



UNIVERSIDAD DEL AZUAY
FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGIA
ESCUELA DE INGENIERIA MECÁNICA

“Desarrollo de una Emulsión Diesel-Agua para Motores de
Combustión Interna”

Trabajo de graduación previo a la obtención del título de
Ingeniero Mecánico Automotriz

Autores:

Luis Alfredo Salgado Álvarez

Pablo Esteban Rivera Barrera

Director:

Juan Rodrigo Calderón Machuca

Cuenca-Ecuador

2011

Dedicatoria

A mis padres y hermanos que me brindaron su apoyo a lo largo de todo este trayecto fundamental en mi vida, a mis amigos y toda mi familia por su preocupación que siempre me ha inspirado para llegar a la perfecta culminación de este proyecto.

Pablo Esteban Rivera Barrera.

Dedicatoria

A mis padres Luis y Ana, por todo su esfuerzo y dedicación a lo largo de mi vida estudiantil, y a toda mi familia y seres queridos que son mi fuente de inspiración para conseguir cada una de mis metas planteadas.

Luis Alfredo Salgado Álvarez.

Agradecimiento

A Dios por brindarnos salud, sabiduría y conocimiento.

Al Dr. Juan Calderón DIRECTOR, al Ing. Raúl Merchán ASESOR de nuestra tesis, por su valiosa colaboración y aporte de sus conocimientos que ayudaron a la ejecución satisfactoria de este proyecto.

A nuestro distinguido tribunal y a todos los que conforman la escuela de INGENIERIA MECANICA AUTOMOTRIZ por su acogida durante nuestra carrera.

Y a todos y cada una de las personas que de alguna manera nos apoyaron en la culminación de la tesis.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

Dedicatoria	ii
Agradecimiento	iv
Índice de contenidos	v
Índice de figuras	vii
Índice de tablas	x
Resumen	xi
Abstract	xii
Introducción	1

CAPITULO I : FUNDAMENTO CIENTIFICO

1.1. Teoría del control de calidad de los combustibles.....	3
1.2. Teoría del motor de combustión interna.....	12
1.3. Teoría de las emisiones de escape	28
1.4 Emulsión	35

CAPITULO II: DETERMINACIÓN DEL PORCENTAJE DE AGUA

2.1 Antecedentes.....	38
2.2. Características físico-químicas del agente emulsivo	40
2.3. Método de homogenización.....	41
2.4 Pruebas de separación inicial.....	41
2.5 Tiempos de separación al 15%, 3% y 5% de agua	42
2.6 Características físico-químicas de las emulsiones	43
2.7 Conclusiones	44

CAPITULO III: EQUIPOS Y PROCEDIMIENTOS DE MEDICIÓN

3.1. Vehículo de prueba	46
3.2. Analizador de gases	47
3.3. Banco dinamométrico	52
3.4. Obtención de curvas características en base a los diferentes porcentajes de agua en la emulsión.....	62
3.4.1. Curvas características utilizando diesel Premium puro.....	63
3.4.2. Prueba con diesel Premium, 0,5% de aditivo y 1,5% de agua.....	65
3.4.3. Pruebas con diesel Premium, 0,5% de aditivo y 3% de agua	67
3.4.4. Pruebas con diesel Premium, 0,5% de aditivo y 5% de agua	69
3.5. Obtencion de las emisiones de los gases de escape	470
3.6. Conclusiones	471

CAPITULO IV: TABULACIÓN Y ANÁLISIS DE DATOS MEDIDOS DE EMISIONES Y RENDIMIENTOS

4.1. Antecedentes.....	73
4.2. Análisis de las emisiones de los gases de escape.....	73
4.3. Análisis comparativo de las curvas del motor.....	78
4.4. Conclusiones	82

CAPITULO V: ESTUDIO DE COSTOS DE EMULSIÓN

5.1. Variación de consumo	83
5.2. Costo del agente emulsionante.....	86
5.3. Comparación de costos con el diesel comercial	86
5.4. Conclusiones	88

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES GENERALES..... 90

BIBLIOGRAFÍA..... 92

ANEXOS..... 94

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1: Productos derivados de la destilación	11
Figura 1.2: Relación aire-combustible según la potencia de un motor diesel.....	25
Figura 1.3: Combustión de una emulsión diesel-agua.....	36
Figura 1.4: Estabilidad de la emulsión.....	37
Figura 2.1: Envases con los distintos porcentajes de agua en el diesel	41
Figura 3.1: Analizador de gases a bordo	48
Figura 3.2: Sensor de rpm del motor	49
Figura 3.3: Sensor de presión y temperatura de entrada de aire	50
Figura 3.4: GPS de posicionamiento y velocidad.....	50
Figura 3.5: Sonda de presión atmosférica	51
Figura 3.6: Sondas captadoras de los gases de escape.....	51
Figura 3.7: Vehículo montado en banco dinamométrico MAHA LPS 3000	53
Figura 3.8: Freno de corrientes parasitas.....	53
Figura 3.9: Juego de rodillos para vehículos ligeros con 2 frenos de corrientes parásitas.....	54
Figura 3.10: Anclaje del vehículo	56
Figura 3.11: Posicionamiento de aire refrigerante	56
Figura 3.12: Pantalla de software LPS 3000 – Datos del vehículo	58
Figura 3.13: Pantalla de software LPS 3000 Acondicionamiento del núm. rpm...59	59
Figura 3.14: Pantalla de software LPS 3000 – Aceleración vehículo	59
Figura 3.15: Pantalla de software LPS 3000 – Medición de potencia indicada ...60	60
Figura 3.16: Pantalla de software LPS 3000 – Parámetros de simulación	61
Figura 3.17: Pantalla de software LPS 3000 – Velocidad constante	62
Figura 3.18: Potencia y torque 1 con diesel Premium puro.....	63
Figura 3.19: Potencia y torque 2 con diesel Premium puro.....	63
Figura 3.20: Potencia y torque 3 con diesel Premium puro.....	64

Figura 3.21: Potencia y torque 1 con diesel Premium, 0,5% de aditivo y 1,5% de agua	65
Figura 3.22: Potencia y torque 2 con diesel Premium, 0,5% de aditivo y 1,5% de agua	65
Figura 3.23: Potencia y torque 3 con diesel Premium, 0,5% de aditivo y 1,5% de agua	66
Figura 3.24: Potencia y torque 1 con diesel Premium, 0,5% de aditivo y 3% de agua	67
Figura 3.25: Potencia y torque 2 con diesel Premium, 0,5% de aditivo y 3% de agua	67
Figura 3.26: Potencia y torque 3 con diesel Premium, 0,5% de aditivo y 3% de agua	68
Figura 3.27: Potencia y torque 1 con diesel Premium, 0,5% de aditivo y 5% de agua	69
Figura 3.28: Potencia y torque 2 con diesel Premium, 0,5% de aditivo y 5% de agua	69
Figura 3.29: Potencia y torque 3 con diesel Premium, 0,5% de aditivo y 5% de agua	70
Figura 4.1: Gráfico comparativo de NOx con los diferentes porcentajes de agua	74
Figura 4.2: Gráfico comparativo de HC con los diferentes porcentajes de agua	74
Figura 4.3: Gráfico comparativo de CO con los diferentes porcentajes de agua	75
Figura 4.4: Gráfico comparativo de CO2 con los diferentes porcentajes de agua	76
Figura 4.5: Gráfico comparativo de PM con los diferentes porcentajes de agua	77
Figura 4.6: Gráfico comparativo de potencia normal con los diferentes porcentajes de agua	78
Figura 4.7: Gráfico comparativo de potencia del motor con los diferentes porcentajes de agua	79

Figura 4.8: Gráfico comparativo de potencia de ruedas con los diferentes porcentajes de agua.....80

Figura 4.9: Gráfico comparativo de potencia de arrastre con los diferentes porcentajes de agua.....80

Figura 4.10: Gráfico comparativo de torque con los diferentes porcentajes de agua81

Figura 5.1: Adaptación del sistema de alimentación de combustible84

Figura 5.2: Mapa de la ruta recorrida85

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1: Límites de viscosidad para combustibles Diesel	9
Tabla 1.2: Calor liberado en la combustión	22
Tabla 2.1: Características físico-químicas del emulgente	40
Tabla 2.2: Tiempo de separación de la emulsión de acuerdo al porcentaje de emulgente y agua.....	42
Tabla 2.3: Tiempo de separación de las emulsiones al 1,5%, 3% y 5% de agua ..	43
Tabla 2.4: Características físico químicas de las emulsiones	44
Tabla 3.1: Datos técnicos dinamómetro MAHA LPS 3000.....	55
Tabla: 3.2: Torque y potencia media con diesel Premium puro.....	64
Tabla: 3.3: Torque y potencia media con diesel Premium, 0,5% de aditivo y 1,5% de agua.	66
Tabla: 3.4: Torque y potencia media con diesel Premium, 0,5% de aditivo y 3% de agua	68
Tabla: 3.5: Torque y potencia media con diesel Premium, 0,5% de aditivo y 5% de agua	70
Tabla 5.1: Cuadro comparativo de precios	88

Handwritten signature in red ink
13(21)

RESUMEN

"Desarrollo de una Emulsión Diesel-Agua para Motores de Combustión Interna"

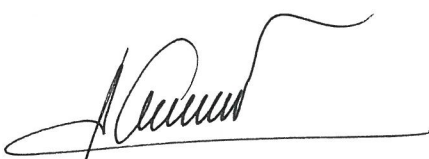
Para determinar las características de potencia, torque y emisiones contaminantes de un motor diesel, se utilizó diesel Premium y diesel emulsificado con agua en porcentajes del 1.5%, 3% y 5%, con el fin de establecer mejoras. Las pruebas fueron realizadas empleando analizadores de gases y un banco dinamométrico de última tecnología.

La cantidad ideal de agua en el diesel es del 3%, utilizando 0.5% de emulsivo, con un aumento de costo de \$0.039 por galón. Obteniendo un aumento de potencia del 10.5% y disminución de los óxidos de nitrógeno del 25%, mejorando así el rendimiento y reduciendo la emisión de residuos contaminantes del motor.

Palabras clave: potencia, torque, emisión, emulsión, contaminantes.


Pablo Esteban Rivera Barros


Luis Alfredo Salgado Álvarez


Juan Rodrigo Calderón Machuca


13/2/11

"Desarrollo de una Emulsión Diesel-Agua para Motores de Combustión Interna"

ABSTRACT

To determine the characteristics of power, torque and contaminant emissions of a diesel engine two different fuels were used: diesel premium and emulsified diesel with water in percentages of 1.5%, 3% y 5%, to achieve an improvement of performance and reduce contamination. Tests were made using gas analyzers and a high technology dynamometer

The ideal amount of water mixed with diesel is 3%, using 0.5% of emulsifier with a higher cost of \$0.039 per gallon. Having an improvement of power of 10.5% and 25% less nitrogen oxides, improving performance and reducing emission of remainder contaminants of the engine.

Key words: power, torque, emission, emulsion, contaminants.



Pablo Esteban Rivera Barrera



Luis Alfredo Salgado Álvarez



Dr. Juan Rodrigo Calderón Machuca



Ing. Leonel Pérez

Rivera Barrera Pablo Esteban

Salgado Álvarez Luis Alfredo

Trabajo de graduación

Calderón Machuca Juan Rodrigo

Diciembre del 2011

DESARROLLO DE UNA EMULSIÓN DIESEL-AGUA PARA MOTORES DE COMBUSTIÓN INTERNA

INTRODUCCIÓN

Los combustibles que se utilizan habitualmente para los motores Diesel contienen, además de los hidrocarburos propios, otros componentes como el azufre que producen un aumento notable en las emisiones. Las combustiones incompletas de los hidrocarburos generan el conocido humo negro que se emite por el escape. Además de esta emisión existen otras que, aunque invisibles, son aún más perjudiciales como por ejemplo el monóxido de carbono o los óxidos de Nitrógeno y dióxidos de azufre. Estos contaminantes podrían disminuirse si se utilizaran combustibles de mejor calidad.

Existen varias formas de mejorar la calidad del combustible diesel y por ende su combustión, una de estas es realizando una micro-emulsión diesel-agua que disminuye la temperatura de la cámara de combustión evitando la formación de productos contaminantes, a su vez que se produce una mayor pulverización y un quemado más completo, disminuyendo residuos contaminantes y aprovechando de mejor manera su poder calórico, mejorando así sus prestaciones de rendimiento tanto en torque y potencia. Para esto es necesario determinar el porcentaje ideal tanto del agua como del agente emulsificador que se coloca en el diesel para obtener los mejores resultados.

Con el desarrollo de este proyecto se pretende poner a disposición de la población un combustible mejorado a base del diesel comercial ecuatoriano, utilizando una emulsión con agua que disminuya la cantidad de contaminantes, para contribuir con el bienestar de las personas y la conservación del ambiente.

CAPÍTULO I

FUNDAMENTO CIENTIFICO

1.1. Teoría del control de calidad de los combustibles

1.1.1. Gravedad API y peso específico¹

La gravedad API, de sus siglas en inglés American Petroleum Institute, es una medida de densidad la cual describe qué tan pesado o liviano es el petróleo comparándolo con el agua. Si los grados API son mayores a 10, es más liviano que el agua, y por lo tanto flotaría en esta. La gravedad API es también usada para comparar densidades de fracciones extraídas del petróleo. Por ejemplo, si una fracción de petróleo flota en otra, significa que es más liviana, y por lo tanto, su gravedad API es mayor. Matemáticamente la gravedad API no tiene unidades. Sin embargo, siempre al número se le coloca la denominación grado API. La gravedad API es medida con un instrumento denominado hidrómetro y existen una gran variedad de estos instrumentos.

La gravedad API es un factor que gobierna la calidad del petróleo crudo y sus productos, esta característica es una propiedad incierta de su calidad a menos que sea correlacionada con otras propiedades. Los valores son medidos a 60 °F (15,6 °C).

¹ www.widman.biz/seleccion/grados_api.html [3 de febrero de 2010]

1.1.1.1. Cálculo de la gravedad API²

La fórmula usada para obtener la gravedad API es la siguiente:

$$\text{Gravedad API} = \frac{141,5}{GE \text{ a } 60^{\circ}F} - 131,5$$

La fórmula usada para obtener la gravedad específica (GE) del líquido derivada de los grados API es la siguiente:

$$GE \text{ a } 60^{\circ}F = \frac{141,5}{\text{Gravedad API} + 131,5}$$

60°F es usado como el valor estándar para la medición y reportes de mediciones.

Generalmente, un mayor valor de gravedad API en un producto de refinería, representa que este tiene un mayor valor comercial. Esto básicamente debido a la facilidad (operacional y económica) de producir destilados valiosos como gasolina, jet fuel y gasóleo con alimentaciones de crudos livianos y a los altos rendimientos de los mismos. Esta regla es válida hasta los 45 grados API, más allá de este valor, las cadenas moleculares son tan cortas que hacen que los productos tengan menor valor comercial.

1.1.2. Densidad específica o relativa³

Fue la primera que se utilizó para catalogar los combustibles líquidos. Estos se comercializan en volumen, por ello, es importante saber la densidad que tienen a temperatura ambiente.

Se define la densidad específica como:

² industria-petrolera.blogspot.com/2009/01/determinador-de-la-gravedad-api-y.html

³ www.textoscientificos.com/energia/combustibles/liquidos. [25 de febrero de 2010].

$$\text{densidad específica o relativa} = \frac{\text{densidad absoluta de un producto (a una temperatura)}}{\text{densidad del agua líquida (a 4°C)}}$$

La escala más comúnmente utilizada es la escala en grados API (a 15°C).

API definió sus densímetros perfectamente, estableciendo sus características y dimensiones en las especificaciones. Las densidades específicas o relativas de los combustibles líquidos varían, pero los más ligeros serán los que tengan menor contenido de átomos de carbono. De este modo, las gasolinas serán las que tengan menor densidad específica, mientras que los fuelóleos serán los de mayor densidad específica. Esto se comprueba con los siguientes datos:

- Gasolinas: 0,60-0,70 gr/cm^3
- Gasóleos: 0,825-0,860 gr/cm^3
- Fuelóleos: 0,92-1 gr/cm^3

Es importante conocer la densidad específica y la temperatura a la que se midió, porque los combustibles líquidos, como ya dijimos, se comercializan midiendo su volumen, el cual va a variar con la temperatura.

1.1.3. Punto de inflamación⁴

El punto de inflamación es la temperatura mínima necesaria para que un material inflamable desprenda vapores que, mezclados con el aire, se inflamen en presencia de una fuente ígnea, para volverse a extinguir rápidamente o no por sí sola, dicho punto es la temperatura leída en el termómetro cuando los vapores que aparecen en la superficie del producto se inflaman al paso de una flama. La verdadera inflamación no debe ser confundida con un halo azulado que a veces rodea la flama de prueba. Este dato indica la temperatura mínima a la que debe estar el combustible para que emita vapores que al contacto de una llama se inflamen. El conocimiento del punto

⁴⁴ Villalta Juan: Motor Diesel; Inyección y Combustión; p 63

de inflamación sirve para prever el peligro de encendido al manipular combustibles.

No debe confundirse el punto de inflamación con el punto de encendido. El primero indica inflamación provocada con auxilio de una llama, y el segundo indica encendido sin ayuda de llama alguna, es decir, solo por contacto con el aire caliente de la cámara de combustión. El punto de inflamación nos da una idea de la cantidad de compuestos volátiles o muy volátiles que puede tener un combustible. Teniendo en cuenta el punto de inflamación podremos estimar cuáles van a ser las condiciones de almacenamiento de ese combustible. Según como vayan a ser las condiciones de almacenamiento, el punto de inflamación se determinará en vaso abierto Cleveland o en vaso cerrado Perski-Maters.

1.1.4. Índice de cetano calculado⁵

El índice de cetano es una indicación de la calidad de ignición del combustible diesel, se puede determinar por comparación con mezclas de cetano bajo condiciones estandarizadas de prueba. Sin embargo, existe un método simplificado para “calcular” el índice de cetano con los datos fáciles de determinar en el laboratorio y que son la densidad y la temperatura de destilación del 50% de la muestra y corregir con estos datos en la tabla respectiva.

Un combustible diesel de mediana calidad debe tener un índice de cetano de 40 y uno de buena calidad superior a 45, 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, al comparar el retardo de la inflamación del combustible con el retardo que necesita una mezcla de cetano (que es una proporción de cetano y alfa metilnaftaleno) se obtiene lo que se llama:

⁵ Villalta Juan: Motor Diesel; Inyección y Combustión; p60-61

índice de cetano o número de cetano de un combustible (que viene a ser la proporción de cetano que combustiona igual, es decir con el mismo avance).

Así pues, el índice de cetano mide la facilidad con que se prepara a quemar un combustible. Cuanto más elevado sea el índice de cetano más disminuye el retardo y por consiguiente, requiere un avance más corto a igualdad de carga, régimen y demás condiciones. Se suelen utilizar aditivos especiales (por ejemplo el nitrato de amilo) que suelen mejorar el combustible elevando el índice, pero esos aditivos que el mercado ofrece son siempre caros y solo pueden tener objeto en competiciones deportivas. Llevan nombres comerciales y no siempre son beneficiosos para el motor. En todo caso, si se emplea aditivo, la puesta a punto del avance debe hacerse de nuevo y no vale ya la guía que da el fabricante, lo que representa un inconveniente.

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), aunque el índice de cetano es una propiedad muy importante, existen otras relevantes que caracterizan la calidad del combustible. Así como el octano mide la calidad de ignición de la gasolina, el índice de cetano mide la calidad de ignición de un diesel. Es una medida de la tendencia del diesel a cascabelear en el motor.

1.1.5. Viscosidad⁶

Teóricamente la viscosidad es una propiedad físico-química de carácter intensivo, que es característica de los fluidos y representa la resistencia entre las capas de un fluido para su libre desplazamiento. Viscosidad se entiende como el grado de consistencia comparado con el agua pura o dificultad de paso por un orificio. Se comprende que la viscosidad es un punto muy importante,

⁶ Villalta Juan: Motor Diesel; Inyección y Combustión; p54

porque el combustible debe inyectarse a través de pequeños orificios. Se mide generalmente en grados Engler (°E) aunque la medida reconocida internacionalmente es el centiStoke (cSt).

Una viscosidad excesiva perjudica mucho el funcionamiento y la vida de la bomba de inyección y del inyector, y modifica la presión de inyección facilitando la descomposición del combustible y la formación de lacas y gomas que empastan y pegan aros y obstruyen orificios. Una viscosidad escasa provoca dificultades en la estanqueidad de los pistones de inyección y en el autoengrase de estas partes del inyector.

Hay que decir que la viscosidad que realmente interesa no es la viscosidad a 20°C, que no es nunca la de trabajo, sino la viscosidad que presenta el combustible a la temperatura a la que trabajan los conductos de impulsión, que suelen ser de 70 a 90°C en los motores rápidos y de 40 a 60°C en los lentos. Esto permite comprender que un combustible algo más espeso se quema bien, si se establece un circuito de circulación continua para mantenerlo a la temperatura adecuada.

La viscosidad se mide generalmente con el viscosímetro de Engler. En este aparato se controla el tiempo que tarda en salir por el agujero una determinada cantidad de combustible, al dividir este tiempo por el que tarda en pasar una misma cantidad de agua, se obtiene un número denominado Grado Engler (°E). Esta medición se acostumbra a hacer a una temperatura de 20°C. Pero cuando el combustible es muy viscoso, se da la viscosidad a 30°, 50°, 80°, etc., porque la viscosidad disminuye cuando la temperatura aumenta. De ello se desprende que el grado de viscosidad de un combustible debe darse junto con la temperatura a la que se efectúa la medición. Mientras más alto sea este número más viscoso es el combustible.

Se deben tener en consideración tres aspectos importantes respecto a la viscosidad de un combustible.

- La viscosidad ha de ser suficientemente baja para que el combustible pueda fluir a la temperatura más fría a la que debe ser almacenado y trasvasado. En caso contrario o en países fríos, deben instalarse dispositivos para calentar los depósitos y tuberías.
- La viscosidad a su vez ha de ser lo suficientemente elevada para que el combustible tenga cualidades lubricantes, a fin de engrasar las piezas de la bomba de inyección, y evitar pérdidas por las toberas y la bomba.
- La viscosidad ha de ser la adecuada para que al ser inyectado en el motor, el combustible se pulverice con rapidez.

Tabla 1.1: Límites de viscosidad para combustibles Diesel				
TIPO DE MOTOR	VELOCIDAD	VISCOSIDAD EN GRADOS ENGLER A 38 ° C		
		Valores medios	Límite inferior	Límite superior
Motores rápidos	>1000rpm	1,33 – 2,87	1,1 – 1,47	1,47 – 7,35
Motores semirapidos	500 – 1000 rpm	1,51 – 2,75	1,1 – 1,65	2,75 – 7,35
Motores lentos	< 500 rpm	1,54 – 3,67	1,1 – 2,02	2,75 – 8,08
Fuente: CEAC Motor Diesel; 2010.				

La fluidez es la inversa de la viscosidad. Por ello la medida de la viscosidad es importante porque nos va a dar una idea de la fluidez del combustible. La viscosidad es muy importante en el caso de los fuel-oils, ya que éstos se clasifican siguiendo criterios de viscosidad a una determinada temperatura.

La unidad de la viscosidad es el Poise: $1gr \cdot (s \cdot cm)^{-1}$

- La viscosidad cinemática se define como:

$$viscocidad \text{ cinemática} = \frac{\text{viscocidad dinámica}}{\text{densidad a la misma temperatura}}$$

- La viscosidad relativa se define como:

$$viscocidad \text{ relativa} = \frac{\text{viscocidad absoluta}}{\text{viscocidad del agua a } 20^{\circ}C}$$

Para medir la viscosidad en combustibles líquidos se emplea un viscosímetro de vidrio. Existen diversas escalas para expresar la viscosidad de un producto petrolífero y existen también ecuaciones de correlación entre ellas. El hecho de que un combustible (o un líquido en general) tenga la viscosidad muy alta quiere decir que es poco fluido.

1.1.6. Corrosión a la lámina de cobre⁷

Este método describe el procedimiento para reconocer la presencia de los compuestos corrosivos de azufre en derivados del petróleo, estas sustancias provocan que los equipos se deterioren con facilidad ocasionando grandes pérdidas económicas; por esta razón se utiliza la lámina de cobre debido a que este elemento es más susceptible de ser corroído por las sustancias derivadas del petróleo. Para el reporte de resultados utilizamos los estándares comparativos ASTM de corrosión de cobre.

1.1.7. Destilación⁸

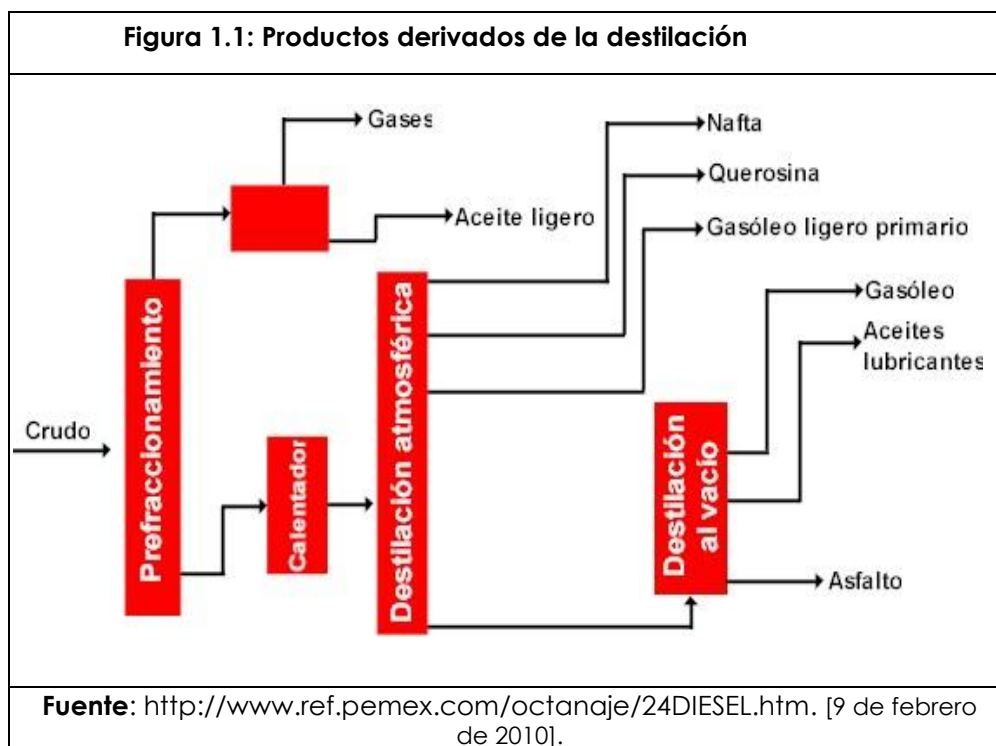
El primer proceso al que se somete el petróleo en la refinería, es la destilación para separarlo en diferentes fracciones. Dentro de las torres de destilación, los líquidos y los vapores se separan en fracciones de acuerdo a su peso molecular y temperatura de ebullición. Las fracciones más ligeras, incluyendo 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

⁷ Mancheno A. Rigoberto; Control de Calidad de Combustibles Líquidos; p 17-19

⁸ www.ref.pemex.com/octanage/24DIESEL.html. [9 de febrero de 2010].

350°C. Esta última contiene moléculas de entre 10 y 20 carbonos, mientras que los componentes de la gasolina tienen 12 carbonos o menos.

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. Anteriormente 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.



1.2. Teoría del motor de combustión interna

1.2.1. Motor diesel⁹

El motor diesel es un motor térmico de combustión interna alternativo en el cual el encendido del combustible se logra por la temperatura elevada que produce la compresión del aire en el interior de los cilindros, según el principio del ciclo del diesel. Fue inventado y patentado por Rudolf Diesel en 1892, del cual deriva su nombre. Fue diseñado inicialmente y presentado en la Feria Internacional de 1900 en París como el primer motor para “biocombustible”, como aceite puro de palma o de coco. Diesel también reivindicó en su patente el uso de polvo de carbón como combustible, aunque no se utiliza por lo abrasivo que es. El motor diesel existe tanto en el ciclo de 4 tiempos (4T - aplicaciones de vehículos terrestres por carretera como automóviles, camiones y autobuses) como de 2 tiempos (2T - grandes motores de tracción ferroviaria y de propulsión naval).

Un motor diesel funciona mediante la ignición (encendido) del combustible al ser inyectado muy pulverizado y con alta presión en una cámara (o precámara, en el caso de inyección indirecta) de combustión que contiene aire a una temperatura superior a la temperatura de autocombustión, sin necesidad de chispa como en los motores de gasolina. Ésta es la llamada autoinflamación.

La temperatura que inicia la combustión procede de la elevación de la presión que se produce en el segundo tiempo del motor, la compresión. El combustible se inyecta en la parte superior de la cámara de combustión a gran presión desde unos orificios muy pequeños que presenta el inyector de forma que se atomiza y se mezcla con el aire a alta temperatura y presión (entre 700 y 900°C). Como resultado, la mezcla se inflama muy rápidamente. Esta

⁹ http://es.wikipedia.org/wiki/Motor_diesel. [12 de febrero de 2010].

combustión ocasiona que el gas contenido en la cámara se expanda, impulsando el pistón hacia abajo.

Esta expansión, al revés de lo que ocurre con el motor de gasolina, se hace a presión constante ya que continúa durante la carrera de trabajo o de expansión. La biela transmite este movimiento al cigüeñal, al que hace girar, transformando el movimiento lineal del pistón en un movimiento de rotación. Para que se produzca la autoinflamación es necesario alcanzar la temperatura de inflamación espontánea del gasóleo. En frío es necesario pre-calentar el gasóleo o emplear combustibles más pesados que los empleados en el motor de gasolina, empleándose la fracción de destilación del petróleo fluctuando entre los 220°C y 350°C, que recibe la denominación de gasóleo o gasoil en Inglés.

La principal ventaja de los motores diesel, comparados con los motores a gasolina, es su bajo consumo de combustible. Debido a la constante ganancia de mercado de los motores diesel en el turismo desde la década de 1990 (en muchos países europeos ya supera la mitad), el precio del combustible ha superado a la gasolina debido al aumento de la demanda. Este hecho ha generado quejas de los consumidores de gasóleo, como es el caso de transportistas, agricultores, y pescadores.

En automoción, las desventajas iniciales de estos motores (principalmente precio, costos de mantenimiento y prestaciones) se están reduciendo debido a mejoras como la inyección electrónica y el turbocompresor. No obstante, la adopción de la precámara para los motores de automoción, con la que se consiguen prestaciones semejantes a las de los motores de gasolina, presenta el inconveniente de incrementar el consumo, con lo que la principal ventaja de estos motores prácticamente desaparece.

Actualmente se está utilizando el sistema common-rail en los vehículos automotores pequeños. Este sistema brinda una gran ventaja, ya que se consigue un menor consumo de combustible, mejores prestaciones del motor,

menor ruido (característico de los motores diesel) y una menor emisión de gases contaminantes.

1.2.2. Parametros generales

1.2.2.1. Tipos de pruebas estáticas¹⁰

Las pruebas estáticas comunes en motores de combustión interna pueden dividirse en dos tipos:

- Características de velocidad.
- Características de carga.

Cada uno de estos tipos de pruebas puede subdividirse, pero en todas se busca obtener parámetros relevantes del motor, o cuantificar la variación de algunos de ellos con respecto a otros. Entre estos parámetros se encuentran: velocidad, potencia al freno, torque o carga, consumo horario de combustible, consumo específico de combustible, consumo horario de aire, consumo específico de aire, apertura del acelerador, etc.

Las pruebas características de velocidad se realizan a una apertura constante (posición fija) del acelerador, de modo que, cuando el acelerador este totalmente abierto se llama característica externa de velocidad, de lo contrario se llama característica parcial de velocidad. Las pruebas características de carga se realizan a velocidad constante (RPM fijas), puede ser cualquier condición de velocidad dependiendo del requerimiento, pero en ocasiones para realizar la prueba, se escogen las velocidades donde se presente máximo torque o máxima potencia (de la curva característica externa de velocidad).

¹⁰ www.authorstream.com/Presentation/aSGuest83374-793141-motores-de-combusti-n-interna/.
[12 de febrero de 2010]

En resumen se pueden realizar mínimo cuatro pruebas y establecer la variación de las características del motor en uno u otro tipo de prueba. La obtención de los factores de funcionamiento del motor en las pruebas anteriores sirven para efectos de la titulación del motor.

1.2.2.2. Medición del torque¹¹

La medición del torque es un mecanismo práctico de gran importancia para establecer la capacidad de una máquina para producir trabajo, el torque es el resultado de multiplicar la fuerza por la distancia de la palanca, su valor constituye un factor básico en la determinación experimental de la potencia. Para el efecto, se utilizan generalmente un freno o dinamómetro.

1.2.2.3. Cálculo de la potencia al freno¹²

La potencia disponible en el eje de una máquina se conoce como la potencia al freno y la designaremos como N_e .

$$N_e = \frac{\text{Trabajo}}{\text{Tiempo}} \quad N_e = \frac{F \cdot d}{t} \text{ kw} \quad N_e = W \cdot (2 \cdot \pi \cdot R \cdot n) \cdot \text{kw}$$

El freno utilizado para medir el torque y la potencia es un dinamómetro eléctrico. Este dinamómetro utiliza una báscula para medir la fuerza que está operando sobre su armadura. La línea de acción de la báscula actúa a una distancia determinada del eje del dinamómetro, es decir que éste es el radio del torque. Antes de calcular la potencia al freno se calculará el torque generado según:

$$T = F \cdot R$$

¹¹ www.virtual.unal.edu.co/cursos/ingenieria/2001766/Temas/General/02_MedTorque.htm

¹² www.virtual.unal.edu.co/cursos/ingenieria/2001766/Temas/General/03_PotFreno.htm [12 de febrero de 2010]

Siendo:

- F =Fuerza neta que actúa

$$F = W - L(kg)$$

Entonces :

$$T = 9,8 \cdot (W - L) \cdot R(N \cdot m)$$

- R =Radio del torque en m
- W =Peso que se coloca sobre el platillo
- L =Lectura que se hace en la báscula (kg)
- F =Fuerza neta que actúa sobre la armadura

Debe tenerse en cuenta lo siguiente:

Es de suma importancia revisar el ajuste correcto de la báscula, de ser necesario se debe mover la aguja a su posición correcta. Al efectuar la lectura en la báscula, la aguja indicadora de la armadura debe estar coincidiendo con la marca horizontal de la armadura.

La potencia al freno se calcula como sigue:

$$Ne = \frac{F \cdot n}{3245} \cdot kw \qquad Ne = \frac{(W - L) \cdot n}{3245} \cdot kw$$

- Potencia $Ne = \frac{Trabajo}{tiempo}$
- Para una revolución el trabajo es : $2 \cdot (\pi) \cdot RF$
- Para n revoluciones por minuto : $2 \cdot (\pi) \cdot RF \cdot n$

1.2.2.4. Potencia indicada¹³

La potencia desarrollada dentro del cilindro del motor por la expansión de los gases de la combustión se conoce como potencia indicada y la designamos como N_i . Parte de esta potencia es necesaria para vencer la fricción de las partes móviles de la máquina (pérdidas mecánicas), mover los elementos y accesorios, cargar el aire fresco dentro del cilindro en la carrera de admisión y expulsar los gases residuales en la carrera de escape (trabajo de bombeo) . Por lo tanto la potencia disponible en el eje N_e es inferior a la potencia desarrollada dentro del cilindro N_i . Siendo N_f la potencia de fricción. N_i será igual a:

$$N_i = N_e + N_f$$

La potencia de fricción N_f es la suma de las pérdidas mecánicas y el trabajo de bombeo. Esta potencia varía según las condiciones de operación del motor y es difícil de estimar experimentalmente con exactitud. Un método aproximado consiste en acoplar el motor a un dinamómetro eléctrico y considerar que N_f es la potencia requerida para impulsar el motor apagado. Dentro de una serie de condiciones específicas (Velocidad, Temperatura de aceite y Agua, Grado de Apertura del Acelerador, etc.).

1.2.2.5. Rendimiento mecánico¹⁴

Considerando N_f y N_e para diferentes velocidades se puede determinar N_i por el rendimiento mecánico η_m que está definido por el factor:

$$\eta_m = \frac{N_e}{N_i} \qquad \eta_m = \frac{(N_i - N_f)}{N_i} \qquad \eta_m = \frac{N_i}{N_e + N_f}$$

¹³ www.virtual.unal.edu.co/cursos/ingenieria/2001766/Temas/General/04_PotIndicada.htm

¹⁴ www.virtual.unal.edu.co/cursos/ingenieria/2001766/Temas/General/05_RendyPress.htm [12 de febrero de 2010]

1.2.2.6. Presión media efectiva¹⁵

Puede determinarse dos clases de Presiones Medias:

- Presión Media Efectiva al Freno
- Presión Media Indicada

$$Ne = \frac{\text{Trabajo}}{\text{tiempo}}$$

$$Ne = \frac{Pme \cdot A \cdot L}{t}$$

$$Ne(cil) = \frac{Ne(total)}{z}$$

$$Pme = \frac{Ne \cdot K}{z \cdot A \cdot L}$$

$$Ne = \frac{F \cdot n}{3245} \cdot kw$$

$$Ne = \frac{(W - L) \cdot n}{3245} \cdot kw$$

$$Pme = \frac{F \cdot n}{3425} \cdot \left(\frac{K}{z \cdot A \cdot L} \right) \cdot kPa$$

Donde:

- Pme = Presión media efectiva por cilindro
- A = Área del pistón en m^2
- L = Carrera del pistón en m
- z = Número de cilindros
- $Ne(total)$ = Potencia del motor
- n = rpm
- F = Fuerza neta (kg)
- K = Constante
 - a Para motor de dos tiempos
 - b Para motor de cuatro tiempos

¹⁵ www.virtual.unal.edu.co/cursos/ingenieria/2001766/Temas/General/05_RendyPress.htm [13 de febrero de 2010]

1.2.2.7. Factor de consumo de aire para corrección de la potencia¹⁶

Para un mismo motor el valor experimental de la potencia, es diferente para diferentes condiciones ambientales locales (del lugar donde se efectúa la prueba), por ello el fabricante indica sus características a las condiciones ambientales "standard" o nominales establecidas por la S.A.E. Society of Automotive Engineers y mostradas a continuación:

- Temperatura del aire seco : 15,6°C (60°F)
- Presión atmosférica : 760 mmHg (29,92 pulHg)

Para que la potencia experimental obtenida a condiciones locales, pueda ser proyectada a otras condiciones atmosféricas diferentes, o pueda ser comparada con datos de potencia especificados por el fabricante (bajo condiciones "standard"), se debe efectuar la debida corrección, multiplicando la potencia experimental obtenida en el motor a las condiciones locales, por el coeficiente Cf. A pesar que el uso de este factor Cf no es aceptado por norma, se constituye en una buena aproximación, y por ello que se indica en la siguiente ecuación.

$$Cf = \frac{760}{Pa} \cdot \sqrt{\frac{Ta}{288.6}}$$

Donde:

Pa = Presión barométrica local en mmHg

Ta = Temperatura absoluta local del aire seco (°K)

¹⁶ www.virtual.unal.edu.co/cursos/ingenieria/2001766/Temas/General/06_FactoryConsumo.htm
[13 de febrero de 2010]

1.2.2.8. Consumo de combustible B,b¹⁷

B : Consumo horario de combustible en masa por unidad de tiempo.

b : Consumo específico másico horario de combustible en masa por potencia-tiempo.

El consumo específico de combustible b es un parámetro de primer orden que muestra la capacidad de la máquina para convertir una cantidad determinada de combustible en trabajo. En las especificaciones nominales del motor, este parámetro es preferido a la eficiencia térmica por estar dado en unidades "estándar".

El método aceptado para medir la cantidad de combustible usado por un motor es el de pesar el combustible consumido en un intervalo de tiempo, obteniéndose el consumo medio de combustible durante el periodo de prueba. Por medio de este método se consiguen valores muy aproximados, pero su implementación es bastante compleja; por lo cual se prefiere una práctica más simple pero no aceptada formalmente, la cual consiste en la medición del volumen de combustible en un intervalo de tiempo determinado y convertir el volumen a masa o peso, utilizando la densidad o el peso específico.

Bajo el procedimiento semiautomático, se admite manualmente combustible en un banco de buretas; el nivel baja al fluir el combustible al motor, al encontrarse el nivel con un diodo fotosensible éste activa un reloj; posteriormente al seguir bajando el nivel, llega hasta el punto inferior donde hay otro diodo fotosensible que detiene la marcha del reloj. Esta operación puede realizarse de modo manual utilizando un cronometro y verificando visualmente los pasos del nivel.

¹⁷ www.virtual.unal.edu.co/cursos/ingenieria/2001766/Temas/General/06_FactoryConsumo.htm
[17 de febrero de 2010]

Los consumos de combustible vienen dados por las fórmulas:

$$b = \frac{B}{Ne} \cdot \left(\frac{kg}{kw \cdot h} \right) \quad B = \frac{3.6 \cdot \delta \cdot V}{t} \cdot \left(\frac{kg}{h} \right)$$

Donde:

- δ = Densidad del combustible en gr/cm^3
- V = Volumen consumido medido en la bureta en cm^3
- t = Tiempo gastado en consumir el combustible de la bureta en segundos

1.2.2.9. Rendimiento térmico¹⁸

A este rendimiento térmico también se le podrá llamar rendimiento indicado. El trabajo máximo de una cantidad determinada de combustible puede obtenerse a partir de la fórmula de CODY STODOLA que corresponde con diferencias despreciables al "Poder Calorífico " o "Efecto Térmico" que se define como la cantidad de calor que se libera cuando se enfrían los productos de la combustión hasta la temperatura inicial.

Solamente puede alcanzarse el aprovechamiento máximo de combustible cuando el proceso de la combustión se realiza de manera reversible. No debe existir proceso irreversible como estrangulación, rozamiento o transmisión de calor a las paredes. Además el Fluido que realiza trabajo debe llevarse desde la presión y temperatura del medio ambiente hasta las condiciones de combustión , en procesos reversibles. En realidad ,en toda máquina de combustión interna existe una pérdida muy grande ligada al proceso de combustión que en la práctica se realiza irreversiblemente.

¹⁸ www.virtual.unal.edu.co/cursos/ingenieria/2001766/Temas/General/07_RendTerm.htm [17 de febrero de 2010]

El rendimiento térmico definido termodinámicamente es la relación entre el trabajo desarrollado por el ciclo y el calor suministrado al mismo, es en realidad el que indica el grado de irreversibilidad con que la máquina eléctrica realiza el proceso de combustión . En el mejor de los casos esta eficiencia alcanza el 40% ; de acá , su influencia en el rendimiento total del motor.

$$\eta_t = \frac{\text{trabajodesarrolladoenelcilindro}}{\text{calorsuministrado}}$$

Si el trabajo indicado W_i (desarrollado en el cilindro) lo tomamos por unidad de tiempo lo mismo que el calor suministrado y aplicando el factor de conversión de trabajo en calor tendremos:

$$\eta_t = \frac{N_i}{H} \quad H = \frac{H_i \cdot B}{3600} \cdot kw$$

Donde:

- H_i = Poder calorífico del combustible (kJ/kg)
- H = Calor suministrado por el combustible en kw
- N_i = Potencia indicada en kw
- N_e = Potencia efectiva al freno en kw
- B = Consumo horario de combustible en kg/h
- N_f = Potencia de fricción en kw

Tabla 1.2: Calor liberado en la combustión	
CO₂	33820 kJ / kg
CO	101188 kJ / kg
O₂	0 kJ / kg
H₂	123045 kJ / kg
SO₂	9420 kJ / kg
Fuente: AWT Tratamiento de aguas. 2008.	

1.2.2.10. Poder calorífico de combustibles (Hi)¹⁹

El poder calorífico de un combustible puede darse con bastante exactitud por las siguientes fórmulas:

Para combustibles livianos como la gasolina :

$$Hi = 4.186 \cdot \left(6600 + \frac{3000}{\rho} \right) \quad \rho = \frac{gm}{cm^3} \cdot kw$$

Para combustibles pesados como el fuel oil:

$$Hi = 2.3237 \cdot \left(19600 + 1360 \cdot \rho - 3780 \cdot \rho^2 \right) \cdot \left(\frac{kJ}{kg} \right)$$

Con aproximación puede usarse la siguiente formula que relaciona el poder calorífico inferior y superior:

$$Hi = Hs - 600 \cdot 2.3237 \cdot W \quad Hi = Hs - 1394 \cdot W \cdot \left(\frac{kJ}{kg} \right)$$

Donde:

- W = % de agua.

1.2.2.11. Rendimiento total o efectivo²⁰

Se define como la relación entre la energía liberada por la combustión del combustible y la potencia obtenida en el eje. Es el parámetro que muestra la capacidad de la máquina para convertir la energía química del combustible en trabajo útil disponible en el eje.

¹⁹ www.virtual.unal.edu.co/cursos/ingenieria/2001766/Temas/General/08_PoderyRend.htm

²⁰ www.virtual.unal.edu.co/cursos/ingenieria/2001766/Temas/General/08_PoderyRend.htm [22 de febrero 2010]

$$\eta_{tt} = \frac{Ne}{Hi}$$

1.2.2.12. Relación aire-combustible (A/C)²¹

Al analizar el rendimiento de un motor de combustión interna es de gran importancia determinar las cantidades relativas de aire y combustible presentes en la mezcla suministrada. La relación puede obtenerse con gran precisión mediante el análisis químico de los gases de escape. Sin embargo también puede determinarse efectuando las mediciones por separado del aire y del combustible suministrado al motor en un tiempo determinado.

$$\frac{A}{G} = \frac{{}^oG}{B}$$

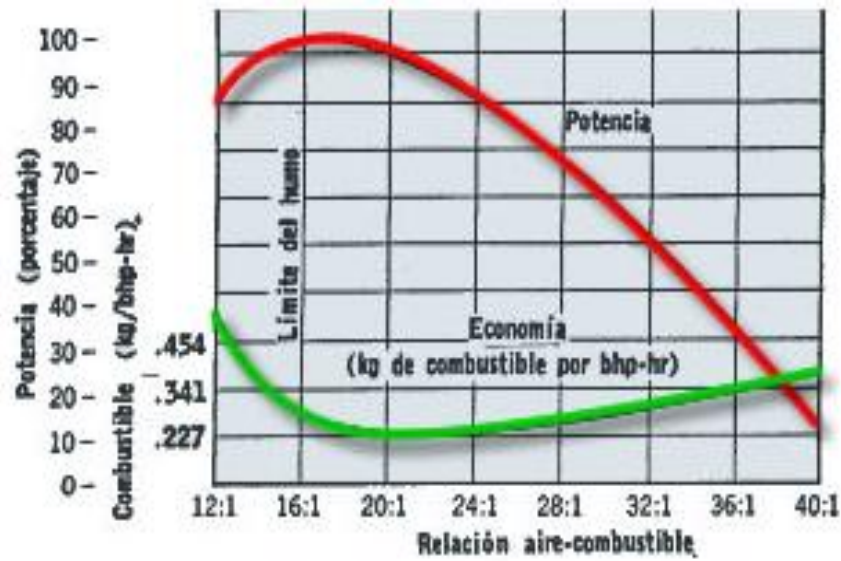
Donde:

- oG = consumo real de aire kg/h
- B = consumo horario de combustible kg/h

Se ha encontrado experimentalmente que es necesaria una relación definida para obtener la máxima potencia y otra relación diferente para máxima economía. La máxima economía del motor se obtiene cuando la liberación sea máxima. Esta condición se logra cuando el combustible se quema completamente. Las características de un motor Diesel se especifican en la gráfica 1.2.

²¹ www.virtual.unal.edu.co/cursos/ingenieria/2001766/Temas/General/09_RelacionAC.htm [22 de febrero de 2010]

Figura 1.2: Relación aire-combustible según la potencia de un motor diesel



Fuente: http://www.virtual.unal.edu.co/cursos/ingenieria/2001766/Temas/General/09_RelacionAC.htm. [18 de febrero de 2010]

1.2.2.13. Medición del consumo de aire °G²²

Para efecto de los cálculos, se considera el aire a la entrada del orificio en condiciones atmosféricas. Para medir la diferencia de la presión a la entrada y salida del orificio se ha conectado un manómetro en U que se llena con alcohol cuya gravedad específica es 0,784.

CÁLCULO

Utilizando una de las siguientes fórmulas:

$$V = \mu \cdot A_v \cdot V_2 = \alpha \cdot A_v \sqrt{\frac{2g}{\gamma} \cdot (P_1 - P_2)} \cdot \left(\frac{m^3}{seg} \right)$$

²² www.virtual.unal.edu.co/cursos/ingenieria/2001766/Temas/General/10_MedConsumoAire.htm
[25 de febrero de 2010]

Donde:

- $\rho = Pa/R \cdot T$ en $\frac{kg}{m^3}$ R: 287 J/kg°K
- T: Temperatura en °K
- Pa = Presión atmosférica en Pa = 133.32 * h mg [Pa]

$$^{\circ}G = \alpha \cdot A_o \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot \gamma \cdot (P1 - P2)} \left(\frac{kg}{seg} \right)$$

$$^{\circ}G = \alpha \cdot A_o \cdot \epsilon \cdot \sqrt{\rho \cdot (P1 - P2)} \left(\frac{kg}{seg} \right)$$

La primera ecuación para P pequeños y la otra para todos los casos.

Donde:

- $^{\circ}V$ = volumen de aire por unidad de tiempo
- $^{\circ}G$ = peso de aire por unidad de tiempo
- $\alpha = f(m, Re)$

Este valor se encuentra de la gráfica 1.2 según el valor del coeficiente “m” que depende del orificio que se está utilizando.

- A_o = Área del orificio o boquerel en m^2
- d = Diámetro del orificio utilizado
- g = Aceleración de la gravedad 9,81 m/s²
- ρ = Densidad del aire en kg/m³
- P = Presión atmosférica en Pa
- R = Constante del aire 287 J/(kg °K)
- T = Temperatura absoluta de aire (°K)
- $P1$ = Presión antes del orificio
- $P2$ = Presión a la salida del orificio
- $P1 - P2$ = P lectura del manómetro en mm de alcohol

- SA = gravedad específica del alcohol 0,784 (a 18°C)
- H = diferencia de alturas en el manómetro de alcohol en mm

1.2.2.14. Cálculo de peso teórico de aire aspirado $\dot{G}_t$

El flujo teórico de aire que el motor puede aspirar se obtiene en unidades de desplazamiento por revoluciones del motor.

$$\dot{G}_t = \frac{\pi \cdot D^2 \cdot L \cdot n \cdot \rho}{240 \cdot k}$$

Donde:

- D = diámetro del cilindro en metros
- L = carrera del pistón en metros
- n = (rpm) Revoluciones del cigüeñal por metro
- k = 1 motor de dos tiempos
- k = 2 motor de cuatro tiempos
- ρ = Densidad del aire

1.2.2.15. Rendimiento volumétrico

Se define como la relación entre el volumen real de la carga de aire fresco tomado durante la carrera de admisión y el volumen teórico del desplazamiento total del pistón.

$$\eta_v = \frac{\text{masa o peso real del aire aspirado}}{\text{masa o peso teórico de aire}} = \frac{{}^\circ G}{{}^\circ G_t} = \frac{kg/h}{kg/h}$$

1.3. Teoría de las emisiones de escape

Un motor diesel está construido de forma tal que el combustible se enciende mediante una combustión espontánea debido al calor generado por la compresión del aire de admisión. Para lograr esta combustión "espontánea" es necesario atomizar el combustible (incrementando así el área de la superficie del combustible que recibe el calor). En otras palabras, es necesario una buena mezcla y atomización.²³

La mezcla que se quema en el motor es principalmente formada por aire (oxígeno y nitrógeno) y combustible (carbono e hidrógeno) se transforma, por efecto de esta última, cuando la combustión es completa, en vapor de agua, bióxido de carbono y nitrógeno, ninguno de los cuales es nocivo; pero como consecuencia de las combustiones incompletas, en los gases de escape emitidos al exterior por un motor, se encuentran además de los citados, pequeñas porciones de otros productos (aproximadamente el 1%), como el monóxido de carbono CO, los óxidos de nitrógeno NOx, hidrocarburos HC y partículas sólidas, los cuales, por resultar perjudiciales para la salud, cuando se encuentran en concentraciones elevadas, son considerados contaminantes y deben ser reducidos o transformados en otros productos.

Depende de varios factores el contenido de productos contaminantes de los gases de escape de entre los cuales, el más importante es el proceso de combustión. Si el combustible se quema totalmente en cualquiera de las condiciones de funcionamiento del motor, el contenido de contaminantes es mínimo. Tanto las mezclas ricas como las pobres hacen que el combustible no se queme totalmente, saliendo por el escape gran cantidad de productos contaminantes. La temperatura a la que se realiza la combustión, la presión, la homogeneidad de la mezcla, la turbulencia y la forma de la cámara de combustión, son factores que influyen notablemente en la calidad del proceso de combustión y, por consiguiente, en la emisión de contaminantes.

²³ [Http://automecatroni.blogspot.com/2011/02/emision-de-gases.htm](http://automecatroni.blogspot.com/2011/02/emision-de-gases.htm) [6 de marzo de 2010]

La contaminación que producida por los automóviles y creada por el quemado o evaporación del combustible de los mismos, gasolina o combustible diesel, puede dividirse en tres sustancias principales: CO, NO, HC y SO₂. Estos gases son desagradables para respirar y en muchos casos son dañinos o aún peligrosos para los seres humanos, animales o plantas.

1.3.1 Monóxido de carbono (CO)²⁴

El monóxido de carbono es un gas incoloro, inodoro e insípido, que se forma en deficiencia de oxígeno. Tiene mayor afinidad que el oxígeno para combinarse con la sangre, reduciendo la cantidad de oxígeno en la misma. Se incrementa su contenido en el escape durante el ralentí, por ello se prohíbe tal régimen de funcionamiento en locales cerrados. Puede producir: síntomas de cansancio, dolor de cabeza, alteración de la coordinación de los movimientos, reducción de la percepción visual y disminución de la capacidad para aprender. Los valores medidos de CO se indican en porcentaje sobre el volumen total de gases emitidos. Como norma general se pueden considerar valores de CO:

- Entre 2,5 y 0,5 % para motores alimentados por carburador
- Entre 1,5 y 0,5 % para motores alimentados por inyección
- Entre 0,3 y 0,1 % para motores provistos de catalizador

El monóxido de carbono CO, es resultado de una combustión incompleta por exceso de riqueza de la mezcla en la que el carbono no encuentra suficiente cantidad de oxígeno para formar el bióxido de carbono CO₂. Su proporción en los gases de escape aumenta considerablemente con las mezclas ricas. El efecto nefasto que presenta el monóxido de carbono es debido a que se combina fácilmente con los glóbulos rojos de la sangre (hemoglobina), sustituyendo al oxígeno, lo que produce daños irreparables en los seres humanos. Una concentración de sólo un 0,3% en volumen de CO en el aire que

²⁴ Villalta Juan: Motor Diesel; Inyección y Combustión; p 49-50

respiramos puede producir la muerte en aproximadamente 30 minutos. Sin embargo, vertido al aire libre se difunde rápidamente, y en contacto con el oxígeno forma bióxido de carbono CO_2 que no es nocivo.

La conversión de monóxido en bióxido de carbono se logra simplemente con la mejora del proceso de la combustión. En los motores Diesel, debido a que funcionan con exceso de aire, las emisiones de CO son prácticamente despreciables. El monóxido de carbono se forma al quemar carbono o sustancias compuestas de carbono con una cantidad insuficiente de aire. Incluso cuando dicha cantidad de aire es en teoría suficiente, la reacción no siempre se completa, pues los gases de combustión contienen una parte de oxígeno libre y una parte de monóxido de carbono.

Una reacción incompleta suele darse cuando ésta tiene lugar de una manera rápida, como en los motores de los automóviles, lo que provoca en los gases del escape la presencia de cantidades nocivas de monóxido de carbono que pueden alcanzar un alto porcentaje. Este problema se elimina con la ayuda de dispositivos anticontaminantes que reducen el monóxido de carbono a niveles inferiores al 1%. Una cantidad de 1/100 000 de monóxido de carbono en el aire puede llegar a provocar síntomas de envenenamiento; y una cantidad tan pequeña como 1/500 puede ser fatal en menos de 30 minutos. El monóxido de carbono es el principal componente del aire contaminado en las áreas urbanas.

1.3.2 Monóxido de nitrógeno (NO)

El monóxido de nitrógeno es un gas incoloro, inodoro e insípido, que expuesto al aire se transforma en NO_2 , gas pardo rojizo de olor penetrante y muy venenoso. Generalmente se determinan juntos y se les denominan óxidos de nitrógeno (NO_x). Pueden provocar: irritación de las mucosas de los ojos y de las vías respiratorias, dolor de cabeza, náuseas, disnea y la exposición a altas

concentraciones pueden provocar edemas pulmonares. Además inhibe el crecimiento de las plantas y causa caída de sus hojas. Las emisiones de NOx son también un serio asunto medio ambiental, por su participación en la formación del smog.

Normalmente el nitrógeno es un gas inerte, es decir, no se combina con otros gases para formar compuestos; pero en condiciones de altas temperaturas, como las que se desarrollan en la combustión, algunas partículas de nitrógeno pueden combinarse con el oxígeno, formando óxidos y dióxidos de nitrógeno (NO y NO₂), denominados genéricamente NOx, donde la x representa el contenido de oxígeno (número de átomos), que puede ser variable. Cuanta mayor temperatura y presión exista en la cámara de combustión, más NOx se produce en el motor. Por tanto, la cantidad de óxidos de nitrógeno aumenta con el régimen y la carga del motor.

1.3.3 Hidrocarburos (HC)

También llamados “inquemados” son moléculas de combustible inicial e hidrocarburos parcialmente oxidados (sin quemar). La existencia de estos gases puede atribuirse a dos causas:

- Falta de oxígeno durante la combustión (mezcla rica).
- Velocidad de inflamación muy baja (mezcla pobre).

En el proceso de combustión se producen una serie de reacciones químicas, muy complejas y diversas, que dan lugar a la formación de gran variedad de compuestos orgánicos, como cetonas, ácidos carbónicos, acetileno, etileno, etc.

Los hidrocarburos generalmente tienen un olor penetrante fácilmente identificable y en presencia de óxidos de nitrógeno y de la luz solar forman

productos de oxidación que irritan los ojos y las mucosas. Algunos son cancerígenos. Se producen por mezclas muy ricas, originadas por mala regulación o estado técnico de los sistemas de alimentación y encendido, y por combustión de aceite.²⁵

La cantidad de HC en los gases de escape depende de varios factores relacionados con el proceso de la combustión. La temperatura alta, por ejemplo, da un bajo contenido de este gas. Los HC los genera principalmente el combustible que se adhiere a las paredes de la cámara de combustión y no se llega a quemar totalmente. La mezcla de aire y combustible, que se encuentra en las proximidades de las paredes de la culata y el pistón, pierde calor con gran facilidad, con lo que no llega a alcanzar la temperatura de inflamación apagándose la llama. Tanto cuando la mezcla se enriquece, como cuando se empobrece, el nivel de hidrocarburos aumenta debido a que el proceso de combustión no se realiza de forma correcta. El mínimo de emisiones de este gas se da con mezclas ligeramente pobres.

La medición de los hidrocarburos se realiza en partes por millón (ppm). Aunque estos valores se incrementan según el uso del vehículo y el desgaste de sus piezas, se pueden considerar valores estimados los siguientes:

- Hasta 300 ppm para motores alimentados por carburador.
- Entre 50 y 150 ppm para motores alimentados por inyección.
- Menos de 50 ppm para motores provistos de catalizador.
- Las emisiones de HC contribuyen a la formación de niebla fotoquímica (smog), la cual es el resultado de diversas reacciones en la atmósfera que comienzan debido a la radiación ultravioleta del sol. Estas reacciones producen sustancias que reducen la visibilidad, irritan los ojos y dañan la vegetación.

²⁵ www3.espe.ec:8700/bistream/21000/2883/1/T-ESPEL_0763.pdf [6 de marzo de 2010]

1.3.4 Dióxido de Azufre (SO₂)²⁶

Se genera por el azufre presente en el combustible, y su concentración depende de la cantidad de azufre presente. Los gasóleos actuales tienen un contenido de azufre bajo (menor a 0,05%), que se logra mejorando su proceso de elaboración. El dióxido de azufre es un gas tóxico incoloro, con la característica de emitir un olor irritante. La oxidación del SO₂ produce óxido de azufre, precursor del ácido sulfúrico, responsable de las partículas de sulfato en las emisiones diesel. Los óxidos de azufre tienen un profundo impacto en el medio ambiente y son la mayor causa de la lluvia ácida.

1.3.5 Oxígeno (O₂)²⁷

La presencia de oxígeno en los gases de escape indica que la combustión no es perfecta. El oxígeno indica que parte del combustible no se ha quemado, dando origen a emisiones de hidrocarburos y monóxido de carbono. Las mezclas pobres originan una gran emisión de oxígeno y las mezclas ricas casi las anulan por completo, pero sin llegar hasta el cero. La medición del oxígeno se realiza sobre la totalidad de los gases emitidos y se indica con un porcentaje. Los resultados obtenidos deben estar dentro de los márgenes indicados por el fabricante. Pudiendo considerar los siguientes datos como orientativos:

- entre 1,5 y 0,7 en motores alimentados por carburador
- entre 0,8 y 0,4 en motores alimentados por inyección
- entre 0,4 y 0,1 en motores provistos de catalizador

²⁶ UNIMEG: Unidad de Monitoreo de Emisiones Gaseosas; EPN; Quito

²⁷ www.autocity.com/documentos-tecnicos/?cat=3&codigoDoc=109 [6 de marzo de 2010]

1.3.6 Opacidad

La calidad de la combustión de un motor Diesel puede comprobarse con la ayuda de un opacímetro, aparato que mide la cantidad de combustible no quemado, que produce el característico humo negro del escape. La presencia de este humo negro indica exceso de inyección de combustible, combustión inadecuada o puesta en fase de la bomba incorrecta.

El instrumento de medición llamado opacímetro, opera sobre el principio de reducción de la intensidad de la luz, esto se utiliza para determinar el porcentaje de opacidad que a su vez se toma como la unidad de medición que determina el grado de opacidad de las emisiones de escape de una fuente móvil a Diesel. En la estructura de estos aparatos comprobadores, los cuales son dispositivos ópticos que miden la opacidad de una muestra de gases de escape, tomada directamente del tubo de escape y se lleva al aparato medidor, en el cual se hace circular por una cámara de rayos infrarrojos que analiza la muestra y mide el contenido de gases sin quemar, indicándolo en una escala graduada.

En otros comprobadores, la muestra se condensa en un papel poroso, que posteriormente se analiza en un comprobador fotoeléctrico que indica el porcentaje de saturación. En ambos casos, la muestra de gas se toma en el instante de una fuerte y rápida aceleración hasta los plenos gases. La prueba de humos deberá realizarse con el motor a su temperatura de régimen y el nivel de aceite correcto, no debiendo existir fugas en el sistema de escape. En la prueba se efectuarán al menos cuatro aceleraciones libres y se tomará el valor promedio de las mismas.

1.4 Emulsión

1.4.1 Definición de emulsión²⁸

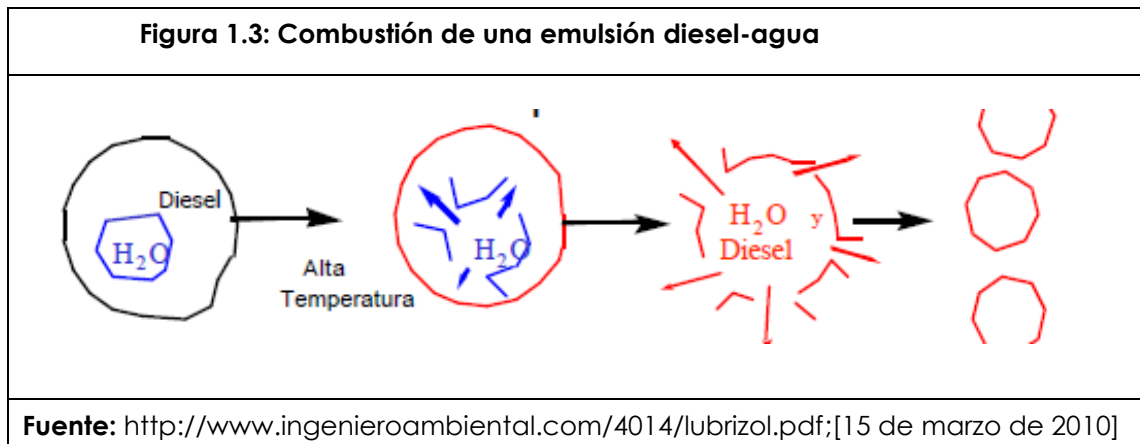
La emulsión es un sistema de dos fases que consta de dos líquidos parcialmente miscibles, uno de los cuales es dispersado en el otro en forma de glóbulos. La fase dispersa, discontinua o interna es el líquido desintegrado en glóbulos. El líquido circundante es la fase continua o externa. Un agente emulsivo es una sustancia que se suele agregar a una de las fases para facilitar la formación de una dispersión estable. Las emulsiones de aceite y agua (oleoacuosas) tienen el aceite como fase dispersa en el agua, que es la fase continua, en cambio las emulsiones de agua en aceite (hidrooleosas), el agua está dispersa en aceite, que es la fase externa. A continuación se presenta una breve descripción del funcionamiento de una emulsión de agua dispersa en diesel como combustible.

1.4.1.1 Combustión de una emulsión²⁹

La vaporización súbita del agua lleva a una mejor pulverización del combustible y a una mezcla turbulenta con el aire, resultando en una combustión más completa. En la figura 1.3 se observa la ilustración de cada paso del proceso de combustión de una gota de agua envuelta con diesel, en la segunda ilustración se ve la rápida vaporización del agua, en la tercera paso se observa la rápida vaporización súbita desde adentro para afuera que rompe la gota del diesel, finalmente las gotas menores son las que se combustionan al interior de los cilindros.

²⁸ www.textoscientificos.com/emulsiones/introduccion

²⁹ www.busde.ops-oms.org/bvsci/e/fultext/3encuent/lubrizol.pdf [15 de marzo de 2010]

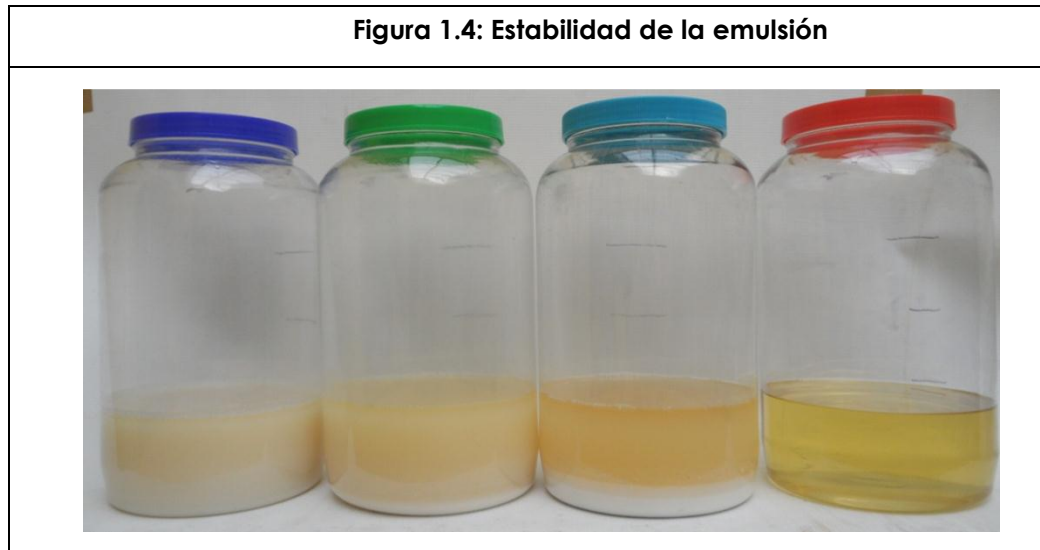


La energía usada para la vaporización baja la temperatura en la cámara de combustión, reduciendo la velocidad de reacción entre el nitrógeno y el oxígeno para formar óxidos de nitrógeno.

Con la emulsión de agua en diesel (emulsión O/W) se consigue la disminución del diámetro de partícula del diesel producida por la emulsión en la fase O, mejora el trabajo de las boquillas de pulverización del combustible, reduciendo ensuciamiento y aumentando notablemente el número de partículas por unidad de peso, aumentando hasta 50 veces la superficie de contacto, acelerando la velocidad de quemado y permitiendo la reducción de la cantidad de aire de combustión, es decir, reduciendo el exceso de aire.

La introducción de un pequeño porcentaje de agua (además de la propia del combustible o con ella sola), como fase W en la emulsión hace que éstas partículas de agua que se encuentran dentro de las partículas de combustible, al evaporarse súbitamente, hagan su combustión más completa al aumentar su superficie de contacto con el aire de combustión dentro del seno de la llama y permite la descomposición del vapor de agua en hidrógeno y oxígeno con recuperación de la energía gastada.

En la figura 1.4 se muestra la estabilidad de la fase del agua y el Diesel.



Las dos primeras probetas desde la izquierda, son emulsiones aceptables; las dos siguientes emulsiones tienen una separación drástica, por lo que se consideran no aceptables.

CAPÍTULO II

DETERMINACIÓN DEL PORCENTAJE DE AGUA

2.1 Antecedentes

2.1.1 Emulsión

Se conoce como emulsión a un sistema de dos fases que consta de dos líquidos parcialmente miscibles, uno de los cuales es dispersado en el otro en forma de glóbulos. La fase dispersa, discontinua o interna es el líquido desintegrado en glóbulos, en el caso de una emulsión de agua en el diesel se la denomina emulsión hidrooleosa, cuando el agua está dispersa en el aceite, que es la fase externa.

2.1.2 Agente emulsivo³⁰

Los emulsivos se emplean en la formulación de emulsiones para facilitar la emulsificación y dar estabilidad a la emulsión. Estos efectos se producen por la reproducción de la tensión interfaseal entre las dos fases y por acción coloidal protectora, respectivamente. De ordinario, los emulsivos son sustancias muy complejas y parece que cuanto más complejas, con mayor eficiencia

³⁰ Resetari Industrial de Formulas Quimicas, 2Ed., G.D. Hiscox, a.a. Hopkins, Hiscox, 2007; p 96-97

funcionan. Esto se tiene en cuenta en la práctica de formulación y con frecuencia se usan combinaciones de dos o más emulsivos.

Los emulsivos no iónicos son totalmente covalentes y no tienen ninguna tendencia a la ionización. Por consiguiente, puede asociarse con otros agentes no iónicos de actividad superficial y con agentes aniónicos o catiónicos. Los emulsivos no iónicos son más inmunes contra la acción de electrolitos que los agentes aniónicos de actividad superficial.

De las diversas propiedades de los emulsivos, una de las más importantes es el equilibrio hidrófilo-lipófilo. Este es una expresión de atracción simultánea relativa de un emulsivo con respecto al agua y al aceite. El equilibrio hidrófilo-lipófilo de un emulsivo determina el tipo de emulsión que tiende a ser formada. La Solubilidad de un emulsivo es de suma importancia en la preparación de concentrados emulsionables. Es preciso que el emulsivo permanezca disuelto en cualquier condición de almacenamiento. Con frecuencia es posible aumentar la solubilidad de un emulsivo con algún coemulsivo. También son usuales diversos disolventes como conjugadores o codisolventes.

La tensión interfaseal es la fuerza que se requiere para romper la superficie entre los líquidos no miscibles; es de interés en la emulsificación en virtud de que cuanto menor es la tensión interfaseal entre las dos fases de una emulsión, tanto más fácil es la emulsificación. El coeficiente de extensión (C.E.) se calcula con la tensión superficial (T.S.) y la tensión interfaseal (T.I.) (para un aceite determinado) según la siguiente fórmula:

$$CE = TS_{\text{aceite}} - (TS_{\text{soln.}} - TS_{\text{aceite/soln.}})$$

Cuanto mayor es el coeficiente de extensión (más positivo), tanto mayor es la potencia humectante y difusiva.

2.2. Características físico-químicas del agente emulsivo

Como vimos anteriormente el propósito de la emulsión es formar una dispersión estable del agua en el diesel, para ello se requiere de un agente emulsivo que es una sustancia química que se suele agregar en este caso en el diesel 2 fase (o) oíl, en porcentajes del 0,1 al 0,7% (mientras más emulgente se coloque, la emulsión es más estable), este emulgente básico es un surfactante no iónico con AMINA C12-18 12 OE que permiten la emulsión.

El surfactante no iónico, ayuda a mejorar el equilibrio hidrófilo-lipófilo del emulgente, y la amina ayuda a mejorar el tamaño de la partícula, de esta manera, la tensión superficial, entre el aceite y el agua se encuentran en equilibrio, pudiendo mejorar más el equilibrio hidrófilo lipófilo, para retardar la separación o ruptura de la tensión superficial.

Tabla 2.1: Características físico-químicas del emulgente		
Físicas	Unidad	Valor
Apariencia a 20°C		Líquido viscoso, color Marrón oscuro
Color/Klett (5% M.A.)	(UK)v	150 max.
Densidad a 20°C	g/cm ³	Aprox. 1.0
Químicas		
Materia activa (Epton)	(%)	96.0 ± 1.0
Materia no sulfonada	(%)	3 máx.
Ácido Sulfúrico libre	(%)	1.6 máx.
Índice de Acidez	mg KOH/g	180 ± 5
Peso molecular promedio		320
Fuente: Certificado. Escuela Politécnica Nacional .2007		

El agente emulsivo fue suministrado de forma gratuita por nuestro asesor de tesis, para el análisis y realización de nuestro estudio. En corroboración de lo expuesto adjuntamos en los anexos 1 y 2 el certificado notariado.

2.3. Método de homogenización

Para la homogenización se mezcla primero el aditivo con el diesel y luego se añade el agua, así la emulsión es más estable y el tiempo de separación es mayor. Para este proceso se utiliza un agitador mecánico de aleta a 300 rpm, y un recipiente plástico. Vale la pena señalar que al separarse el diesel del agua, basta con agitarla otra vez para obtener la emulsión. Este es un proceso que se puede realizar ilimitadas veces.

2.4 Pruebas de separación inicial

Inicialmente hemos realizado pruebas visuales del contenido de emulgente y de agua, observando la precipitación o separación del agua y del diesel; para posteriormente realizar ensayos físico-químicos que nos determinaran las propiedades de la emulsión tales como el punto de inflamación, índice de corrosión de lámina de cobre, densidad, etc.

Figura 2.1: Envases con los distintos porcentajes de agua en el diesel



Tabla 2.2: Tiempo de separación de la emulsión de acuerdo al porcentaje de emulgente y agua				
DESCRIPCION	PORCENTAJE DIESEL %	PORCENTAJE EMULGENTE %	PORCENTAJE AGUA %	TIEMPO DE SEPARACION (hora:minuto)
PRUEBA 1ª	94,7	0,3	5	03:00
PRUEBA 1B	89,7	0,3	10	01:50
PRUEBA 1C	84,7	0,3	15	00:36
PRUEBA 2ª	94,6	0,4	5	12:54
PRUEBA 2B	89,6	0,4	10	07:36
PRUEBA 2C	84,6	0,4	15	02:03
PRUEBA 3ª	94,5	0,5	5	29:00
PRUEBA 3B	89,5	0,5	10	13.22:00
PRUEBA 3C	84,5	0,5	15	04:18

2.4.1 Resultados de prueba visual de separación inicial

La tabla 2.2 nos muestra el porcentaje en volumen de cada elemento que forma la emulsión, para finalmente observar el tiempo de separación del diesel y el agua, según varían los porcentajes. En función de los resultados obtenidos hemos tomado la decisión de realizar las pruebas posteriores y los análisis con un 0,5% de emulgente y el 1,5%, 3% y 5% de agua; debido a que al tener menos emulgente o demasiada agua la separación de la mezcla es demasiado rápida lo cual sería un problema al momento de su utilización.

2.5 Tiempos de separación al 15%, 3% y 5% de agua

Como se mencionó, después de realizadas las pruebas anteriores, a continuación estimamos el tiempo de separación de las emulsiones con los nuevos porcentajes que hemos decidido analizar a profundidad en los capítulos subsiguientes.

Datos de la prueba visual de separación:

Tabla 2.3: Tiempo de separación de las emulsiones al 1,5%, 3% y 5% de agua				
DESCRIPCION	PORCENTAJE DIESEL %	PORCENTAJE EMULGENTE %	PORCENTAJE AGUA %	TIEMPO DE SEPARACION (hora:min)
PRUEBA 1 A	98	0,5	1,5	82:00
PRUEBA 1 B	96,5	0,5	3	54:00
PRUEBA 1 C	94,5	0,5	5	29:00

2.5.1 Resultados de prueba visual de separación al 1,5%, 3% y 5% de agua

Tras observar los lapsos de separación de las emulsiones, determinamos que los tiempos que tardan en desunirse, son lo suficientemente prolongados para proseguir nuestra investigación sin ningún problema a considerar con respecto a este factor.

2.6 Características físico-químicas de las emulsiones

Las características físico-químicas de las emulsiones con sus diferentes porcentajes de agua fueron realizadas previamente por nuestro asesor de tesis, en los laboratorios de control de calidad de combustibles de la empresa estatal PETROINDUSTRIAL, Refinería La Libertad. Los datos de la tabla 2.4 están respaldados por los certificados emitidos por Petroindustrial, el mismo se encuentra en el Anexo 5.

Tabla 2.4: Características físico químicas de las emulsiones								
PARÁMETROS	MÉTODO		ESPECIFICACIÓN	% AGUA				
	ASTM	INEM		1.5	3	5	10	15
Gravedad específica 60/60°F	D-1298	-	Reporte	0.800	0.800	0.868	0.871	0.888
Gravedad API, 60/60°F	D-1298	-	Reporte	32.1	31.9	31.5	30.9	27.8
Color ASTM	D-1298	-	Reporte	Blanco	Blanco	Blanco	Blanco	Blanco
Punto de inflamación, °C	D-93	1047	Min. = 51	64	64	64	60	64
Viscosidad Cinemática 37.8	D-445	810	2.5 – 6.0	7.4	7.9	8.5	9.4	11.2
Azufre, %P	D-4294	1490	Max. = 0.7	0.47	0.46	0.44	0.39	0.34
Corrosión Lámina de Cobre	D-130	927	Max. = No.3	1ª	1ª	1ª	1ª	1ª
Fuente: Certificado. Petroindustrial – Refinería La Libertad. 24/03/2004								

2.7 Conclusiones

Después de realizadas estas pruebas lo primero que debemos señalar es la facilidad con la que homogeniza la emulsión, es necesaria apenas una leve agitación del diesel y el agua para que el emulgente entre en acción y se realice la mezcla deseada.

Cuando las emulsiones con sus distintos porcentajes de agua se comenzaron a separar, procedimos a tomar los datos del tiempo, luego de ello manipulamos las emulsiones y pudimos observar que con leves movimientos de las mismas, las emulsiones se volvieron a homogenizar rápidamente.

Lo expuesto en el párrafo anterior nos hace llegar a la conclusión que cuando la emulsión sea utilizada en cualquier vehículo, la más pequeña vibración o movimiento del mismo será suficiente para mantener estable la unión entre el

diesel y el agua dentro del depósito de diesel, este factor incrementa más aun gracias a los sistemas de retorno hacia el depósito de combustible propios de todos estos automotores.

Con los tiempos de separación que obtuvimos en estas pruebas podemos continuar con nuestra investigación, pues los mismos son lo suficientemente extensos como para que no se presente algún inconveniente en el vehículo.

CAPÍTULO III

EQUIPOS Y PROCEDIMIENTOS DE MEDICIÓN

3.1. Vehículo de prueba

El automotor utilizado para realizar el estudio del combustible es un **Kia Sportage** 2.0 CRDI año 2009, a continuación se detalla la ficha técnica.

Fabricante: Kia

Modelo: Sportage 2.0 CRDI

Año de fabricación: 2009

Motor: 1 991 cm^3

Tipo de motor: 4 cilindros en línea, 4 válvulas por cilindro.

Alimentación de combustible: Inyección directa de riel común.

Potencia: 110,45 HP a 4 000 r.p.m.

Torque: 318,00 Nm a 1 800 r.p.m.

Diámetro por carrera: 83,1 x 92,0.

Compresión: 17,7:1

Combustible: Diesel

Relación potencia/peso: 0,0670 PS/kg

0 100 km h 0 62 mph: 13,8 segundos

Tracción: 2WD

Número de asientos: 5

Número de puertas: 5

País de origen: Corea del Sur

Peso del vehículo: 1 687 kg (3 700,60 libras)

Capacidad de remolque: 1 600 kg (3 509,76 libras)

Longitud del vehículo: 4 360 mm (170,84 pulgadas)

Peso máximo del vehículo con carga: 2 210 kg (4 847,84 libras)

Sistema de refrigeración: Líquida

Espacio para carga: 573 litros (150,25 galones)

Coeficiente de arrastre aerodinámico: 0,3

Rendimiento del combustible mixto: 7,1 litros/100 km (32,96 millas por galón)

Capacidad máxima del tanque de combustible: 58,0 litros (15,24 galones)

3.2. Analizador de gases

3.2.1. Antecedentes

El analizador de gases utilizado es de propiedad de la Secretaría del Ambiente, institución gubernamental ubicada en la ciudad de Quito en la Av. Río Coca e Isla Genovesa. Dicho organismo, tras nuestra solicitud, accedió gentilmente a prestarnos el equipo para la realización de nuestro estudio, bajo la supervisión y tutoría de los Ingenieros del área de movilidad, funcionarios de dicho organismo.

3.2.2. Especificación técnica

El analizador utilizado para la obtención de datos de gases de emisión con opción de material particulado es el "OEM 2100 MONTANA SYSTEM ORDER FORM", el cual tiene una configuración a bordo.

Figura 3.1: Analizador de gases a bordo

3.2.2.1. Características del analizador de gases

- Medición segundo a segundo
- Opción de examinar en varios escenarios de prueba (laboratorio, en campo, en ruta)
- Su peso manejable para considerarse un dispositivo portátil (20 kg)
- Mínimo tiempo de instalación (10 a 40min)
- Versatilidad con la fuente de poder, utiliza 12V y 8A en AC o DC
- Espacio que ocupa, corresponde a dos asientos de pasajero
- Medición de valores de gases de emisión: HC, CO, CO₂, NO_x, O₂ y PM

3.2.2.2. Instalación y método de ensayo

El analizador de gases está provisto por un grupo de sensores que son los encargados de estimar las condiciones de funcionamiento del motor, dos sondas que recogen la información de los gases de escape y un GPS que le suministra al analizador información referente a la velocidad del vehículo, kilometraje de recorrido y altura sobre el nivel del mar.

A continuación detallamos cada uno de los parámetros que el analizador necesita para efectuar las mediciones.

- RPM del motor
- Temperatura del aire de admisión
- Presión del turbo
- Presión atmosférica
- Velocidad del vehículo
- Consumo de combustible en peso
- Masa del aire de escape
- Masa de aire de succión
- Datos de altitud y latitud mediante un GPS

Primeramente instalamos una cinta reflectiva en la polea del cigüeñal y un sensor de luz que debe enfocar a la cinta, que a su vez será el encargado de darnos las revoluciones del motor.

Figura 3.2: Sensor de rpm del motor



Se colocó un sensor en el interior del depurador de aire que sirve para medir la temperatura del aire que ingresa del exterior hacia el motor. También se instaló una sonda que determina la presión de funcionamiento del turbo sobre alimentador.

Figura 3.3: Sensor de presión y temperatura de entrada de aire

La función del GPS es determinar el recorrido, la velocidad a la que se realizan las pruebas en ruta, y la altitud sobre el nivel del mar. Este dispositivo se puede colocar en cualquier parte exterior de la carrocería mediante un imán.

Figura 3.4: GPS de posicionamiento y velocidad

También se coloca una sonda para que el analizador determine la presión y humedad atmosférica, necesarios para la determinación de las condiciones del ambiente.

Figura 3.5: Sonda de presión atmosférica

En la figura 3,6 se observa las sondas más importantes del equipo, las cuales van insertas al tubo de escape y dirigen los gases al analizador gracias a las bombas de succión del mismo, una vez aquí se podrán medir las cantidades de emisiones que genera el motor.

Figura 3.6: Sondas captadoras de los gases de escape

Luego de que todas las sondas y sensores estén instalados en el vehículo, se traza una ruta determinada, la cual se recorrerá de la misma manera con cada variación del combustible. En las pruebas de ruta hemos gravando los datos en periodos de diez minutos de recorrido, para luego comparar los resultados.

3.3. Banco dinamométrico

3.3.1. Antecedentes

El banco dinamométrico utilizado en nuestro estudio es el MAHA LPS 3000, que pertenece a la Secretaría de Movilidad del Distrito Metropolitano de Quito, dicho equipo se encuentra instalado en el Centro de Revisión Vehicular Guamaní. Este equipo de medición es utilizado únicamente para investigaciones mas no para uso de la ciudadanía en general. El manejo del mismo lo efectuaron los funcionarios de la Secretaría de Movilidad, quienes se pusieron gentilmente a nuestra disposición para realizar todas las pruebas pertinentes.

3.3.2. Especificación Técnica

El banco dinamométrico utilizado en nuestras pruebas para la obtención de las curvas características de potencia y de funcionamiento del motor del coche, es el modelo MAHA LPS 3000, el cual hace posible la medición de potencia en vehículos ligeros con motores Otto o Diesel. Este banco se compone de un pupitre de comunicaciones, equipado con PC, una pantalla de color, un teclado, un ratón, un control remoto, un juego de rodillos y un ventilador de aire refrigerante. Además para determinar los datos de potencia normalizados dispone de un módulo de medición de condiciones atmosféricas y climatológicas del ambiente.

Figura 3.7: Vehículo montado en banco dinamométrico MAHA LPS 3000

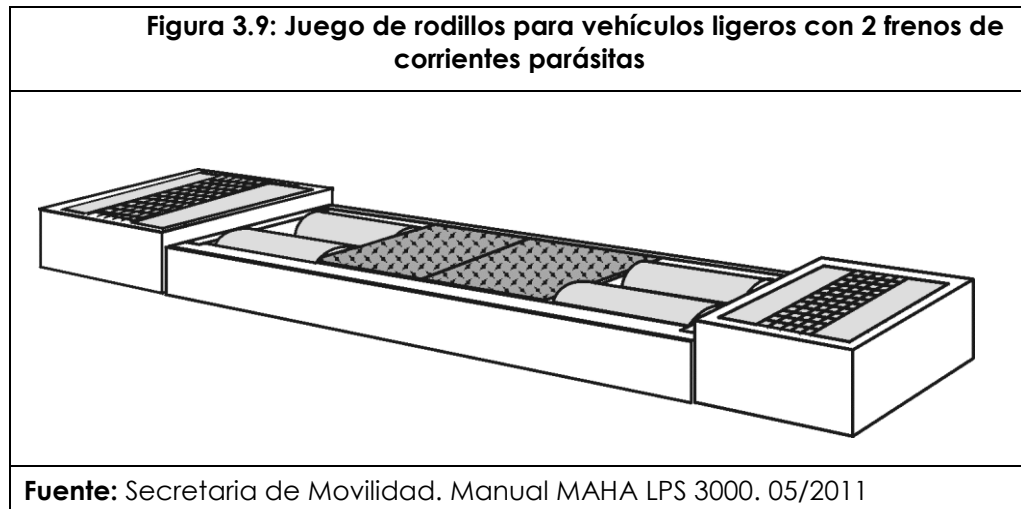


La simulación de carga del banco se realiza mediante un freno de corrientes parásitas.

Figura 3.8: Freno de corrientes parásitas



Los juegos de rodillos del LPS 3000 se componen de un bastidor autoportante con recubrimiento de polvo y rodillos metalizados con la llama.



El módulo de ambiente sirve para registrar los siguientes datos:

- Temperatura del aire aspirado
- Temperatura ambiente
- Presión atmosférica
- Humedad relativa del aire

En las normas especificadas (DIN 70020, EWG 80/1269, ISO 1585, SAE J1349 y JIS D1001) siempre se considera la temperatura del aire, la presión atmosférica y la humedad relativa del aire para el cálculo.

3.3.2.1. Datos técnicos LPS 3000

Tabla 3.1: Datos técnicos dinamómetro MAHA LPS 3000	
Juego de rodillos R102	
Carga sobre el eje	2,5 toneladas
Longitud	4 140 mm
Anchura	1 100 mm
Altura	625 mm
Peso	1 500 kg
Longitud de rodillo	750 mm
Vía mínima	800 mm
Vía máxima	2 300 mm
Diámetro mínimo de rueda para ensayar	12"
Diámetro rodillo	318 mm
Distancia entre rodillos	540 mm
Sistema de elevación con bloqueo de rodillos	
Neumática	máx. 8 bar
Datos eléctricos	
Datos corriente parásita	2 x 260 Kw
Alimentación de corriente	230 V / 50 Hz
Protección por fusible	32 A de acción lenta
Campo de indicación	
Velocidad de ensayo	máx. 250 km/h
Potencia rueda	máx. 520 kW
Fuerza de tracción	máx. 12 kN
Núm. de revoluciones	0 – 10 000 vueltas/min
Precisión de medición	± 2 % del valor de medición
Fuente: Secretaría de Movilidad – Quito. 05/2011	

3.3.2.2. Instalación y método de ensayo

Fijar las cintas de sujeción en el gancho de la barra de arrastre. El anclaje debe estar apretado pero no debe arrastrar el vehículo hacia abajo. En caso de utilizar cintas de sujeción para la fijación, debe comprobarse que el extremo

suelto de la cinta de sujeción no llegue cerca de los neumáticos o rodillos. En particular, si el soplador está conectado.

Figura 3.10: Anclaje del vehículo



A continuación posicionamos el ventilador de aire refrigerante delante del radiador del vehículo, se debe tener precaución con la corriente de aire ya que es posible que cables y cintas de sujeción se interpongan entre los neumáticos y los rodillos.

Figura 3.11: Posicionamiento de aire refrigerante



Llevar el vehículo a la temperatura de servicio, esto se puede realizar utilizando la simulación de una carga. Así el vehículo estará listo para realizar la prueba cuando se han llevado a cabo todos los preparativos del ensayo.

3.3.2.3. Tipos de medición en el banco dinamométrico

3.3.2.3.1. Medición continua

En la medición continua se determina la potencia máxima y se calcula la potencia del motor según norma DIN 70020, EWG 80/1269, ISO 1585, SAE J1349 o JIS D1001 ECE, DIN, EWG o ISO, dependiendo de la opción seleccionada bajo "corrección de la potencia". Las curvas para la potencia de la rueda, la potencia de arrastre y la potencia del motor se indican de forma gráfica. Si se han considerado o medido la presión del aire y la temperatura, la potencia del motor se representa como potencia normalizada.

Para esta prueba se seleccionan los datos del vehículo o, en caso de estar disponibles, se los carga de la base de datos.

Figura 3.12: Pantalla de software LPS 3000 – Datos del vehículo

Datos del vehículo

Tipo de motor:	☐ Otto	☒ Diesel	☐ Wankel
Sobrealimentación:	☐ Sin sobrealimentador	☐ Turbo (refrig.aire)	☐ Turbo (refrig.agua)
Caja de velocidades:	☒ Manual	☐ Automática	
Deslizamiento:	☒ Sin deslizamiento	☐ Medir deslizamiento	☐ Entrada 2,80
Accionamiento:	☒ Tracción delantera	☐ Tracción trasera	☐ Tracción 4 x 4
Rango de potencia:	☐ 10kW	☐ 25kW	☐ 50kW
	☐ 100kW	☐ 250kW	☐ 500kW
Corrección de potencia:	☐ Sin	☒ DIN	☐ CEE
	☐ ISO	☐ JIS	☐ SAE
Factores adicionales:	f_m 0,30	Q_v [%] 0,00	P_{VA} [kW] 0,00
Valores límite:	$v_{m\acute{a}x}$ [km/h] 250	$n_{m\acute{a}x}$ [rpm] 7000	$T_{m\acute{a}x}$ [°C] 100
Masa rotatoria:	☒ Masa rotatoria std.	☐ Calcular m. rotatoria	☐ Entrada 0,0
Diversos:	☒ Vehículo OBD		

F5
 F6

 F8

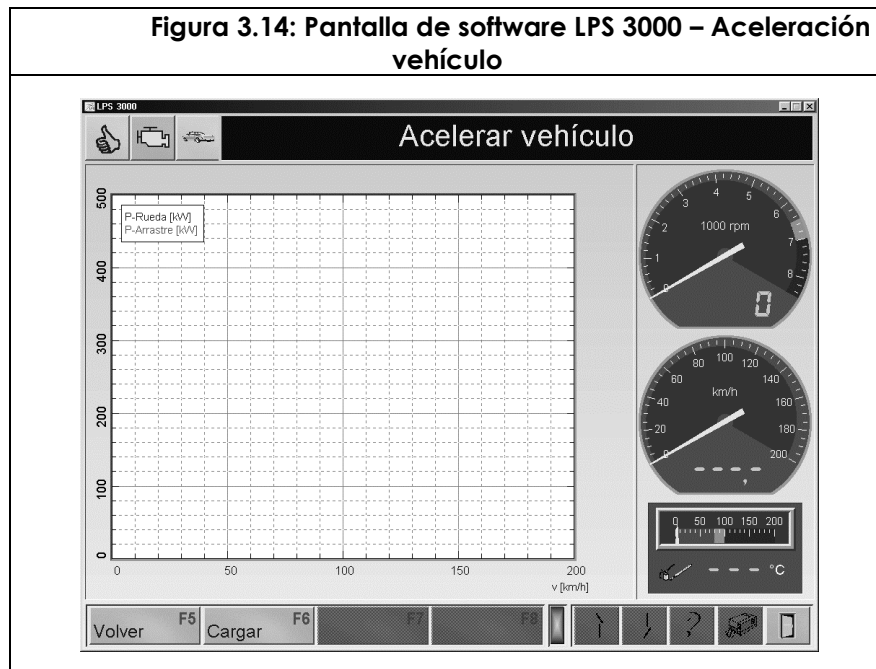
Aquí se igualan las revoluciones del vehículo con las revoluciones medidas por el banco, acelerando hasta 2 000 r.p.m. y manteniéndolas constante durante unos segundos.

**Figura 3.13: Pantalla de software LPS 3000
Acondicionamiento del núm. rpm**

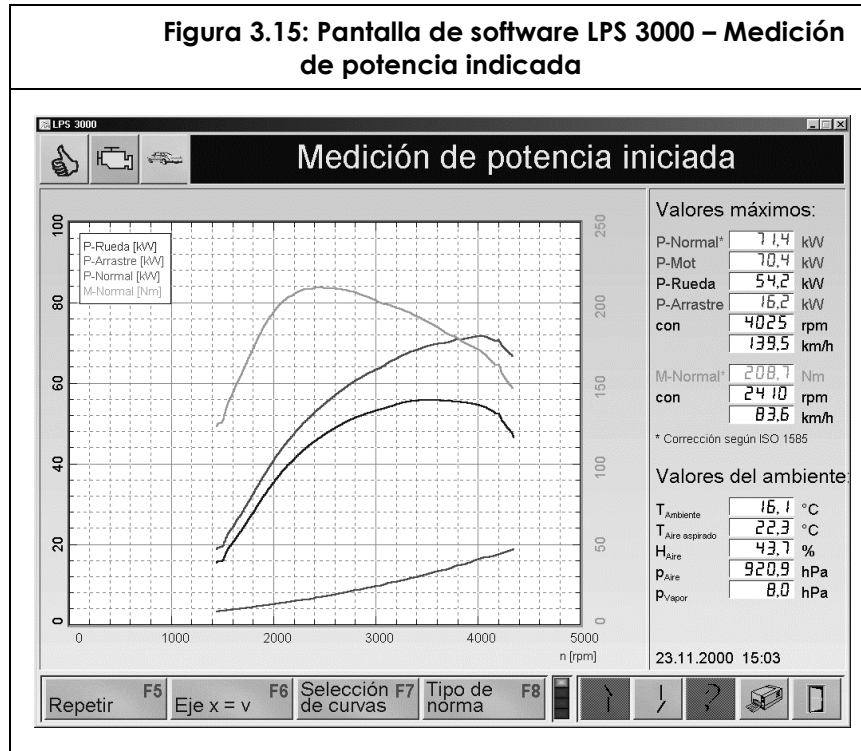


Luego se debe acelerar el vehículo de forma moderada y continua hasta llegar a marcha directa (4ta marcha). Ahora, se pisa el pedal de aceleración a fondo.

**Figura 3.14: Pantalla de software LPS 3000 – Aceleración
vehículo**



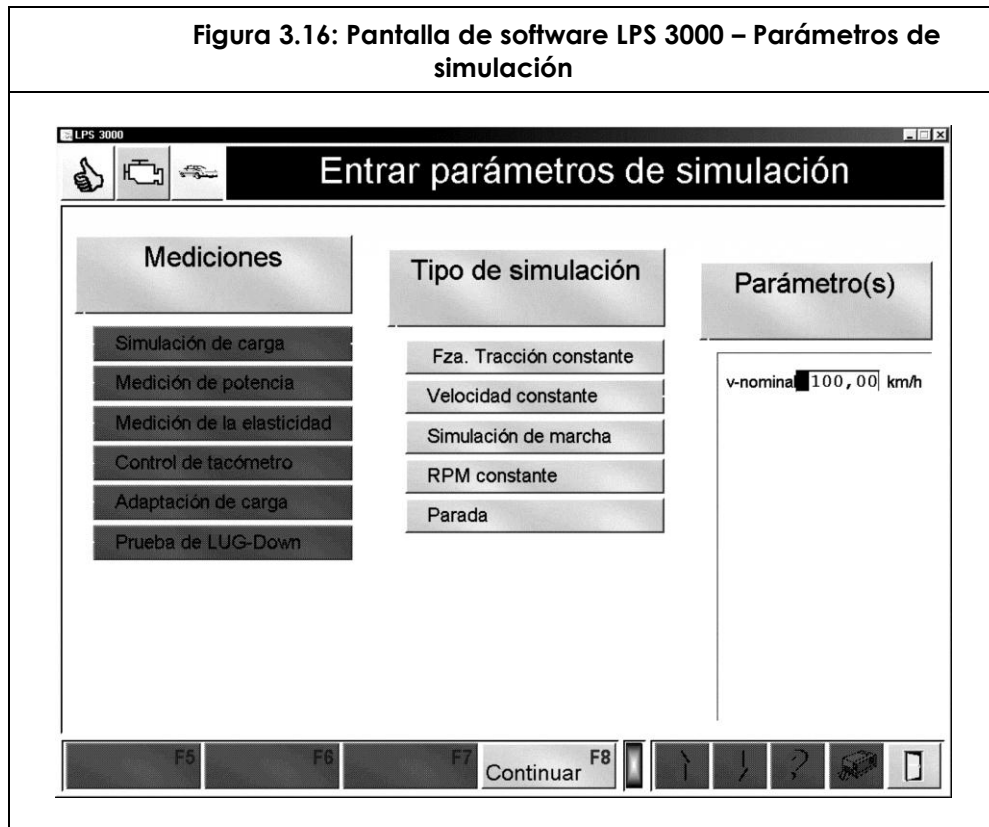
Poco después de alcanzar el número de revoluciones nominal del motor, se reduce un poco la velocidad y se desembraga. Tras realizar la medición se indican la potencia del motor, la potencia de la rueda, la potencia de arrastre y el par motor (en caso de existir una señal del número de r.p.m.).



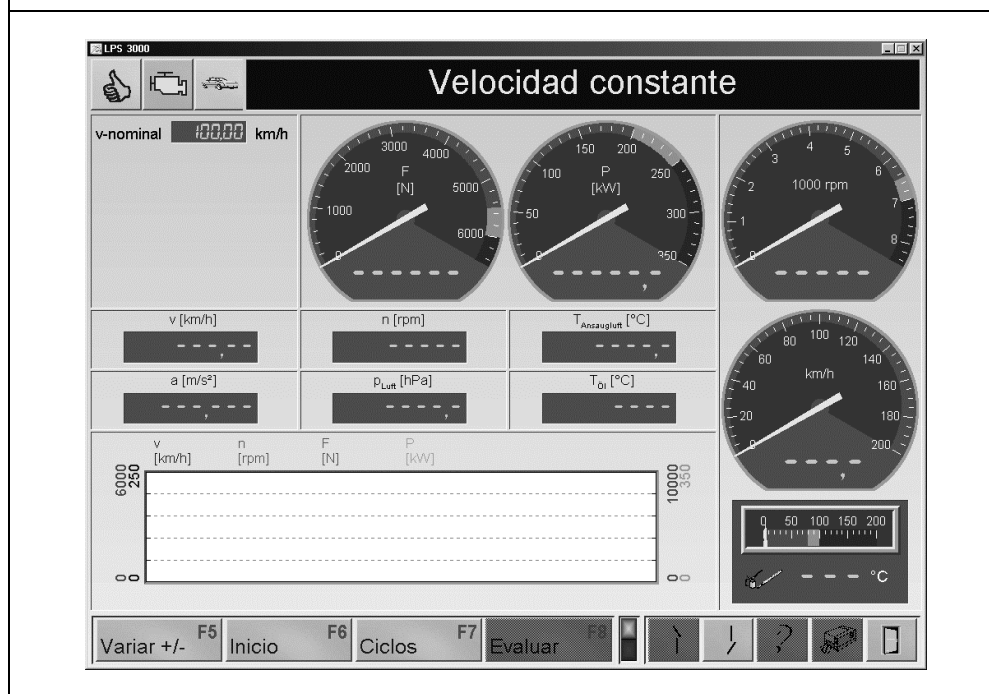
3.3.2.3.2. Velocidad constante

En el modo de servicio de velocidad constante el banco de pruebas es regulado de tal manera que la velocidad de marcha se mantiene constante con independencia de la fuerza de tracción generada por el vehículo (de poca aceleración a plena aceleración), es decir, sólo puede marcharse hasta alcanzar la velocidad prefijada. Hasta llegar al margen de plena carga sólo se incrementa el efecto de frenado del freno de corrientes parásitas pero no la velocidad. En esta prueba se selecciona la carga constante que se le quiere dar, en este caso se realizó con 100 N de carga a 50 y 80 km/h, durante cinco minutos.

Esta prueba se la realizó paralelamente con el analizador de gases, ya que esta será la mejor forma de comparar la variación de emisiones y consumo con las distintas modificaciones del combustible.



En la pantalla de resultados saldrá una gráfica dinámica del número de revoluciones y la velocidad a la que se le mantiene con una carga constante la cual nos sirve para la medición de los gases.

Figura 3.17: Pantalla de software LPS 3000 – Velocidad constante

3.4. Obtención de curvas características en base a los diferentes porcentajes de agua en la emulsión

Con el diesel Premium puro y con los distintos porcentajes de agua en la emulsión, se realizaron tres pruebas con cada una para así poder sacar un valor medio real debido a que siempre va a existir un margen de error, ya que al sincronizar las revoluciones del vehículo con la de los rodillos del banco dinamométrico existe siempre una pequeña diferencia.

3.4.1. Curvas características utilizando diesel Premium puro

Figura 3.18: Potencia y torque 1 con diesel Premium puro

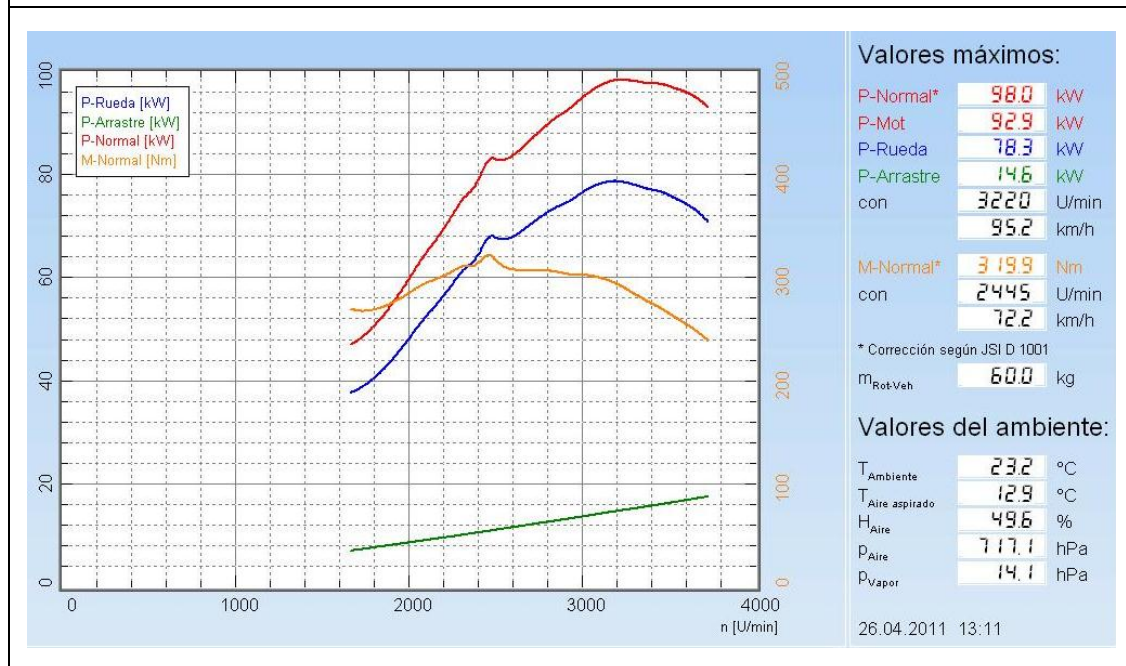


Figura 3.19: Potencia y torque 2 con diesel Premium puro

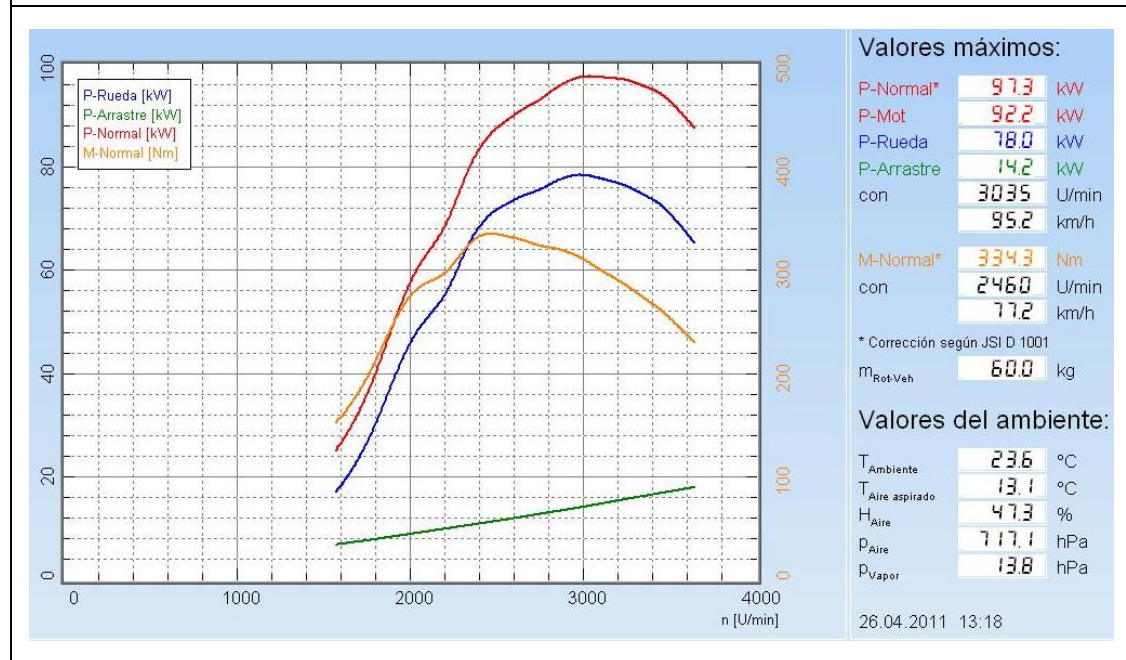
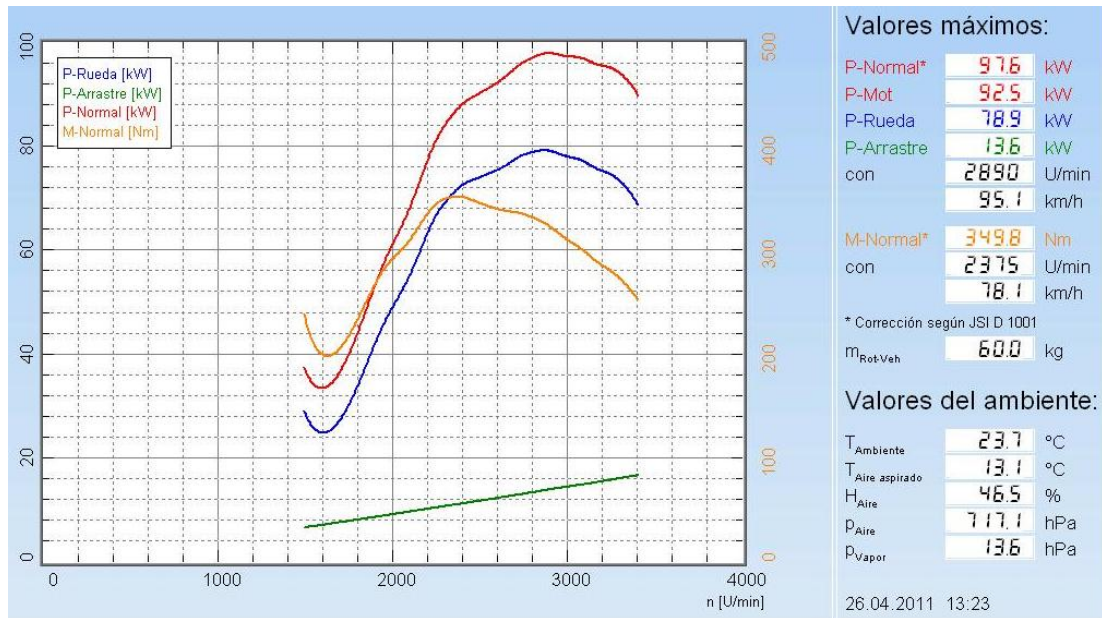


Figura 3.20: Potencia y torque 3 con diesel Premium puro

Tabla: 3.2: Torque y potencia media con diesel Premium puro

Valores medios		
Potencia normal	97,6kW	130k8HP
Potencia del motor	92,5kW	124HP
Potencia de las ruedas	78,4kW	105,1HP
Potencia de arrastre	14,1kW	18,9HP
Torque	334,7Nm	

3.4.2. Prueba con diesel Premium, 0,5% de aditivo y 1,5% de agua

Figura 3.21: Potencia y torque 1 con diesel Premium, 0,5% de aditivo y 1,5% de agua

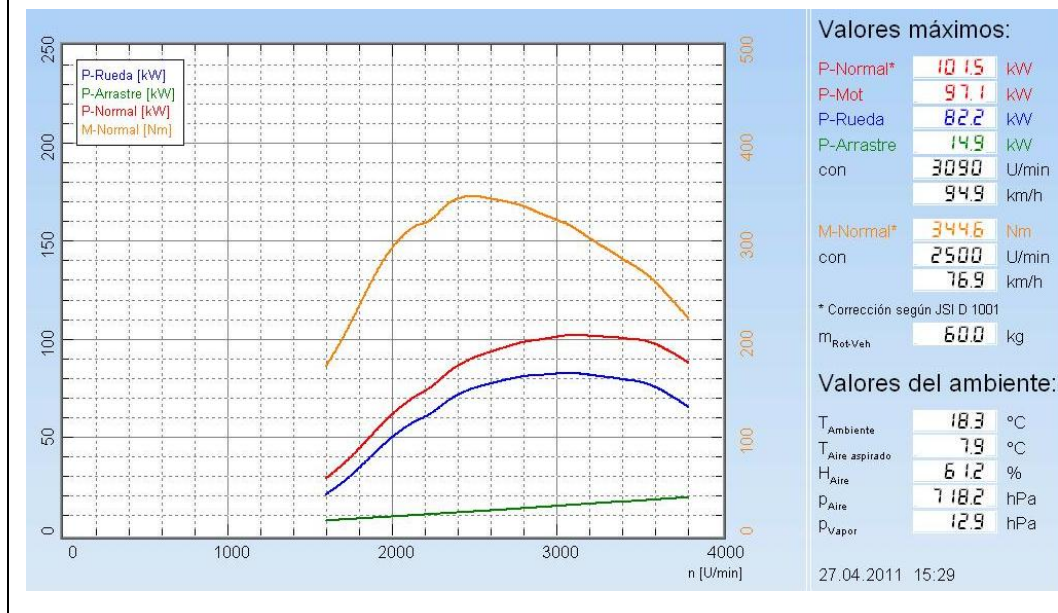


Figura 3.22: Potencia y torque 2 con diesel Premium, 0,5% de aditivo y 1,5% de agua

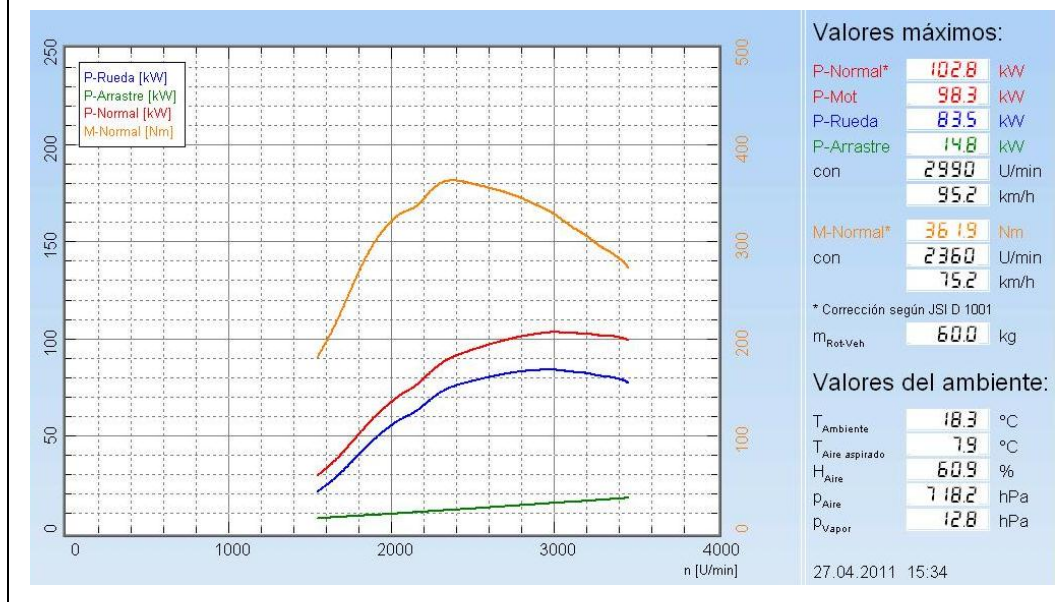


Figura 3.23: Potencia y torque 3 con diesel Premium, 0,5% de aditivo y 1,5% de agua.

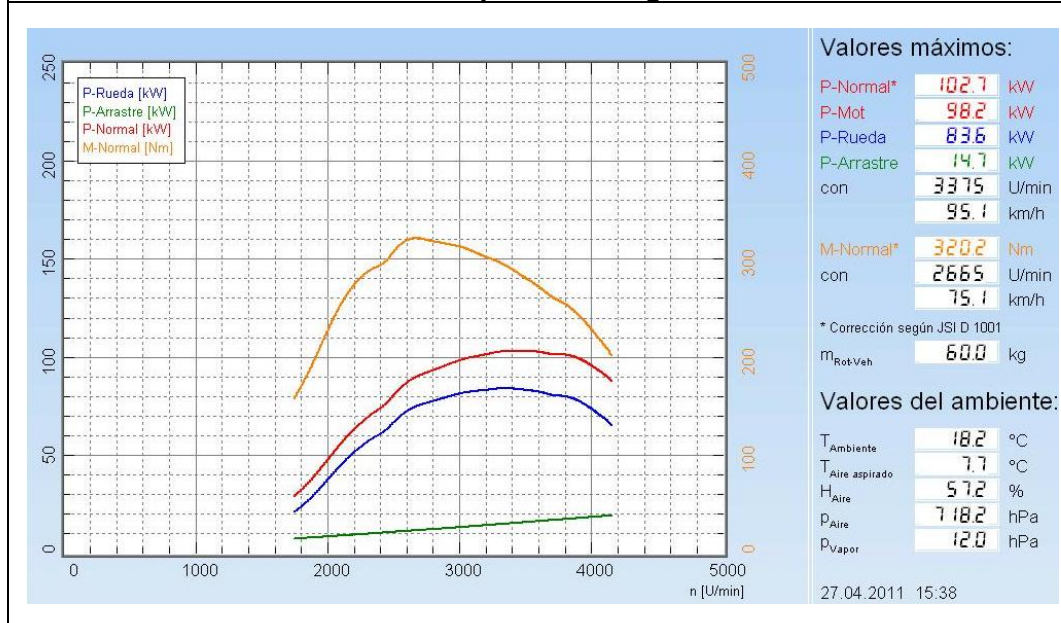


Tabla: 3.3: Torque y potencia media con diesel Premium, 0,5% de aditivo y 1,5% de agua.

Valores medios		
Potencia normal	102,3kW	137,1HP
Potencia del motor	97,9kW	131,2HP
Potencia de las ruedas	83,1kW	111,4HP
Potencia de arrastre	14,8kW	19,8HP
Torque	342,2Nm	

3.4.3. Pruebas con diesel Premium, 0,5% de aditivo y 3% de agua

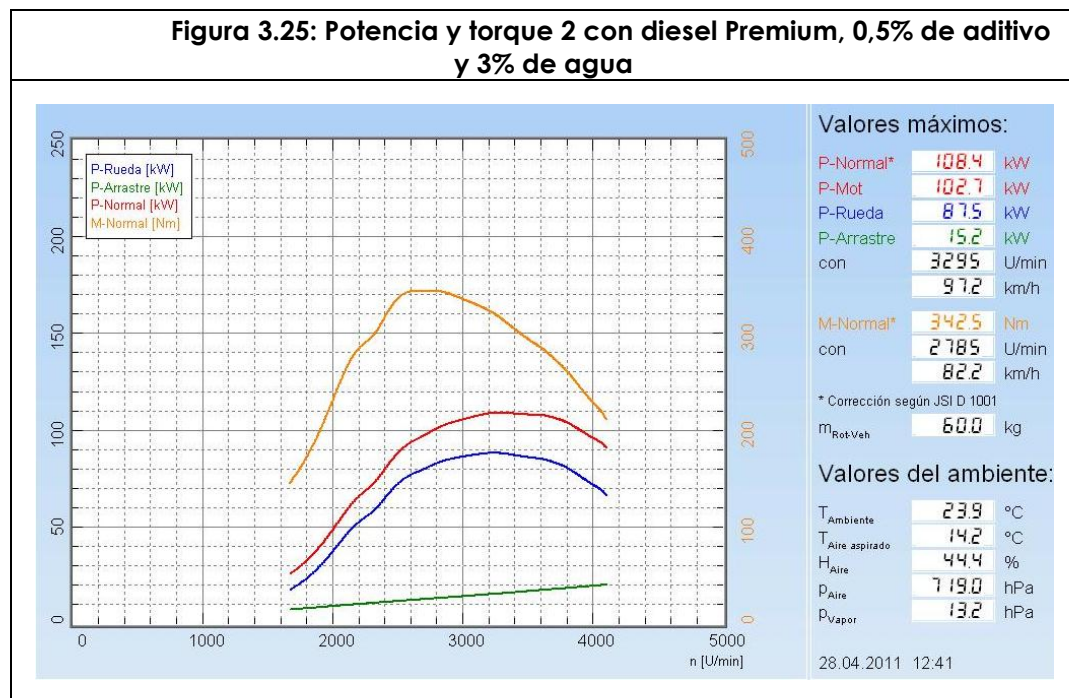
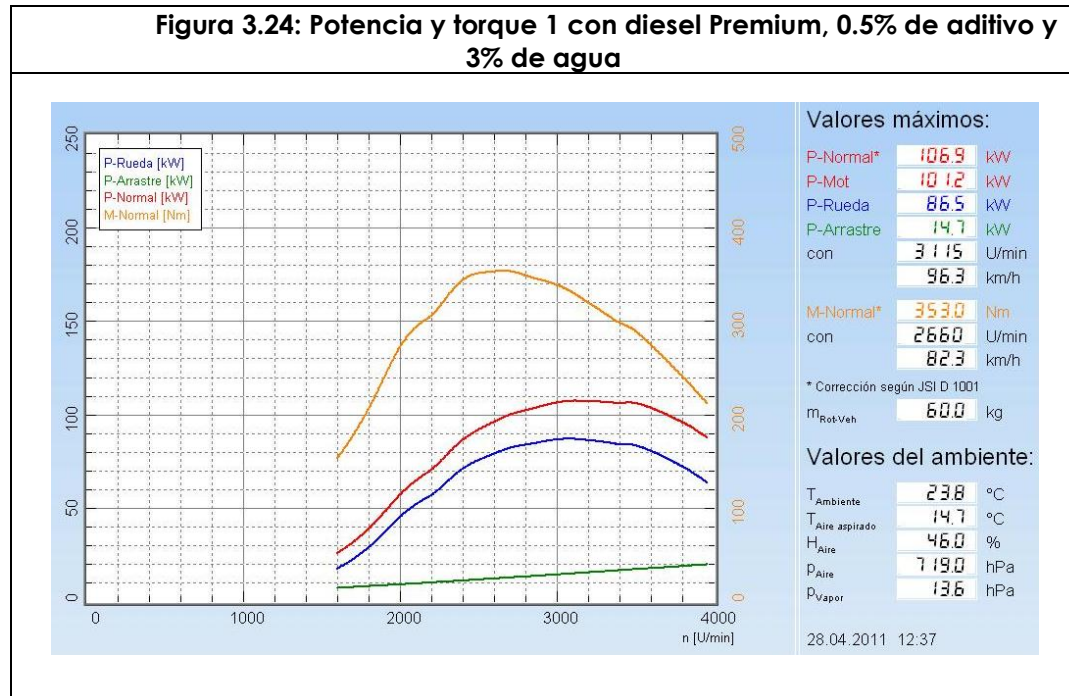


Figura 3.26: Potencia y torque 3 con diesel Premium, 0.5% de aditivo y 3% de agua

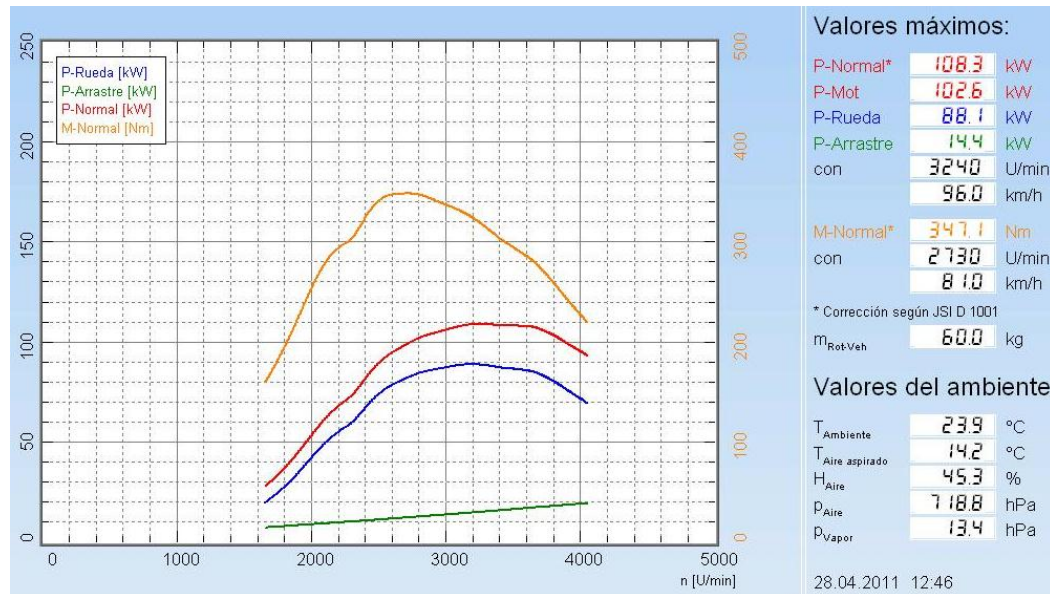


Tabla: 3.4: Torque y potencia media con diesel Premium, 0.5% de aditivo y 3% de agua

Valores medios		
Potencia normal	107,9kW	144.6HP
Potencia del motor	102,2kW	137HP
Potencia de las ruedas	87,4kW	117.2HP
Potencia de arrastre	14,8kW	19.8HP
Torque	347,5Nm	

3.4.4. Pruebas con diesel Premium, 0,5% de aditivo y 5% de agua

Figura 3.27: Potencia y torque 1 con diesel Premium, 0,5% de aditivo y 5% de agua

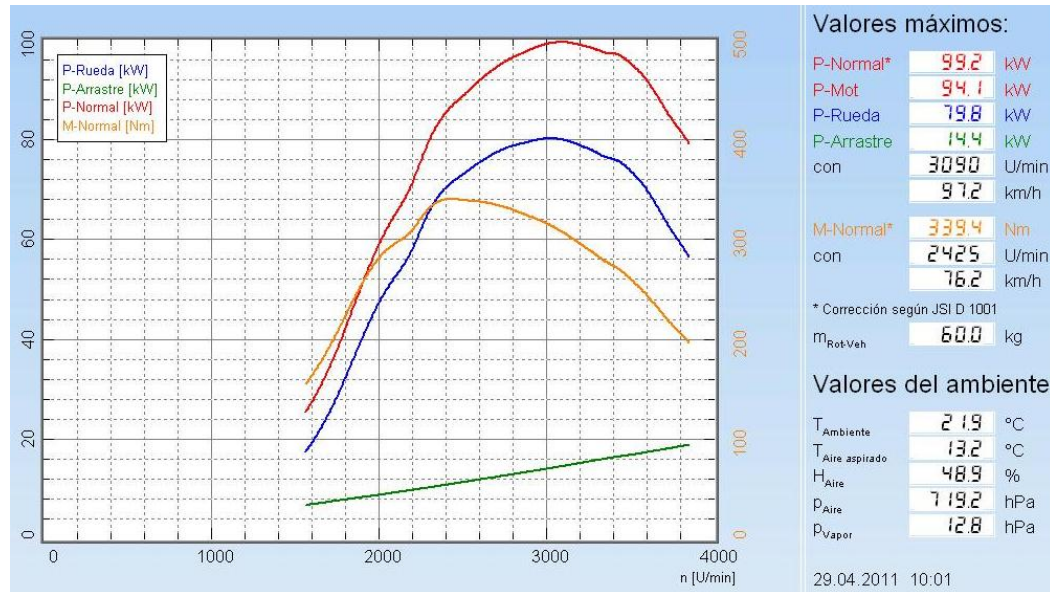
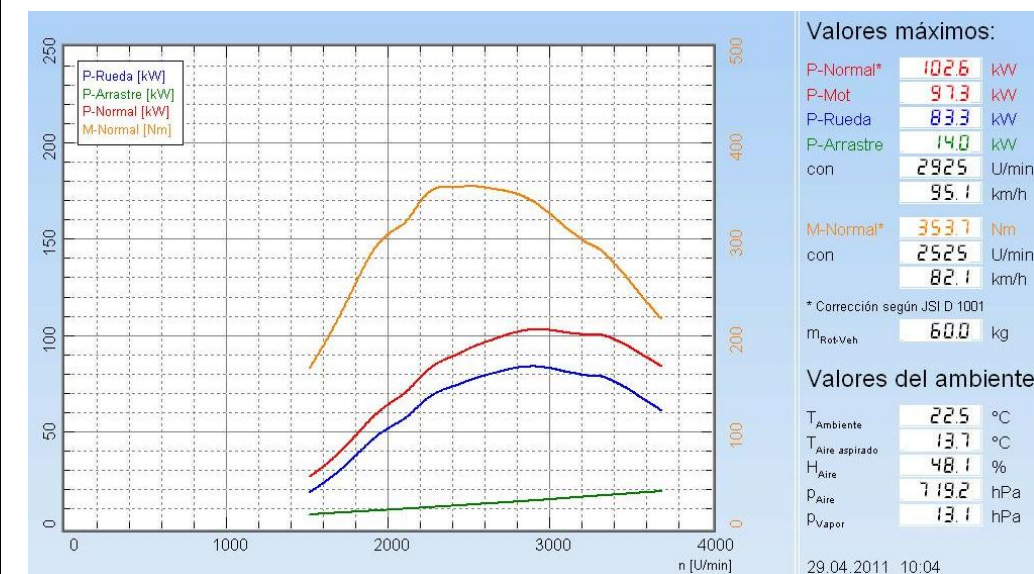


Figura 3.28: Potencia y torque 2 con diesel Premium, 0,5% de aditivo y 5% de agua



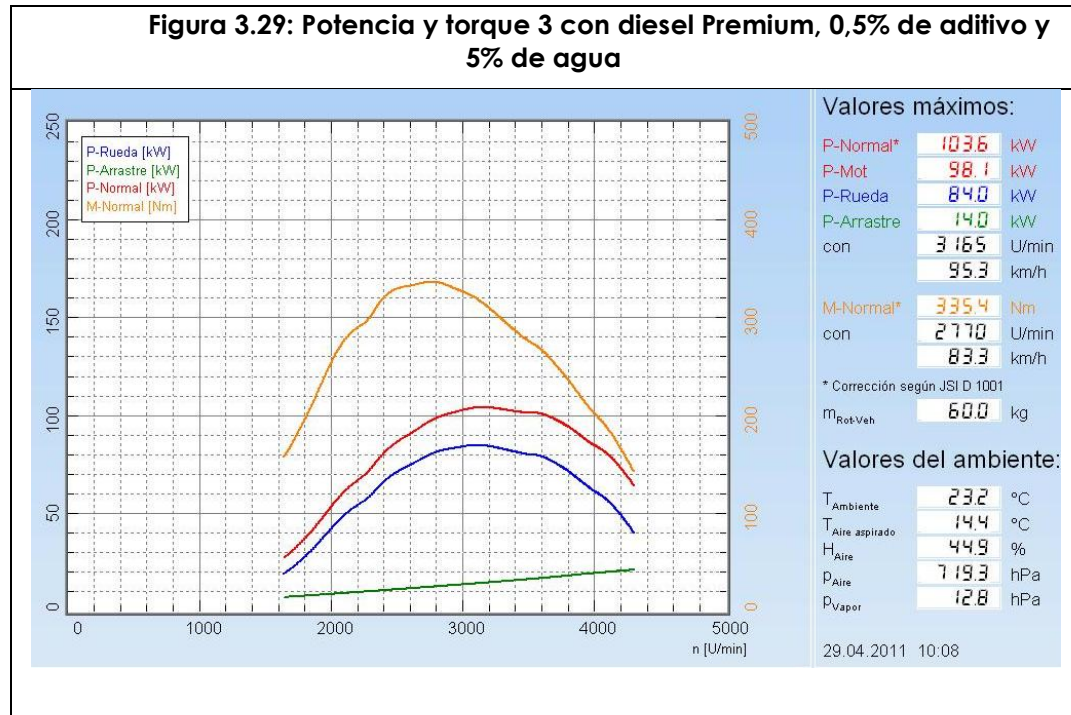


Tabla: 3.5: Torque y potencia media con diesel Premium, 0.5% de aditivo y 5% de agua		
Valores medios		
Potencia normal	101,8kW	136,5HP
Potencia del motor	96,5kW	129,4HP
Potencia de las ruedas	82,4kW	110,5HP
Potencia de arrastre	14,1kW	18,9HP
Torque	342,8Nm	

3.5. Obtención de las emisiones de los gases de escape

Esta prueba se realizó utilizando simultáneamente los dos equipos de medición, el banco dinamométrico se configuró para realizar dos pruebas de velocidad constante a (50 y 80km/h), durante un tiempo determinado (dos minutos en cada velocidad), con una simulación de carga constante de 100Nm. Durante el tiempo indicado anteriormente y mediante el analizador de gases, se

procede a obtener las cantidades en gramos (peso) de los diferentes gases producto de la combustión.

Esta prueba se realiza homológamente para cada uno de los combustibles, comenzando primeramente con el diesel Premium puro que nos sirve como parámetro de comparación, posteriormente se mide con cada emulsión a su diferente porcentaje de agua. Al ejecutar las mediciones de la manera antes explicada podemos tener la seguridad que la única variable entre cada prueba va a ser el combustible con sus diferentes proporciones de agua, asegurándonos así de realizar una comparación real entre las emulsiones y el diesel Premium puro.

Para poder realizar las gráficas de las emisiones es necesario procesar los datos registrados en el analizador, éste mide en intervalos de 1 segundo, por lo cual se tiene una cantidad sumamente extensa de datos, estos datos se envían a un ordenador que a su vez procesa y resume los datos, dando al final una medición en gramos de cada gas. Una vez extraído el resumen, elaboramos las gráficas donde se puede mostrar fácilmente la cantidad de emisión de cada uno de los gases procedentes de la combustión.

3.6. Conclusiones

El banco dinamométrico utilizado sin duda es uno de los mejores y más completos equipos del país, la ejecución de las pruebas fueron sencillas pero totalmente eficaces, es por ello que podemos concluir que la obtención de las curvas características del motor fueron realizadas satisfactoriamente.

Para la medición de las emisiones contaminantes fue necesaria la utilización de los dos equipos simultáneamente, el banco dinamométrico nos permite simular una determinada condición de carga al vehículo la cual se repite exactamente igual para cada uno de los combustibles utilizados, mientras el analizador de gases archiva la información obtenida. Este procedimiento nos

garantiza una real medición de las emisiones al no existir más variables que la de los distintos porcentajes de la emulsión.

Es importante mencionar que el analizador de gases utilizado es un equipo de última generación, cuyo valor es de unos \$ USD150 000 razón por la cual la Secretaría del Ambiente es la única institución en el país que dispone de dicho artefacto. La intención de lo expuesto anteriormente es demostrar la veracidad de los resultados a los que finalmente llegaremos.

CAPÍTULO IV

TABULACIÓN Y ANÁLISIS DE DATOS MEDIDOS DE EMISIONES Y RENDIMIENTOS

4.1. Antecedentes

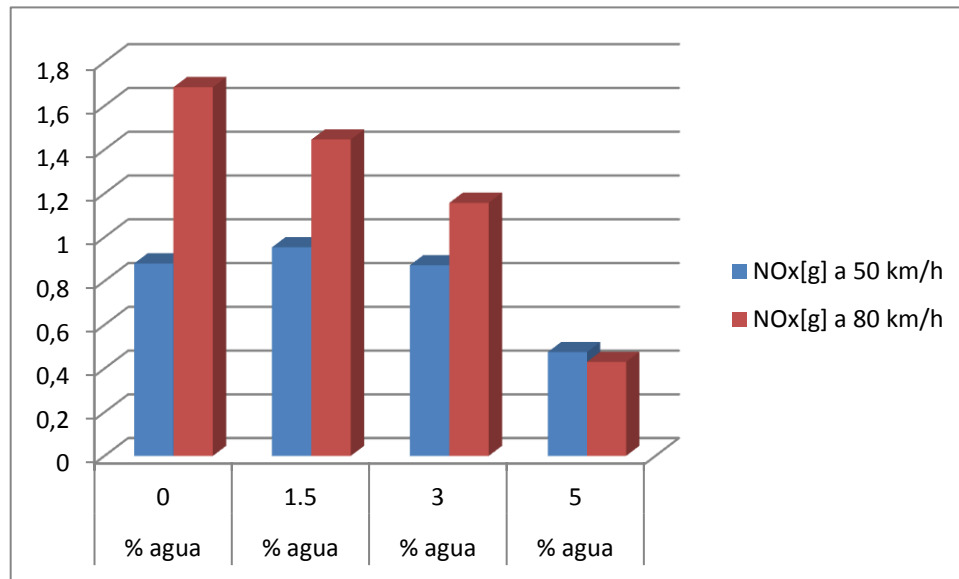
La función principal de incluir el agua en el diesel es mejorar la atomización, mediante la vaporización del agua, ya que el punto de evaporación es más bajo que el del diesel. Por ello en este capítulo se determinará la cantidad idónea de agua en la emulsión para que exista un equilibrio tanto en el incremento de potencia como en la disminución de emisiones contaminantes.

4.2. Análisis de las emisiones de los gases de escape

4.2.1. Análisis de óxido de nitrógeno (NOx)

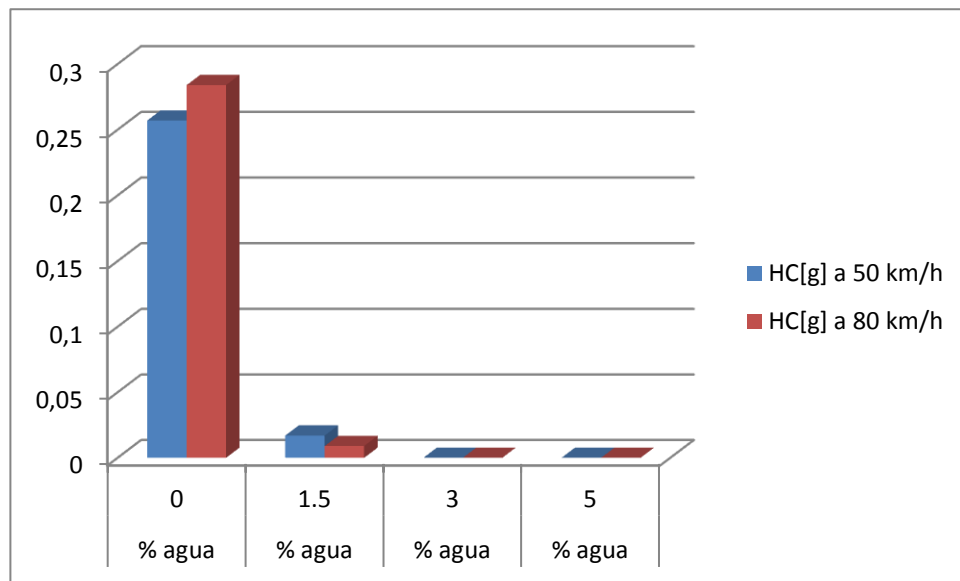
Las emisiones de óxidos de nitrógeno (NOx), que son las responsables de ocasionar las lluvias ácidas, bajaron gradualmente conforme a una mayor cantidad de agua en la emulsión. Se disminuyó de 2.5gr usando el diesel Premium a 2,3gr con el diesel emulsionado al 1,5% de agua, 1,9gr al 3% de agua y 0,8gr al 5% de agua, estos valores son el resultado de la suma de los datos obtenidos en ambas velocidades. Esto nos demuestra que existe una disminución del **8%, 25% y 68%** respectivamente.

Figura 4.1: Gráfico comparativo de NOx con los diferentes porcentajes de agua



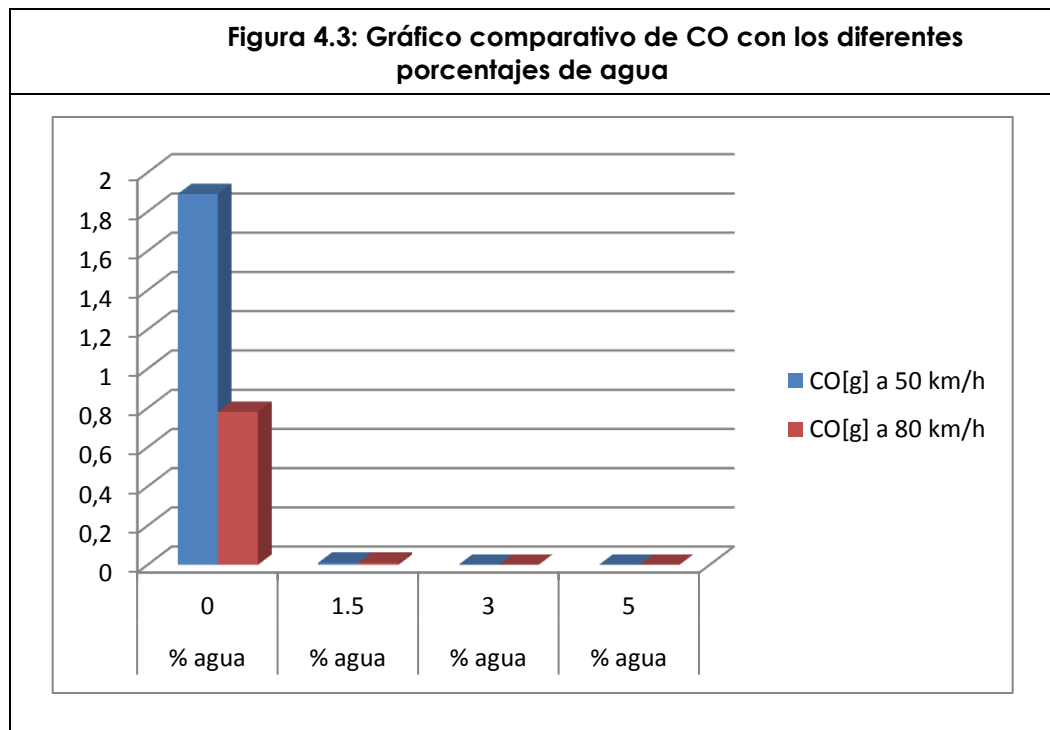
4.2.2. Análisis de los hidrocarburos no combustionados (HC)

Figura 4.2: Gráfico comparativo de HC con los diferentes porcentajes de agua



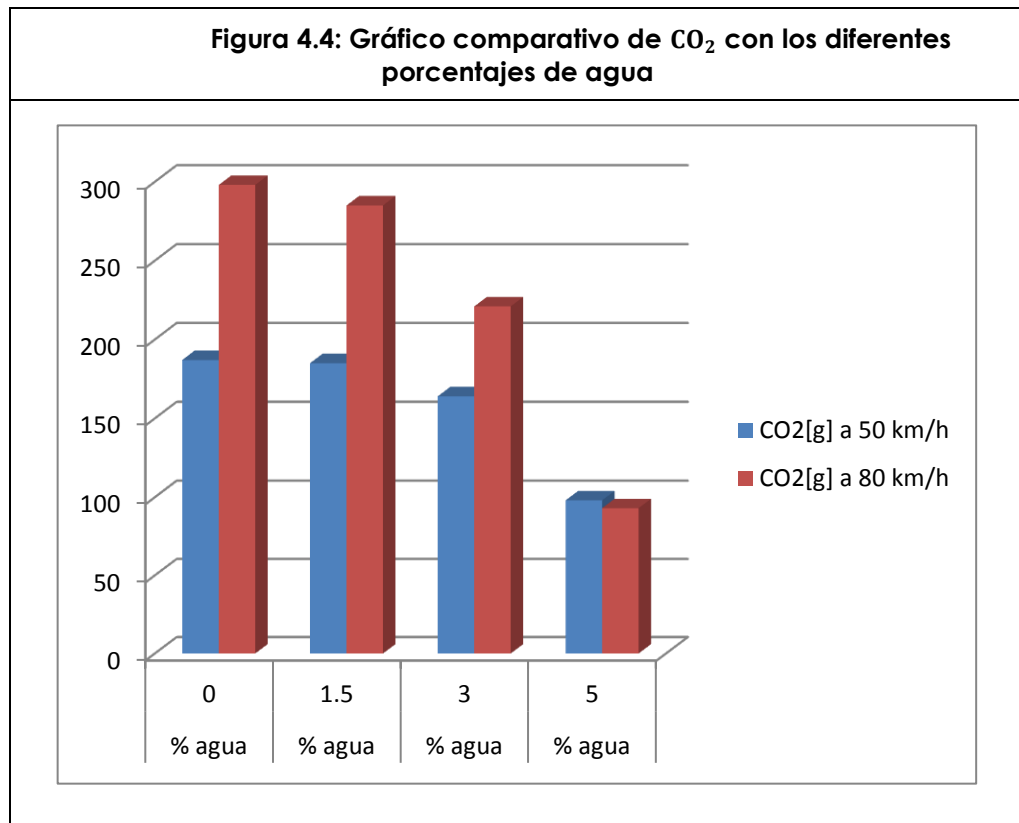
Estos hidrocarburos son residuos de combustible que no se quemaron adecuadamente en el interior de los cilindros y por ello son expulsados crudos al ambiente lo cual es sumamente contaminante además de existir un desperdicio energético. Utilizando el diesel Premium se registró una emisión de 0,58gr, con la emulsión al 1,5% de agua se obtuvo una notoria disminución a tan solo 0,04gr. Finalmente con la emulsión al 3% y 5% de agua el analizador de gases no registro ningún residuo HC.

4.2.3. Análisis de monóxido de carbono (CO)



Este gas afecta la salud de las personas, en grandes cantidades o espacios cerrados puede causar hasta la muerte. Al realizar la medición con el diesel Premium se registraron 2,6gr de CO, utilizando las emulsione en cada una de sus proporciones, no se registró residuo alguno de monóxido de carbono.

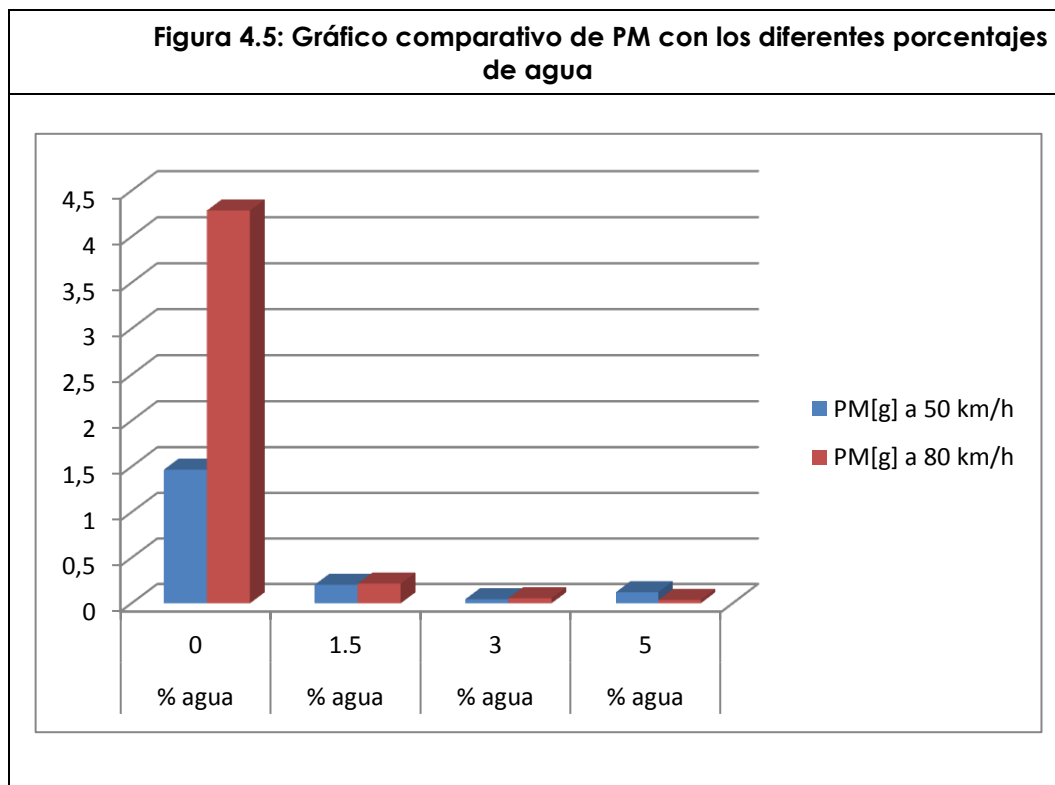
4.2.4. Análisis de dióxido de carbono (CO₂)



La emisión de dióxido de carbono, que es un gas de efecto invernadero, disminuyó de 470gr usando el diesel Premium a 440gr con el diesel emulsionado al 1,5% de agua, 375gr al 3% de agua y 170gr al 5% de agua, existe una reducción del **6,4%, 20,2% y 63,8%** respectivamente de las emisiones de CO₂.

Los resultados indicados en el párrafo anterior, son la suma de las emisiones registradas en las dos velocidades efectuadas en la prueba.

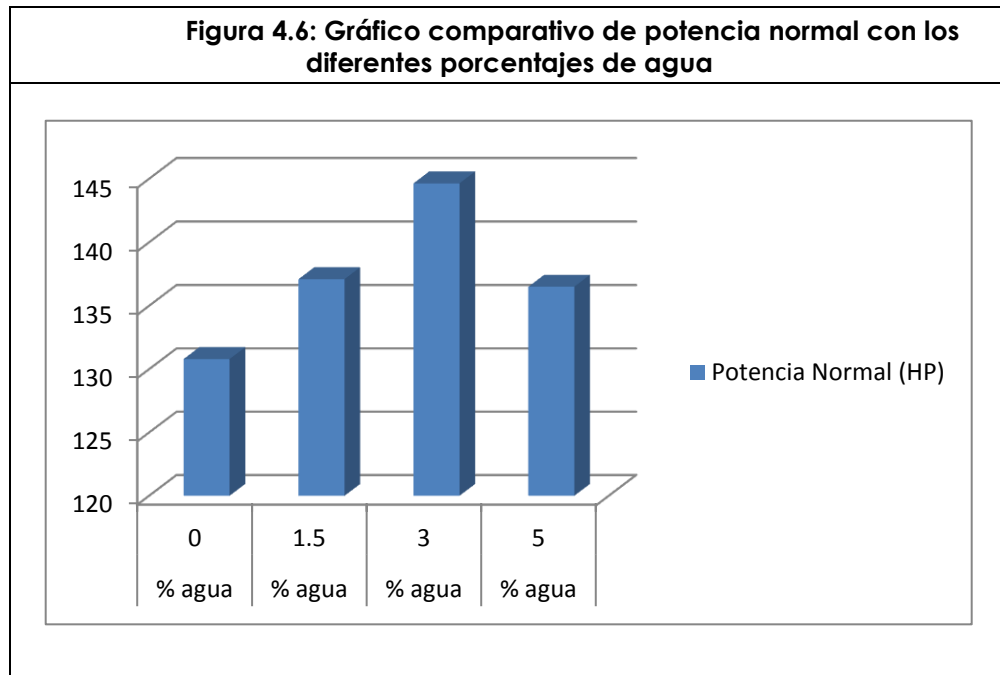
4.2.5. Análisis de material particulado (PM)



El material particulado son los residuos sólidos producto de una inadecuada combustión, que ocasionan el característico humo negro. El analizador de gases nos entregó sumados los resultados a las dos velocidades, 5,7gr de dichas partículas al realizar la prueba con el diesel Premium, 0,4gr para la emulsión al 1,5% de agua, 0,2gr al 3% de agua y 0,3gr al 5% de agua. La disminución del material particulado fue mayor al 92% para las tres emulsiones realizadas.

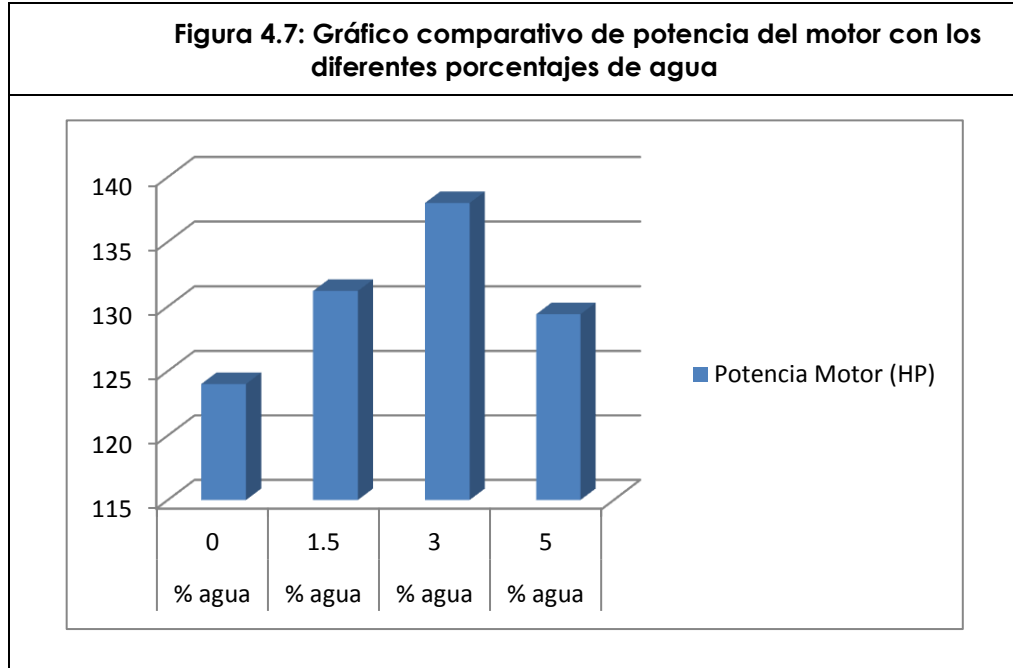
Análisis comparativo de las curvas del motor

4.2.6. Análisis de potencia normal



La potencia normal es un valor referencial que nos entrega el equipo de medición aproximándose a un funcionamiento del motor sin que exista pérdidas energéticas por factores como fricción, calor, etc. Para ello la maquina utiliza un factor de corrección aproximado que se utiliza para cualquier vehículo.

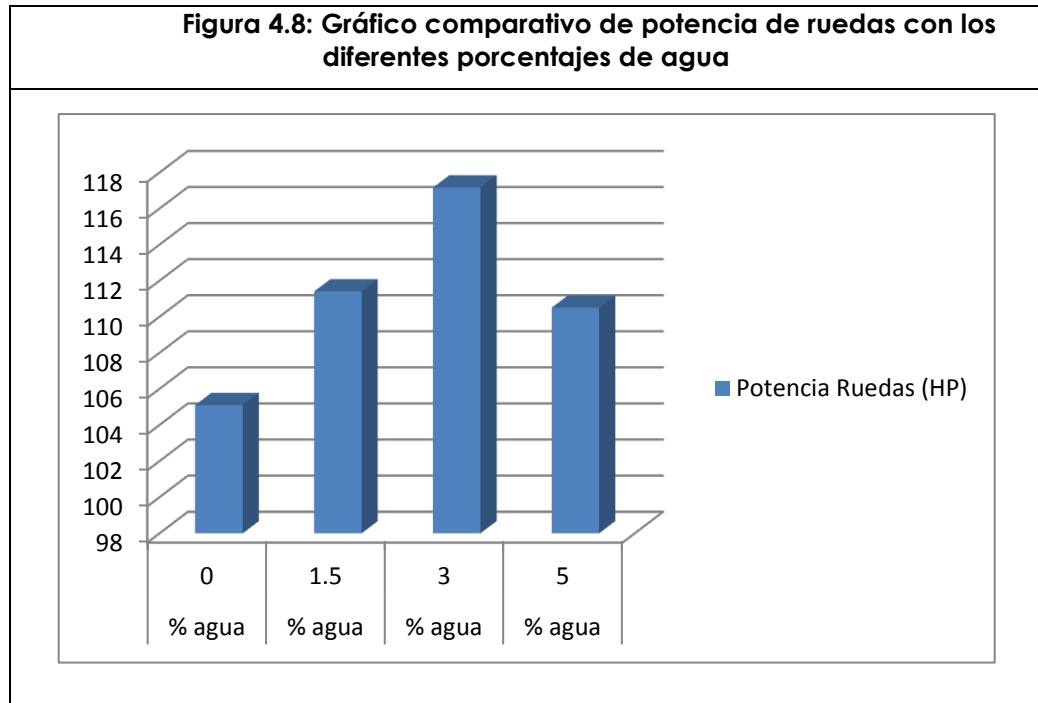
4.2.7. Análisis de potencia del motor



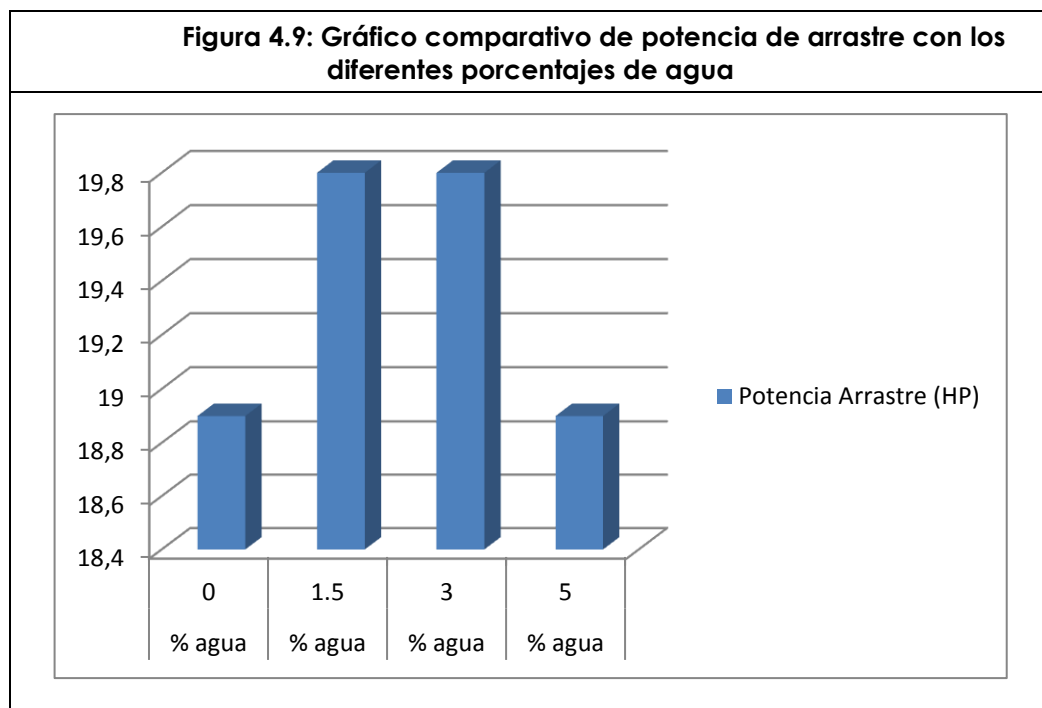
La medición de la potencia del motor es el punto más importante que debemos analizar pues nos indica directamente la efectividad o no de la emulsión, en términos de mejora de la combustión al interior de los cilindros.

La potencia del motor medida con el diesel Premium fue de 124HP, con el 1.5% de agua 131,2HP, con el 3% de agua 137HP y con el 5% de agua 129.4HP. En términos porcentuales se obtuvo un incremento del **5,8%, 10,5% y 4,4%** respectivamente. Es importante observar que existe un pico de potencia al utilizar la emulsión con el 3% de agua, al aumentar la cantidad de agua la potencia disminuye, esto se debe a que el agua absorbe más energía para elevar su temperatura. Además en términos de cantidad de kilo calorías respecto al volumen también existe una disminución que como análisis final no es compensada con la mejora de la combustión.

4.2.8. Análisis de potencia de ruedas

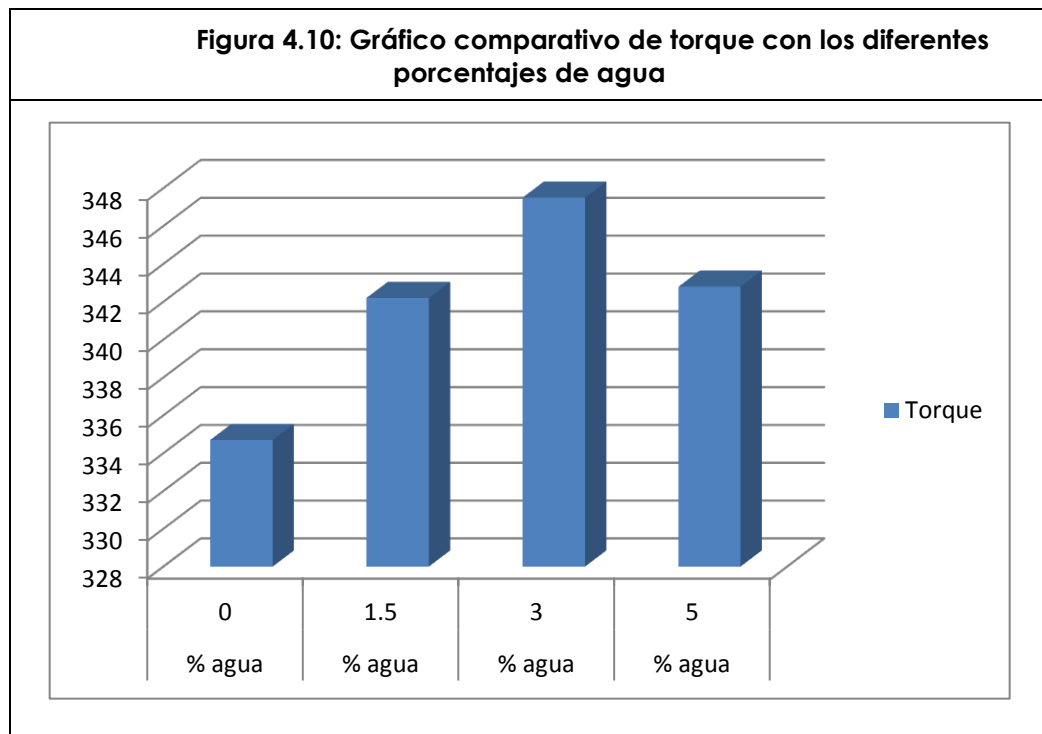


4.2.9. Análisis de potencia de arrastre



La potencia de arrastre es generada por la inercia dinámica del motor. Su medición comienza cuando dejamos que el motor disminuya su revolución de giro libremente, es por ello que esta potencia depende del número de revoluciones alcanzado en la prueba mas no del combustible utilizado. Es por ello que se puede observar que no existe una variación significativa de este parámetro.

4.2.10. Análisis de torque



De manera similar a la potencia del motor se obtuvo un aumento del torque, esto demuestra que la fuerza del vehículo ha incrementado, como efecto de la mejoría de la combustión. La medida con el diesel Premium puro dio 334.7Nm, con el 1.5% de agua 342.2Nm, con el 3% de agua 347.5Nm y con el 5% de agua 342.8Nm. En términos porcentuales se registró una mejoría del **2,2%, 3.8% y 2.4%** respectivamente.

4.3. Conclusiones

Después de analizados los resultados tanto de emisiones como de curvas del motor, podemos llegar a la conclusión más importante, que es haber probado que las características del diesel emulsificado con el agua, mejoraron, con respecto al diesel Premium, pues se observa una disminución en las emisiones contaminantes y un aumento de torque y potencia del motor.

Se pudo observar que a mayor cantidad de agua en la emulsión, menores fueron las emisiones contaminantes. Por otra parte se obtuvo un pico de aumento de la potencia y torque del motor al utilizar la emulsión con el 3% de agua, el incremento de potencia y torque, con respecto al diesel Premium, fue del 10,5% y 3,8% respectivamente.

Finalmente nuestra apreciación nos indica que el diesel emulsionado al 3% de agua, es el óptimo para el uso en el vehículo, pues presenta un elevado aumento en las prestaciones del motor y una importante disminución en las emisiones contaminantes.

CAPÍTULO V

ESTUDIO DE COSTOS DE EMULSIÓN

5.1. Variación de consumo

5.1.1. Antecedentes

En los capítulos anteriores logramos comprobar que utilizando el diesel emulsionado, el vehículo aumentó su potencia. Esto claramente nos indica que se logró mejorar la combustión de los gases al interior de los cilindro, por lo tanto en este capítulo analizaremos en qué medida varía el consumo de combustible y el costo del mismo. La mayor potencia que se obtuvo en el vehículo al realizar las pruebas, fue al utilizar la emulsión con el 3% de agua en el diesel, es por ello que analizaremos el consumo con esta proporción de agua en la emulsión.

5.1.2. Método de medición

Se instaló en el vehículo de prueba un circuito de alimentación de combustible en remplazo del propio del vehículo, con la finalidad de poder medir eficazmente la cantidad de diesel consumido, de esta manera podemos cambiar con facilidad los diferentes combustibles, empezando con el diesel normal y luego remplazando por las emulsiones con diferentes porcentajes de agua.

Al iniciar el recorrido colocamos 12 000cm³ diesel en el depósito provisional instalado, al terminar la ruta medimos el combustible restante y obtuvimos el consumo del mismo.

Figura 5.1: Adaptación del sistema de alimentación de combustible



5.1.3. Ruta

La ruta establecida tiene su punto de partida en la Secretaría del Ambiente, ubicada en la Avenida Río Coca E6-85 e Isla Genovesa, llegando hasta el Centro de revisión vehicular Guamaní, ubicado en la calle H y Leónidas Mata (Barrio la Perla de Guamaní), y retornando al punto de partida. La distancia entre estos dos puntos es de 35 kilómetros.

En el centro de revisión vehicular de Guamaní se realizaron las pruebas en el dinamómetro y las pruebas de emisiones a velocidad y fuerza constante, estas pruebas nos dieron una media de recorrido del vehículo en el dinamómetro de 10 kilómetros. El recorrido total de la prueba de consumo fue de 70 kilómetros en ruta y 10 kilómetros en el dinamómetro los que nos da un recorrido final de 80 kilómetros.

Figura 5.2: Mapa de la ruta recorrida



Fuente: <http://maps.google.com/> [05/2011]

5.1.4. Consumo de diesel Premium versus diesel emulsificado con el 3% de agua

Después de realizada las pruebas en carretera así como las pruebas en el centro de revisión vehicular de Guamaní, se obtuvo un consumo de

combustible de $8\,300\text{cm}^3$ con el diesel puro y de $8\,200\text{cm}^3$ con el diesel modificado, pudiendo de esta forma darnos cuenta de una disminución de 100cm^3 .

5.2. Costo del agente emulsionante

El agente emulsionante es una formulación conformada por varios elementos o aditivos que tienen la misión de emulsionar el diesel con el agua de manera eficaz, evitando que la emulsión se separe con facilidad. Por otra parte en su formulación tiene aditivos encargados de mejorar ciertas características del combustible como aumentar el índice de cetano, evitar la corrosión, aumentar el factor lubricante del combustible; esto, con el fin de mejorar la combustión de los gases y preservar el estado de los elementos y sistemas del vehículo.

El Ing. Raúl Merchán es el autor intelectual y quien nos provee el agente emulsivo, el costo por galón es de \$15 dólares americanos, el certificado que avala lado está ubicado en el capítulo 2 del presente trabajo. Un galón de agente emulsionante equivale a $3\,800\text{cm}^3$.

5.3. Comparación de costos con el diesel comercial

5.3.1. Costo de Diesel Premium

El valor establecido del diesel Premium en el Ecuador es de \$ 1,03 dólares americanos por cada galón de combustible. Un galón de combustible equivale a $3\,800\text{cm}^3$.

5.3.2. Costo del diesel modificado con el 3% de agua y el 0,5% de emulsionante

Para realizar la mezcla en esta emulsión, calculamos a cuantos centímetros cúbicos equivale el 3% del galón de diesel Premium, este resultado es de 114 cm³, dicha cantidad es extraída del galón de diesel Premium y sustituido por el agua. La proporción de agente emulsionante es del 0,5%, este valor expresado en centímetros cúbicos es de 19 cm³, esta cantidad de igual manera se extrae del diesel Premium y se sustituye por el agente emulsionante.

A los 3 800 cm³ de diesel Premium se le disminuye 114 cm³ del agua y 19 cm³ del agente emulsionante lo que nos da como resultado 3 667 cm³ de diesel Premium. El costo del galón (3 800cm³) de diesel Premium en el Ecuador es de \$1,03 dólares americanos, por lo tanto los 3 667 cm³ de diesel Premium tienen un valor de \$ 0,994 dólares americanos.

El precio del galón (3 800 cm³) del agente emulsionante es de \$15 dólares americanos, por lo tanto los 19 cm³ del agente emulsionante tienen un valor de \$ 0,075 dólares americanos. El costo del agua utilizado para la emulsión es tan pequeño que es completamente despreciable para nuestro cálculo.

El valor total de un galón de diesel emulsionado con 3% de agua y el 0,5% de agente emulsionante es igual a la suma del costo de los 3 667 cm³ de diesel Premium más el costo de los 19 cm³ de agente emulsionante.

$$\text{Costo del diesel modificado} = \$0,994 + \$0,075$$

$$\text{Costo del diesel modificado} = \mathbf{\$1,069}$$

5.3.3. Cuadro comparativo de precios

Tabla 5.1: Cuadro comparativo de precios		
COMBUSTIBLE	CANTIDAD (cm ³)	PRECIO (dólares)
Diesel Premium	3 800	1,03
Diesel modificado	3 800	1,069

5.4. Conclusiones

Con respecto a las pruebas de consumo de combustible debemos decir que las pruebas de ruta realizadas no son lo suficientemente profundas para sacar conclusiones, se deberían realizar pruebas de ruta donde se recorra una mayor cantidad de kilómetros y se puedan sacar muestras de consumo de combustible mucho más precisas. Estas pruebas no se pudieron realizar en este estudio debido al factor económico que esto implicaría.

La conclusión que podemos dar en la prueba de ruta realizada ya que se registró un menor consumo del combustible emulsionado (100 cm³) y que se deduce que al aumentar la potencia del vehículo y mejorar la combustión al interior del motor se necesita un menor ingreso de combustible; es que el vehículo consume menor cantidad de combustible utilizando el diesel emulsionado al 3% de agua. Lamentablemente la prueba de ruta fue tan corta y existieron variables como el clima, el tráfico que no nos permitieron determinar o afirmar cuanto disminuyó el consumo de combustible.

El costo del agente emulsionante es sumamente bajo si analizamos el incremento de potencia del vehículo y sobre todo el factor medio ambiental, reducir emisiones realmente es el tema más importante hoy en día, esto claramente nos indica que el precio del emulsionante es insignificante en comparación con los beneficios que podemos obtener del mismo.

Los estudios efectuados en la comparación de costos del diesel Premium respecto al diesel emulsionado al 3% de agua nos indican que existe un incremento de 3,9 centavos de dólar por cada galón de combustible. Para nosotros este incremento es sumamente mínimo, en primer lugar al determinar efectivamente cuál es la disminución de consumo podríamos estimar de mejor manera la variación en el costo final del diesel emulsionado, pero aunque no existiese una variación en el consumo, la diferencia de precio es irrelevante pues se obtiene una mayor potencia del motor y sobre todo una disminución de los gases contaminantes.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES GENERALES

La principal conclusión al término del estudio que hemos realizado, fue la demostración de que se desarrolló satisfactoriamente una emulsión Diesel-Agua que mejora las prestaciones de rendimiento y emisiones de los motores diesel de combustión interna.

Se determinó que la cantidad ideal de agua en el diesel fue del 3%, utilizando un 0,5% de agente emulsivo. Con esta proporción se obtuvo un incremento de la Potencia del motor de 13HP, equivalente a un 10,5% con respecto al diesel Premium comercial. El Torque aumento 12,8Nm, equivalente a un 3,8%.

Conforme se aumentó la cantidad de agua en la emulsión, se obtuvo un decremento de las emisiones contaminantes. Los óxidos de nitrógeno (NOx) disminuyeron hasta en un 68%, el dióxido de carbono (CO₂) hasta un 63,8%, el material particulado (PM) hasta un 97%, finalmente en el estudio del monóxido de carbono (CO) y de los hidrocarburos no combustionados (HC), se consiguió una reducción del 100%, pues el analizador de gases no registró residuo alguno de estos gases.

Los estudios efectuados en la comparación de costos del diesel Premium y el diesel emulsionado con el 3% de agua, nos indican que existe un aumento de 3,9 centavos de dólar por cada galón de combustible de este último. Pensamos que este incremento en el precio es sumamente bajo, pues se mejoró notable las prestaciones del motor y principalmente se redujeron, en gran medida, las emisiones contaminantes emitidas al ambiente.

El factor más importante en el desarrollo de este proyecto, es el adecuado funcionamiento del agente emulsivo, si este elemento no cumpliera efectivamente su misión sería imposible demostrar lo explicado en la teoría, ni haber obtenido los resultados que conseguimos en las pruebas experimentales, pues el diesel y el agua no se podrían mezclar de forma estable ni homogénea.

Reducir la contaminación es el tema más importante hoy en día. Mundialmente se gastan millones de dólares en investigación y desarrollo de proyectos con la única misión de preservar el medio ambiente. Estamos seguros que este proyecto tiene un alcance muy grande y es por ello que no se debería escatimar recursos ni esfuerzo en la realización de todos los estudios que podrían faltar para implementar este combustible para el consumo masivo.

Se deben ampliar muchas de las pruebas y estudios, las mismas que por el aspecto económico no las hemos podido realizar, pero esperamos que la conclusión de este proyecto sea la llave y el inicio de una investigación más grande y profunda, esto con el apoyo de algún organismo o institución dispuesta a no escatimar recursos.

BIBLIOGRAFÍA

Referencias bibliográficas:

- DANOWSKY, HORST; Manual práctico de tecnología mecánica; 6ed.Barcelona; Ed. G. Gili; S.A.; 2001.
- FELDER Richard; Principios elementales de los procesos químicos; 2 Ed.; North Carolina State University; 2004.
- HISCOX A., HOPKINS A.; Recetario Industrial de Formulas Químicas; 2 Ed.; 2007.
- KENNETH E., BANISTER, JANE Alexander; Manual de Eficiencia Energética Industrial; 3 Ed; 2008.
- MARKS AVALLONE A. Eugene; Manual del ingeniero mecánico; 9 Ed., McGraw Hill; 2005.
- MORENO SÁNCHEZ Gabriel F., CASTRO MORENO Luis G.; Motores diesel; 2 Ed.; 2008.
- NEMEROW N. L., DASGUPTA A.; Tratamiento de vertidos industriales y peligrosos; 4 Ed.; 2002.
- NORRIS Nicolas M.; Emulsiones y estabilidad de emulsiones; Surfactant Science Series; 7 Ed.; 2009.
- SAWYER - McCARTY – PARKIN; Química para ingeniería ambiental; 4 Ed, McGraw Hill; 2001.
- VSOROV B.A., Manual de motores diesel, Editorial Mir Moscú, [s.a.].
- WILSON Robert J.; El motor diesel sin problemas; Editorial Noray; 1 Ed.; Deiland; 2006.

Referencias electrónicas

CEPIS; Combustibles; Disponible en:
<http://www.cepis.org.pe/bvsci/E/fulltext/3encuent/dghmem.pdf>. [consulta 26 de mayo de 2010]

CEPIS; Lubrizol; Disponible en:
<http://www.cepis.ops.oms.org/bvsci/E/fulltext/3encuent/lubrizol.pdf>.
 [consulta 15 de mayo de 2010].

EL ERGONOMISTA; Emulsiones; Disponible en:
<http://www.elergonomista.com/galenica/emulsiones.htm>. [consulta 11 de febrero de 2010].

MINISTERIO DE ECONOMÍA DEL ECUADOR; Reglamentos de hidrocarburos; Disponible en:
http://www.minec.gob.sv/REGLAMENTOS_HIDRO/PRODUCTOS%20DE%20PETROLEO/ESPECIFICACIONES%20PRODUCTOS/RTCA_75_02_17_06.pdf.
 [consulta 2 de abril de 2010].

REF DOC.FR; Modelos combustibles; Disponible en:
<http://cat.inist.fr/?aModele=afficheN&cpsidt=965603>. [consulta 3 de junio de 2010].

REVELE; Diesel; Disponible en: <http://www.revele.com.ve/pdf/fiucv/vol18-n2/pag19.pdf>. [consulta 26 de marzo de 2010].

SCIENTI COLOMBIA; Visualizador motores; Disponible en:
http://201.234.78.173:8081/cvlac/visualizador/generarCurriculoCv.do?cod_rh=0000725714. [consulta 21 de octubre de 2010].

TEXTOS CIENTIFICOS; Emulsiones; Disponible en:
<http://www.textoscientificos.com/emulsiones>. [25 de febrero de 2010].

UNIDAD DE PLANEACION MICRO ENERGETICA; Diesel; Disponible en:
http://www.upme.gov.co/terminos/borradores/090_borrador.pdf. [consulta 29 de abril de 2010].

WEARCHECK IBERICA; Análisis de combustión; Disponible en:
http://www.wearcheckiberica.es/documentacion/doctecnica/ANALISIS_DE_LA_COMBUSTION.pdf. [consulta 14 de julio de 2010].

ANEXOS

Anexo 1: Certificado del Ing. Raúl Merchán

Cuenca 18 de Junio del 2011

Señores

Pablo Esteban Rivera Barrera

Luis Alfredo Salgado Álvarez

**EGRESADOS DE LA FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA AUTOMOTRIZ DE LA
UNIVERSIDAD DEL AZUAY**

Yo Ingeniero Mecánico Raúl Fernando Merchán Arízaga, por medio de la presente certifico que les he entregado de forma gratuita un compuesto químico denominado "Agente Emulsivo" componente químico que sirve para "emulsionar el Diesel con el Agua durante un tiempo prolongado", cuya formulación es de mi exclusiva propiedad intelectual.

El costo de la producción por un galón es de quince dólares de los Estados Unidos de América, también por medio de la presente certifico que les he autorizado para que utilicen exclusivamente para el desarrollo de su Trabajo de Graduación intitulado "Desarrollo de una Emulsión Diesel-Agua para Motores de Combustión Interna".

La presente certificación pueden hacer uso en lo que crean conveniente.

Atentamente,



Ing. Mec. Raúl Merchán Arízaga

Anexo 2: Motorización del certificado del Ing. Raúl Merchán

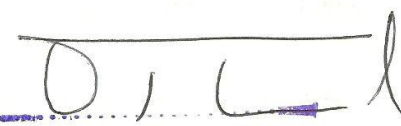


NOTARIO DÉCIMO
Cuenca-Ecuador

En la ciudad de Cuenca, Capital de la Provincia del Azuay, República del Ecuador, a DIEZ Y OCHO DE JULIO DEL AÑO DOS MIL ONCE, ante mí Doctor Florencio Morales Torres, Notario Décimo del cantón Cuenca, comparece el señor RAUL FERNANDO MERCHAN ARIZAGA, casado. Portador de la cedula de identidad número: 010277706-7, quien con el juramento de ley declara que la firma y rubrica puestas en el documento que antecede en donde se lee: "RAUL MERCHAN A." son suyas las mismas que utiliza en todos sus actos públicos y privados. Para constancia de lo cual firma conmigo el Notario, en unidad de acto de lo cual doy fe.-


010277706-7




Dr. Florencio Morales Torres
NOTARIO DÉCIMO DEL CANTÓN CUENCA

Anexo 3: Certificado de las características del agente emulsivo



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
DEPARTAMENTO DE METALURGIA EXTRACTIVA



RESULTADO DE ANALISIS

Solicitante: Sr. Raúl Fernando Merchán Arizaga
Referencia: ST - 3754
Fecha: 10-01-07
Muestras: Carbón
Método: Calcinación

Muestra	Determinación	Resultados
CARBON	Humedad	0,97%
	Volátiles	17,27%
	Cenizas	65,24%
	Carbón fijo	17,49%
	Poder Calorífico (calculado)	1370,8 Kcal/kg

[Firma]
Ing. Ernesto de la Torre
Jefe de Departamento



Anexo 4: Factura de las pruebas del agente emulsivo



ESCUELA POLITECNICA NACIONAL

Campus Politécnico "J. Rubén Orellana R"

Ladrón de Guevara E11-253 y Andalucía

Telfs.: 2 507-144 / CEC Telf.: 2908-081 / Fax: 2 567-848

e-mail: dirfinan@server.epn.edu.ec

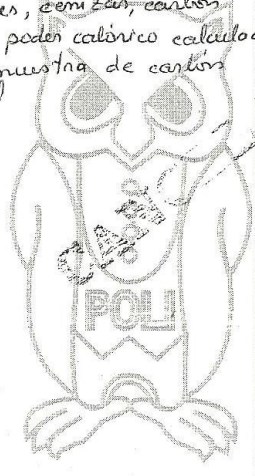
RUC. 1760005620001

FACTURA 001 -001

№ 0078324

Aut. SRI. 1104062274

Fecha de Emisión: 2007-01-03	Facultad/Instituto: 03.18
Empresa:	Metallurgia Extractiva
Señor (s): Raúl Fernando Marchán Arizaga	Laboratorio: 03.18.02 Metalurgia Química y Mineralúrgica
RUC/C.I. 010277100-3	Forma de Pago: Efectivo \$ 16.80
Dirección: Vía Ricaurte - Guala (Guinea)	Cheque No. Banco:
Tel.: 07-2901272	Valor Total \$ 16.80

CODIGO	DESCRIPCION	CANTIDAD	PRECIO UNIT.	VALOR TOTAL
	Determinación de: humedad, volátiles, cenizas, carbón fijo y poder calorífico calculado en 1 muestra de carbón mineral 			# 15,00

OBSERVACIONES:  ELABORADO POR Nombre: <u>Venerica Suarez</u> RECIBI CONFORME Nombre: <u>[Signature]</u> C. BUC:	SUBTOTAL A TRIBUTAR \$ 15,00 I.V.A. 12 % \$ 1,80 CON TARIFA 0% TOTAL FACTURA \$ 16,80
--	---

Mejía Toscano Gilber Ramiro - Gráficas Mejía - Telefax: 2605-883 - RUC: 1707504930001 / Ad. SRI. 1706 / Del 0072501 al 0087500 / SEPTIEMBRE 2006 PARA SU EMISION HASTA SEPTIEMBRE 2007

Original: CLIENTE/1era. Copia EMISOR/2da. - 3ra Sin Crédito Tributario

Anexo 5: Certificado de las características del diesel modificado



EL ECUADOR HA SIDO,
ES Y SERA PAÍS AMAZÓNICO

LABORATORIO CONTROL DE CALIDAD				DIESEL MODIFICADO		
FECHA DE TOMA DE MUESTRA				PROCEDENCIA		
2004-09-19						
PARAMETROS	METODO		ESPECIFICACION	% AGUA		
	ASTM	INEN		5	10	15
Gravedad específica, 60/60°F	D-1298	-	Reporte	0.8681	0.8712	0.8882
Gravedad API, 60/60 °F	D-1298	-	Reporte	31.5	30.9	27.8
Color ASTM	D-1298	-	Reporte	BLANCO	BLANCO	BLANCO
Punto de inflamación, °C	D-93	1047	Mín. = 51	64	60	64
Agua y Sedimento, %V	D-1796	1494	Máx. = 0.05	-	-	-
Destilación	D-86	928				
PIE, °C			Reporte	90	90	90
10%, °C			Reporte	105	105	105
50%, °C			Reporte	-	-	-
90%, °C			Máx. = 360	-	-	-
PFE, °C			Reporte	-	-	-
Viscosidad Cinemática a 37.8°C, cSt	D-445	810	2.5 - 6.0	8.5	9.4	11.2
Azufre, % P	D-4294	1490	Máx. = 0.7	0.44	0.39	0.34
Res. Carb. 10% Res, %P	D-524	1491	Máx. = 0.15	-	-	-
Cenizas, % P	D-482	1492	Máx. = 0.01	-	-	-
Corrosión Lámina de cobre	D-130	927	Máx. = No.3	1a	1a	1a
Índice Cetano Calculado	D-976	1495	Mín. = 45	-	-	-
OBSERVACIONES GENERALES: No aplica el parámetro de destilación debido a la presencia de agua en el Diesel Modificado						
 Ing. Fausto Carvajal O. Jefe Unidad Control de Calidad, Enc.						
24/09/04 XZ/Beatriz V.						

QUITO: Alpallana s/n y Whimper Teléfonos: 564811 - 522416 - 562264 Fax: 562175
 LA LIBERTAD: Frente a la Cda. "Las Acacias" Telfs.: 785211 Fax: 786395 - 785911
 ECUADOR

Anexo 6: Certificado del analisis de gases de combustion del diesel Premium



PETROINDUSTRIAL
REFINERÍA LA LIBERTAD
FILIAL DE PETROECUADOR

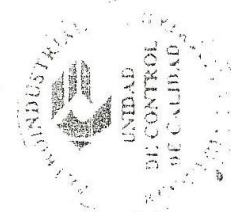
EL ECUADOR HA SIDO,
ES Y SERA PAÍS AMAZÓNICO

ANALISIS DE GASES DE COMBUSTION

PARÁMETROS	DIESEL 2				
	1	2	3	4	5
Análisis No.					
Hora	10:40	11:01	11:22	11:41	11:56
Equipo	Turbina #5	Turbina #5	Turbina #5	Turbina #5	Turbina #5
Temperatura Chimenea, °C	402.9	427.5	437.8	443.9	445.9
Oxígeno, %	17.38	17.31	17.32	17.34	17.37
Dióxido de Carbono, %	2.62	2.68	2.67	2.65	2.63
Monóxido de carbono, mg/m ³	4092	4387	4555	4696	4759
Óxido de nitrógeno, mg/m ³	142	133	128	129	124
Dióxido de azufre, mg/m ³	948	899	855	813	764
Eficiencia, %	26.9	24.1	22	20.8	19.8
Exceso de aire, %	422.5	412.5	414.1	416.7	420.4
Presión, mmH ₂ O	-5	5	6	3	3
Velocidad de flujo, mt/seg	6	6	6	5	5
Flujo m ³ /seg.	12	12	13	10	9

Equipo utilizado Testo 350 M/XL

Ing. Fausto Carvajal O.
Jefe Unidad Control de Calidad, Enc.



24/09/04
XZ/Bealuz V.

Anexo 7: Certificado del analisis de gases de combustion del diesel modificado



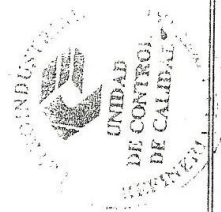
PETROINDUSTRIAL
REFINERÍA LA LIBERTAD
FILIAL DE PETROQUIMIA

EL ECUADOR HA SIDO,
ES Y SERA PAÍS AMAZÓNICO

ANALISIS DE GASES DE COMBUSTION

PARÁMETROS	DIESEL modificado				
	1	2	3	4	5
Análisis No.	15:36	15:51	16:12	16:34	16:52
Hora					
Equipo	Turbina #5	Turbina #5	Turbina #5	Turbina #5	Turbina #5
Temperatura Chimenea, °C	420	424	377	336	371
Oxígeno, %	17	17	17	17	17
Dióxido de Carbono, %	3	3	3	3	3
Monóxido de carbono, mg/m ³	4413	4669	4913	4966	4978
Óxido de nitrógeno, mg/m ³	118	108	118	113	118
Dióxido de azufre, mg/m ³	415	365	250	172	122
Eficiencia, %	28	28	35	40	38
Exceso de aire, %	455	446	461	479	439
Presión, mmH ₂ O	5	5	6	3	3
Velocidad de flujo, mt/seg	6	6	6	5	5
Flujo m ³ /seg.	12	12	13	9	10

Equipo utilizado Testo 350 M/XL



Ing. Fausto Carvajal O.
Jefe Unidad Control de Calidad, Enc.

24/09/04
XZ/Peatiz V

QUITO: Alpallana g/n y Whimper Teléfonos: 564811 - 522416 - 562264 Fax: 562175
LA LIBERTAD: Frente a la Cda. "Las Acacias" Telfs.: 785211 Fax: 786395 - 785911
ECUADOR

Anexo 8: Certificado de la comparacion del gases de combustion



EL ECUADOR HA SIDO,
ES Y SERA PAÍS AMAZÓNICO

ANALISIS DE GASES DE COMBUSTION

PARÁMETROS	DIESEL 2	Diesel Modificado	% Variación
Temperatura Chimenea, °C	432	386	11
Oxígeno, %	17	17	0
Dióxido de Carbono, %	3	3	0
Monóxido de carbono, mg/m ³	4498	4788	6
Óxido de nitrógeno, mg/m ³	131	115	12
Dióxido de azufre, mg/m ³	856	265	69
Eficiencia, %	23	34	32
Exceso de aire, %	417	456	9
Presión, mmH ₂ O	4	4	0
Velocidad de flujo, mt/seg	6	6	0
Flujo m ³ /seg.	11	11	0

Equipo utilizado Testo 350 M/XL
Datos promedio de resultados de análisis



[Signature]
Ing. Fausto Carvajal O.
Jefe Unidad Control de Calidad, Enc.

24/09/04
XZ/Beatriz V.

Anexo 9: Solicitud de autorizacion para utilizar los equipos de medicion



Oficio N° 090-11 -SEC-FCT-UDA
Santa Ana de los Ríos de Cuenca, a 19 de abril del 2011

Economista
Ramiro Morejón
SECRETARIO DE AMBIENTE
Su despacho.-

Referencia: Utilización de equipos

De mi consideración:

Por medio de la presente solicito a usted de la manera más comedida se sirva autorizar la utilización de los equipos de medición de emisiones que pertenecen a la Secretaría de Ambiente. Puesto que los señores: **PABLO ESTEBAN RIVERA BARRERA y LUIS ALFREDO SALGADO ALVAREZ**, egresados de la carrera de Ingeniería Mecánica de la Facultad de Ciencia y Tecnología, se encuentran realizando el trabajo de Grado denominado: **DESARROLLO DE UNA EMULSIÓN DIESEL AGUA PARA MOTORES DE COMBUSTIÓN INTERNA.**

Por la favorable acogida que se sirva brindar a la presente, anticipo mis sinceros agradecimientos.

Con sentimiento de distinguida consideración y estima, suscribo,

Atentamente,

Dra. Cecilia Maldonado Fajardo
SECRETARIA
FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA
UNIVERSIDAD DEL AZUAY

cc. Egresados



Anexo 10: Normas de seguridad del banco dinamométrico

Normas de seguridad para el funcionamiento LP 300

El banco de potencia sólo podrá operarse y utilizarse de acuerdo con su finalidad y únicamente dentro de los límites de potencia.

El banco de potencia sólo podrá ser utilizado por personal especializado, El banco de potencia y el entorno de trabajo deberán mantenerse limpios.

En caso de no usarse la instalación ésta deberá desconectarse y asegurarse el interruptor principal contra uso indebido.

En la zona de peligro del banco de potencia no deberá permanecer ninguna persona. Las partes rotatorias o en movimiento son peligrosas.

En caso de emergencia el interruptor principal (también interruptor de parada de emergencia) deberá ponerse en posición 0.

En salas cerradas, y con los motores en marcha, existe el peligro de intoxicación. El usuario del banco deberá asegurarse de que haya un intercambio de aire suficiente.

¡Use protectores del oído! ¡La protección debe ser adecuada! ¡Proteja los puestos de trabajo que se encuentran cerca del banco!

Recomendaciones generales

Compruebe la presión de los neumáticos y haga una inspección visual de los mismos para encontrar eventuales daños.

No deberán pisarse los juego de rodillos ni tampoco el sistema de elevación, ni siquiera en estado de bloqueo.

No haga movimientos rápidos con el volante durante el ensayo.

Compruebe a intervalos regulares el ajuste de los tornillos de sujeción de la placa de cubierta.

Para prevenir daños a los neumáticos recomendamos que se utilicen neumáticos de prueba durante el ensayo de potencia. ¡No deberán ensayarse los vehículos que tengan puestos neumáticos de invierno o recauchutados! ¡Observe la velocidad máxima admisible para los neumáticos!

Compruebe la sujeción de los pesos de equilibrado en las llantas antes del ensayo.

Observe el tamaño de los neumáticos. ¡No inspeccione neumáticos inferiores a 12“!

Deberá evitarse el desgaste innecesario del vehículo y del banco de pruebas. Acceda despacio al banco de pruebas.