURO IV, en el 100% del Sistema de Metrobus y en la Red de Transporte Público.
A partir de 2008-2009	<ul style="list-style-type: none"> • Introducir diesel de Ultra Bajo Azufre en el transporte público.
2009	<ul style="list-style-type: none"> • Sustituir 5,000 microbuses por unidades de mayor capacidad y con tecnologías menos contaminantes. • Impulsar la verificación vehicular obligatoria al transporte de carga.
2012	<ul style="list-style-type: none"> • Reducir el 50% de los óxidos de nitrógeno y compuestos orgánicos volátiles. • Reducir por lo menos 80% de las emisiones de PM₁₀. • Reducir 10 mil toneladas anuales de contaminantes provenientes de la industria. • Sustituir el parque vehicular del Gobierno de la Ciudad por unidades energéticamente eficientes y de baja contaminación. • Incorporar nuevas tecnologías en el 70% del parque de vehículos que emplean diesel. • Sustituir 4,500 microbuses por 850 unidades del Sistema Metrobus. • Sustituir el 100% de los taxis por unidades menos contaminantes.

Estos automóviles con nuevas tecnologías podrían utilizar, sin ninguna modificación en el motor, el biodiesel o el diesel UBA, ya que estos están diseñados para utilizar estos combustibles, los cuales aún no se usan en México.

Tabla 1.12. Cumplimiento de las Normas Oficiales Mexicanas de Salud Ambiental en 2007.

Contaminante	Cumplimiento de la NOM en la ZMVM	Exposición aguda (frecuencia aceptable)	Valor máximo registrado para el indicador de exposición aguda ²	Días con excedencia (exposición aguda)	Exposición Crónica	Valor máximo para el indicador anual de exposición crónica ³
Ozono (O ₃) ⁴	No	0.11 ppm promedio horario (ninguna al año)	0.203 ppm (estación PED)	220	0.080 ppm promedio de 8 horas (5 máximo anual)	0.122 ppm (estación TPN)
Monóxido de carbono (CO) ⁵	si	11 ppm promedio de 8 horas (una vez al año)	4.5 ppm (estación EAC)	0	---	---
Dióxido de nitrógeno ⁶	Si	0.21 ppm promedio de 1 hora (una vez al año)	0.187 ppm (estación EAC)	0	---	---
Dióxido de azufre (SO ₂) ⁷	Si	0.13 ppm promedio de 24 horas (una vez al año)	0.082 ppm (estación VIF)	0	0.03 ppm promedio anual	0.011 ppm (estación TLA)
Partículas ⁸	Suspendidas totales (PST)	No	210 µg/m ³ percentil 98 anual	---	---	---
	Menores a 10 micrómetros (PM ₁₀)	No	120 µg/m ³ percentil 98 anual	---	50 µg/m ³ promedio anual	70 µg/m ³ (estación XAL)
	Menores a 2.5 micrómetros (PM _{2.5})	No	65 µg/m ³ percentil 98 anual	---	15 µg/m ³ promedio anual	26 µg/m ³ (estación XAL)
Plomo (Pb) ⁹	si	---	---	---	1.5 µg/m ³ promedio anual	0.125 µg/m ³ (estación XAL)

² Se obtiene de la siguiente forma: O₃ promedio de 1 hora, máximo anual de promedios de una hora y O₃ promedio de 8 horas, quinto máximo anual de promedios móviles de 8 horas; máximo; CO, máximo anual de promedios móviles de 8 horas; SO₂, máximo anual de promedios de 24 horas; PM₁₀ y PM_{2.5}, percentil 98 de promedios de 24 horas; NO₂ máximo anual de promedios de una hora.

³ Se obtienen de la siguiente forma: SO₂, PST, PM₁₀ y PM_{2.5}, promedio aritmético anual; Pb, promedio aritmético trimestral.

⁴ Modificación a la NOM-020-SSA1-1993, publicada en el Diario Oficial de la Federación (DOF) el 30 de octubre de 2002.

⁵ NOM-021-SSA1-1993, publicada en el DOF el 23 de diciembre de 1994.

⁶ NOM-022-SSA1-1993, publicada en el DOF el 23 de diciembre de 1994.

⁷ NOM-023-SSA1-1993, publicada en el DOF el 23 de diciembre de 1994.

⁸ Modificación a la NOM-025-SSA1-1993, publicada en el DOF el 26 de septiembre de 2005.

⁹ NOM-026-SSA1-1993, publicada en el DOF el 23 de diciembre de 1994.

2. Diesel y biodiesel

2.1. Diesel mineral

El primer proceso, al que se somete el petróleo en la refinería, es la destilación para separarlo en diferentes fracciones (ilustración 2.1). La sección de destilación es la unidad más flexible en la refinería, ya que las condiciones de operación pueden ajustarse para poder procesar un amplio intervalo de alimentaciones, desde crudos ligeros hasta pesados. Dentro de las torres de destilación, los líquidos y los vapores se separan en fracciones de acuerdo a su peso molecular y temperatura de ebullición. Las fracciones más ligeras, incluyendo gasolinas y gas LP, vaporizan y suben hasta la parte superior de la torre donde se condensan. Los líquidos medianamente pesados, como la querosina y la fracción diesel, se quedan en la parte media. Los líquidos más pesados y los gasóleos ligeros primarios, se separan más abajo, mientras que los más pesados en el fondo. Las gasolinas contienen fracciones que ebullen por debajo de los 200 °C mientras que en el caso del diesel sus fracciones tienen un límite de 350 °C. Esta última contiene moléculas de entre 10 y 20 carbonos, mientras que los componentes de la gasolina se ubican en el orden de 12 carbonos o menos.

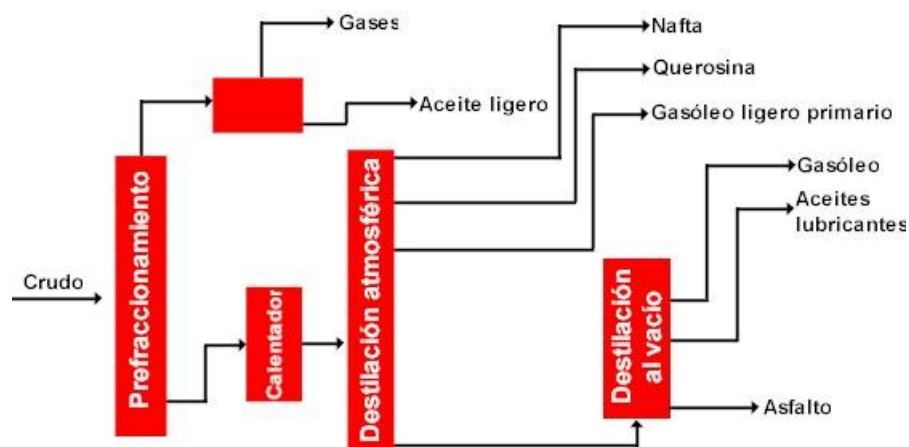


Figura 2.1. Proceso de refinación del petróleo.

El combustible diesel, también se manufactura, en muchos casos a partir de mezclas de gasóleos con querosinas, y aceite cíclico ligero, el cual es producto del proceso de desintegración catalítica fluida.

En un tiempo, la manufactura de diesel involucró utilizar lo que quedaba después de remover productos valiosos del petróleo. Hoy en día el proceso de fabricación del diesel es muy complejo ya que comprende escoger y mezclar diferentes fracciones de petróleo para cumplir con especificaciones precisas. La producción de diesel estable y homogéneo requiere de experiencia, respaldada por un estricto control de laboratorio.

Así como el octano mide la calidad de ignición de la gasolina, el índice de cetano mide la calidad de ignición del diesel. Es una medida de la tendencia del diesel a cascabelear en el motor.

La escala se basa en las características de ignición de dos hidrocarburos, que se muestran en la figura 2.2.

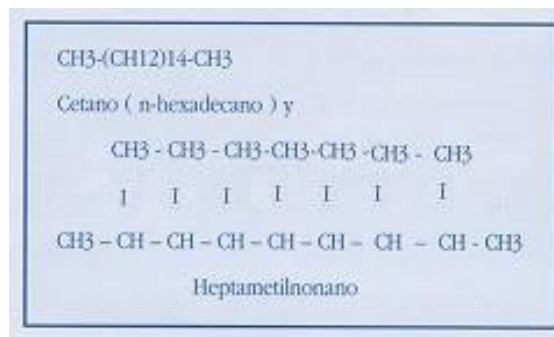


Figura 2.2. Compuestos que caracterizan al diesel.

El n-hexadecano tiene un periodo corto de retardo durante la ignición y se le asigna un cetano de 100; el heptametilnonano tiene un periodo largo de retardo y se le ha asignado un cetano de 15. El índice de cetano es un medio para determinar la calidad de la ignición del diesel y es equivalente al porcentaje por volumen del cetano en la mezcla con heptametilnonano, la cual se compara con la calidad de ignición del combustible prueba (ASTM D-613). La propiedad deseable de la gasolina para prevenir el cascabeleo es la habilidad para resistir la autoignición, pero para el diesel la propiedad deseable es la autoignición.

Típicamente los motores se diseñan para utilizar índices de cetano de entre 40 y 55, debajo de 38 se incrementa rápidamente el retardo de la ignición.

En las gasolinas, el número de octano de las parafinas disminuye a medida que se incrementa la longitud de la cadena, mientras que en el diesel, el índice de cetano se incrementa a medida que aumenta la longitud de la cadena. En general, los aromáticos y los alcoholes tiene un índice de cetano bajo. Por ello, el porcentaje de gasóleos desintegrados en el diesel se ve limitado por su contenido de aromáticos.

Otros factores también afectan el índice de cetano. Son por ejemplo, la adición de alrededor de un 0.5 por ciento de aditivos mejoradores de cetano incrementa el cetano en 10 unidades. Estos aditivos pueden estar formulados con base a alquilnitratos, amil nitratos primarios, nitritos o peróxidos. La mayoría de ellos contienen nitrógeno y tienden, por lo tanto, a aumentar las emisiones de NO_x.

El índice de cetano es una propiedad muy importante, sin embargo, existen otras relevantes que caracterizan la calidad del combustible. A continuación se describen algunas de estas características.

Azufre

El azufre se encuentra naturalmente en el petróleo. Si éste no es eliminado durante los procesos de refinación, contaminará al combustible. El azufre del diesel contribuye significativamente a las emisiones de partículas (PM).

La reducción del límite de azufre en el diesel a 15 ppm es una tendencia mundial. La correlación del contenido de azufre en el diesel con las emisiones de partículas y el SO₂ está claramente establecida. En la Tabla 2.1 se presenta las fechas en que los principales países han adoptado las 15 ppm, como máximo en el límite de azufre en el diesel.

Tabla 2.1. Año de adopción de la especificación de diesel UBA.

País	Fecha de implementación
Suecia	Enero de 1991
Dinamarca	Julio de 1992
Finlandia	Julio de 1993
EUA (Inc. California)	Octubre de 1993
Suiza	Enero de 1994
Noruega	Enero de 1994
Canadá	Octubre de 1994
México (ZMVM)	Octubre 1993
Austria	Octubre de 1995
Taiwán	Enero de 1997
Japón	Mayo de 1997
Corea del Sur	Enero de 1998
Tailandia	Enero de 2000

Para poder cumplir con los requerimientos de niveles bajos de azufre, es necesario construir capacidades adicionales de desulfuración. Así como las unidades de desintegración catalítica (FCC), son primordiales para la producción de gasolina, la hidrodesintegración es fundamental para la producción de diesel. En ambos procesos la cuestión se enfoca en la selección de la materia prima alimentada.

Mejorar la calidad del combustible no resolverá el problema de la contaminación a menos que se imponga un riguroso programa de inspección y mantenimiento para los vehículos viejos con motores diesel. Los automóviles con mayores emisiones son los motores viejos que han recibido un mantenimiento pobre.

Densidad y Viscosidad

La inyección de diesel en el motor, está controlada por volumen o por tiempo de la válvula de solenoide. Las variaciones en la densidad y viscosidad del combustible resultan en variaciones en la potencia del motor y, consecuentemente, en las emisiones y el consumo. Se ha encontrado, además, que la densidad influye en el tiempo de inyección de los equipos de inyección controlados mecánicamente.

Aromáticos

Los aromáticos son moléculas del combustible que contienen al menos un anillo de benceno. El contenido de aromáticos afecta la combustión y la formación de PM y de las emisiones de hidrocarburos poliaromáticos.

El contenido de aromáticos influye en la temperatura de ignición y, por lo tanto, en las emisiones de NO_x durante la combustión. La influencia del contenido de poliaromáticos en el combustible afecta la formación de PM y las emisiones de este tipo de hidrocarburos en el tubo de escape.

Lubricidad

Las bombas de diesel, a falta de un sistema de lubricación externa, dependen de las propiedades lubricantes del diesel para asegurar una operación apropiada. Se piensa que los componentes lubricantes del diesel son los hidrocarburos más pesados y las sustancias polares.

Los procesos de refinación para remover el azufre del diesel tienden a reducir los componentes del combustible que proveen de lubricidad natural. A medida que se reducen los niveles de azufre, el riesgo de una lubricidad inadecuada aumenta.

2.1.1. El diesel mexicano

Datos de PEMEX describen que el diesel producido en las refinerías, cumple con estándares de calidad nacional e internacional y con lo exigido por los motores del parque vehicular de las compañías automotrices que operan en nuestro país y el de los vehículos de procedencia y fabricación extranjera. El mercado nacional demanda actualmente cerca de 250 millones de barriles por día (mbpd) de diesel. (Martinez, 2002).

Desde 1986, el diesel que se vende en México ha venido reduciendo gradualmente los niveles de azufre, hasta llegar a un contenido máximo de 500 ppm para el diesel desulfurado y para pasar a 50 ppm en el diesel Bajo en Azufre, éste último con un contenido de aromáticos del 30% y con un índice de cetano desde 52 hasta 55, superando las especificaciones de este combustible producido en otros países. (Tabla 2.2).

La tabla 2.2 ofrece una comparación de los combustibles diesel en varios países. Es notorio el bajo valor del índice de cetano del diesel americano, tal vez debido al bajo porcentaje de diesel virgen que se utiliza.

Tabla 2.2. Especificación del Diesel Mexicano.

	Pemex Diesel	EUA Prom.	EUA	Canadá	Alemania	Japón
Azufre,% P Max.	0.021	0.03	0.02	0.027	0.03	0.03
Cetano min. (1)	53	46	48.2	44	50.6	53
Viscosidad Cinemática @40°C CST	3.0	2.5		2.0	2.58	3.0
Densidad			0.83		0.820-0.860	
Aromáticos	22	37	23			

DIESEL FUEL OILS, 1998, OCT.98, NIPER-207 PPS 98/5
WORLDWIDE 1998, WINTER DIESEL FUEL QUALITY SURVEY, PARAMINS
1-INVIerno

2.2. Biodiesel

Se trata de un combustible que se obtiene por la transesterificación de triglicéridos (aceite y/o grasas). El producto obtenido es muy similar al gasóleo a partir del petróleo (también llamado petrodiesel) y puede usarse en motores de ciclo diesel, aunque algunos motores requieren modificaciones.

2.2.1. Ventajas

El biodiesel es un carburante ecológico que posee grandes ventajas ambientales:

Para poder usarse por lo regular no se necesitan efectuar modificaciones al motor, en algunas ocasiones se debe modificar las mangueras del circuito del combustible. Ello es debido a que el B100 tiene la particularidad de disolver algunos plásticos y caucho. Desde los años 90, casi todos los fabricantes de vehículos (principalmente marcas alemanas), ya han sustituido dichos conductos fabricados con materiales plásticos o derivados, que el B100 no disuelve. (Forever, 1999).

- Se produce a partir de materias primas renovables.

El biodiesel se produce a partir de aceites vegetales vírgenes y reciclados. El aceite vegetal virgen se extrae de la semilla cultivada, dejando atrás la harina de la semilla que puede usarse como forraje animal. El aceite es refinado antes de incorporarlo al proceso de producción del biodiesel. Aunque existen más de trescientos tipos de oleaginosas, las más comunes en la producción de biodiesel son la colza, la soja, el girasol, jatropha y la palma.

Los aceites reciclados proceden de la recolección, en sectores como la hotelería, alimentarios, cocinas domésticas, etc.

Con el reciclaje de los aceites usados, se evita que sean vertidos, salvaguardando la contaminación de las aguas subterráneas, fluviales y marinas, así como la vida que en ellas habita.

Se cree que con los aceites vegetales, se contribuye de manera significativa al suministro energético sostenible, lo que permite reducir la dependencia del petróleo, incrementando la seguridad y diversidad en los suministros, así como el desarrollo socioeconómico del área rural (producción de oleaginosas con fines energéticos), y la conservación del medio ambiente.

- No contiene prácticamente azufre. Evitándose las emisiones de SO_x (lluvia ácida o efecto invernadero). (BioDiesel)

El biodiesel no contiene azufre, agente que se encuentra en el gasóleo por su poder de lubricidad.

En la actualidad, los modernos gasóleos bajos en azufre, por su proceso de desulfuración, pierden el poder de lubricación, incrementando el ruido y el desgaste de los motores. Las compañías petroleras deben por este motivo agregar al gasóleo, aditivos químicos y sintéticos para mitigar esa anomalía. En Francia se agrega aditivos a todo el gasóleo que se comercializa, con un 2% de biodiesel como lubricante.

- Mejora la combustión, reduciendo claramente emisiones de hollín (hasta casi un 55%, desapareciendo el humo negro y olor desagradable). (BioDiesel)

Dado que la molécula de biodiesel aporta, por unidad de volumen, más átomos de oxígeno que lo que aporta el mismo volumen de gasóleo convencional, la presencia de hidrocarburos no quemados es menor, dado que hay menos moléculas de carbono elemental (hollín) y menos de monóxido de carbono (CO).

- No contiene sustancias aromáticas cancerígenas (hidrocarburos aromáticos policíclicos).

El biodiesel, como combustible vegetal, no contiene ninguna sustancia nociva, ni perjudicial para la salud, a diferencia de los hidrocarburos, que tienen componentes aromáticos y bencenos (cancerígenos). La no-emisión de estas sustancias contaminantes disminuye el riesgo de enfermedades respiratorias y alergias.

- Es fácilmente biodegradable, y en caso de derrame y/o accidente, no pone en peligro el suelo.

El biodiesel, es biodegradable (aproximadamente en 21 días), su origen vegetal lo hace compatible con la naturaleza y la ausencia de compuestos químicos y sintéticos lo hace inocuo con nuestro medio.

- No es una sustancia peligrosa.

El biodiesel tiene su punto de inflamación por encima de 110°C, por eso no está clasificado como sustancia peligrosa, siendo su almacenamiento y manipulación segura.

- Es el único combustible no contaminante alternativo a los motores de gasóleo convencional.

El biodiesel, es el único combustible renovable alternativo en los motores diesel.

Por su composición vegetal, es inocuo con el medio, disminuye los gases de efecto invernadero, y es totalmente compatible para ser usado en cualquier motor diesel, sea cual sea su antigüedad y estado. (Muñoz, 2003)

2.2.2. Desventajas

- A bajas temperaturas puede empezar a solidificar y formar cristales, que pueden obstruir los conductos del combustible.
- Por sus propiedades solventes, puede ablandar y degradar ciertos materiales, tales como el caucho natural y la espuma de poliuretano. Es por esto que puede ser necesario cambiar algunas mangueras y retenes del motor antes de usar biodiesel en él, especialmente con vehículos antiguos.
- Sus costos aún pueden ser más elevados que los del diesel de petróleo. Esto depende básicamente de la fuente de aceite utilizado en su elaboración

2.2.3. Proceso de producción: Transesterificación de aceites para biodiesel

Puede ser fabricado con aceites vegetales obtenidos de semillas, plantas oleaginosas (por ejemplo, almendra, piñón, nueces, jatropha, soya) o de grasas animales, nuevas o usadas, las cuales no son tóxicas para el medio ambiente.

Los aceites se someten a un proceso químico llamado transesterificación o alcoholisis, que intenta sustituir en un lípido (éster) un alcohol (glicerina) por uno más ligero como metanol, etanol, propanol o butanol.

La reacción de transesterificación es una reacción característica de los esteres, y consecuentemente de los lípidos, en la cual el aceite o la grasa reacciona con ácidos grasos, alcoholes u otros esteres con el intercambio de los grupos acilo. Mezclando los triglicéridos y el metanol, con un catalizador metilato de sodio o etilato de sodio, a temperatura ambiente en aproximadamente un par de horas se alcanza el equilibrio. Para que la reacción se complete es necesario separar el glicerol formado o la presencia de un exceso de metanol contribuye a ello. Con tal precaución en 90 minutos la reacción se completa al menos en un 98%.

Como resultante del proceso se obtiene biodiesel, así como un subproducto conocido como glicerol, que tiene usos variados en la industria, la medicina, los

cosméticos y la alimentación. La reacción de alcoholisis de un triglicérido es la siguiente: ver figura 2.3.

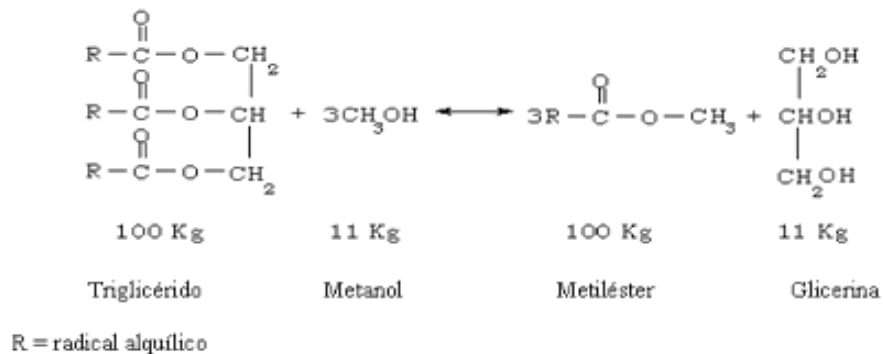


Figura 2.3. Transesterificación de un ácido grado.

La producción de biodiesel por una base catalizada, se produce por lo general mediante los pasos siguientes:

La mezcla de alcohol y un catalizador:

El catalizador es generalmente hidróxido de sodio (sosa cáustica) o de hidróxido de potasio (potasa). Se disuelve en el alcohol con un agitador o mezclador estándar.

Reacción:

El alcohol con la mezcla del catalizador se carga en un recipiente cerrado con el aceite o la grasa. El sistema de aquí en adelante es totalmente cerrado a la atmósfera para evitar la pérdida de alcohol. La mezcla para su reacción se mantiene justo por encima del punto de ebullición del alcohol (alrededor de 160 °F) para acelerar la reacción y se lleva a cabo. El Tiempo recomendado de la reacción varía de 1 a 8 horas, algunos sistemas la reacción se lleva a cabo a temperatura ambiente. El exceso de alcohol se utiliza normalmente para garantizar la conversión total de la grasa o aceite a sus ésteres. Se debe tener cuidado para controlar la cantidad de agua y de ácidos

grasos en el aceite o la grasa de entrada. Si esta libre de ácido graso o el agua es demasiado alta puede causar problemas con la formación de jabón y en la separación de los glicerina.

Separación:

Una vez que la reacción está completa, existen dos productos principales: la glicerina y el biodiesel. Cada uno tiene una cantidad sustancial de los excesos de metanol que se utilizó en la reacción. La mezcla de reacción es a veces neutralizada en este paso si es necesario. La fase de glicerina es mucho más densa que la fase de biodiesel y los dos pueden ser separados por gravedad, la glicerina, simplemente se extrae del fondo del decantador. En algunos casos, una centrífuga se utiliza para separar los dos materiales más rápido.

La eliminación del alcohol:

Una vez que las fases de la glicerina y el biodiesel se han separado, el exceso de alcohol en cada fase se elimina con un proceso de evaporación flash o por destilación. En otros sistemas, el alcohol es removido y neutralizado antes que la mezcla glicerina y ésteres hayan sido separados. En cualquier caso, el alcohol se recupera con equipos de destilación y se reutiliza. Se debe tener cuidado para asegurar que el agua no se acumula en el torrente de alcohol recuperado.

La neutralización de glicerina:

La glicerina subproducto contiene catalizador sin usar y jabones que se neutralizan con un ácido y se envía al almacén, se le llama glicerina cruda. En algunos casos, sales se forma durante esta fase, son recuperadas para su uso como fertilizante. En la mayoría de los casos la sal que queda en la glicerina. El agua y el alcohol son trasladados a producción de 80 a 88% de glicerina pura, que está listo para ser vendido como glicerina cruda. En operaciones más sofisticadas, la glicerina se

destila a 99% o más de pureza y se vende en los mercados de cosméticos y farmacéuticos.

Lavado del metiléster:

Una vez separado de la glicerina, el biodiesel es a veces purificado por lavado suave con agua tibia para eliminar catalizador residual o jabones, se seca, y se envía a almacenamiento. En algunos procesos este paso no es necesario. Esto se hace normalmente al final del proceso de producción resulta en un líquido transparente de color ámbar y amarillo con una viscosidad similar al diesel de petróleo. En algunos procesos, el biodiesel se destila en un paso adicional para eliminar pequeñas cantidades de cuerpos de color para producir un biodiesel incoloro.

Calidad del producto y registro:

Antes de su uso como combustible comercial, el biodiesel terminado debe ser analizado, utilizando equipos sofisticados de análisis para asegurarse de que cumple con las especificaciones ASTM.

Los aspectos más importantes de la producción de biodiesel para garantizar un funcionamiento sin problemas en los motores diesel son:

- La reacción completa.
- Eliminación de la glicerina.
- Eliminación del catalizador.
- Eliminación del alcohol.
- La ausencia de ácidos grasos libres.

El esquema del proceso antes mencionado se observa en la ilustración 2.1.

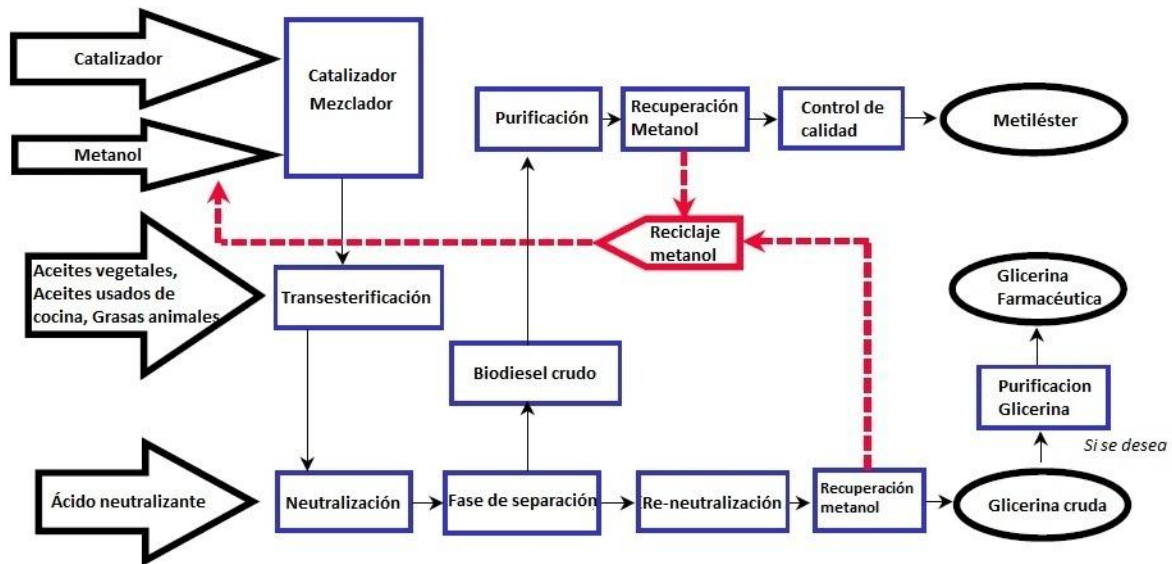


Ilustración 2.1. Proceso de producción del biodiesel.

De acuerdo con cifras obtenidas del Programa de Autosuficiencia Regional en Argentina, los litros de biodiesel que se obtengan por hectárea (10,000 m²) dependerán del cultivo que da origen al aceite vegetal, ver tabla 2.3. (Muñoz, 2003)

Tabla 2.3. Rendimiento por hectárea en la producción de biodiesel.

Materia Prima	Producción por hectárea
Soja (Glicine max)	420 litros
Arroz (Oriza sativa)	770 litros
Tung (Aleurites fordii)	880 litros
Girasol (Helianthus annuus)	890 litros
Maní (Arachis hipogaea)	990 litros
Colza (Brassica napus)	1100 litros
Ricino/tartago (Ricinus communis)	1320 litros
Jatropha/tempate/piñon (Jatropha curcas)	1590 litros
Aguacate, palta (Persea americana)	2460 litros
Coco (Cocos nucifera)	2510 litros
Cocotero (Acrocomia aculeata)	4200 litros
Palma (Elaeis guineensis)	5550 litros

Los países tropicales presentan más productividad por hectárea en general.

2.2.4. El biodiesel en México.

El costo del biodiesel depende de la materia prima, aunque en México ronda los 40 pesos por litro, el costo de producción alrededor de los 22 pesos. (ENERGEX). Esto aún lo hace inviable económicamente, pero se espera que el aumento de la producción disminuya su costo, además no se puede quedar atrás los beneficios en la disminución de emisiones.

México en sus serios problemas de contaminación necesita urgentemente combustibles biológicos para reducirla.

El presidente Felipe Calderón anunció recientemente un programa piloto de 85 millones de pesos para producir biodiesel de cultivos que no sean alimentos como la jatrofra o el aceite de resina y así no afectar los cultivos alimenticios que tanta falta hacen en el país. (e-consulta, 2009)

El gobierno necesitaría que Pemex compre el biodiesel a pequeños productores para impulsar el mercado y la distribución de los combustibles alternativos.

En Chispa, Chiapas, se plantaron 10 hectáreas de jatropha este año, con el objetivo de plantar más de 120 para el 2012. El aceite de las plantas se enviara a una planta procesadora en el pueblo de Cintalapa que tiene una capacidad de producir 20 mil litros diarios. Pemex comprara este biodiesel y si todo sale bien pronto los podremos empezar a ver a la venta en las gasolineras. (e-consulta, 2009)

El biodiesel que se produce en México, según datos del Gobierno Federal, está instalada de la siguiente forma:

- Universidad Vasconcelos, en Oaxaca, 2004 planta piloto biodiesel a partir de aceite usado, diseñada por Consultores Norteamericanos.
- Biodiesel de México: Empresa instalada en Hidalgo comenzó a operar a mediados de 2004 (Soya).

-
-
- Grupo Energéticos (2005): Planta comercial de biodiesel en Cadereyta, N.L. (Sebo de Res).
 - Interés por biodiesel en Chiapas: Destilería Argentina de petróleos, S.A. de C.V., Biodiesel Industries Inc. (California).
 - Planta para biodiesel. Pro Palma con Daimler Chrysler (Lázaro Cárdenas, Michoacán, Septiembre, 2007). Inversión 30 millones de pesos.
 - Empresa Alemana Jatro Biofuels propuso invertir 200 millones de dólares para la siembra de jatropha (Abril 2008). Una vez que se cuente con el volumen de producción, se hará la instalación de una planta de biodiesel

3. Metodología

Para obtener la información en campo de las emisiones se usó un sistema portátil de mediciones (PEMS) marca AXION de la compañía Clean Air Technologies (Technology, 2009). Se realizaron tres recorridos por prueba, utilizándose para efectos de análisis de emisiones los últimos dos. Los recorridos se realizaron en Ciudad Universitaria del 9 de febrero al 5 de marzo del 2010. El recorrido incluyó pendientes. Todos los programas para el análisis se realizaron en MATLAB y su derecho de autor está en trámite.

Se presenta una descripción de los experimentos y análisis utilizando Emisión por kilómetro recorrido y Vehicle Specific Power (VSP), (Younglove T, 2004) , para examinar la actividad y su influencia en las emisiones utilizando en B10, B20, diesel UBA y diesel convencional de la Ciudad de México en un camión repartidor de Coca-Cola, Marca Mercedes Benz, Modelo 1619 del año 1995 con motor OM366LA de 5.9 Litros.

3.1. Equipo

Para la medición de los gases criterio se utilizó el equipo AXION el cual puede medir O₂, HC, CO, CO₂, NO_x, PM₁₀. El cual fue adquirido por la UNAM por medio del Centro de Ciencias de la Atmósfera.

AXION puede ser utilizado según el fabricante en vehículos ligeros y pesados, que tengan o no un sistema electrónico del control de combustión y emisiones. Por lo cual puede ser usado relativamente en cualquier vehículo impulsado por diesel, biodiesel, Gas natural o LP, así como cualquier tipo de gasolina.

Este equipo está diseñado para colocar más sensores para análisis de otros compuestos (es decir, FID, PID, celdas electroquímicas), por lo cual, lo hace relativamente fácil su actualización, pero para fines de esta tesis se utilizaron solo para determinar los gases criterio.

Los compuestos se miden utilizando diferentes técnicas:

- A. HC, CO, CO₂ usando infrarrojo no dispersivo (NDIR). La precisión de la medición de HC depende del tipo de combustible utilizado.
- B. NO_x medidos como NO usa una celda electroquímica. En la mayoría de los vehículos, NO_x se puede deducir de NO. En los motores diesel con trampas CRT, NO, CO₂, NO_x puede ser inferida por la medida simultánea de NO antes y después de la trampa.
- C. PM₁₀ se mide mediante la dispersión de luz, con el rango de medición de los niveles ambientales de bajos niveles de dos dígitos de opacidad.

La medición del flujo de salida del escape, se determina de forma indirecta mediante parámetros del motor (cilindros, torque, volumen), propiedades del combustible, que se ingresan en una primera pantalla en el equipo, y las concentraciones de gases de escape. Esta técnica ha sido patentada y validada con éxito por las comparaciones de pruebas repetidas en laboratorio. (Technology, 2009).

El equipo está diseñado para medir las emisiones durante la utilización del vehículo en su funcionamiento diario normal. Es intrínsecamente seguro y se ha utilizado en escuelas, automóviles, y los autobuses de tránsito durante su funcionamiento regular con pasajeros a bordo. Si los ciclos se requieren repetitividad, AXION está equipado con el software de la ayuda de un controlador de propiedad, que permite que el vehículo sea conducido en una pista de pruebas o por la carretera adecuada otro según prescribe ciclos de conducción, de manera similar a la operación en un chasis dinamómetro. (Technology, 2009)

AXION normalmente no requiere ninguna modificación en el motor del vehículo para su utilización. Las únicas excepciones son la inserción de un sensor de presión de vacío existente o la presión de sobrealimentación del turbocompresor de la línea o de los accesorios.

Es alimentado por el vehículo por 12V DC del sistema eléctrico, puede ser de la toma del encendedor de cigarrillos o de la batería. El consumo de energía es de 5-8 amperios a 13,8 V DC. 24V DC y 240 o 110 VAC convertidores están disponibles.

Es calibrado usando una muestra obtenida localmente de "smog", esta mezcla de gas de calibración contiene propano, CO, CO₂, NO. Los datos de varios laboratorios con varios vehículos y combustibles muestra que cuando AXION se utiliza simultáneamente con el sistema montado en laboratorio, la diferencia suele ser inferior a 10% para los NO_x masa acumulada y el CO₂. La precisión de las mediciones de CO y HC depende del combustible utilizado y de los niveles de emisión. La exactitud de la medición de PM no se ha cuantificado en este momento. Los datos de la EPA en el Laboratorio de Ann Arbor, Michigan, también muestra que la diferencia entre el sistema de transporte y dos sistemas de laboratorio (modelo y muestras con bolsas) es similar a las diferencias entre los dos sistemas de laboratorio.

Todos los parámetros se guardan segunda a segundo en una base de datos, la cual contiene: la velocidad, revoluciones por minuto (rpm) del motor, presión de entrada de aire (turbo o MAP), aceleración, carga del motor, temperatura del aire de admisión, las concentraciones de los contaminantes medidos, el flujo del escape, la relación aire-combustible, el consumo de combustible y la masa de los contaminantes medidos.

Toda la información se guarda en archivos de texto, después pueden ser exportados a diferentes programas para su análisis, el usuario puede definir el comienzo y el final de los segmentos, así como para ingresar banderas definidas por el usuario (es decir, encontrar una condición de tráfico determinado). El tiempo total, distancia, consumo de combustible y las emisiones se calculan para cada segmento de prueba definido.

Los datos del sistema de posicionamiento global (Global Position System) (GPS), son recolectados, los cuales determinan la posición y velocidad.

3.1.1. Instalación

En las pruebas que se realizaron se utilizó un camión proporcionado por la compañía Coca Cola (ver ilustración 3.1), el cual tiene las características que se muestran en la tabla 3.1.



Ilustración 3.1. Camión repartidor de Coca-Cola.

Tabla 3.1. Especificación del camión de experimentación.

Marca	Mercedes-Benz
Año	1995
Modelo	1619
Modelo Motor	OM366LA
Desplazamiento	5.9L
Turbo cargado	SI
Configuración	6 Cilindros en Línea
Transmisión	5 Velocidades, Manual
HP @ RPM	190
Peso	10 Toneladas
Peso con Carga	19 Toneladas

Para obtener datos de inclinación, se implementó un inclinómetro HMR300 colocado sobre una plataforma sostenida por una copa de succión en el vidrio de la ventana del copiloto, ver ilustración 3.2.

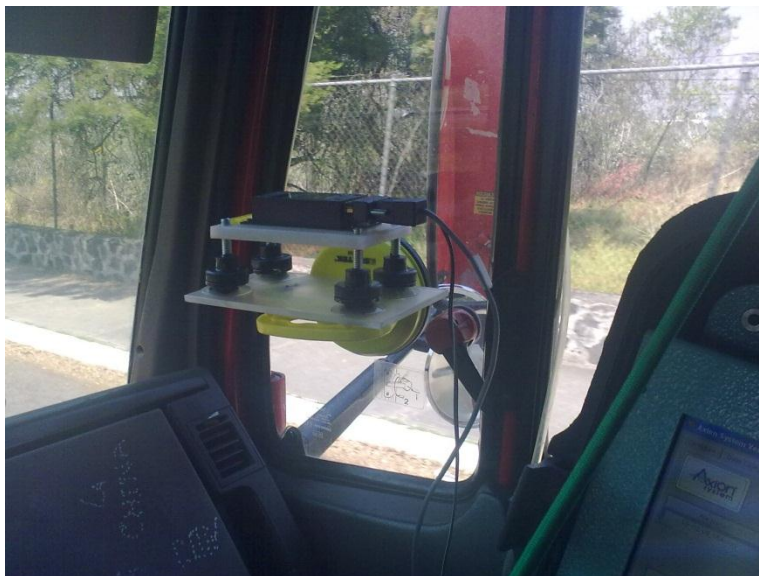


Ilustración 3.2. Instalación del inclinómetro HMR300 en el camión de Coca-Cola.

Se cargó el camión con producto de Coca Cola, el cual haría más realista la prueba, ya que estas son las condiciones normales en las que trabajan los camiones de carga.



El equipo AXION, se instaló en la cabina del camión, junto con el inclinómetro que se colocaba en la ventanilla del pasajero. Todo quedaba fijo con ayuda de cintas tensoras de hule, y con ventosas, ver ilustración 3.3.

Ilustración 3.3. Equipo AXION instalado en el camión.

Los sensores se colocaron de la siguiente forma:

- Temperatura: Se colocó en la tubería de entrada del aire, después de pasar por el turbocargador, a 30 cm aproximadamente de la entrada de la cámara de combustión, ver ilustración 3.4A.
- Presión: Se colocó en la tubería de entrada de aire, después de pasar por el turbocargador, a 40 cm aproximadamente de la entrada de la cámara de combustión, ver ilustración 3.4B.
- RPM: Este se midió por medio de un tacómetro, que utiliza la reflexión de un haz de luz, se colocaba una cinta reflectora en la banda del motor, en la cual insidia el haz de luz y este regresaba al tacómetro, ver ilustración 3.4C.

Los sensores de rpm y temperatura se conectaban a un transductor el cual convertía la información en datos para ser ingresado al AXION, ver ilustración 3.4D.

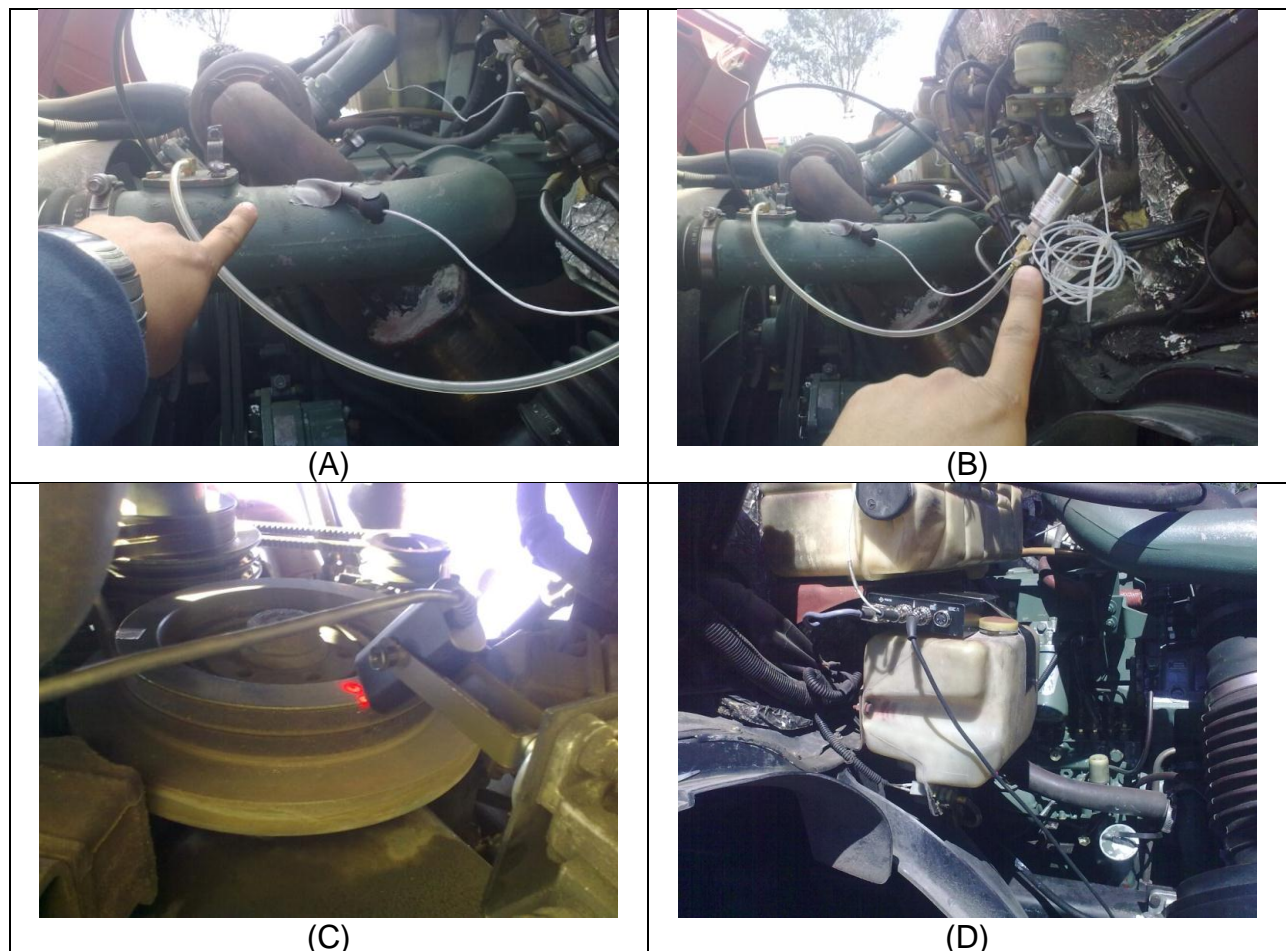


Ilustración 3.4. (A) sensor de Temperatura. (B) Sensor de Presión. (C) Tacómetro (D) Transductor de Señal.

En la salida del escape se colocaron 2 sondas, en las cuales se recolectaron los gases del escape, una de ellos lleva los gases a los sensores de gases criterio (CO₂, CO, NO_x) y además los hidrocarburos, la segunda sonda lleva los gases al sensor de PM₁₀.

La composición, así como algunas propiedades de los combustibles, que se utilizaron en la experimentación, se pueden observar en la tabla 3.2.

Tabla 3.2. Datos de los combustibles utilizados.

	Composición			Densidad [g/L]	Capacidad calorífica [kJ/kg]	Índice de cetano
	C [%masa]	H [%masa]	O [%masa]			
Diesel 500ppm	86.4	13.6	0.0	845	44,730	52-55
Diesel UBA	86.4	13.6	0.0	845	44,730	52-55
B5	85.9	13.5	0.6	847	44,500	--
B10	85.4	13.4	1.2	849	44,230	--
B20	84.4	13.3	2.3	852	43,700	--
B100	76.4	12.0	11.6	878	39,450	47-52

Tabla 3.3. Variación respecto al Diesel en el poder calorífico.

	Capacidad calorífica	Variación
	[kJ/kg]	[%]
Diesel 500ppm	44,730	0.0%
Diesel UBA	44,730	0.0%
B5	44,500	-0.5%
B10	44,230	-1.1%
B20	43,700	-2.3%

El combustible de las pruebas se proporcionó en contenedores de plástico, el cual venía preparado con las concentraciones de B5, B10 y B20. Para que fuesen inyectados al motor, se ideó un sistema de mangueras (ver ilustración 3.5), el cual pasaba el diesel del contenedor al motor, y retornando al mismo contenedor, esto fue para evitar que se contaminara o alterara la concentración al pasar por el tanque del camión. En pocas palabras el contenedor fungía como el tanque.

Para que la prueba fuese válida, se realizaba un primer recorrido para que el combustible de la prueba anterior fuese retirado del sistema y entrara el nuevo combustible, con esto se aseguraba que no se midiera el combustible que se encontraba en el sistema, sino el nuevo. Este sistema se le llamo purga, además de cambiarse los filtros del diesel en cada prueba.



Ilustración 3.5. (A) Contenedores de combustible. (B) Sistema de mangueras. Contenedor, motor, y recirculación.

Para cada prueba se realizaron 3 recorridos de 7.8 km de longitud, ver ilustración 3.6, los cuales se llevaron a cabo con el mismo conductor, para tratar de homogenizar la forma de manejo, con esto se intenta hacer cada recorrido lo más parecidos en cada una de las pruebas.



Ilustración 3.6. Recorrido en Ciudad Universitaria.

El recorrido tenía inclinaciones de hasta 6° , estas provocan que el camión tenga mayor esfuerzo en el motor, por lo cual, el motor fue conducido en diferentes circunstancias, es decir, que en ocasiones se encontraba en planos o 0° y esfuerzos positivos y negativos cuando descendía. Estas variaciones de alturas e inclinaciones se ven reflejadas en la ilustración 3.7. Los datos de los recorridos se dan en la tabla 3.4.

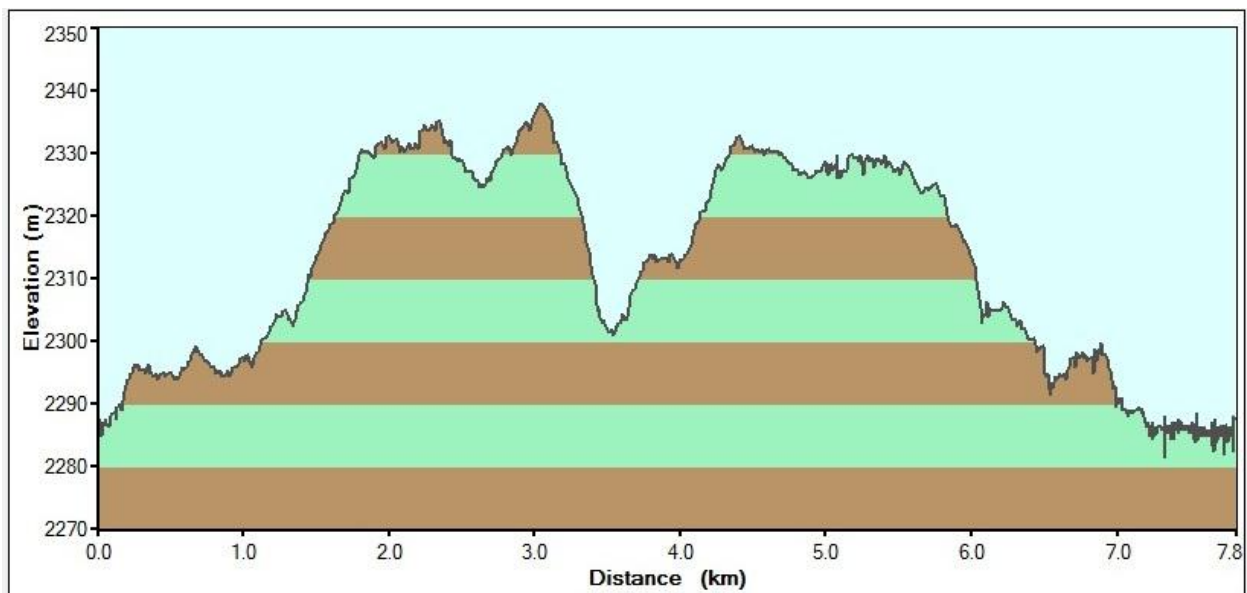


Ilustración 3.7. Alturas durante el recorrido.

Tabla 3.4. Datos de las pruebas.

Kilómetros por recorrido	7.8 km
Kilómetros por prueba	23.4 km
Velocidad Promedio	22 km/h
Velocidad máxima	48 km/h

Teniendo el mismo recorrido en todas las pruebas, y el mismo conductor esta prueba puede ser consideradas homogéneas, aunque al utilizar métodos matemáticos como el Poder Específico del Vehículo (vehicle specific power (VSP)), o con simuladores como (Advanced Vehicle Simulator) ADVISOR creado por el Departamento de Energía de los Estados Unidos de América se elimina el factor humano. Los cálculos de VSP se pueden ver en el capítulo 4, el caso de ADVISOR se está trabajando en él.

En el caso del simulador es mucho más fácil comparar las emisiones, ya que este simulador necesita unos mapas (X, Y, Z), donde se relaciona (torque, rpm, emisión) con estos mapas, el simulador puede calcular recorridos ingresados por el usuario o establecidos por alguna institución, con esto se puede simular el vehículo a diferentes condiciones de manejo. Esto ayuda a comparar pruebas con iguales condiciones.

En el capítulo 4 veremos VSP, como otro método de tratamiento de los datos. Y en el capítulo 5 se encuentran las emisiones por kilómetro, los cuales pueden ser comparados con datos de la SMA.

3.2. Factores que influyen en las emisiones de autobuses

El consumo de combustible y las emisiones del vehículo dependen de una gran variedad de factores que incluyen: tipo de vehículo y de tecnología del motor, condiciones de mantenimiento, condiciones climáticas y temperatura del motor. Las condiciones reales de operación de los vehículos, resultantes de las condiciones del tráfico (caminos urbanos congestionados), el uso del vehículo (viajes cortos o largos, frecuencia de los viajes, etc.) y las conductas del conductor (agresivas o defensivas) amplían la gama de variaciones de consumo de combustible y de emisión de contaminantes.

Los siguientes factores influyen directamente en las emisiones de un motor diesel:

- Velocidad.
- Potencia.
- Temperatura ambiente.
- Tecnología, tipo de motor-combustible(s)

A continuación se discute la influencia de cada uno de estos factores:

Velocidad

Al reducir la velocidad de operación, las emisiones disminuyen, pero en una menor proporción. Esto se traduce en un aumento de las emisiones por kilómetro cuando se reduce la velocidad promedio, ya que se estima que a velocidades entre 60 y 80 km/h se obtiene un mejor rendimiento de combustible.

Potencia

Al existir factores de emisión expresados en g/kWh para cada categoría de vehículo, entonces se deduce que a mayor potencia, mayores son las emisiones. Una mayor potencia puede darse en los siguientes casos:

- Para acelerar se deben aumentar las revoluciones por minutos del motor y para ello se le exige una mayor potencia lo que se traduce en mayores emisiones. Un motor más revolucionado no significa necesariamente una mayor velocidad del vehículo, ya que dicha relación depende del cambio en que se esté operando.
- Al ir de subida o al cargar un peso mayor, la potencia exigida al motor será mayor y esto aumentará la emisión de contaminantes.
- Para una misma categoría de vehículo, a mayor cilindrada, mayor será la potencia media entregada por el motor y por consecuencia emitirá más.

Temperatura ambiente

Las emisiones generadas por los vehículos pueden ser separadas en dos tipos. La primera son las emisiones a temperatura estable de funcionamiento (*Hot emissions*) y las segundas son las emisiones durante el tiempo en que el vehículo se está calentando (*cold start emissions*). Los motores de combustión interna producen una mayor contaminación durante el tiempo en que el motor se está calentando antes de alcanzar su temperatura estable de funcionamiento, es decir, las *cold start emissions* son mayores a las *hot emissions*. Mientras menor es la temperatura ambiente, mayor es el tiempo que demora el motor en alcanzar su temperatura normal de funcionamiento, y por lo tanto, mayor y por más tiempo es la emisión adicional generada por el vehículo. Si el vehículo es utilizado todo el día, como es el caso de los autobuses, la proporción del tiempo en el estado *cold start* es pequeña, y por lo tanto las emisiones promedio durante todo el día son poco sensibles a la temperatura ambiente.

Tecnología motor-combustible

Cada año, los vehículos son más eficientes y tienen incorporadas modificaciones de acuerdo a las nuevas tecnologías, así tienden a ser menos contaminantes que los mismos modelos de a los años anteriores. Esto no solo se debe a la preocupación por el tema ambiental, sino a que también, los vehículos son cada vez más eficientes en cuanto al consumo de combustible lo que se traduce en menores emisiones.

Conductor

El utilizar el mismo conductor durante las pruebas de emisiones dará mayor certeza en los resultados ya que se tendrá como un parámetro controlado. Este conductor deberá de tener una capacitación o en su caso tener experiencia de la forma de manejo del autobús que se probará.

4. Comparativo de los factores de emisión bajo las mismas condiciones de tráfico

La base de datos que entrega el AXION, fue importada a Excel (Office 2010, Microsoft), en la cual se encuentran los datos en columnas. Entre estas se encuentra la velocidad, y los flujos máxicos (g/s) de cada de los gases criterio; para poder ser comparadas con los datos de la SMA, se realizó el cálculo siguiente:

$$\frac{\sum_{i=1}^n \dot{m}_i}{\sum_1^n v_i} = \frac{g}{km}$$

Con esto se tiene las emisiones por kilómetro recorrido, lo que hacen comparables las emisiones entre cada una de las pruebas.

- Distancia:

Por medio de los datos obtenidos por el GPS, se pudieron determinar las velocidades promedio, tiempo y distancia de cada uno de los recorridos.

$$d = v * t$$

$$d_T = \sum_{i=1}^n d_i$$

$$\frac{\sum_{i=1}^n v_i}{n} = \text{Velocidad promedio}$$

$$\dot{m}[=] \frac{g}{s}$$

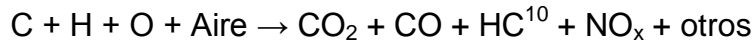
$$v[=] \frac{km}{s}$$

$$t[=]s$$

$$d[=]km$$

- Consumo:

En el caso del consumo de combustible se realizó por medio de la ecuación estequiométrica, ya que no se conoce la composición exacta del combustible, pero si el porcentaje de cada uno de los elementos y sus densidades se utilizó la siguiente ecuación para la reacción.



Teniendo los valores de bióxido y monóxido de carbono en cada segundo, y despreciando los hidrocarburos, tenemos la cantidad de carbono emitido. Como se tiene la composición porcentual del carbono al inicio, ver tabla 3.2, podemos calcular la cantidad de combustible, utilizando la densidad.

Con esto, se obtienen los siguientes resultados, en la tabla 4.1, podemos ver las emisiones de los gases criterio por kilómetro recorrido, en la tabla 4.2, el rendimiento de combustible y en la tabla 4.3 las velocidades promedio y tiempo de cada prueba.

Tabla 4.1. Emisiones por prueba en masa por kilómetro recorrido.

	CO₂ [g/km]	CO [mg/km]	HC [mg/km]	NO_x [mg/km]	PM₁₀ [mg/km]
Diesel	1,162.0	4,810.0	2,005.8	17,764.5	1.1
B5	1,298.2	3,810.0	2,534.8	17,203.8	0.9
B10	1,109.8	3,400.2	2,486.4	14,677.6	1.5
B20	1,282.9	3,326.8	2,770.7	16,585.6	2.2
D UBA	917.2	3,148.6	2,072.3	11,024.7	0.7

Tabla 4.2. Rendimiento de combustible por prueba.

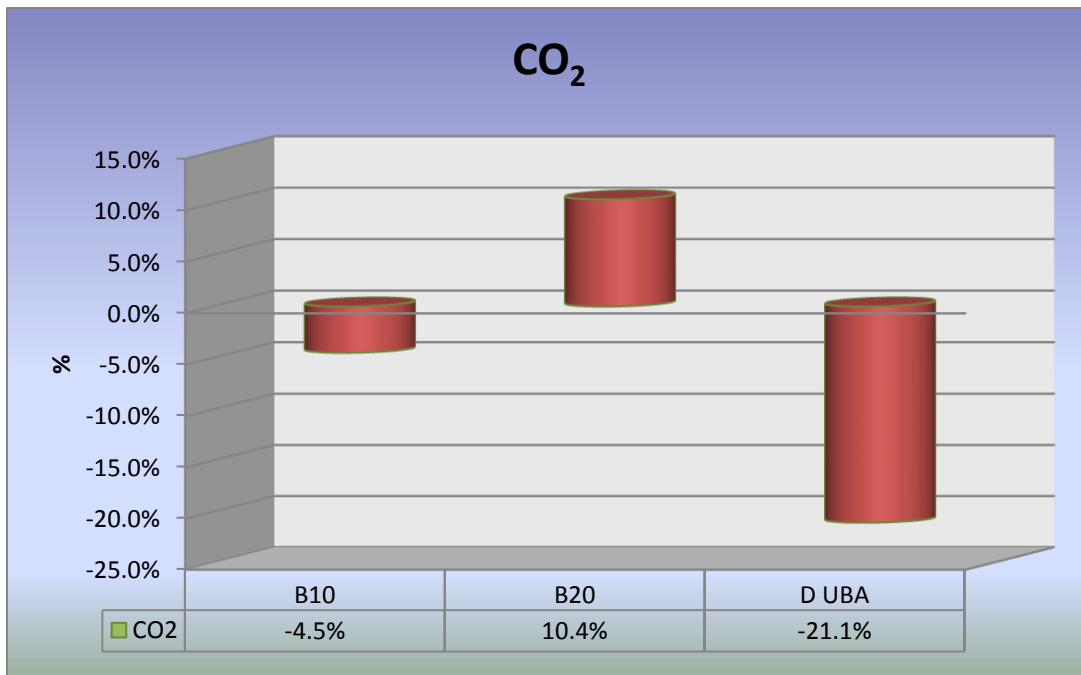
	[L/km]	[km/L]
Diesel	0.4	2.3
B5	0.5	2.0
B10	0.4	2.3
B20	0.5	2.0
D UBA	0.4	2.9

¹⁰ Hidrocarburos (HC) es igual a Compuesto Orgánicos Volátiles (VOC).

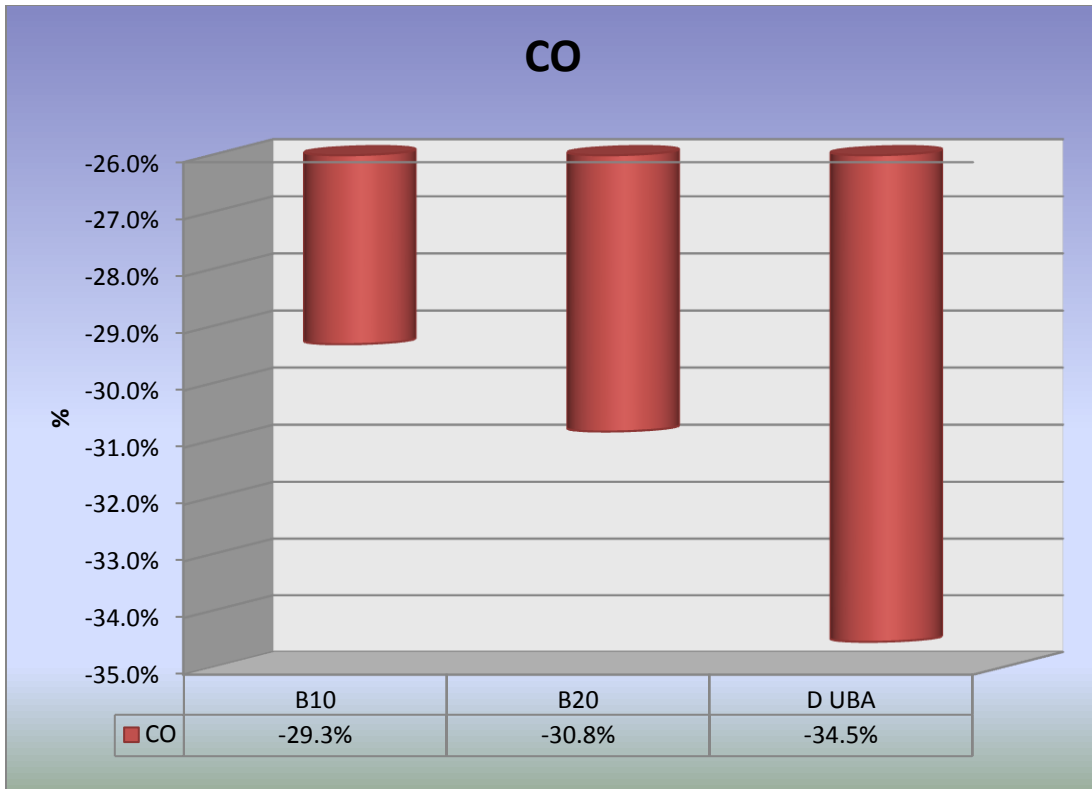
Tabla 4.3. Velocidad promedio y tiempo de cada prueba.

Combustible	Velocidad promedio [km/h]	Tiempo [min]
Diesel	20.9	14:47
B5	22.5	14:56
B10	21.7	15:18
B20	21.6	16:02
Diesel UBA	25.3	13:52

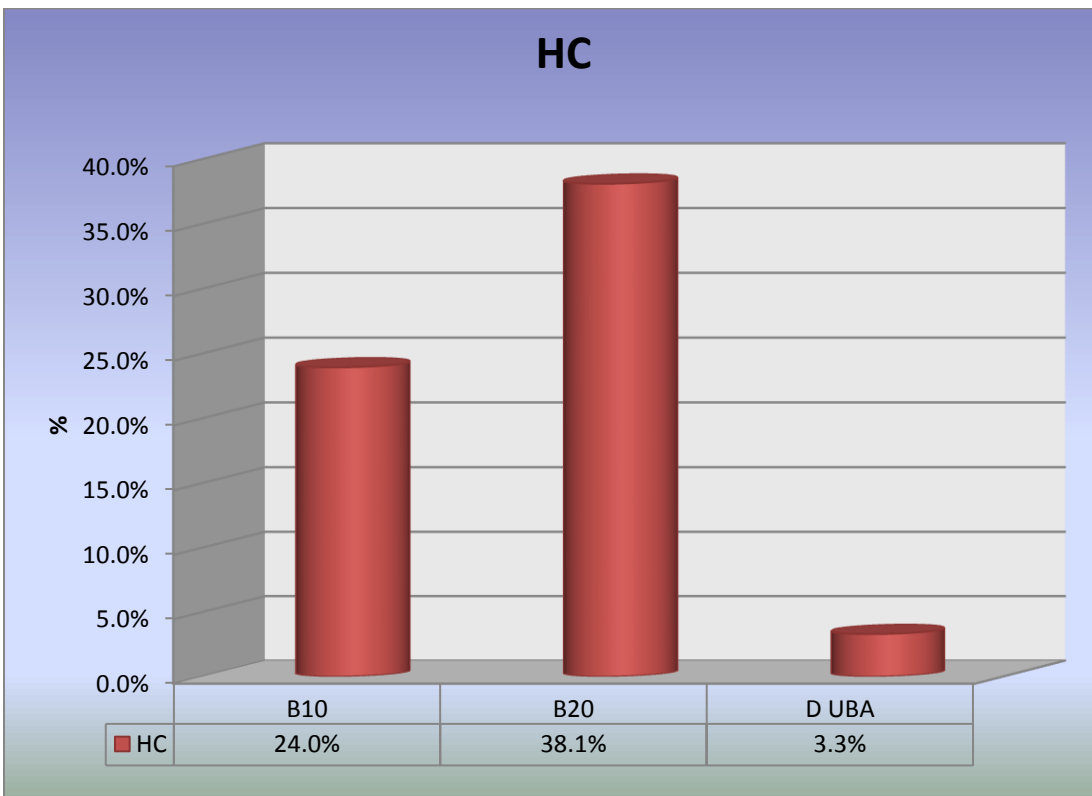
Para poder observar de mejor manera los resultados, se comparan todos los resultados con lo que llamaremos línea base, la cual es el diesel normal que se vende en las gasolineras en el ZMVM, comparando por medio de la variación porcentual. Ver tablas 4.1 a 4.5. En la tabla 4.6 se encuentra la variación porcentual del rendimiento.



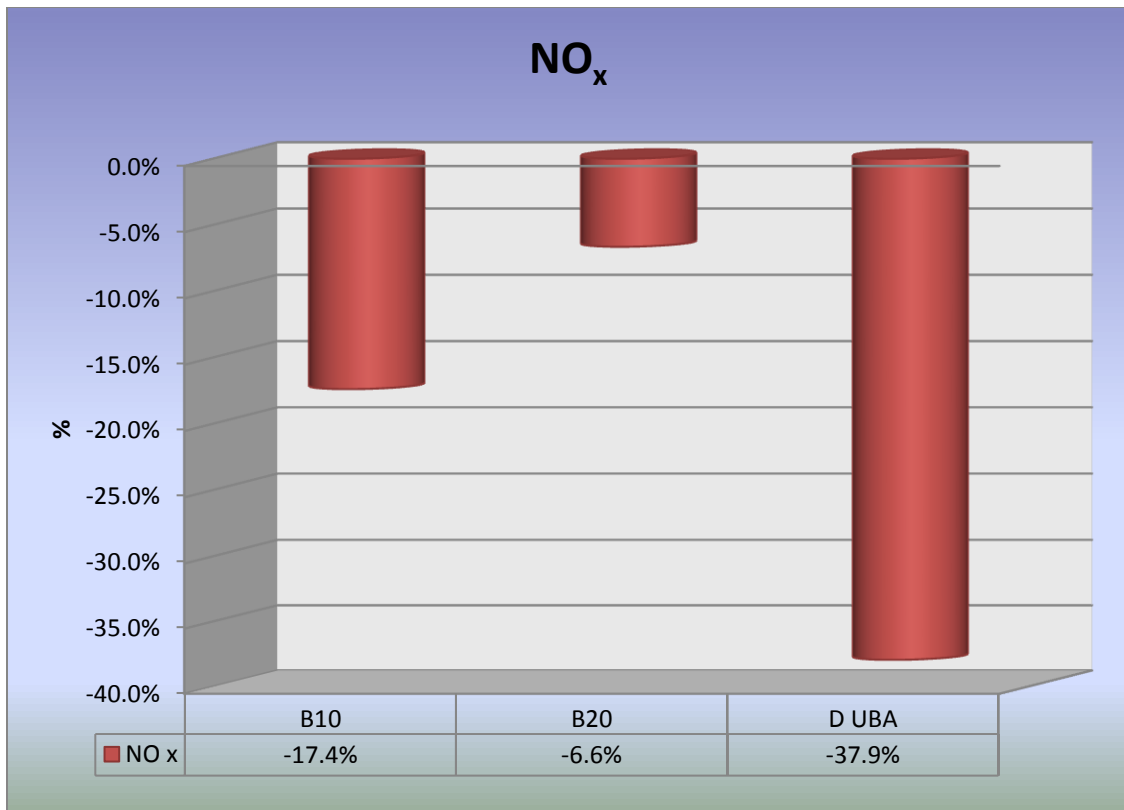
Gráfica 4.1. Variación porcentual respecto a la línea base. CO₂.



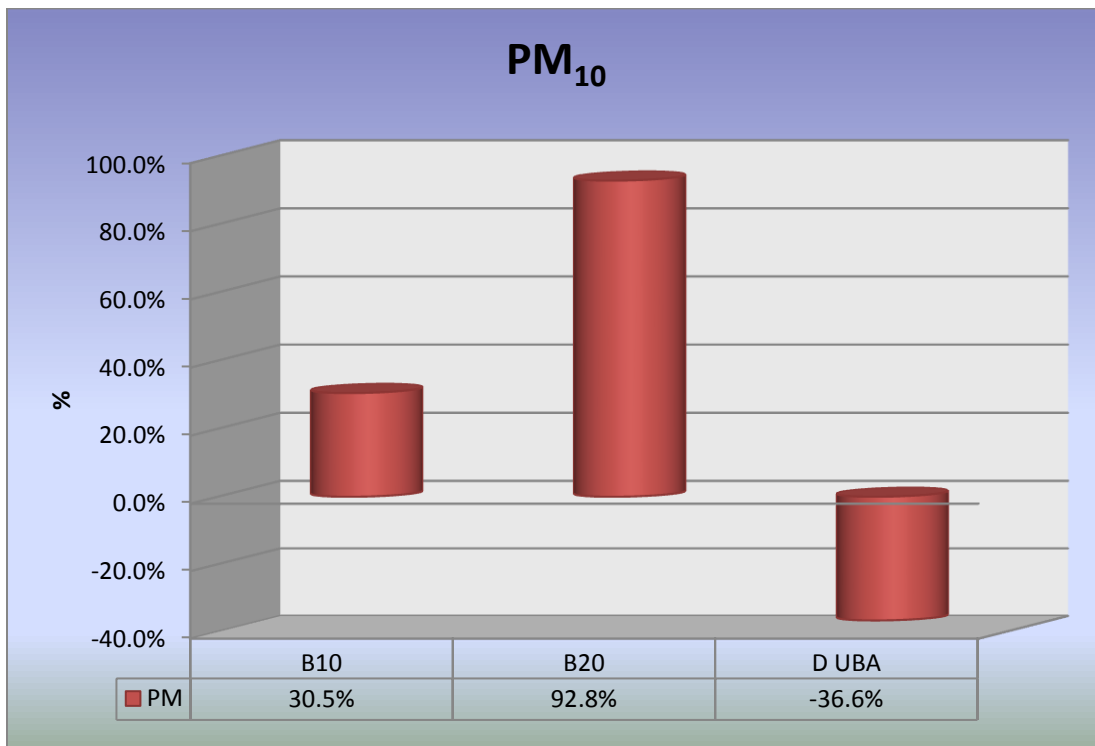
Gráfica 4.2. Variación porcentual respecto a la línea base. CO.



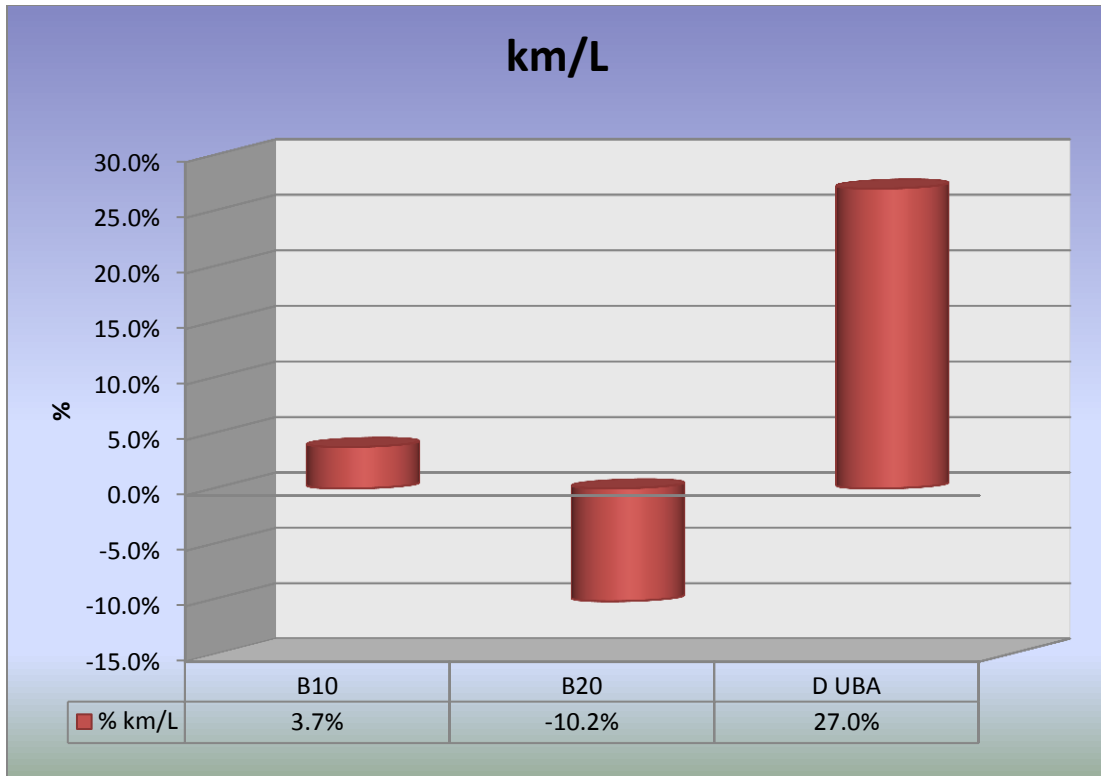
Gráfica 4.3. Variación porcentual respecto a la línea base. HC.



Gráfica 4.4. Variación porcentual respecto a la línea base. NO_x.



Gráfica 4.5. Variación porcentual respecto a la línea base. PM₁₀.



Gráfica 4.6. Variación porcentual rendimiento respecto a la línea base. km/L.

5. Vehicle Specific Power (VSP)

Este método permite relacionar la potencia del motor y el peso respecto a la emisión, ver capítulo 5.1, con este método se obtiene rangos o bins, en los cuales se promedia la emisión dentro de estos. Con esto se puede comparar el estrés del motor, para ser comparadas las emisiones en los mismos rangos.

En este caso se determinó bins, ver grafica 5.2 en forma personal, es decir fueron elegidas por conveniencia propia, por lo cual este método es muy difícil de comparar con otros análisis VSP de otros motores.

Pero las ventajas serian en especial para una empresa, ya que podría elegir el tipo de combustible a utilizar dependiendo del ciclo de manejo, como es en el caso de Coca-Cola que tiene diferentes rutas de entrega.

Ya que este análisis depende de la inclinación se realizó la medición con un inclinometro HMR330, que entrega una señal, la cual debe ser filtrada, como se explica en los siguientes subcapítulos.

5.1. Filtrado para obtener inclinación

La señal obtenida del inclinómetro con una frecuencia de 1 Hz se suavizó mediante un filtro digital FIR de orden 42 con frecuencia de corte normalizada de 0.003, ver ilustración 5.1. Esto permitió eliminar el ruido de la vibración de la información acerca de la inclinación; en el panel superior derecho se muestra la respuesta en frecuencia del filtro diseñado.

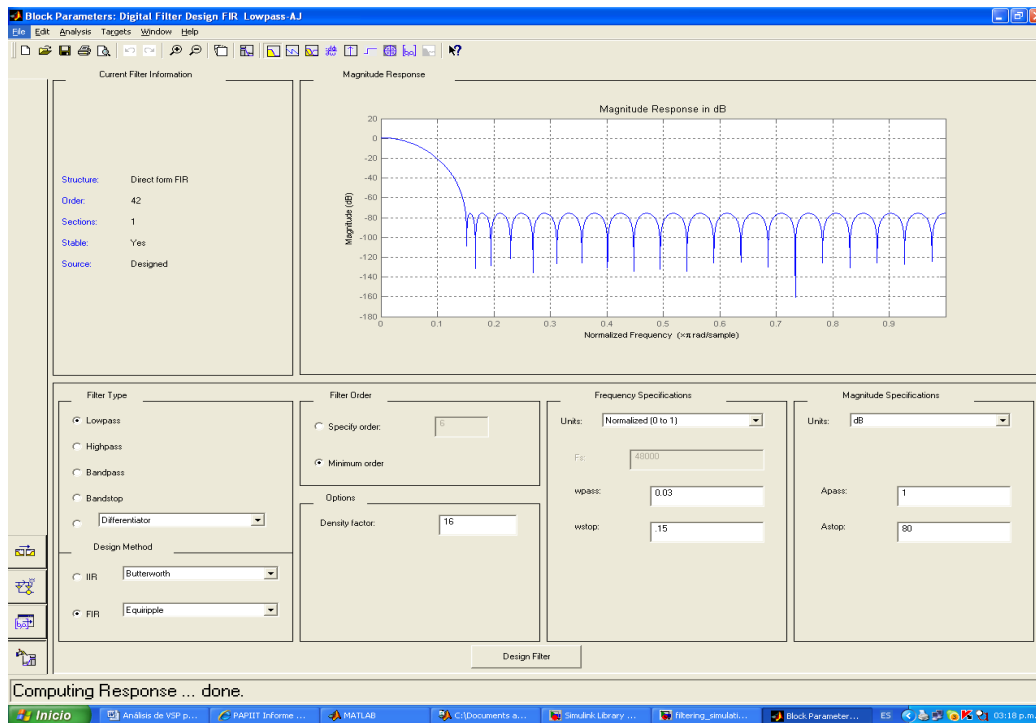


Ilustración 5.1. Filtro real FIR pasa bajo diseñado para quitar el ruido de vibración a la señal del inclinómetro.

Un ejemplo de los resultados del filtrado se muestra en la ilustración 5.2. En la ilustración 5.2 (a) Se muestra la señal adquirida y en la 5.2 (b) la filtrada. En la 5.2 (c) se comparan las señales adquiridas y la filtrada. Se aprecia que el filtro trabaja correctamente. En la 5.2 (d) se comparan las señales adquiridas y la filtrada corregida por el offset incurrido al colocar el inclinómetro.

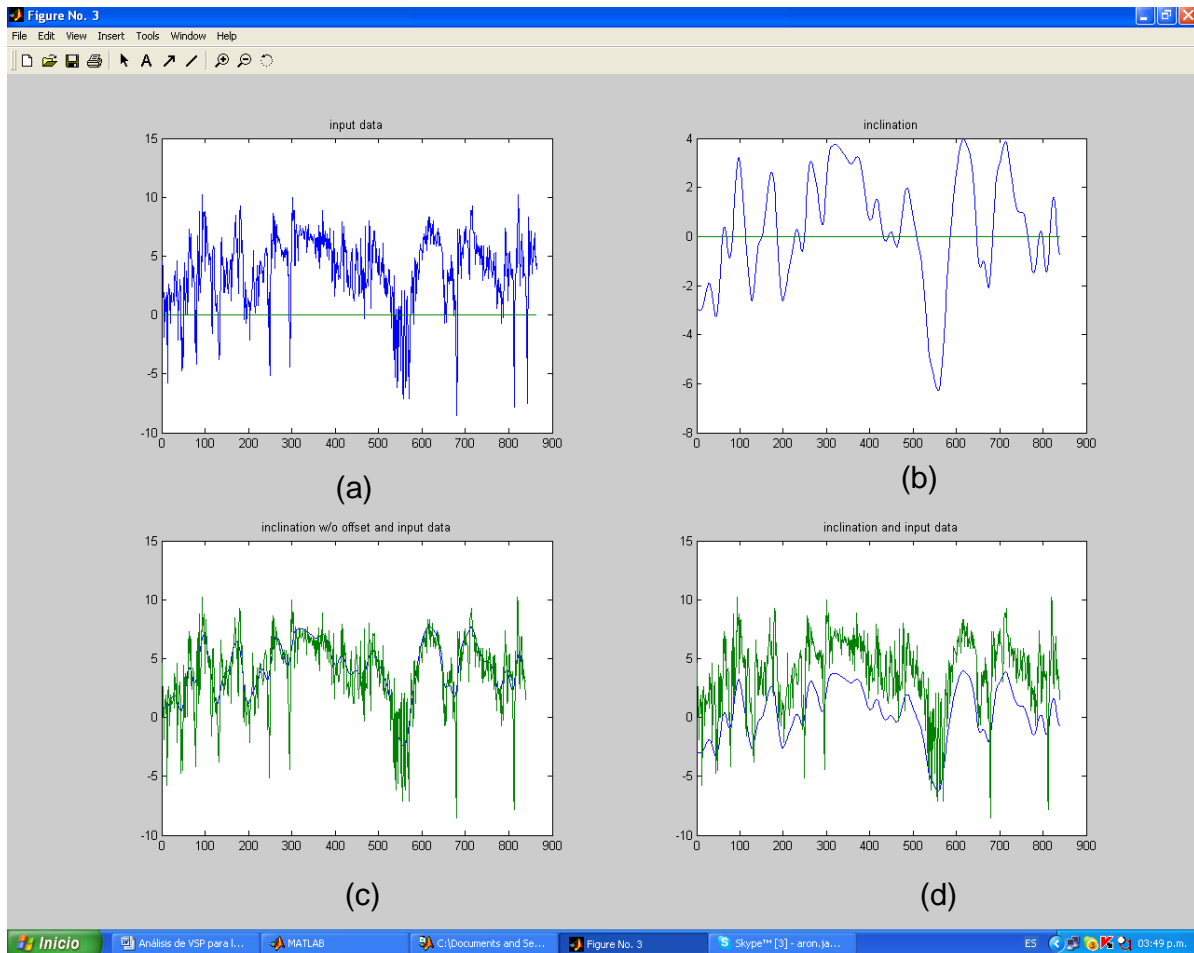
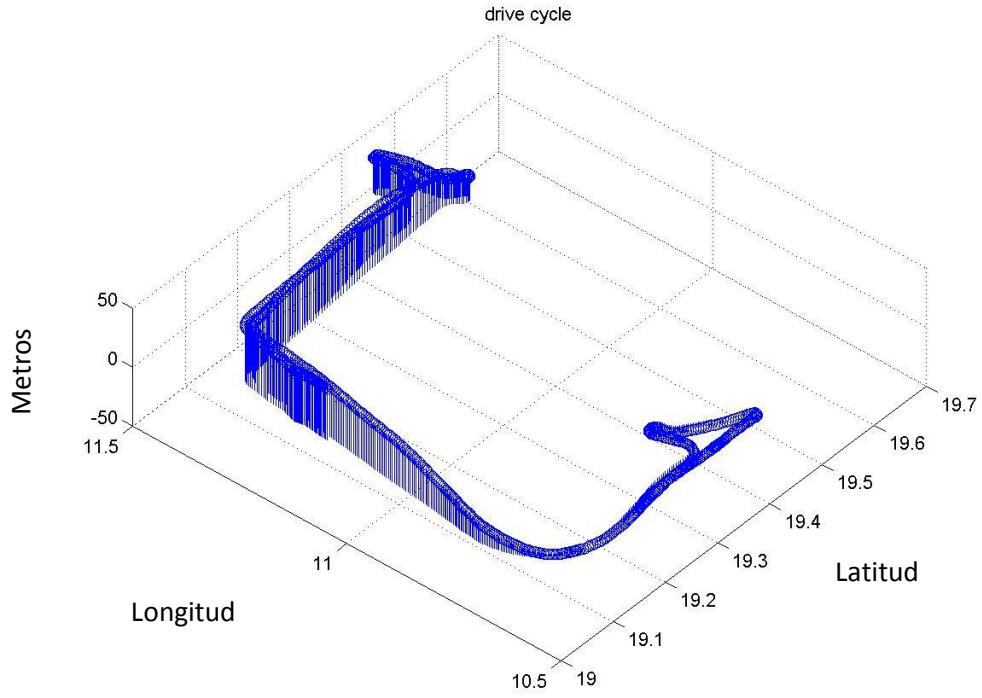


Ilustración 5.2. Inclinación en grados obtenidos por el inclinómetro durante un ciclo de manejo. (a) señal adquirida, (b) filtrada, (c) comparación entre la señal adquirida y filtrada y (d) señal adquirida y filtrada.

Para calcular el desplazamiento u offset, se utiliza un método de optimización que encuentra el valor del offset, tal que asegure que la suma de los ascensos y descensos sean iguales a cero para un recorrido, donde coinciden el punto de salida y llegada.

Un ejemplo del recorrido obtenido usando los datos filtrados del inclinómetro y el correspondiente offset se muestra en la gráfica 5.1. Se aprecia que existe aproximadamente una diferencia de 60 metros, entre la parte más baja y la más alta del recorrido.



Gráfica 5.1. Localización (latitud y longitud) y alturas incurridas durante el ciclo de manejo.

5.2. Análisis VSP

Se utilizó la siguiente ecuación para encontrar el VSP de velocidades y emisiones:

$$\text{VSP} \left(\frac{\text{KW}}{\text{ton}} \right) = v * (a(1 + \gamma) + g * \text{inclinacion} + g * C_r) + 2\rho * C_D * A * \frac{v^3}{m}$$

dónde:

v: velocidad del vehículo en ms^{-1}

a: aceleración del vehículo en ms^{-2}

γ : masa que toma en cuenta masas rotacionales (~0.1)

g: aceleración de la gravedad (ms^{-2})

inclinación: inclinación del camino (en % (grados))

C_R : resistencia al rodamiento (~0.0135)

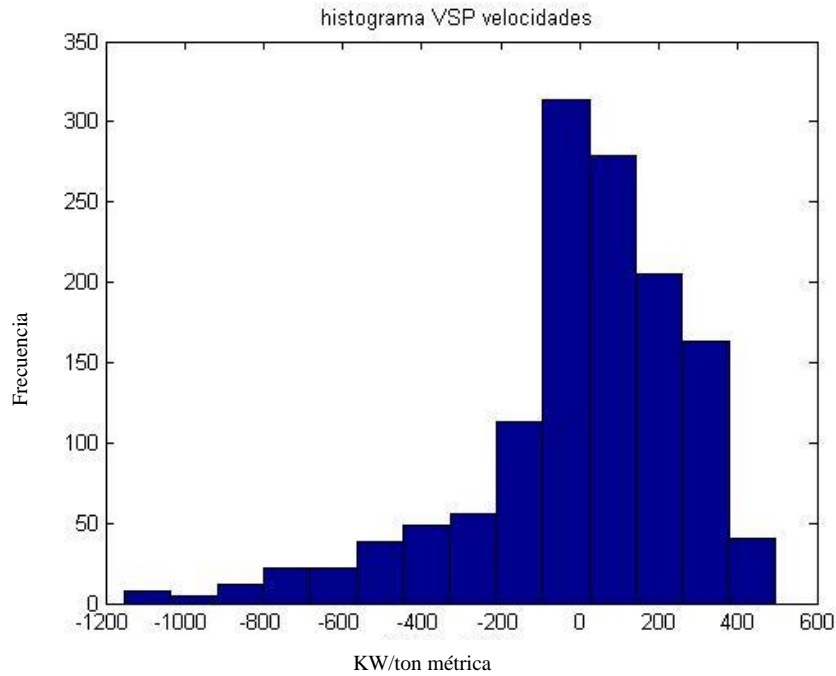
ρ : densidad del aire (1.2 Kg m^{-3})

C_D : coeficiente de arrastre aerodinámico

A: área frontal (m^2)

m: masa del vehículo (en toneladas métricas)

En la gráfica 5.2 se muestra el histograma VSP de velocidades del recorrido del caso base. Todos los recorridos son similares a éste. Tiene un rango de potencias específicas de aproximadamente -1000 a 500 KW/ton métrica por la presencia de pendientes. El promedio de velocidades máximas de los recorridos fue de 48 Km/h y el promedio de velocidad fue de 22 Km/h. La longitud del recorrido fue de 7.8 Km.



Gráfica 5.2. Histograma VSP de velocidades del recorrido base.

En el histograma se observa la cantidad de datos que se tiene en cada uno de los rangos o bins, los bins fueron dados para este caso en particular y se dividieron en 14 bins, como lo muestra la tabla 5.1.

Tabla 5.1. Bins de la pruebas.

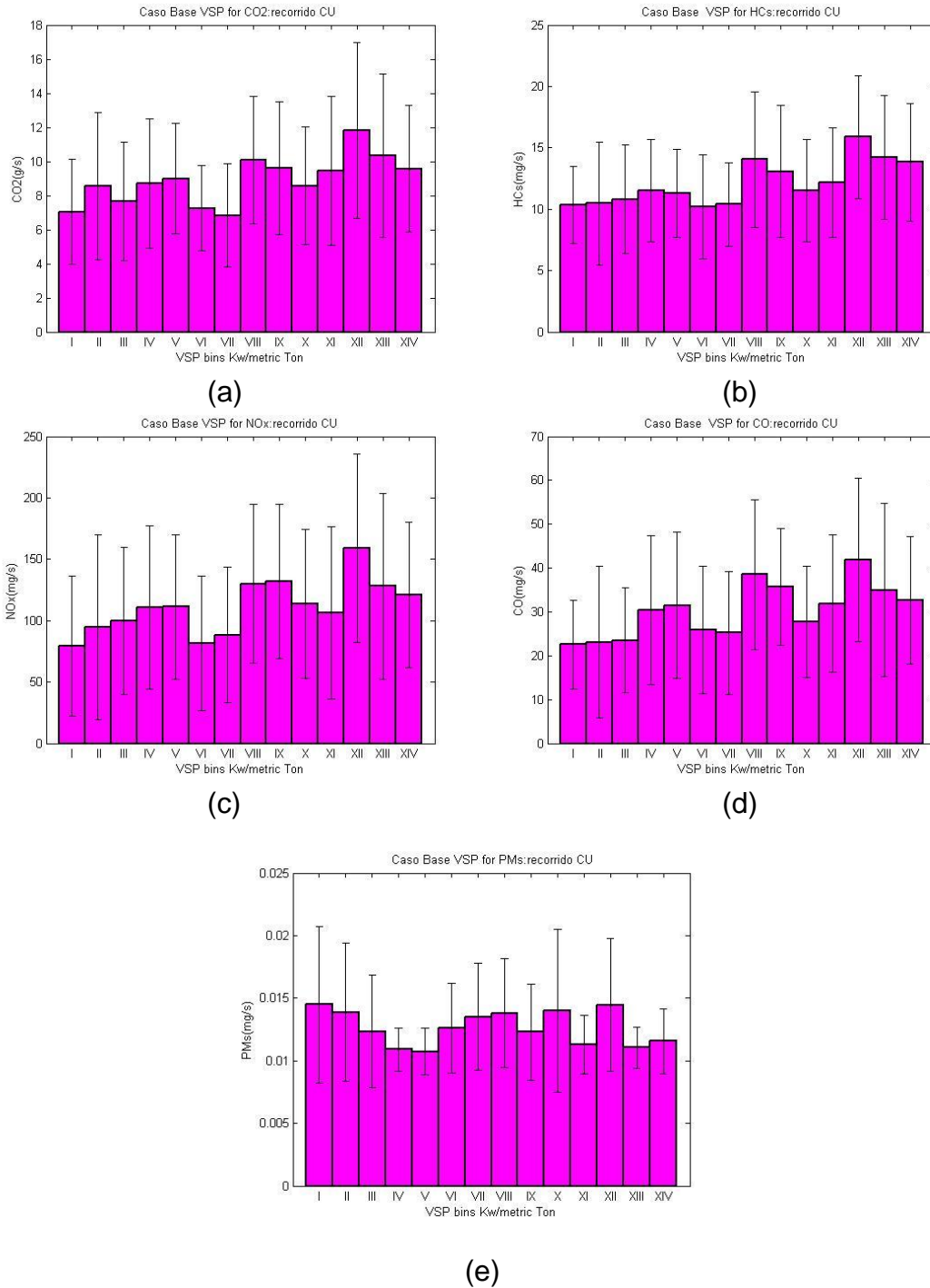
Bin	Rango	
	De:	A:
I		-200
II	-200	-100
III	-100	0
IV	0	25
V	25	50
VI	50	75
VII	75	100
VIII	100	125
IX	125	150
X	150	200
XI	200	225
XII	225	250
XIII	250	300
XIV	300	

La mayor parte de la actividad, como se puede ver se desarrolla entre las categorías II a la VII. Para VSP positivas la mayor actividad se desarrolla para las categorías IV a VII.

A continuación se muestran los resultados de análisis de emisiones con VSP, para las diferentes pruebas. Incluyen una barra de error estándar por categoría de VSP.

5.2.1. Emisiones VSP para caso base

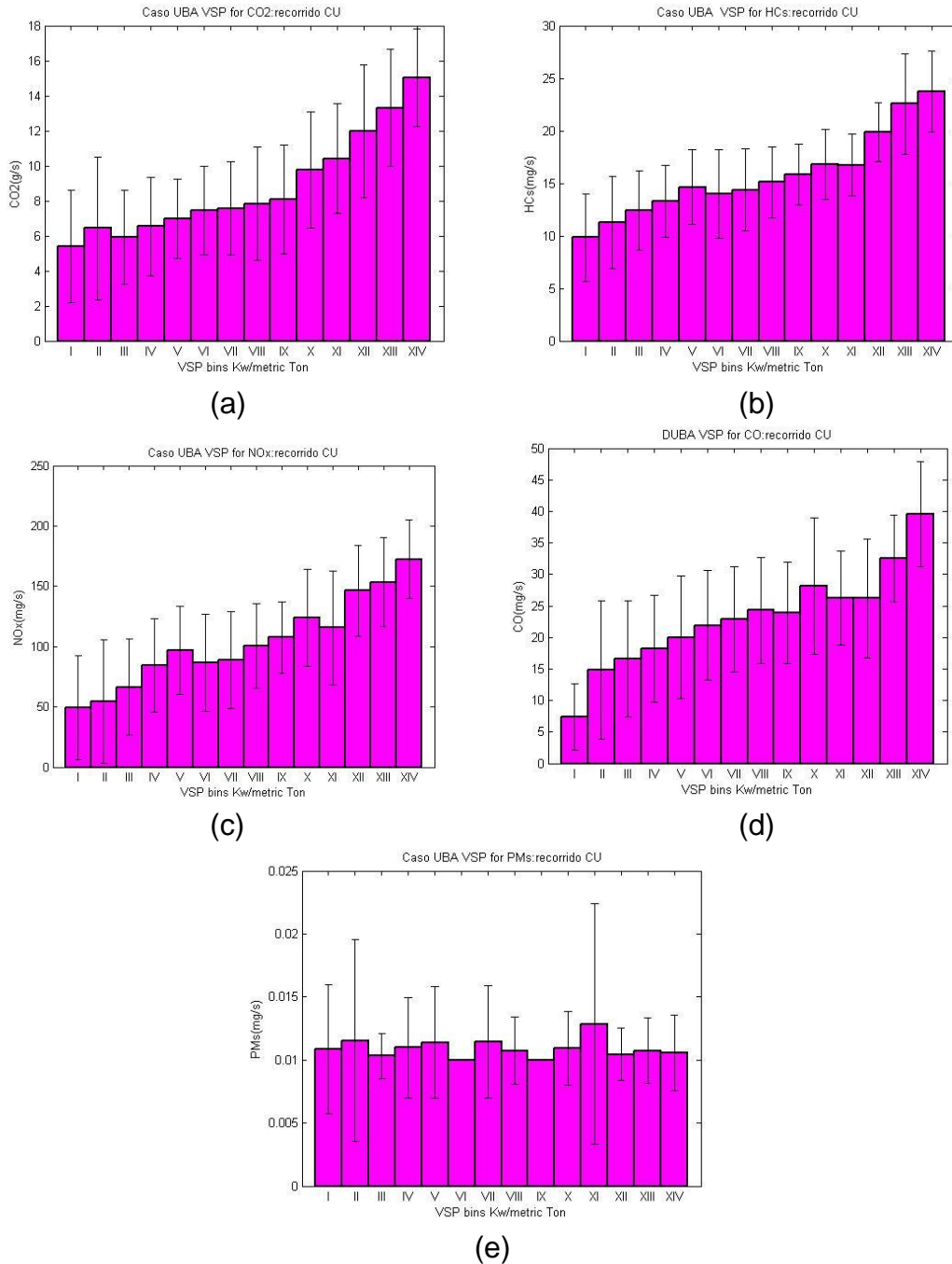
En la gráfica 5.3 (a), (b), (c), (d) y (e) se muestra los histogramas para los dos últimos recorridos de emisiones de CO₂, HC, NO_x, CO y PM₁₀.



Gráfica 5.3. Emisiones por bin de VSP para caso base (diesel convencional). En (a) para CO₂, en (b) para HC, en (c) para NO_x, en (d) para CO y en (e) para PM₁₀. Se muestran las barras de error estándar (longitud de la barra = 2 x error estándar).

5.2.2. Emisiones VSP para UBA

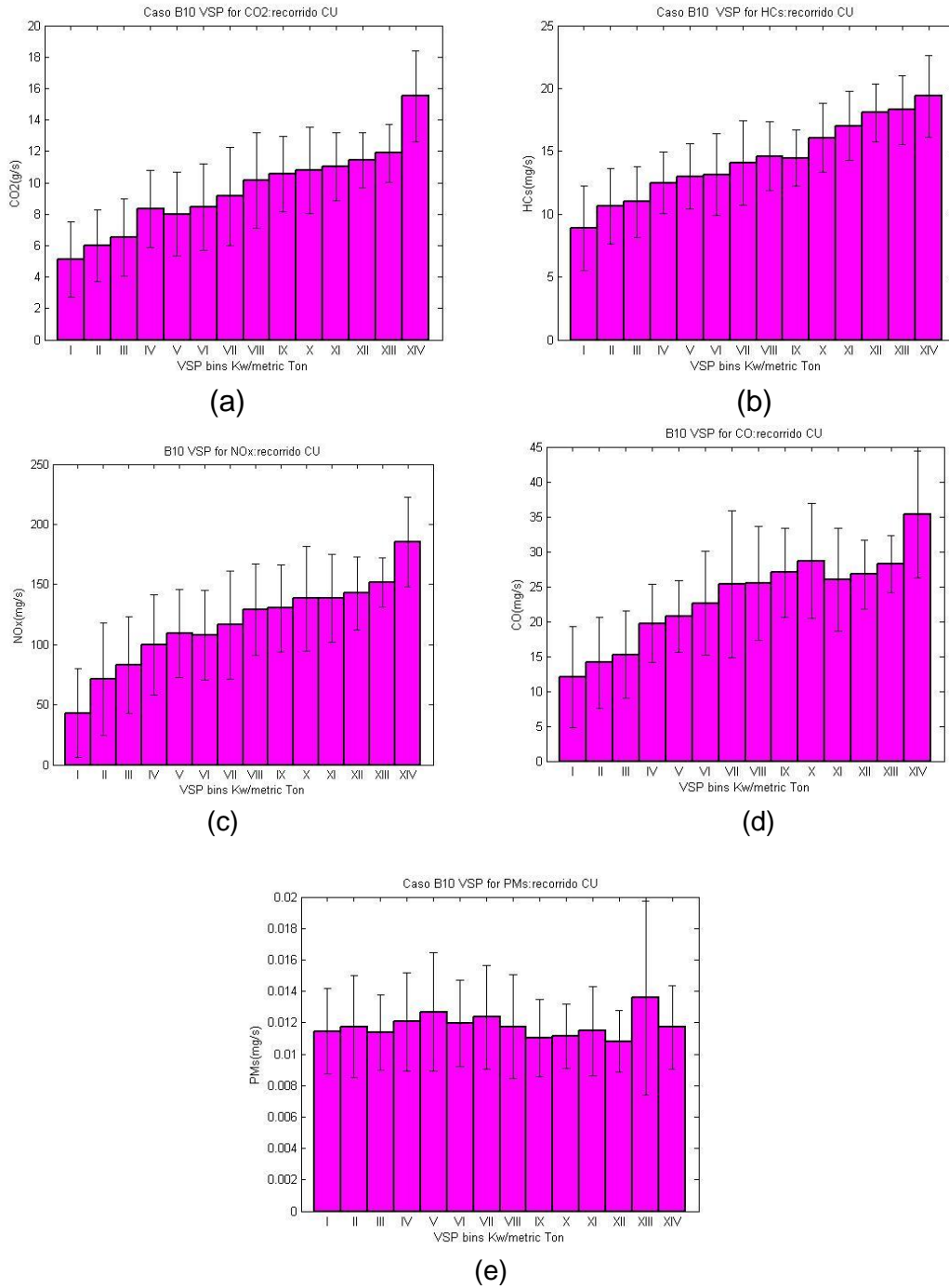
En la gráfica 5.4 (a), (b), (c), (d) y (e) se muestran los histogramas para las emisiones correspondientes dos últimos recorridos de CO₂, HC, NO_x, CO y PM₁₀. Incluyen una barra de error estándar por categoría de VSP.



Gráfica 5.4. Emisiones por bin de VSP para el caso UBA. En (a) para CO₂, en (b) para HC, en (c) para NO_x, en (d) para CO y en (e) para PM₁₀. Se muestran las barras de error estándar (longitud de la barra = 2 x error estándar).

5.2.3. Emisiones VSP para B10

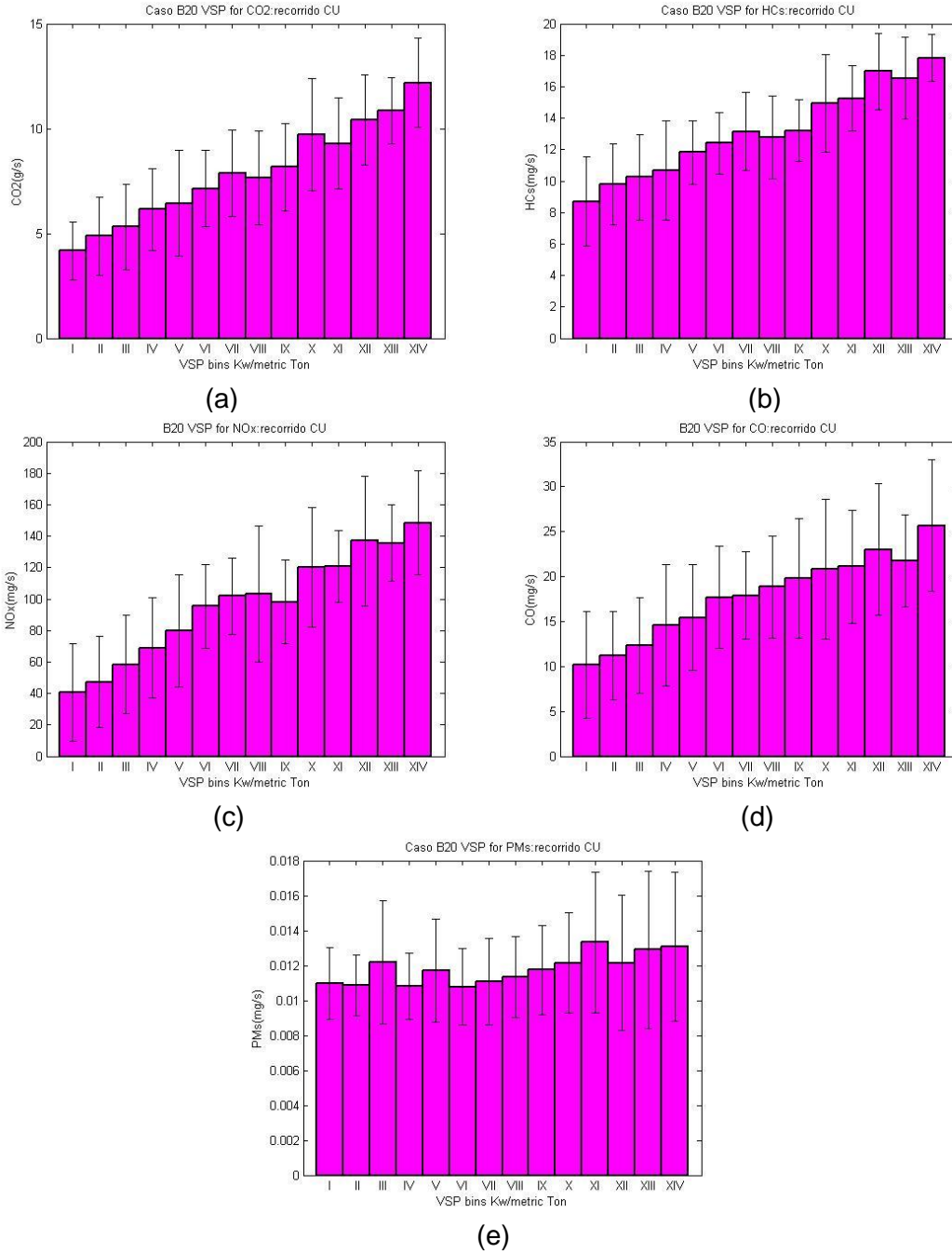
En la gráfica 5.5 (a), (b), (c), (d) y (e) se muestran los histogramas de VSP para las emisiones correspondientes de los últimos recorridos de CO₂, HC, NO_x, CO y PM₁₀.



Gráfica 5.5. Emisiones por bin de VSP para el caso B10. En (a) para CO₂, en (b) para HC, en (c) para NO_x, en (d) para CO y en (e) para PM₁₀. Se muestran las barras de error estándar (longitud de la barra = 2 x error estándar).

5.2.4. Emisiones VSP para B20

En la gráfica 5.6 (a), (b), (c), (d) y (e) se muestra el histograma para las emisiones correspondientes de los dos últimos recorridos de CO₂, HC, NO_x, CO y PM₁₀.



Gráfica 5.6. Emisiones por bin de VSP para B20. En (a) para CO₂, en (b) para HC, en (c) para NO_x en (d) para CO y en (e) para PM₁₀. Se muestran las barras de error estándar (longitud de la barra = 2 x error estándar).

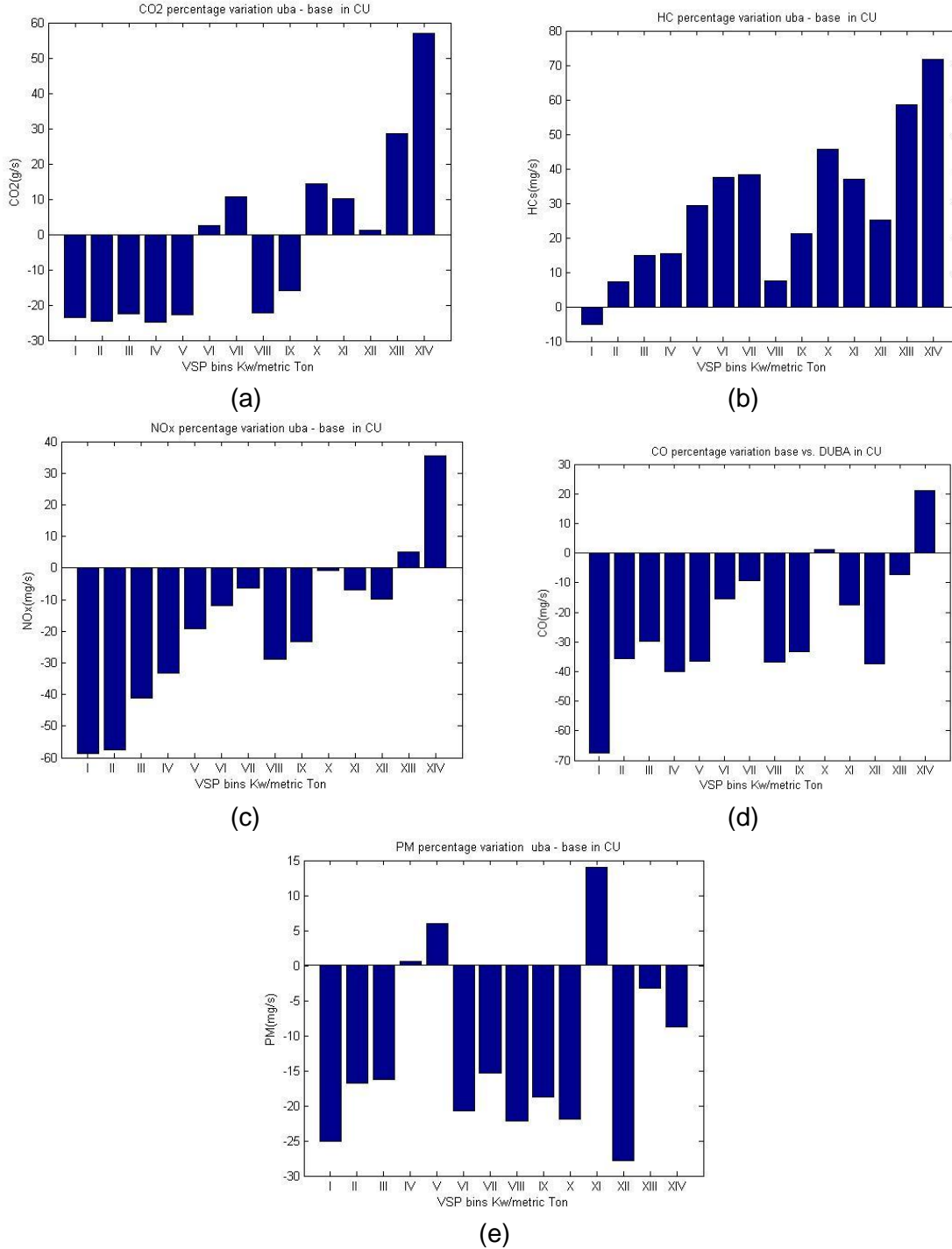
5.3. Comparación de emisiones usando VSP

Se comparan las emisiones por bin de VSP entre el caso base (Diesel convencional) y las mezclas experimentales usando la ecuación de variación en porcentaje por bin:

$$\text{Variación porcentual} = \frac{\text{Emisión mezcla} - \text{emisión caso base}}{\text{Emisión caso base}} (100)$$

5.3.1. Comparación usando VSP entre el caso base y UBA

Usando bins de VSP se comparan las emisiones del caso base (diesel convencional) y diesel UBA. El porcentaje de variación se presenta en la gráfica 5.7.

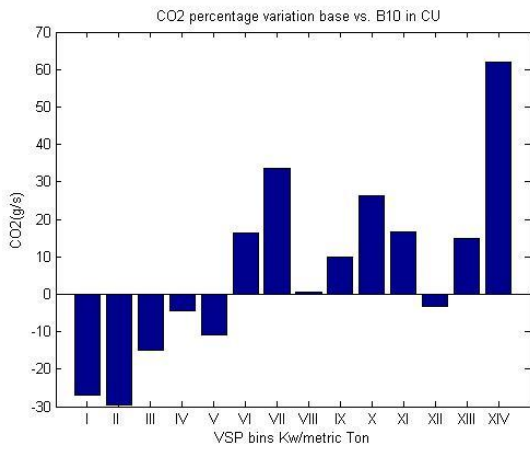


Gráfica 5.7. Porcentaje de variación con respecto al caso base por bin de VSP entre los casos UBA y base. En (a) para CO₂, en (b) para HC, en (c) para NO_x, en (d) para CO y en (e) PM₁₀.

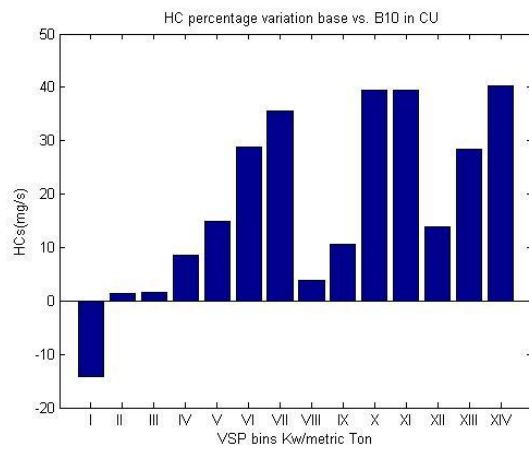
De la gráfica 5.7 se aprecia que, en la mayoría de las categorías de VSP, se tiene un aumento con respecto al caso base en la emisión de HC's y una disminución para todas las demás emisiones.

5.3.2. Comparación usando VSP entre el caso base y B10.

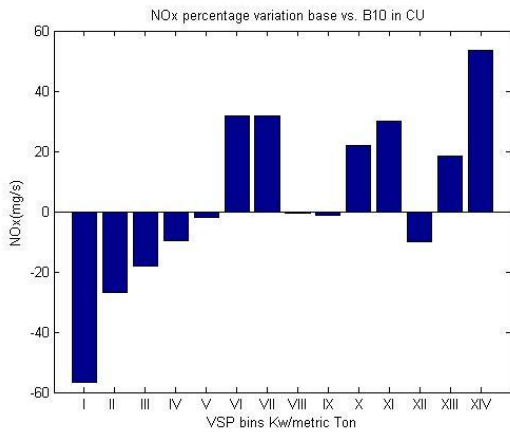
Usando bins de VSP se comparan las emisiones del caso base (diesel convencional) y diesel B10. El porcentaje de variación se presenta en la gráfica 5.8.



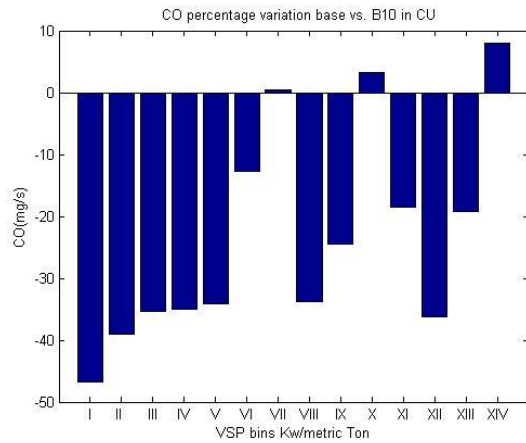
(a)



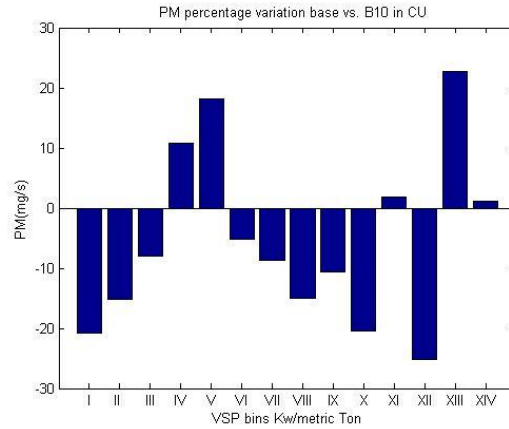
(b)



(c)



(d)



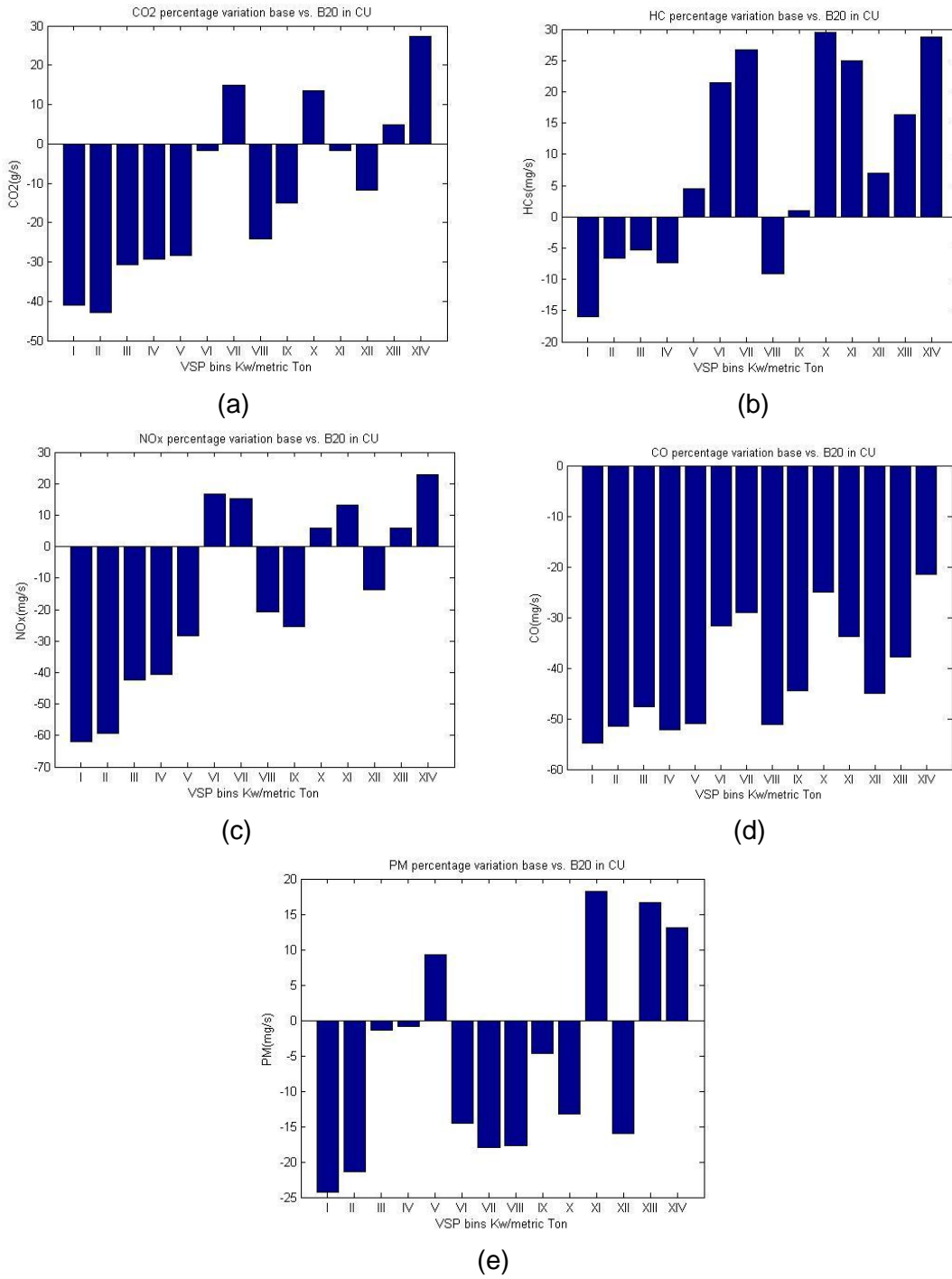
(e)

Gráfica 5.8. Porcentaje de variación con respecto al caso base por bin de VSP entre los casos B10 y base. En (a) para CO₂, en (b) para HC, en (c) para NO_x, en (d) para CO y en (e) para PM₁₀.

De la gráfica 5.8, se aprecia que en general se tiene un aumento de HC y CO₂ con respecto al caso base. En las categorías VI y VII se tiene un aumento de emisiones de NO_x. En cuanto a partículas se tiene una disminución en la mayoría de las categorías con alta actividad.

5.3.3. Comparación usando VSP entre el caso base y B20.

Usando bins de VSP se comparan las emisiones del caso base (diesel convencional) y diesel B20. El porcentaje de variación se presenta en la gráfica 5.9.



Gráfica 5.9. Porcentaje de variación con respecto al caso base por bin de VSP entre los casos B20 y base. En (a) para CO₂, en (b) para HC, en (c) para NO_x, en (d) para CO y en (e) para PM₁₀.

Se tiene en general una disminución de emisiones de CO₂, NO_x, CO y PM₁₀ aunque se tiene un aumento de emisiones de HC's en algunas categorías de VSP de alta actividad.

6. Análisis de datos

6.1. Análisis para las emisiones por kilómetro

CO₂

En el caso de los biodiesel se observa que con B10 existe una disminución del 4.5% en las emisiones, aunque utilizando B20, existe un aumento del 10%, esto se puede deber a la disminución del poder calorífico. Aunque es muy pequeña, esta variación, puede provocar que aunque las emisiones sean bajas, cuando el motor esta estresado, se necesita mayor flujo de combustible, lo que conlleva al aumento de emisiones.

El esfuerzo que necesita el motor para compensar esta pérdida, lo toma inyectando mayor cantidad de combustible que se quema, por lo tanto se tiene mayor flujo de combustible, y por lo tanto aumentando las emisiones.

En el caso del diesel UBA, ya que se tiene el mismo poder calorífico que el Diesel, se tiene una disminución de hasta el 20% de las emisiones.

CO

Respecto al monóxido de carbono, encontramos que las emisiones disminuyen, en todos los casos, y en forma lineal respecto a la concentración de biodiesel, es decir a mayor concentración de biodiesel, este es menor.

El B20 tiene una disminución mayor al 30%, esto hace al biodiesel una excelente alternativa para disminuir el contaminante.

Con el Diesel UBA, también se observa una disminución, en esta es del 34.5%, aunque respecto del biodiesel es solo del 4%. Tener en cualquiera de las situaciones esta disminución, los hace una excelente alternativa. Esto podría indicar que al utilizar

biodiesel o UBA se tiene una mejor combustión, ya que el CO es indicio de una reacción incompleta.

NO_x

Utilizando biodiesel existe un aumento de los óxidos de nitrógeno, como lo indica la literatura, por esto se utilizan diferentes aditivos para disminuir este contaminante; en el caso de esta prueba se utilizó el aditivo ORYXE, el cual fue fabricado para B20, pero se agregó a la mezcla B10. Cabe mencionar que estas mezclas no fueron preparadas en la experimentación, sino se entregaron ya elaboradas.

Como se observa en el caso de B20 la reducción de los NO_x es apreciable, mientras que en el B10 es aún mayor. La tendencia debe ser que a mayor concentración de biodiesel mayor la emisión de NO_x, pero como se comentó se utilizó un aditivo llamado ORYXE el cual en su especificación es para uso en B20, aunque también se le agregó al B10, la reducción en este no fue mayor.

En el caso del diesel UBA, se observa la mayor reducción de hasta un 38%, por lo que se sigue con la misma tendencia en la reducción de emisiones.

PM₁₀

En el caso del material particulado, no existe en la literatura mucho sobre esto, simplemente se indica que existe menor hollín en las emisiones, pero no se habla de concentraciones.

Aquí se observa un incremento al aumentar la concentración de biodiesel, como se observa el B20 es casi 2 veces mayor que el caso base, por lo que existe un aumento, aunque como se ven en las mediciones estamos hablando de un aumento 1 mg/km. En este caso la legislación actual solo se mide la opacidad de las emisiones al escape, por lo que este aumento tendría que ser medido en esos términos para poder determinar si no reviesa los límites.

El diesel UBA es el único de los combustibles que permite una reducción del material particulado, en este caso se tiene 36% de reducción, esto cree que es una mejor combustión.

Rendimiento

El rendimiento del automóvil se calculó en km/L, por lo que es fácil distinguir cual combustible da más kilómetros por cada litro, en este caso se observa que el B10 al tener una capacidad calorífica parecida al diesel, se comporta igual, pero en el caso del B20 al verse disminuida, el rendimiento es menor.

En el caso de diesel UBA se sigue teniendo mejores resultados, ya que, se tiene bajas emisiones con rendimientos más altos, en el cual se tiene hasta un 27% de mejoría en el rendimiento. Esto podría compensar el precio de un diesel UBA que es más caro que el Diesel, ya que se tiene menos daño al medio ambiente y a la salud, además de tener mejores condiciones en los motores.

6.2. Análisis para VSP

Las tendencias son iguales a las mostradas en el análisis de emisión por kilómetro, pero en este caso podemos distinguir en qué momento del motor se produce la mayor cantidad de emisiones.

El esfuerzo del motor depende de las condiciones del recorrido, como se menciona antes, la inclinación, el tráfico, el factor humano, entre otros. Todos estos no se consideran en el análisis de emisión por kilómetro, por lo cual ayuda a distinguir, si se tienen ciclos de manejo diferentes, en cual es mejor, cada uno de los combustibles.

En cuanto a disminución de emisiones con respecto al caso base (diesel 500ppm), se distinguen dos casos óptimos: uso de UBA y B20. Aunque, para el primer caso, existe un aumento en las emisiones de HC en todos los bins, esto nos indica una mala combustión, por un mayor esfuerzo del motor. En las emisiones de CO₂, se tiene

una disminución de las emisiones, en casi todas los bins, excepto cuando el motor se encuentra en los bins de más alto esfuerzo; en CO, NO_x y PM₁₀, se tiene una disminución en la mayor parte de los bins.

Para el segundo caso, se reducen las emisiones, aunque en algunas categorías de VSP de alta actividad se incrementan las emisiones de HC. En ambos casos, al haber reducción de emisiones de CO₂ se espera un mejor rendimiento de combustible con respecto al caso base. Además de que se observa que existe aumento en las emisiones, cuando el motor se encuentra en esfuerzos grandes.

El caso de B10 resulta en un decremento de emisiones con respecto al caso base de PM₁₀, y CO para casi todas las categorías de VSP de alta actividad, aunque aumenta la emisión de HC en todas los bins y en NO_x, en bins de esfuerzos grandes. Este caso resulta favorable aunque no tanto como el caso B20 y UBA. En general se tiene una mejora, pero siendo superado por los otros dos casos.

7. Conclusiones

Se puede concluir que si en la ZMVM se utilizara algún biodiesel, sería el B10 ya que permite disminuir las emisiones, pero si se quisiera abatir estas, la mejor opción es utilizar diesel UBA.

El B10 sería el más factible de insertarse en el mercado, ya que se necesitaría menor cantidad de producción, actualmente en México, no se tiene la capacidad para producir los barriles necesarios para cumplir con la demanda. Tomando los datos de la tabla 1.3, para tener B10 se necesitaría producir 1.3 millones de barriles anuales y el doble para B20; lo que implica que sea más factible producir para B10.

Con esto el biodiesel, tendría un gran mercado que cubrir, además de los beneficios ambientales y a la salud que daría su implementación.

Aunque sería más factible, cambiar la ingeniería en las refinerías, para producir diesel UBA, ya que este representa una mayor disminución en todas las emisiones, además de tener el mejor rendimiento de kilómetros por litro.

En las tablas 6.1 a 6.5, se explica a detalle, tomando los valores de la tabla 1.9, el cambio que tendría al utilizar B10, B20 y diesel UBA en la reducción de emisiones.

Tomando en cuenta que entre los vehículos de hasta 3 toneladas, tractocamiones, autobuses y vehículos de más de 3 toneladas, representan el 98.2% del parque vehicular que usa diesel, y generalizando que todos los motores se comporten con estos factores de reducción.

Cabe aclarar, que no todos los motores se comportaran igual, ya que se encuentra en diferentes condiciones mecánicas, corresponden a diferentes años, y además diferentes tecnologías, se hará el siguiente análisis. Tendríamos las siguientes reducciones.

Tabla 7.1 Reducción de emisiones. CO₂

Tipo de Vehículo	B10		B20		Diesel UBA		
	CO ₂	Factor	[ton/Año]	Factor	[ton/Año]	Factor	[ton/Año]
Vehículos de hasta 3 ton	563,260	-0.05	537,913	0.10	504,681	-0.21	444,412
Tractocamiones	1,337,160	-0.05	1,276,988	0.10	1,198,095	-0.21	1,055,019
Autobuses	2,261,578	-0.05	2,159,807	0.10	2,026,374	-0.21	1,784,385
Vehículos mas de 3 ton	1,061,440	-0.05	1,013,675	0.10	951,050	-0.21	837,476
Metrobuses	18,232	-0.05	17,412	0.10	16,336	-0.21	14,385
Total	5,241,670		5,005,795		4,696,536		4,135,678
Diferencia			235,875		545,134		1,105,992
Porcentaje			5%		10%		21%

Tabla 7.2 Reducción de emisiones. CO

Tipo de Vehículo	B10		B20		Diesel UBA		
	CO	Factor	[ton/Año]	Factor	[ton/Año]	Factor	[ton/Año]
Vehículos de hasta 3 ton	44,535	-0.29	31,486	-0.31	30,818	-0.35	29,170
Tractocamiones	27,177	-0.29	19,214	-0.31	18,806	-0.35	17,801
Autobuses	35,267	-0.29	24,934	-0.31	24,405	-0.35	23,100
Vehículos mas de 3 ton	134,444	-0.29	95,052	-0.31	93,035	-0.35	88,061
Metrobuses	64	-0.29	45	-0.31	44	-0.35	42
Total	241,487		170,731		167,109		158,174
Diferencia			70,756		74,378		83,313
			29%		31%		35%

Tabla 7.3 Reducción de emisiones. NO_x

Tipo de Vehículo	B10		B20		Diesel UBA		
	NO _x	Factor	[ton/Año]	Factor	[ton/Año]	Factor	[ton/Año]
Vehículos de hasta 3 ton	2,791	-0.17	2,305	-0.07	2,607	-0.38	1,733
Tractocamiones	16,702	-0.17	13,796	-0.07	15,600	-0.38	10,372
Autobuses	22,005	-0.17	18,176	-0.07	20,553	-0.38	13,665
Vehículos mas de 3 ton	8,194	-0.17	6,768	-0.07	7,653	-0.38	5,088
Metrobuses	201	-0.17	166	-0.07	188	-0.38	125
Total	49,692		41,212		46,600		30,984
Diferencia			8,480		3,092		18,708
Porcentaje			17%		6%		38%

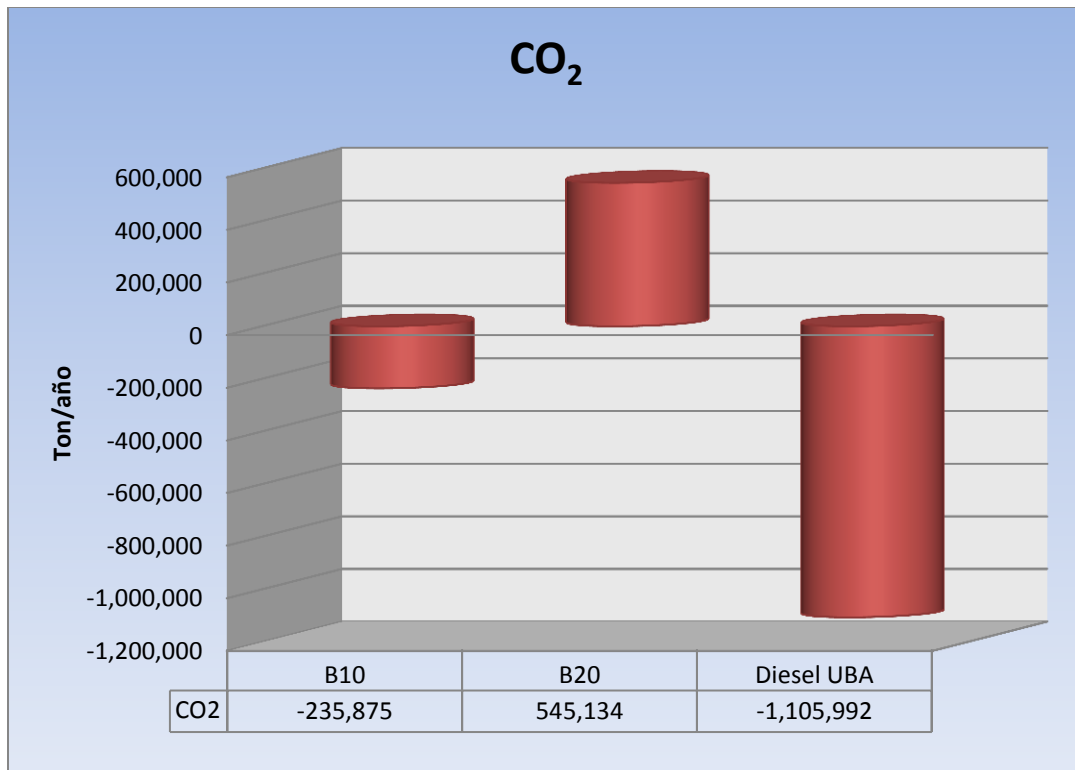
Tabla 7.4 Reducción de emisiones. PM₁₀

Tipo de Vehículo	B10		B20		UBA		
	PM ₁₀	Factor	[ton/Año]	Factor	[ton/Año]	Factor	[ton/Año]
Vehículos de hasta 3 ton	103	0.31	72	0.93	7	-0.37	65
Tractocamiones	1,455	0.31	1,011	0.93	105	-0.37	922
Autobuses	391	0.31	272	0.93	28	-0.37	248
Vehículos mas de 3 ton	541	0.31	376	0.93	39	-0.37	343
Metrobuses	6	0.31	4	0.93	0.4	-0.37	4
Total	2,490		1,735		180		1,582
Diferencia			755		2,310		908
			30.33%		93%		36%

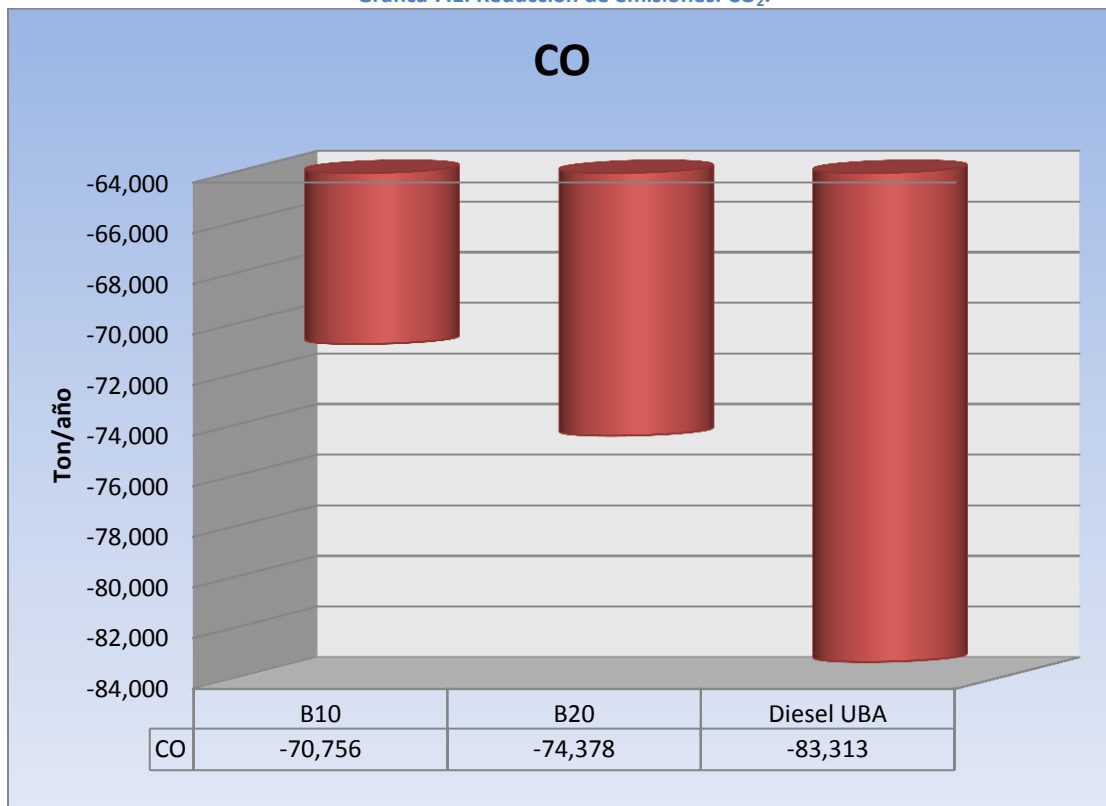
Tabla 7.5 Reducción de Emisiones. COV

Tipo de Vehículo	B10		B20		UBA		
	COV	Factor	[ton/Año]	Factor	[ton/Año]	Factor	[ton/Año]
Vehiculos de hasta 3 ton	4,816	0.24	3,660	0.38	2,981	0.03	4,657
Tractocamiones	4,544	0.24	3,453	0.38	2,813	0.03	4,394
Autobuses	5,588	0.24	4,247	0.38	3,459	0.03	5,404
Vehiculos mas de 3 ton	7,985	0.24	6,069	0.38	4,943	0.03	7,721
Metrobuses	37	0.24	28	0.38	23	0.03	36
Total	22,933		17,457		14,218		22,212
Diferencia			5,476		8,715		721
			24%		38%		3%

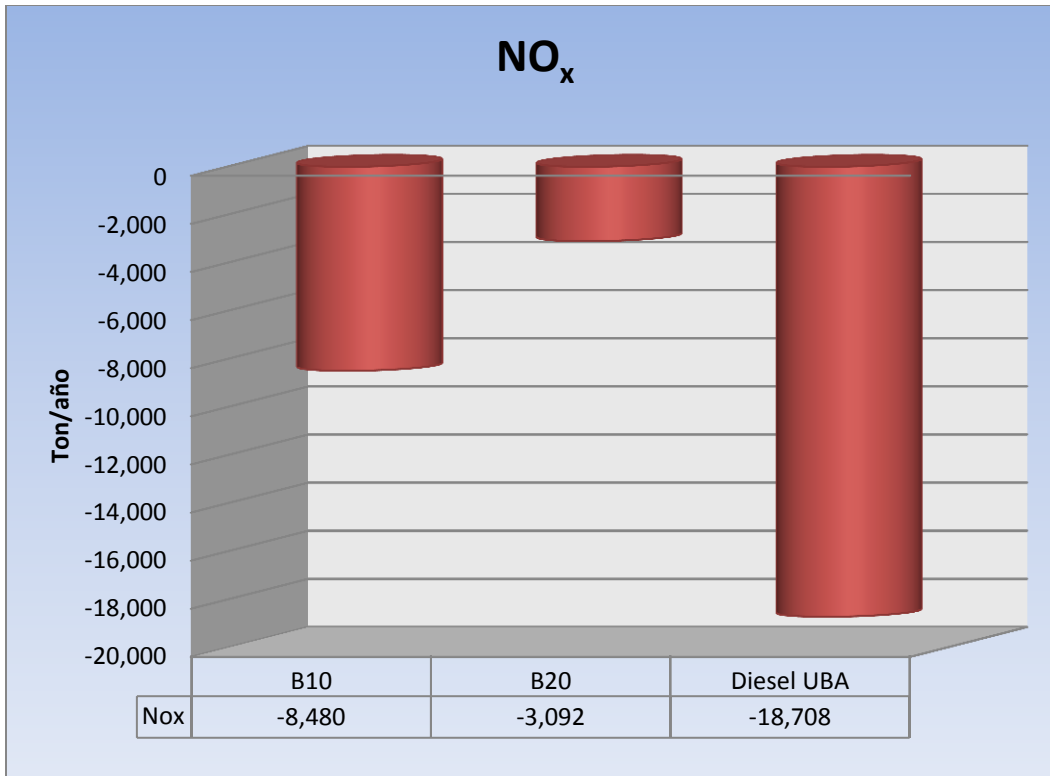
En las graficas 6.1 a 6.5 se observan la reducción de las emisiones anuales, si se implementaran cada uno de los combustibles.



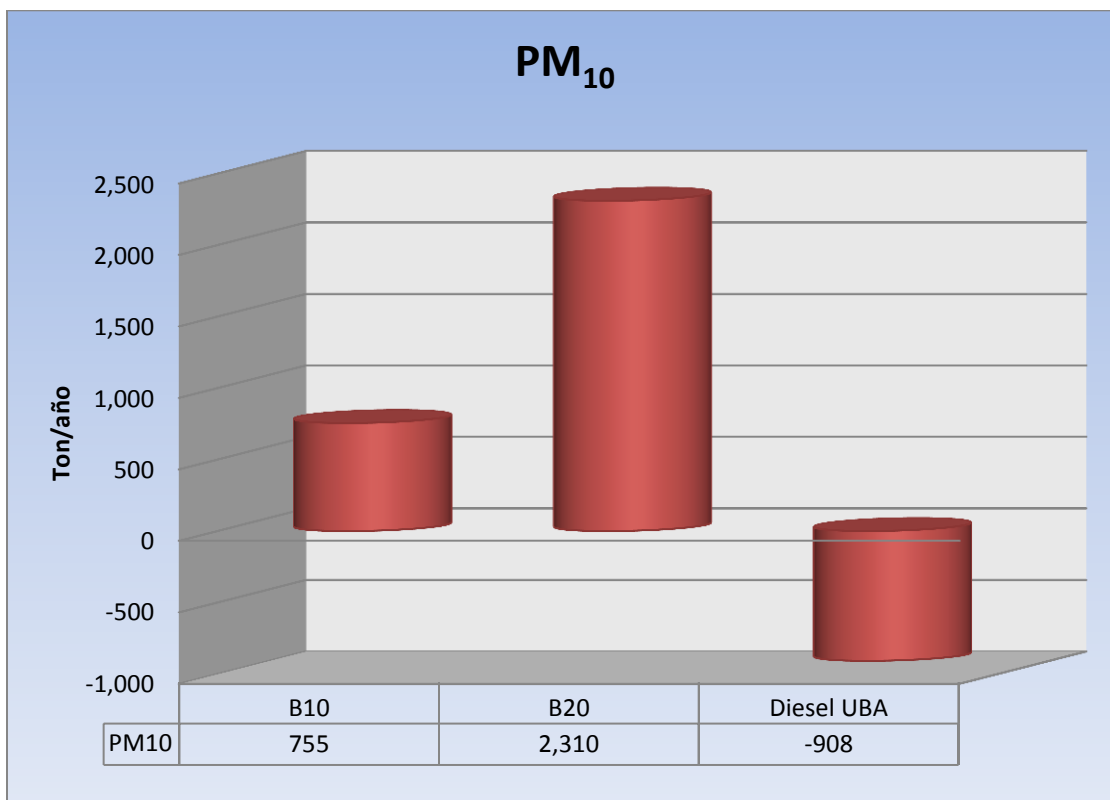
Gráfica 7.1. Reducción de emisiones. CO₂.



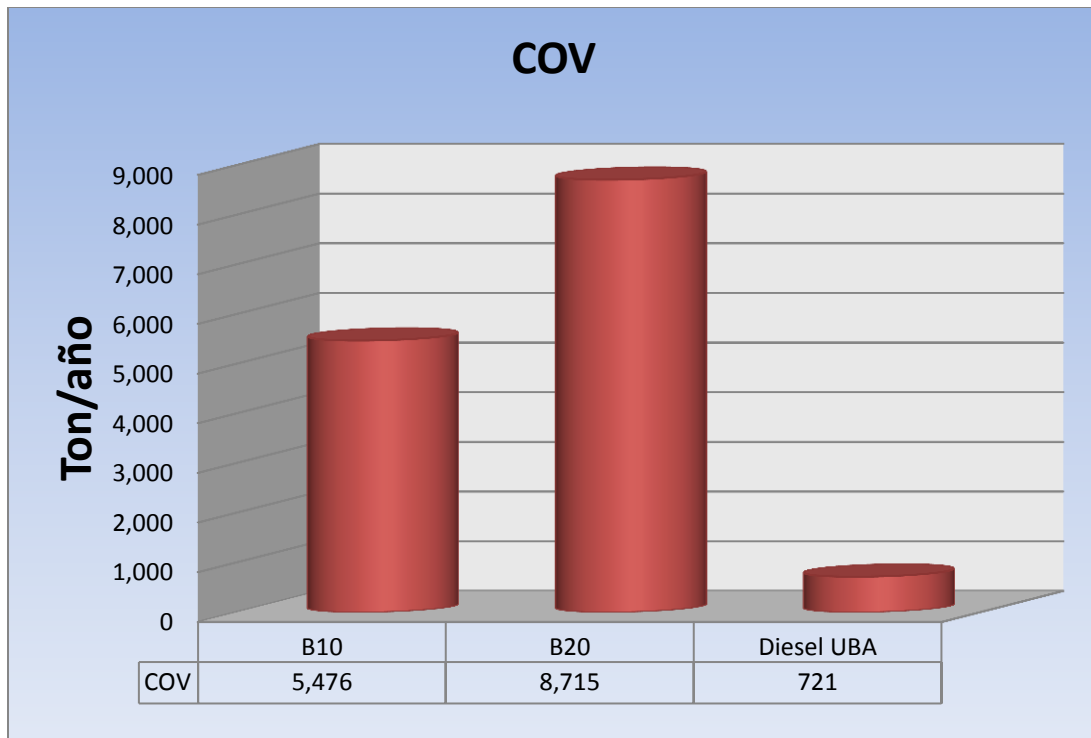
Gráfica 7.2. Reducción de emisiones. CO.



Gráfica 7.3. Reducción de emisiones. NO_x.



Gráfica 7.4. Reducción de emisiones. PM₁₀.



Gráfica 7.5. Reducción de emisiones. COV.

Viendo las gráficas anteriores y las tablas, es evidente que el uso de diesel UBA es la mejor opción, aunque para PEMEX implicaría una inversión para poder reconfigurar las refinerías; son más los beneficios al medio ambiente y a la salud, todo este haría viable la inversión por la producción de un diesel con menor cantidad de azufre. Aunque a este se tendría que agregar un aditivo, por su pérdida de viscosidad, y este podría ser biodiesel.

Como se menciona antes, no se puede generalizar con esta prueba, se requieren hacer pruebas con diferentes motores, marcas, modelos, para poder generalizar estos resultados y obtener factores de reducción más exactos.

En el caso de que se encontraran los mismos resultados estaríamos diciendo que la mejor opción sería utilizar B20 por las emisiones, considerando que actualmente no se tiene la producción necesaria ni para producir B10, tendríamos que optar por iniciar con B10.

Si se quisiera realizar un cambio en el perfil de emisiones se tendría que utilizar diesel UBA, el cual tiene en todas las emisiones una disminución.

8. Bibliografía

- Agency, C. E. (1988). *Proposed Identification of Diesel Exhaust and a Toxic Air Contaminant*. Los Angeles, CA: Prepared by the Staff of the Air Resources Board and the Office of EHHA.
- Ambiente, S. d. (2010). *Inventario de Emisiones Contaminantes Criterio de la ZMVM 2008*. Mexico.
- Ambiente, S. d. (2010). *Inventario de Emisiones de Contaminantes Toxicos 2008*. Mexico.
- Ambiente, S. d. (2010). *Inventario de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero y Carbon Negro 2008*. Mexico D.F.
- BioDiesel. (n.d.). *Emissions BioDiesel*. Retrieved from http://biodiesel.org/pdf_files/fuelfactsheets/emissions.pdf
- CEMDA, C. M. (n.d.). *La Contaminacion del aire en Mexico*. Retrieved Agosto 5, 2010, from Centro Mexicano de Derecho Ambiental CEMDA: http://www.cemda.org.mx/artman2/publish/Actividades_de_esto_programa_75/Derecho_a_un_aire_limpio.php
- Council, N. R. (1982). *Diesel Cars: benefits, Risks and Public Policy*. Diesel Impacts Study Committe. Washington: National Academy Press.
- Diesel, B. (2005). *Environment Safety Bio Diesel*. Retrieved from http://biodiesel.org/pdf_files/fuelfactsheets/Environment_Safety.pdf
- Ecologia, I. N. (2010). *INE*. Retrieved Agosto 4, 2010, from http://cambio_climatico.ine.gob.mx/comprendercc/qsehaceparamitigarelcc/ambitonacional.html
- e-consulta. (2009, Diciembre 17). *El mercado redituable del biodiesel. Invierta en el cambio*. Retrieved Junio 30, 2010, from <http://www.e-consulta.com/blogs/negocios/tag/biodiesel/>
- Etzel RA, B. S. (1999). Handbook of Pediatric Enviroment Health. *American Academy of Pediatrics Committee on Environmental Health*.
- Forever, J. t. (1999). *Haz tu propio Bio-Diesel*. (Journey to Forever) Retrieved Junio 8, 2010, from http://journeytoforever.org/es/biodiesel_fabricar.html
- Health, C. f. (1988). Carcinogenic Effects of Exposure to Diesel Exhaust. *NIOSH Curren Intelligence Bulletin*, N 88-116.
- Industrial, I. N. (2000). *Instituto Nacional de Tecnologia Industria*. Retrieved Julio 3, 2010, from http://www.inti.gov.ar/upt/pdf/Biodiesel_vs_Diesel.pdf

John Sheehan, V. C. (1998). An Overview of Biodiesel and Petroleum Diesel Life Cycles.

Martinez, M. A. (2002). *El diesel*. (PEMEX Refinacion) Retrieved Junio 15, 2010, from <http://www.ref.pemex.com/octanaje/24DIESEL.htm>

Muñoz, C. (2003). BioDiesel BD.

RO., M. (1984). Health effects of Diesel Exhaust: Case study in risk assessment. Am Ind Hyg Assoc.

Sahai, D. (2003, Diciembre). *Gases del escape de Diesel*, <http://www.elcosh.org/es/document/631/d000609/gases-del-escape-de-diesel.html>. Retrieved Agosto 5, 2010, from Biblioteca Electronica de Salud y Seguridad Ocupacional.

Technology, C. A. (2009). Retrieved Abril 2010

Younglove T, G. S. (2004). Designing On-Road Vehicle Test Programs for Effective Vehicle Emission Model Development.

Anexo 1. Normatividad para vehículos a diesel

La normatividad aplicable a los vehículos que usan diesel como combustible, en términos de impacto al medio ambiente, está establecida por la Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT).

- NOM-044-SEMARNAT-1993.
Que establece los niveles máximos permisibles de emisión de hidrocarburos, monóxido de carbono, óxidos de nitrógeno, partículas suspendidas totales y opacidad de humo provenientes del escape de motores nuevos que usan diesel como combustible y que se utilizarán para la propulsión de vehículos automotores con peso bruto vehicular mayor de 3,857 kilogramos.

- NOM-045-SEMARNAT-1996.
Que establece los niveles máximos permisibles de opacidad del humo proveniente del escape de vehículos automotores en circulación que usan diesel ó mezclas que incluyan diesel como combustible.

- NOM-077-SEMARNAT-1995.
Que establece el procedimiento de medición para la verificación de los niveles de emisión de la opacidad del humo proveniente del escape de los vehículos automotores en circulación que usan diesel como combustible.

- PROY-NOM-042-SEMARNAT-2003.
Que establece los límites máximos permisibles de emisión de hidrocarburos no metano, monóxido de carbono, óxidos de nitrógeno y partículas provenientes del escape de los vehículos automotores nuevos cuyo peso bruto vehicular no exceda los 3,857 kilogramos, que usan gasolina, gas licuado de petróleo, gas natural y diesel, así como de las emisiones de hidrocarburos evaporativos provenientes del sistema de combustible de dichos vehículos.