



**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA EQUINOCCIAL**

**FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA E  
INDUSTRIAS**

**CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ**

**ESTUDIO COMPARATIVO DE POTENCIA DEL MOTOR  
DIÉSEL UTILIZANDO COMBUSTIBLE NACIONAL Y  
EXTRANJERO**

**TRABAJO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO  
DE INGENIERO AUTOMOTRIZ**

**GEOVANNY DAVID MAYORGA VÁSQUEZ**

**DIRECTOR: ING. EDWIN TAMAYO. MSc**

**Quito, noviembre 2016**

© Universidad Tecnológica Equinoccial. 2016  
Reservados todos los derechos de reproducción

## FORMULARIO DE REGISTRO BIBLIOGRÁFICO PROYECTO DE TITULACIÓN

DATOS DE CONTACTO	
CÉDULA DE IDENTIDAD:	1003858287
APELLIDO Y NOMBRES:	MAYORGA VÁSQUEZ GEOVANNY DAVID
DIRECCIÓN:	Barrio Las Casas, Martin de Utreras y Obispo Díaz de la Madrid, 2965.
EMAIL:	daviemayorga@gmail.com
TELÉFONO FIJO:	065000129
TELÉFONO MOVIL:	0987168850

DATOS DE LA OBRA	
TÍTULO:	“Estudio comparativo de potencia del motor Diésel utilizando combustible nacional y extranjero.”
AUTOR O AUTORES:	MAYORGA VÁSQUEZ GEOVANNY DAVID
FECHA DE ENTREGA DEL PROYECTO DE TITULACIÓN:	Quito, noviembre 2016
DIRECTOR DEL PROYECTO DE TITULACIÓN:	ING. EDWIN TAMAYO
PROGRAMA	PREGRADO <input checked="" type="checkbox"/> POSGRADO <input type="checkbox"/>
TITULO POR EL QUE OPTA:	Ingeniero automotriz
RESUMEN:	El presente trabajo tuvo la finalidad de realizar un estudio comparativo de potencia del motor diésel utilizando combustible nacional y extranjero, con el objetivo de analizar el comportamiento de este motor a diferentes condiciones de funcionamiento. La mayor parte de los motores diésel en nuestro país se han visto afectados por el uso del diésel nacional, el problema se presenta al momento de utilizar un combustible que no es refinado correctamente en comparación a

	<p>combustibles extranjeros, causando comportamientos anómalos que se estudiaron por medio de equipos de alta tecnología. Las prácticas fueron realizadas utilizando un dinamómetro y un opacímetro automotriz en el taller de la Universidad Internacional del Ecuador, para esto se utilizó estándares de medición, que permitió tener valores reales y con desviaciones dentro de los valores estadísticos aceptables. El combustible diésel extranjero utilizado fue el colombiano, por ser un combustible de alta calidad. El procedimiento empezó desde el estudio de las bases de la mecánica automotriz, analizando las características de los motores ciclo diésel, además se analizaron las características del diésel a ser utilizado, comparando valores que fueron útiles. Para la realización de la práctica se utilizó un camión que tiene una gran acogida en el parque automotor ecuatoriano, por su accesible costo y por su buena calidad y desempeño, el Kia K3000 con motor 3.0 cc ciclo diésel del año 2013, y con esto se quiso demostrar el impacto que generaría la mejora del comportamiento estudiando un vehículo de uso frecuente en el país. Los resultados obtenidos después de realizar cinco pruebas con el uso de los dos diferentes combustibles, ecuatoriano y colombiano fueron un incremento de 15.55% de potencia, 4.84% de aumento de torque, una disminución del 9.43% en el tiempo de aceleración (de 2000 a 4000RPM), aunque por otro lado existe un aumento en el consumo de combustible del 15.18%, concluyendo así que el combustible diesel</p>
--	--

	<p>ecuatoriano es de menor calidad en relación al combustible colombiano y que el combustible colombiano genera mejor rendimiento en el motor diesel.</p>
<p><b>PALABRAS CLAVES:</b></p>	<p>Dinamómetro  Rendimiento  Potencia  Torque  Diésel  Biodiesel  Consumo</p>
<p><b>ABSTRACT:</b></p>	<p>This work was intended to make a comparative study of engine power using national and foreign diesel fuel, with the aim of analyzing the behavior of the engine at different operating conditions. Most diesel engines in our country have been affected by the use of the national diesel, the problem arises when using a fuel that's not refined correctly compared to foreign fuels, causing abnormal behaviors were studied by means high-tech equipment. he practices were performed using a dynamometer and opacimeter in the workshop of the International University of Ecuador, for this were used measurement standards which allows real and deviations within acceptable statistical values. Foreign diesel fuel to be used was Colombian, being a high quality fuel. The process started from the study of the basics of mechanics, analyzing the characteristics of the diesel, making a comparison between values that were useful in practice. For the realization of the practice was used a truck that has a great reception in the Ecuadorian fleet, for its affordable and its good quality and performance, the Kia</p>

	<p>K3000 engine 3.0 cc diesel cycle of 2013, and this is to demonstrate the impact that would generate improved behavior studying a vehicle often used in the country. The results obtained after performing five tests with the use of two different fuels were encouraging, an increase of 15.55% power, 4.84% increase in torque, 9.43% decrease in acceleration time (2000 to 4000RPM), but on the other hand an increase in consumption of fuel of 15.18%. It concludes that the Ecuadorian diesel fuel is of lower quality in relation to the Colombian fuel and the Colombian fuel generates better performance in the diesel engine.</p>
<p><b>KEYWORDS</b></p>	<p>Dynamometer Performance Power Torque Diesel Biodiesel Consumption</p>

Se autoriza la publicación de este Proyecto de Titulación en el Repositorio Digital de la Institución.




---

MAYORGA VÁSQUEZ GEOVANNY DAVID  
C.I. 1003858287

## DECLARACIÓN Y AUTORIZACIÓN

Yo, MAYORGA VÁSQUEZ GEOVANNY DAVID, CI 1003858287 autor del proyecto titulado: “Estudio comparativo de potencia del motor Diésel utilizando combustible nacional y extranjero”, previo a la obtención del título de GRADO ACADÉMICO COMO APRECE EN EL CERTIFICADO DE EGRESAMIENTO en la Universidad Tecnológica Equinoccial.

1. Declaro tener pleno conocimiento de la obligación que tienen las Instituciones de Educación Superior, de conformidad con el Artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior, de entregar a la SENESCYT en formato digital una copia del referido trabajo de graduación para que sea integrado al Sistema Nacional de información de la Educación Superior del Ecuador para su difusión pública respetando los derechos de autor.

2. Autorizo a la BIBLIOTECA de la Universidad Tecnológica Equinoccial a tener una copia del referido trabajo de graduación con el propósito de generar un Repositorio que democratice la información, respetando las políticas de propiedad intelectual vigentes.

Quito, noviembre del 2016



---

MAYORGA VÁSQUEZ GEOVANNY DAVID  
C.I. 1003858287

## DECLARACIÓN

Yo **MAYORGA VÁSQUEZ GEOVANNY DAVID**, declaro que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

La Universidad Tecnológica Equinoccial puede hacer uso de los derechos correspondientes a este trabajo, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normativa institucional vigente.



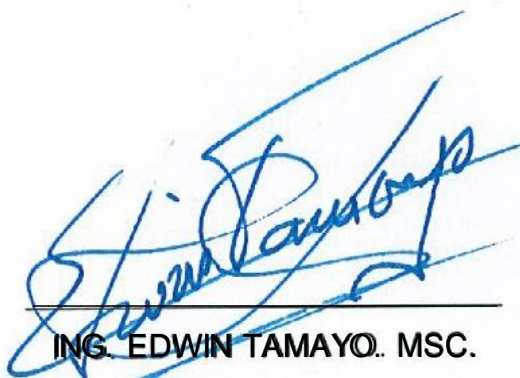
---

MAYORGA VÁSQUEZ GEOVANNY DAVID  
C.I. 1003858287



## CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo que lleva por título, “Estudio comparativo de potencia del motor Diésel utilizando combustible nacional y extranjero”, que, para aspirar al título de Ingeniero Automotriz fue desarrollado por MAYORGA VÁSQUEZ GEOVANNY DAVID, bajo mi dirección y supervisión, en la Facultad de Ciencias de la Ingeniería e Industrias; y cumple con las condiciones requeridas por el reglamento de Trabajos de Titulación artículos 19, 27 y 28.

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Edwin Tamayo', is written over a horizontal line. The signature is stylized and cursive.

**ING. EDWIN TAMAYO. MSC.  
DIRECTOR DEL TRABAJO**

C.I.1708601461

## DEDICATORIA

Dedico este trabajo con todo el amor a Jesucristo mi padre y único Dios, el cual se merece toda gloria, honra y adoración, por darme sabiduría, inteligencia y fuerza. A mi madre Alexandra, pilar fundamental en mi vida, aquella persona que cada madrugada se despierta con el anhelo de que sus hijos sean profesionales temerosos de Dios, a ella por sus consejos, sus palabras de ánimo, y por ser buena madre. A mi abuelo Miguel, que desde el inicio confió en mí y que abogó para que estudiara una carrera profesional, por ser un amigo y consejero al cual extraño tanto. A mis tíos Diana y Miguel, por su apoyo y cariño, quienes siempre demostraron su amor hacia mí y me cuidaron en este caminar. A toda mi familia que animó mi espíritu cuando estaba a punto de renunciar. Finalmente a mis amigos que estuvieron y están en mi vida, gracias a cada uno de ellos quienes enviados de Dios siempre fueron oportunos. A ellos todo mi trabajo.

# ÍNDICE DE CONTENIDOS

	PÁGINA
<b>RESUMEN</b> .....	vii
<b>ABSTRACT</b> .....	viii
<b>1. INTRODUCCIÓN</b> .....	1
<b>2. MARCO TEÓRICO</b> .....	3
2.1 MOTOR DIÉSEL.....	3
2.2 COMPORTAMIENTO DEL MOTOR DIÉSEL DURANTE EL CICLO .....	3
2.3 FORMACIÓN DE LA MEZCLA.....	5
2.4 DESEMPEÑO DEL MOTOR DIESEL .....	6
2.4.1 POTENCIA .....	6
2.4.1.1 POTENCIA EN FUNCIÓN DEL PODER CALORÍFICO .....	7
2.4.2 ENTALPÍA DE COMBUSTIÓN .....	8
2.4.3 RELACIÓN DE COMPRESIÓN .....	9
2.4.4 PRESIÓN MEDIA INDICADA.....	10
2.4.5 RENDIMIENTO DEL MOTOR.....	10
2.4.5.1 Rendimiento térmico .....	11
2.4.5.2 Rendimiento mecánico .....	12
2.4.5.3 Rendimiento total .....	12
2.4.5.4 Rendimiento volumétrico.....	13
2.4.6 CONSUMO ESPECÍFICO DE COMBUSTIBLE .....	14
2.4.7 CURVAS CARACTERÍSTICAS .....	14
2.4.7.1 Curva de potencia .....	15
2.4.7.2 Curva de par motor .....	16
2.4.7.3 Curva de consumo específico .....	16

2.4.7.4	Obtención de las curvas características .....	17
2.5	COMPOSICION DEL AIRE EN QUITO .....	18
2.6	COMBUSTIBLE DIESEL .....	19
2.6.1	PROPIEDADES.....	19
2.6.1.1	Densidad.....	19
2.6.1.2	Viscosidad .....	20
2.6.1.3	Punto de inflamación .....	20
2.6.1.4	Poder calorífico .....	20
2.6.1.5	Calor específico .....	20
2.6.1.6	Solubilidad .....	21
2.6.1.7	Acidez.....	21
2.6.1.8	Número de cetano.....	21
2.6.1.9	Aromáticos.....	22
2.6.2	COMBUSTIBLE DIESEL EXTRANJERO.....	22
<b>3.</b>	<b>METODOLOGÍA.....</b>	<b>25</b>
<b>4.</b>	<b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....</b>	<b>27</b>
4.1	ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL VEHÍCULO DE PRUEBA .....	27
4.2	COMBUSTIBLE DIESEL DE USO AUTOMOTRIZ EN EL DISTRITO METROPOLITANO DE QUITO.....	28
4.2.1	ORDENANZA 213 DEL DISTRITO METROPOLITANO DE QUITO – CAPÍTULO VI.....	30
4.3	COMBUSTIBLE DIESEL DE USO AUTOMOTRIZ EN LA REPÚBLICA DE COLOMBIA .....	31
4.4	RESULTADOS DE POTENCIA, TORQUE, CONSUMO DE COMBUSTIBLE Y TIEMPO DE ACELERACIÓN .....	33
4.4.1	RESULTADOS DE POTENCIA, TORQUE, CONSUMO DE COMBUSTIBLE Y TIEMPO DE ACELERACION, CON DIESEL ECUATORIANO .....	33

4.4.2 RESULTADOS DE POTENCIA, TORQUE, CONSUMO DE COMBUSTIBLE Y TIEMPO DE ACELERACION, CON DIESEL COLOMBIANO .....	36
4.5 GRÁFICOS DE CONTROL .....	38
4.6 ANÁLISIS GENERAL .....	41
4.6.1 PRUEBA DE OPACIDAD POR EL MÉTODO DE ACELERACIÓN LIBRE .....	46
<b>5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....</b>	<b>47</b>
5.1 CONCLUSIONES .....	47
5.2 RECOMENDACIONES .....	48
<b>GLOSARIO.....</b>	<b>49</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>50</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>52</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

	PÁGINA
<b>Tabla 1.</b> Composición porcentual del aire en Quito. ....	18
<b>Tabla 2.</b> Densidad de los combustibles diesel ecuatoriano y colombiano. ....	19
<b>Tabla 3.</b> Requisitos del diesel según diferentes normas técnicas. ....	23
<b>Tabla 4.</b> Ficha técnica Kia K3000.....	27
<b>Tabla 5.</b> Requisitos del diesel 2 de bajo contenido de azufre. ....	29
<b>Tabla 6.</b> Requisitos de calidad del combustible diesel y sus mezclas con biocombustibles.....	32
<b>Tabla 7.</b> Valores del rendimiento del motor diesel utilizando diesel ecuatoriano. ....	33
<b>Tabla 8.</b> Valores de potencia utilizando diesel ecuatoriano.....	34
<b>Tabla 9.</b> Valores de torque utilizando diesel ecuatoriano. ....	35
<b>Tabla 10.</b> Valores del rendimiento del motor utilizando diesel colombiano. ....	36
<b>Tabla 11.</b> Valores de potencia utilizando diesel colombiano. ....	36
<b>Tabla 12.</b> Valores de torque utilizando diesel colombiano. ....	37
<b>Tabla 13.</b> Promedio de medias y rangos para los gráficos de control. ....	39
<b>Tabla 14.</b> Límites para los gráficos de control de potencia.....	40
<b>Tabla 15.</b> Valores de potencia promedio máxima. ....	41
<b>Tabla 16.</b> Valores de torque promedio máximo utilizando diesel colombiano y ecuatoriano. ....	43

## ÍNDICE DE FIGURAS

	<b>PÁGINA</b>
<b>Figura 1.</b> Ciclo de trabajo del motor diesel. ....	4
<b>Figura 2.</b> Proceso de transformación de energía en motores de combustión interna. ....	11
<b>Figura 3.</b> Curvas características del motor. ....	15
<b>Figura 4.</b> Niveles de azufre del combustible diesel en Latinoamérica. ....	24
<b>Figura 5.</b> Kia K3000. ....	28

## ÍNDICE DE ANEXOS

	<b>PÁGINA</b>
<b>Anexo 1.</b> Tabla de constantes para elaborar gráficos de control .....	52
<b>Anexo 2.</b> Características técnicas del dinamómetro .....	53
<b>Anexo 3.</b> Características técnicas del opacímetro .....	54
<b>Anexo 4.</b> Instalación de los equipos de medición .....	55
<b>Anexo 5.</b> Instalacion de la sonda del opacímetro .....	55
<b>Anexo 6.</b> Opacímetro en funcionamiento .....	56
<b>Anexo 7.</b> Análisis de RPM en curso .....	56
<b>Anexo 8.</b> Rodillos del dinamómetro en funcionamiento .....	57
<b>Anexo 9.</b> Prueba finalizada .....	57
<b>Anexo 10.</b> Graficos de control de torque utilizando diesel ecuatoriano .....	58
<b>Anexo 11.</b> Graficos de control de potencia utilizando diesel colombiano .....	59
<b>Anexo 12.</b> Graficos de control de torque utilizando diesel colombiano .....	60



## RESUMEN

Este trabajo tuvo la finalidad de realizar un estudio comparativo de potencia del motor diésel utilizando combustible nacional y extranjero, con el objetivo de analizar el comportamiento de este motor a diferentes condiciones de funcionamiento. La mayor parte de los motores diésel en nuestro país se han visto afectados por el uso del diésel nacional, el problema se presenta al momento de utilizar un combustible que no es refinado correctamente en comparación a combustibles extranjeros, causando comportamientos anómalos que se estudiaron por medio de equipos de alta tecnología. Las prácticas fueron realizadas utilizando un dinamómetro y un opacímetro automotriz en el taller de la Universidad Internacional del Ecuador, para esto se utilizó estándares de medición, que permitió tener valores reales y con desviaciones dentro de los valores estadísticos aceptables. El combustible diésel extranjero utilizado fue el colombiano, por ser un combustible de alta calidad. El procedimiento empezó desde el estudio de las bases de la mecánica automotriz, analizando las características de los motores ciclo diésel, además se analizaron las características del diésel a ser utilizado, comparando valores que fueron útiles. Para la realización de la práctica se utilizó un camión que tiene una gran acogida en el parque automotor ecuatoriano, por su accesible costo y por su buena calidad y desempeño, el Kia K3000 con motor 3.0 cc ciclo diésel del año 2013, y con esto se quiso demostrar el impacto que generaría la mejora del comportamiento estudiando un vehículo de uso frecuente en el país. Los resultados obtenidos después de realizar cinco pruebas con el uso de los dos diferentes combustibles, ecuatoriano y colombiano fueron un incremento de 15.55% de potencia, 4.84% de aumento de torque, una disminución del 9.43% en el tiempo de aceleración (de 2000 a 4000RPM), aunque por otro lado existe un aumento en el consumo de combustible del 15.18%, concluyendo así que el combustible diesel ecuatoriano es de menor calidad en relación al combustible colombiano y que el combustible colombiano genera mejor rendimiento en el motor diesel.

## ABSTRACT

This work was intended to make a comparative study of engine power using national and foreign diesel fuel, with the aim of analyzing the behavior of the engine at different operating conditions. Most diesel engines in our country have been affected by the use of the national diesel, the problem arises when using a fuel that's not refined correctly compared to foreign fuels, causing abnormal behaviors were studied by means high-tech equipment. he practices were performed using a dynamometer and opacimeter in the workshop of the International University of Ecuador, for this were used measurement standards which allows real and deviations within acceptable statistical values. Foreign diesel fuel to be used was Colombian, being a high quality fuel. The process started from the study of the basics of mechanics, analyzing the characteristics of the diesel, making a comparison between values that were useful in practice. For the realization of the practice was used a truck that has a great reception in the Ecuadorian fleet, for its affordable and its good quality and performance, the Kia K3000 engine 3.0 cc diesel cycle of 2013, and this is to demonstrate the impact that would generate improved behavior studying a vehicle often used in the country. The results obtained after performing five tests with the use of two different fuels were encouraging, an increase of 15.55% power, 4.84% increase in torque, 9.43% decrease in acceleration time (2000 to 4000RPM), but on the other hand an increase in consumption of fuel of 15.18%. It concludes that the Ecuadorian diesel fuel is of lower quality in relation to the Colombian fuel and the Colombian fuel generates better performance in the diesel engine.

# 1. INTRODUCCIÓN

En el Ecuador, las características del diesel ha significado un ineficiente funcionamiento en los motores que usan este tipo de combustible al ser relacionados con la contaminación e ineficiencia, un ejemplo es en el transporte público o en el transporte de productos. Vehículos con un flujo de gases de escape con opacidades superiores a las permitidas por las normas que lo regulan, que causan molestias a la sociedad, camiones, buses y tráilers que circulan por la ciudad dejando un rastro de hollín negro que se impregna en las paredes de las casas y de los locales comerciales.

Según la Red de Monitoreo Atmosférico de Quito (Remmaq) la contaminación proveniente de los tubos de escape, principalmente de los vehículos que utilizan diésel, es el primer factor de la contaminación en el aire de Quito. La Huella de Carbono de Quito, presentada en agosto del 2014, reveló que se emiten 2,8 millones de toneladas de dióxido de carbono a la atmósfera, aportando los automotores con el 56% (AGENCIA METROPOLITANA DE TRANSITO, 2016).

Según Agencia Metropolitana de Tránsito (AMT) el crecimiento de toda la flota vehicular de Quito ascendió a un ritmo anual entre el 10% y 12%. En los dos últimos años se sumaron casi 100 000 autos nuevos y seguirán en aumento, es por esto que es necesario un estudio comparativo de combustibles, para demostrar que con uno de mejores características es posible aumentar considerablemente la potencia de un motor diesel y reducir la contaminación.

Es por esta razón que recae una gran responsabilidad sobre el campo automotriz, que demanda el uso de métodos más eficientes y menos contaminantes de transporte. A la verdad los motores diesel son más eficientes que los ciclo Otto, y características como; potencia, torque, consumo y vida útil, pueden ser mejoradas con el uso de combustibles con mejores características. Económicamente nos encontramos limitados, por esto conviene al país mejorar el comportamiento de los motores diesel y así

ayudar con la economía de sectores de la industria que utilizan esta tecnología para generar energía o para transportar sus productos.

El objetivo primordial que se cumplió en este trabajo investigativo fue estudiar la potencia del motor diesel comparando el uso de combustible nacional y extranjero.

Además que se logró el cumplimiento de los siguientes objetivos específicos:

- Identificar los parámetros de funcionamiento del motor ciclo diesel, de gases contaminantes producidos y protocolos de pruebas normalizadas para medir potencia y emisión de gases.
- Determinar las propiedades de los combustibles diésel en relación con los valores de potencia del motor.
- Realizar pruebas de potencia en un dinamómetro usando diferentes tipos de combustible diesel en el motor.
- Analizar y comparar los resultados obtenidos en las pruebas.

## **2. MARCO TEÓRICO**

### **2.1 MOTOR DIÉSEL**

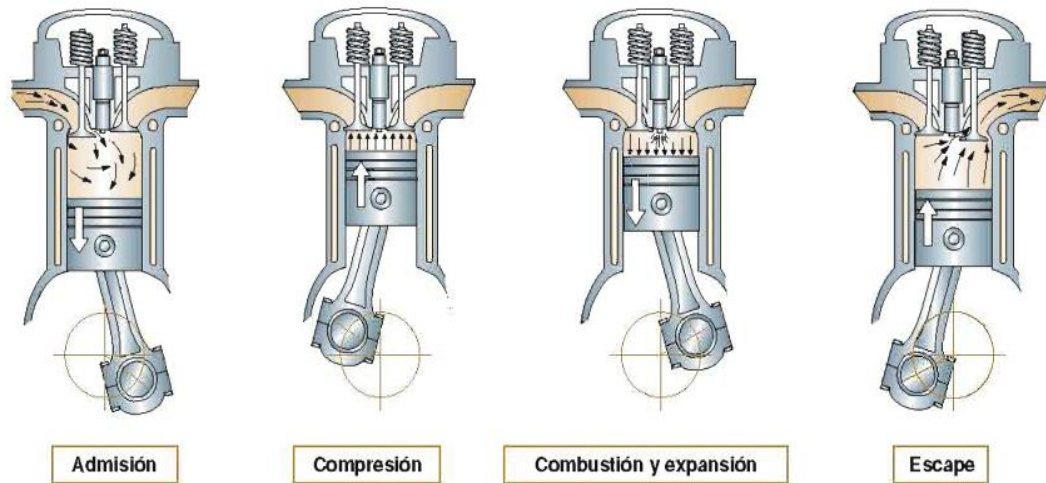
En el año de 1892, el ingeniero alemán Rodolfo Diesel patentó el que hoy conocemos como motor de combustión interna diésel, en la patente aparecía un texto con su debida traducción que decía: «...*el émbolo comprime aire puro en un cilindro, de modo que la temperatura resultante de la compresión es mucho mayor que la temperatura de inflamación del combustible que se ha de emplear. Después de la compresión y a partir del punto muerto, se efectúa la introducción gradual del combustible. ..*». En el motor diesel a diferencia del Otto, el cilindro se llena solamente de aire que previamente pasa por un filtro. Para luego en el tiempo de combustión el combustible es pulverizado en el interior del cilindro por medio del inyector. Cuando el combustible inyectado entra en contacto con el aire altamente comprimido y a una temperatura muy elevada, inmediatamente inicia su auto combustión generando un gran desarrollo de calor y aumento del volumen. Es así como el pistón resulta empujado con fuerza hacia su P.M.I, dándose el tiempo de trabajo (Vicente, 1987, págs. 12-14).

Es un motor que desarrolla altas presiones en la compresión y en la combustión, alcanzando temperaturas muy elevadas, por lo que sus piezas han de ser robustas y con unos precisos ajustes. Como consecuencia, el motor diésel es más pesado y tiene un mayor coste de fabricación (Sanz, 2007, pág. 46).

### **2.2 COMPORTAMIENTO DEL MOTOR DIÉSEL DURANTE EL CICLO**

Los motores diesel pueden construirse para que funcionen por el ciclo de dos tiempos y cuatro tiempos, pero para el uso de máquinas medianas,

como motores de automóviles, se utiliza exclusivamente el ciclo de 4 tiempos, como se puede ver en la figura 1 (Vicente, 1987, págs. 14-15).



**Figura 1.** Ciclo de trabajo del motor diesel.  
(Sanz, 2007, pág. 47)

**ADMISIÓN:** Se inicia cuando la válvula de admisión se abre al mismo tiempo que se inicia la carrera descendente del émbolo, es decir, el émbolo se dirige del PMS hacia el PMI, permaneciendo la válvula de escape totalmente cerrada. Al descender el émbolo se crea el vacío en el interior del cilindro por el que se desplaza. Debido a la presión atmosférica y a que, al abrirse la válvula de admisión, la entrada de aire se produce directamente de la atmósfera (Vicente, 1987, pág. 15).

**COMPRESIÓN:** Al final del tiempo de admisión el émbolo llega hasta el PMI, se cierra la válvula de admisión, la válvula de escape sigue cerrada, y el cilindro queda totalmente sellado. El émbolo comienza a ascender hacia el PMS, con lo que el gas encerrado empieza a comprimirse. Por lo tanto, al no contener el aire ninguna mezcla de combustible podemos comprimirlo a mucha mayor relación volumétrica. El aire, al verse comprimido, aumenta su temperatura hasta alrededor de unos 600 °C y las presiones alcanzadas al final del tiempo de compresión se encuentran entre los 30 a los 50 bar (Vicente, 1987, pág. 18).

**COMBUSTIÓN:** Cerca del final del tiempo de compresión, se inyecta en la cámara de combustión una cantidad muy determinada y precisa de combustible pulverizado. Casi inmediatamente después de empezar la inyección se produce el encendido espontáneo del combustible, de modo que van aumentando las presiones en el interior de la cámara y un aumento también considerable de la temperatura (Vicente, 1987, págs. 18-19).

**EXPANSIÓN:** Cuando ha terminado la combustión, el pistón continúa descendiendo y la presión aumenta. La expansión de los gases genera un trabajo positivo (Sanz, 2007, pág. 48).

**ESCAPE:** El pistón está en el PMI y se abre la válvula de escape, la presión desciende instantáneamente hasta la presión atmosférica (pa). El calor residual que no ha sido convertido en trabajo se evacua al exterior (Sanz, 2007, pág. 48).

## **2.3 FORMACIÓN DE LA MEZCLA**

El aire se mezcla con el combustible dentro del cilindro al final de la compresión. El sistema de inyección proporciona la presión necesaria para que el inyector introduzca el combustible, finamente pulverizado, en la cámara de combustión. Debido al poco tiempo disponible para formar la mezcla, es preciso que el aire comprimido tenga una alta temperatura para facilitar la gasificación del combustible. Además, es necesario que adquiera una gran turbulencia para que se mezcle con la mayor cantidad posible de aire, de forma que cada gota de combustible esté rodeada por el oxígeno suficiente para quemarse.

- **Motores de inyección directa**, en los que la turbulencia del aire es relativamente baja. En estos motores la formación de la mezcla depende principalmente del sistema de inyección que proporciona altas presiones,

con buena penetración del combustible en el aire, distribuyéndose uniformemente. Se emplea un inyector de varios orificios.

- **Motores con cámara auxiliar o de inyección indirecta**, en los que se consiguen altas turbulencias debido a la combustión parcial que tiene lugar en la precámara y que se propaga a gran velocidad a través de estrechos conductos. En este caso la presión de inyección es menor, empleándose inyectores de un solo orificio. (Sanz, 2007, págs. 44-45)

## **2.4 DESEMPEÑO DEL MOTOR DIESEL**

Para estudiar el comportamiento del motor diesel, es necesario conocer algunos conceptos que nos permitirán analizar la incidencia de los estudios a realizarse en el motor, conceptos como potencia, torque, consumo de combustible, gases, etc.

El motor es la parte que más incidencia tiene en el comportamiento de un vehículo, es por esto que se dedicará un apartado a conocer los conceptos ya mencionados.

Las principales características que definen las prestaciones que se obtienen en un motor son el par motor, la potencia y el consumo específico de combustible. Estos parámetros identifican el tipo de motor proporcionando una referencia en cuanto a sus características de funcionamiento. El fabricante suministra estos datos obtenidos mediante ensayos en el banco de potencia.

### **2.4.1 POTENCIA**

La potencia representa la relación entre el trabajo generado y el tiempo empleado en generarlo, y puede expresarse como:



$$P_i = \frac{(W) \text{ ciclo}}{(\text{Tiempo}) \text{ ciclo}} = \frac{F \times d}{2/n} = \frac{p_{mi} \times 2 \times c}{2/n} = p_{mi} \times V_{cil} \times n/2 \quad [1]$$

**Donde:**

**W** = trabajo

*En el caso de un motor de cuatro tiempos, se necesitan dos vueltas del cigüeñal para realizar un ciclo completo, por lo tanto el tiempo para realizar un ciclo, vale 2/n*

**F** = fuerza

**d** = distancia a través de la cual actúa la fuerza

**s** = superficie del pistón

**c** = carrera del pistón, distancia entre el PMS y el PMI

**Vcil** = volumen de cilindrada (producto de la superficie del pistón y la carrera entre sus puntos muertos)

#### **2.4.1.1 POTENCIA EN FUNCIÓN DEL PODER CALORÍFICO**

El poder calorífico de un combustible se ha definido como la cantidad de energía liberada cuando un combustible se quema completamente en un proceso de flujo estacionario y los productos se regresan al estado de los reactivos.

El poder calorífico de un combustible es igual al valor absoluto de la entalpía de combustión del combustible (Çengel, 2012).

$$\text{Poder calorífico} = |hc| \quad (\text{kJ/kg de combustible}) \quad [2]$$

Analizando el ciclo Diesel, la potencia se genera en el tiempo de expansión de los gases, es decir a volumen constante.

Es decir, el calor generado en la combustión se genera a volumen constante.

Entonces:

$$Q_v = W \quad [3]$$

$$P = \frac{W}{t} \quad [4]$$

Reemplazando [3] en [4], tenemos:

$$P = \frac{Q_v}{t} \quad [5]$$

$$Q_v = n \times C_v \times \Delta T \quad [6]$$

Reemplazando  $Q_v$  en la fórmula de potencia, tenemos:

$$P = \frac{n \times C_v \times \Delta T}{t} \quad [7]$$

**Donde:**

**P** = Potencia.

**n** = Número de moles del combustible.

**C<sub>v</sub>** = Poder calorífico del combustible.

**ΔT** = Variación de la temperatura.

**t** = Tiempo.

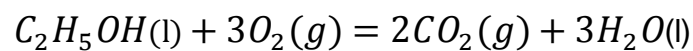
## 2.4.2 ENTALPÍA DE COMBUSTIÓN

Se denomina entalpía de combustión a la energía calorífica que se produce cuando a presión constante se combustiona en oxígeno una sustancia con la producción de anhídrido carbónico y agua. Experimentalmente, la determinación se realiza en calorímetro de bomba cerrada en el que la sustancia problema se combustiona en presencia de exceso de oxígeno que alcanza una presión de hasta 30 atm.

El conocimiento de las entalpías de combustión aparte de su utilización propia es importante porque provee los datos para calcular por camino indirecto la entalpía de una reacción, aun en el caso de que no sea experimentalmente realizable.

### **Ilustración:**

La combustión de etanol se representa por la reacción:



Cuando se efectúa a 1 atm. de presión y se reduce el dato calorimétrico a 298°K pierde una cantidad de calor igual a 326.7 kcal., por esto, se deduce que la entalpía molar de combustión del etanol es  $\Delta H_{298}^o = -326.7 \text{ kcal}$  (Romo, 1975).

### **2.4.3 RELACIÓN DE COMPRESIÓN**

La relación de compresión en un motor de combustión interna es el número que permite medir la proporción en que se ha comprimido el aire dentro de la cámara de combustión de un cilindro.

Se demuestra que la relación de compresión define el rendimiento térmico del motor de combustión interna, es decir el grado de aprovechamiento de la energía del combustible (Piqueras, 2013).

Para calcular su valor teórico se utiliza la fórmula siguiente:

$$RC = \frac{\frac{\pi}{4} \times d^2 \times s \times Vc}{Vc} \quad [8]$$

**Donde:**

**d** = Diámetro del cilindro.

**s** = Carrera del pistón desde el punto muerto superior hasta el punto muerto inferior

**V<sub>c</sub>** = Volumen de la cámara de combustión.

**RC** = Es la relación de compresión y es adimensional.

#### 2.4.4 PRESIÓN MEDIA INDICADA

Es la presión teórica constante que supuestamente se ejerce durante cada carrera de potencia del motor (después del encendido de mezcla combustible), para producir una potencia igual a la indicada.

Se le determina en (kg/cm<sup>2</sup>), y es:

$$p_i = ihp \frac{4500 \times 100}{A \times L \times N} \times \frac{n}{x} \left( \frac{kg}{cm^2} \right) \quad [9]$$

**Donde:**

**ihp** = potencia indicada o número de CFm (caballos de fuerza métricos) desarrollados en el motor.

**A** = área de la cara del émbolo.

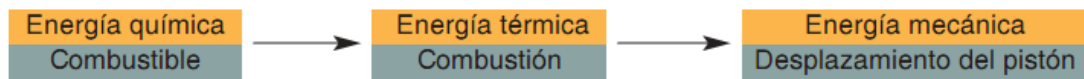
**L** = longitud de la carrera.

**N** = revoluciones por minuto del motor.

**x** = número de revoluciones necesarias por cada carrera de potencia producida por cilindro; x=2 para un motor de 4 tiempos.

#### 2.4.5 RENDIMIENTO DEL MOTOR

El motor de combustión interna es una máquina que transforma energía mediante el siguiente proceso que se muestra en la figura 2:



**Figura 2.** Proceso de transformación de energía en motores de combustión interna.  
(Sanz, 2007)

La energía contenida en el combustible, de origen químico, se transforma en calor mediante la combustión. De este modo, el consiguiente aumento de presión provoca el desplazamiento del pistón, obteniéndose así energía mecánica.

En este proceso no toda la energía del combustible es transformada en trabajo útil. Una buena parte se pierde, por lo que la energía aprovechable que se obtiene es menor a la inicial.

#### 2.4.5.1 Rendimiento térmico

Es el cociente entre la potencia indicada y la potencia térmica del combustible.

$$\eta_{ti} = \frac{P_i}{P_t}$$

$$P_t(kW) = \frac{Ch\left(\frac{l}{h}\right)\rho\left(\frac{kg}{l}\right)E\left(\frac{kJ}{kcal}\right)P_c\left(\frac{kcal}{kg}\right)}{3600} \quad [10]$$

Expresa el valor de potencia que el motor podría entregar teóricamente en función del combustible usado y el consumo del motor.

**Donde:**

**Ch** = consumo horario

**$\rho$**  = densidad del combustible

**E** = equivalente mecánico del calor

**Pc** = poder calorífico del combustible

### 2.4.5.2 Rendimiento mecánico

Es la razón entre la potencia indicada y la potencia mecánica efectiva medida en el eje y representa la potencia perdida en rozamientos o en fricción entre las partes mecánicas en movimiento de propio motor y componentes de los distintos sistemas que lo asisten (bomba de aceite, bomba de agua, elementos de la distribución, etc).

$$\eta_m = \frac{P_e}{P_i} \quad [11]$$

Al producto de ambos rendimientos se lo denomina rendimiento total o térmico-mecánico:

$$\eta = \eta_m \eta_{ti} \quad [12]$$

### 2.4.5.3 Rendimiento total

Representa la relación entre el trabajo útil en el eje motor (al volante) y aquel equivalente a la energía calorífica del combustible consumido.

Sabiendo que  $1 \text{ CV h} = 75 \text{ kgm/s} \times 3600 \text{ s} = 270000 \text{ kgm}$ . El gasto de combustible para generar un trabajo efectivo de  $1 \text{ CV h}$  se denomina consumo específico de combustible  $C_e$  (g/CVh).

Si  $E$  es el equivalente mecánico del calor y vale  $E = 427 \text{ kgm/kcal}$  y  $P_c =$  poder calorífico del combustible (kcal/kg), el trabajo equivalente al consumo de combustible por cada CV h vale, en kgm:

$$W_{eq} = 427 \frac{C_e}{1000 \left( \frac{g}{kg} \right)} P_c \quad [13]$$

y el rendimiento total:

$$\eta = \frac{(270000)(1000)}{Ce Pc 427} = \frac{632310}{Ce Pc} \quad [14]$$

Por lo tanto el rendimiento total del motor alcanzará su valor máximo cuando el consumo específico sea mínimo.

#### 2.4.5.4 Rendimiento volumétrico

Puede definirse como la razón entre la masa de aire que está entrando en el motor en una unidad de tiempo y la masa de aire que debería entrar hasta completar el volumen de cilindrada total en las mismas condiciones atmosféricas del momento.

$$\eta_v = \frac{m_{ar}}{m_{at}}$$

$$m_{at} \left( \frac{kg}{h} \right) = V_{cil} \rho_{aire} n_{act} \quad [15]$$

**Donde:**

$n_{act}$  = régimen activo que para un motor de 4 tiempos, que necesita 2 vueltas para completar un ciclo vale  $n/2$  (v/min).

$$\rho_{aire} = \text{densidad del aire (kg/m}^3\text{)} = \rho = \frac{m}{V} = \frac{MP}{RT} \quad [16]$$

$R$  = constante universal de los gases (J/mol °K)

Para el caso del aire tenemos que  $M = 0.029$  kg/mol y teniendo en cuenta que  $R = 8.314$  J/mol K, la relación  $M/R = 3.488 \times 10^{-3}$  kg K/J.

$$\rho_{aire} \left( \frac{kg}{m^3} \right) = \frac{P(Pa)}{T(K)} 3.488 \times 10^{-3} = \frac{P(kPa)}{T(K)} 3.488 \quad [17]$$

## 2.4.6 CONSUMO ESPECÍFICO DE COMBUSTIBLE

El consumo específico se define como la relación que existe entre la masa de combustible consumida y la potencia entregada. Se obtiene mediante pruebas en el banco y se expresa en  $\text{g/kW} \cdot \text{h}$  (gramos/kilovatio  $\cdot$  hora).

Los valores medios de consumo específico son:

**Motores Otto:** 280 a 320  $\text{g/kW} \cdot \text{h}$

**Motores Diesel:** 180 a 280  $\text{g/kW} \cdot \text{h}$

En todos los motores, el combustible gastado se transforma sólo parcialmente (aproximadamente un tercio) en energía mecánica, el resto de la energía térmica desarrollada en la combustión se expulsa en forma de calor por el motor, por el radiador y los gases de escape. Debido a la mayor densidad, el gasóleo ofrece una densidad volumétrica energética de 35.86 MJ/L contra los 32.18 MJ/L de la gasolina, lo que supone un 11% más, que podría considerarse notable cuando se compara la eficiencia del motor diésel frente al de ciclo Otto (Sanz, 2007).

## 2.4.7 CURVAS CARACTERÍSTICAS

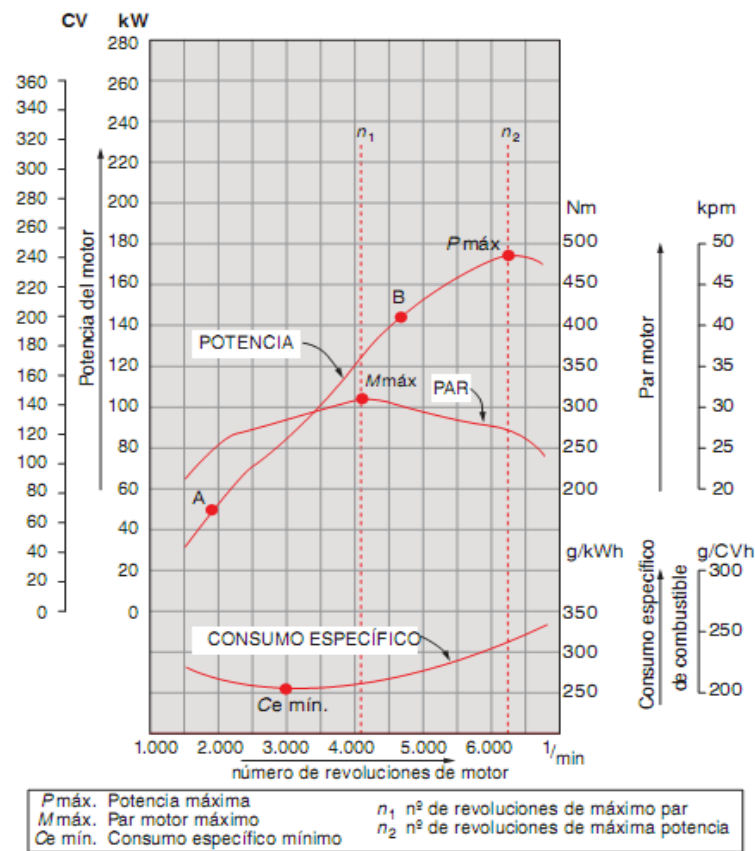
Las curvas características del motor se confeccionan a partir de datos obtenidos mediante pruebas en el freno dinamométrico. Representan los valores que toman la potencia, el par motor y el consumo específico a medida que varía el número de revoluciones.

La prueba se realiza con motor a plena carga, el régimen decrece progresivamente al aumentar la resistencia del freno dinamométrico.

Los puntos más característicos de estas curvas son el régimen de máximo par ( $N_1$ ) y el régimen de máxima potencia ( $N_2$ ). En este tramo de revoluciones se obtiene el máximo rendimiento del motor.



La figura 3 muestra las curvas características del motor.



**Figura 3.** Curvas características del motor.  
(Sanz, 2007)

### 2.4.7.1 Curva de potencia

Esta curva muestra los valores que va tomando la potencia en función del número de revoluciones. Se expresa en kW o en CV.

La potencia es el resultado de multiplicar el par motor por la velocidad de rotación, si ambos factores aumentan la potencia crecerá rápidamente (A-B figura 3).

A partir del punto B la pendiente es menos pronunciada, ya que el par motor desciende, a pesar de ello la potencia sigue creciendo debido a que al aumentar el régimen se obtiene mayor número de ciclos por minuto.

Con los valores de par y número de revoluciones obtenidos en el dinamómetro, se aplica la fórmula:

$$P = F \times v = \frac{M \times \pi \times 2 \times r \times n}{r \times 60} = \frac{M \times 3,14 \times n}{30} = \frac{M \times n}{9,55} (W)$$
$$P = \frac{M \times n}{9,55} (kW) \quad [18]$$

**Donde:**

**P** = potencia en kW (kilovatios)

**M** = par en Nm (newton metro)

**n** = rpm (revoluciones por minuto)

**r** = radio o longitud del codo del cigüeñal =1/2 de la carrera

#### **2.4.7.2 Curva de par motor**

Representa la evolución del par en función del régimen del motor. Normalmente viene expresado en Nm y a veces en mkg.

La curva asciende a medida que aumenta el número de revoluciones hasta el par máximo (M<sub>máx</sub>), este punto representa el máximo rendimiento volumétrico, es decir, el llenado óptimo de los cilindros y, por tanto, la presión media máxima.

Al aumentar el régimen, el llenado de los cilindros empeora y el par descende, a pesar de que la potencia sigue aumentando. El régimen de máximo par depende de las características de los conductos de admisión y del diagrama de distribución.

#### **2.4.7.3 Curva de consumo específico**

Representa el consumo de combustible respecto al número de revoluciones. Se mide en g/kW · h, es decir, la masa de combustible consumida en relación con la potencia entregada en la unidad de tiempo.

Esta curva guarda cierta simetría con la del par debido a que los valores máximos del rendimiento volumétrico coinciden con los mínimos de consumo. El consumo específico de combustible en los motores de cuatro tiempos es mínimo en la zona media de revoluciones. Para regímenes inferiores o superiores el consumo es más elevado (Sanz, 2007).

El tiempo empleado expresado en horas será:  $t (h) = t (s) / 3600$

$$C_e = \frac{100 \times d}{P \times \frac{t}{3600}}$$

$$C_e = \frac{3.6 \times 10^5 \times d}{P \times t} \left( \frac{g}{kW} \times h \right) \quad [19]$$

**Donde:**

**C<sub>e</sub>** = Consumo específico de combustible.

**d** = Densidad del combustible.

**P** = Potencia.

**t** = Tiempo en segundos que tarda en consumirse 100 cm<sup>3</sup> de combustible.

#### 2.4.7.4 Obtención de las curvas características

Solamente es posible obtener las prestaciones reales de un motor mediante pruebas en el banco de potencia o freno dinamométrico.

Los parámetros fundamentales que deben medirse en el banco son:

- Par motor.
- Potencia.
- Consumo específico de combustible.

Estos datos se toman para cada régimen de giro, manteniendo la mariposa de gases en su máxima apertura, por lo que se denomina prueba a plena

carga. De esta forma se obtienen los datos necesarios para dibujar las curvas características del motor.

- El par motor se mide oponiendo una fuerza de frenado proporcional a la que suministra el eje del motor, así ambas fuerzas queden equilibradas para un determinado régimen de giro.
- La potencia se calcula a partir del par motor y del régimen de giro.
- El consumo específico se obtiene midiendo el tiempo que tardan en consumirse 100 cm<sup>3</sup> de combustible (Sanz, 2007).

## 2.5 COMPOSICION DEL AIRE EN QUITO

La ciudad de Quito está ubicada al nororiente del Ecuador continental, sobre la hoya de Guayllabamba, en las laderas occidentales del estratovolcán activo Pichincha, y su altitud promedio es de 2700 msnm, su presión atmosférica promedio es de 717.7 hPa, y una humedad promedio de 80%.

La composición del aire en la ciudad de Quito en las condiciones antes detalladas está especificada en la tabla 1.

**Tabla 1.** Composición porcentual del aire en Quito.

<b>Gas</b>	<b>Composición % en volumen</b>
Nitrógeno (N <sub>2</sub> )	78.09
Oxígeno (O <sub>2</sub> )	20.94
Argón (Ar)	0.94
Anhídrido Carbónico (CO <sub>2</sub> )	0.033
Neón (Ne)	0.0015
Helio (He)	0.000524
Metano (CH <sub>4</sub> )	0.0002
Kriptón (Kr)	0.00014

(Escalante, 2015)

Normalmente el aire no está seco, contiene H<sub>2</sub>O, en sus tres estados físicos, en cantidades que van desde trazas hasta un 4% en volumen como máximo.

## 2.6 COMBUSTIBLE DIESEL

El petróleo es una mezcla de hidrocarburos, compuestos de carbono e hidrogeno, y también contiene nitrógeno y azufre en menor proporción. Los porcentajes pueden variar, pero generalmente van de 84% a 87% de carbono, de 11% a 14% de hidrogeno, 0% a 2% de nitrógeno.

### 2.6.1 PROPIEDADES

#### 2.6.1.1 Densidad

La densidad es la relación entre el peso de un determinado volumen de muestra a una temperatura  $t$  y el peso del mismo volumen de agua a una temperatura determinada.

Se define la densidad específica como:

$$\frac{\text{Densidad absoluta de un producto (a una temperatura)}}{\text{Densidad del agua líquida (a } 4^{\circ}\text{C)}} \quad [20]$$

La escala más comúnmente utiliza es la escala en grados API (a  $15^{\circ}\text{C}$ ) (Secretaría de Energía – República Argentina, 2003 ).

La densidad de los combustibles diesel a ser estudiados, se detallan en la siguiente tabla 2:

**Tabla 2.** Densidad de los combustibles diesel ecuatoriano y colombiano.

COMBUSTIBLE	DENSIDAD
Diesel Ecuatoriano	0.83 (Kg/m <sup>3</sup> )
Diesel Colombiano	0.84 (Kg/m <sup>3</sup> )

(Boada, 2016)

### **2.6.1.2 Viscosidad**

Es una magnitud física que mide la resistencia interna al flujo de un fluido, resistencia producto del frotamiento de las moléculas que se deslizan unas contra otras. La inversa de la viscosidad es la fluidez. La viscosidad es un parámetro que influye en la potencial emisión de contaminantes dado que es una determinante en las condiciones de la combustión (Secretaría de Energía – República Argentina, 2003 ).

### **2.6.1.3 Punto de inflamación**

Es la temperatura a partir de la cual un vapor se inflama al ser expuesto a una fuente de ignición (Secretaría de Energía – República Argentina, 2003 ).

### **2.6.1.4 Poder calorífico**

La cantidad de calor liberada por la combustión de la unidad de volumen o de peso de un combustible se denomina su poder calorífico o potencia calorífica (Secretaría de Energía – República Argentina, 2003 ).

### **2.6.1.5 Calor específico**

Es la cantidad de calor que se requiere aplicar a la unidad de peso para aumentar su temperatura en un grado. La unidad de calor específico es la misma en los sistemas métricos y anglosajón.

El calor específico en estado líquido es una función prácticamente lineal de la temperatura, excepto para los hidrocarburos ligeros (C5). Depende asimismo de la densidad y de la naturaleza química de los hidrocarburos existentes en las fracciones, lo que se tiene presente empleando una curva de corrección en función del factor de caracterización (Secretaría de Energía – República Argentina, 2003 ).

#### **2.6.1.6 Solubilidad**

La solubilidad es capacidad que posee una sustancia para poder disolverse en otra. Dicha capacidad puede ser expresada en moles por litro, gramos por litro o también en porcentaje del soluto. Los hidrocarburos son solubles entre sí en todas las proporciones.

La separación de los componentes puede llevarse a cabo con solventes polares, como el dióxido de azufre, furfural y otros. En éstos, los aromáticos se disuelven de manera más fácil que los parafínicos y nafténicos (Secretaría de Energía – República Argentina, 2003 ).

#### **2.6.1.7 Acidez**

Este parámetro clasifica los crudos en agrios y dulces en función del contenido de azufre. Los crudos que poseen contenidos de azufre superiores al 1%, son llamados agrios (son corrosivos), mientras que los que se encuentran por debajo de dicho valor, dulces.

El azufre debe ser eliminado de los productos destilados no sólo por los problemas de contaminación atmosférica que genera, sino porque el azufre es un veneno de los catalizadores utilizados en la refinación, disminuye la calidad de las naftas y se transforma en anhídrido sulfuroso por combustión, que en presencia de agua produce ácido sulfúrico muy diluido corroe fuertemente los tubos de escape y las chimeneas (Secretaría de Energía – República Argentina, 2003 ).

#### **2.6.1.8 Número de cetano**

En el combustible diesel, el cetano es un indicativo de la capacidad o facilidad de ignición, se puede medir en laboratorio en un motor especialmente acondicionado para ello. Entre mayor es el número de

cetano, mayor será la facilidad de ignición del combustible e indica mejor calidad (Secretaría de Energía – República Argentina, 2003 ).

#### **2.6.1.9 Aromáticos**

La cantidad de hidrocarburos aromáticos en el combustible afectan a la combustión, estos ayudan a la formación de PM y emisiones de hidrocarburos poliaromáticos, además afectan a la temperatura de la llama y por esto a las emisiones de NOx (Secretaría de Energía – República Argentina, 2003 )

### **2.6.2 COMBUSTIBLE DIESEL EXTRANJERO**

El combustible diesel en el mundo, ha tenido muchos cambios en su composición en las últimas décadas, leyes de protección al medio ambiente, eficiencia de motores y estrategias económicas, han significado diesel con menos contenido de azufre, mezclas con biocombustible y mayor cetanaje. Los países se han visto obligados a mejorar la calidad del combustible y acoger normas técnicas como la EURO, ASTM, y en el caso de Ecuador la norma INEN, para estar a la altura de los altos estándares de calidad que imponen empresas fabricantes de autos alrededor del mundo.

Chile es un ejemplo en calidad de combustible diesel y es el líder en Latinoamérica en control de emisiones contaminantes de los vehículos. En la actualidad en Chile rige la norma Euro 5 cuyas emisiones de gases contaminantes son de 0,18 g/Km. Respecto al material particulado, los automóviles Euro 5 emiten 0,0005 g/Km.

En este país la norma Euro 5 entró en funcionamiento a partir de septiembre del 2014. La entrada de esta normativa colocó a Chile a la cabeza de Latinoamérica en lo que a transporte y uso de combustibles se refiere (COPEC, 2016).



La tabla 3 muestra la comparación de los requisitos del diesel según diferentes normas técnicas en distintos países.

**Tabla 3.** Requisitos del diesel según diferentes normas técnicas.

REQUISITOS DEL DIESEL							
		ECUATORIANO (INEN)	EURO V	USA (ASTM)	PERU (ASTM, D975)	CHILE (ASTM)	COLOMBIA (ASTM)
REQUISITOS	UNIDAD	Max.	Max.	Max.	Max.	Max.	Max.
Punto de inflamación	°C	51	55	52	50	52	52
Agua y sedimento	% en volumen	0.05	0.003	0.01	0.02	0.006	0.05
Residuo carbonoso	% en peso	0.15	0.005	0.008	0.13	0.004	0.2
Biodiésel	% en volumen	0	5.0	5.0	4.3	5.0	8.0
Temperatura de destilación del 90%	°C	360	390	360	360	390	390
Viscosidad cinemática a 37,8° C	cSt	6	-	-	1.9	4.1	5.0
Azufre	ppm	7000	10	50	855	15	50
Corrosión a la lámina de cobre		No. 3	No. 1	No. 1	No. 3	No. 1	No. 2
Índice de cetano calculado	-	-	55	40	48	50	45

(COPEC, 2016)

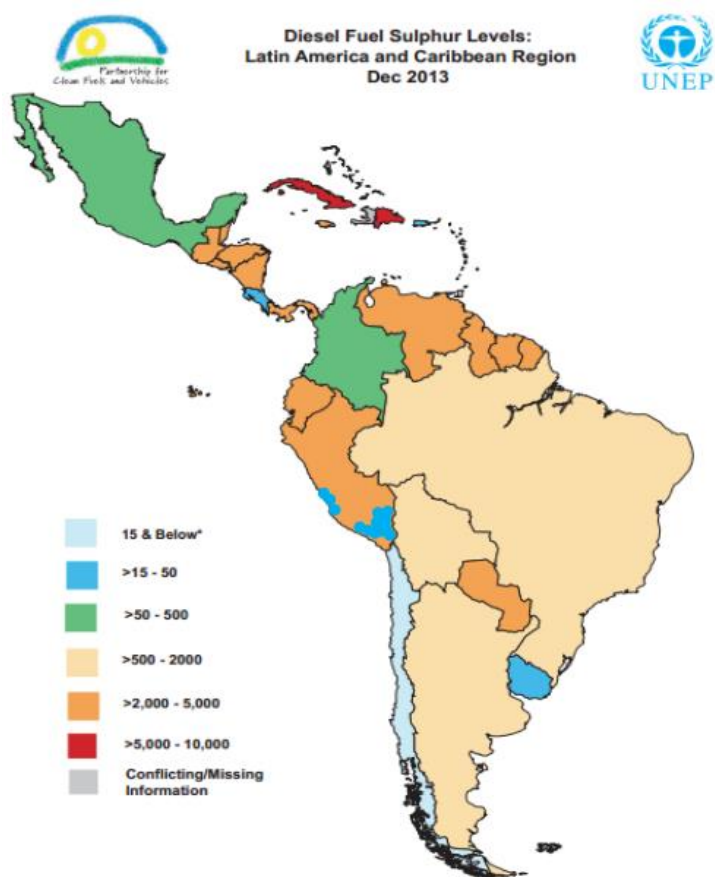
Claramente la tabla 3 muestra la desventaja en la que se encuentra el diesel ecuatoriano, frente al europeo, al norteamericano y al chileno en términos de calidad, siendo superado ampliamente en todos los aspectos.

En lo que se refiere a contenido de azufre, el diesel chileno cuenta con la menor cantidad en Latinoamérica y un porcentaje similar al utilizado en los

Estados Unidos, con menos de 15 ppm. El hecho de utilizar diésel bajo en azufre presenta una serie de beneficios, como la disminución de las emisiones de óxidos de azufre (SOx) y materia particulada fina (PM2.5); la prolongación de la vida del motor; y la posibilidad de utilizar tecnologías de control de emisiones (COPEC, 2016).

En algunas partes del mundo pueden encontrarse niveles de azufre de hasta entre 5.000 y 10.000 ppm. En el Japón, la República de Corea, algunas partes de Europa (como Escandinavia y Alemania) y algunas partes de los Estados Unidos se está utilizando actualmente diésel con niveles de azufre inferiores a 15 ppm (COPEC, 2016).

La figura 4 muestra los niveles de azufre del combustible diesel en Latinoamérica.



**Figura 4.** Niveles de azufre del combustible diesel en Latinoamérica.  
(UNEP, 2016)

### 3. METODOLOGÍA

- En la realización de las pruebas se decidió el uso del vehículo Kia K3000, por ser un automotor de uso común en la sociedad ecuatoriana, con las especificaciones detalladas en la tabla 4.
- Después de realizar el análisis teórico comparativo de varios combustibles extranjeros, se escogió el combustible colombiano por ser asequible y en el cual se evidenció características diferentes como; la mezcla de 8% de biodiesel, y aparentemente una mejor calidad que el diesel ecuatoriano. Como muestra la tabla 5 y 6, características como el contenido de azufre disminuyen de 0.05 a 0.005%, el punto de inflamación de 51 a 52°C y la temperatura de destilación del 90% de 360°C a 390°.
- Para la realización de las pruebas en el dinamómetro y opacímetro se escogió dos normativas para ser utilizadas: INEN 960: "*Vehículos automotores. Determinación de la potencia neta del motor*" y la INEN 2 202:2000: "Gestión ambiental. Aire. Vehículos automotores. Determinación de la opacidad de emisiones de escape de motores de diesel mediante la prueba estática. Método de aceleración libre." En lo que se refiere a métodos científicos, se utilizó el método de investigación experimental.
- Se empezó analizando el rendimiento del motor diesel, utilizando el dinamómetro automotriz modelo 2WD Dyno X del fabricante Dynocom Industries (las especificaciones técnicas se muestran en el anexo 2) de la Universidad Internacional del Ecuador.  
En inicio, se verificó si el vehículo cumple con los estándares normales de funcionamiento y se realizó la prueba siguiendo los protocolos citados

en la norma INEN 960. Este procedimiento se realizó cinco veces cada uno de los combustibles a ser analizados.

- El dato de consumo específico de combustible se obtuvo con la observación del medidor de combustible, tomando en cuenta que el tanque tiene la capacidad de 60lt y que cada línea que indica un cuarto de tanque representa 15lt.
- Mientras el procedimiento en el dinamómetro se llevaba a cabo, al mismo tiempo se realizó el análisis de la opacidad de los gases de escape. Se utilizó el opacímetro modelo 5Y de la marca L&T Mechanical & Electrical Equipment Co. Ltd. (las especificaciones técnicas se muestran en el anexo 2) de la Universidad Tecnológica Equinoccial. Inició con la verificación del correcto funcionamiento del equipo y su limpieza y se realizó la prueba siguiendo los protocolos citados en la norma INEN 2 202:2000. Este procedimiento se realizó cinco veces con cada uno de los combustibles.
- Los datos obtenidos se tabularon y se analizaron en el software Excel, el cual facilitó el estudio comparativo. En la práctica existen variables que están fuera de ser controladas, para esto los gráficos de control permitieron determinar la confiabilidad del método de medición, éstos debieron estar dentro de un rango de confianza, es así que se comprobó si los datos obtenidos en la práctica eran confiables.
- Finalmente se establecieron las conclusiones y recomendaciones del estudio realizado.

## 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1 ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL VEHÍCULO DE PRUEBA

La tabla 4 muestra los datos técnicos del camión Kia K3000.

**Tabla 4.** Ficha técnica Kia K3000

<b>Marca</b>	Kia
<b>Modelo</b>	K3000
<b>Tipo de cuerpo</b>	Camión con cabina estándar
<b>Año de fabricación</b>	2013
<b>Potencia Máxima</b>	84HP @ 4000
<b>Torque Máximo</b>	182Nm @ 2200
<b>Número de cilindros</b>	4 en línea
<b>Número de válvulas</b>	8
<b>Tipo de distribución</b>	OHV
<b>Cilindrada</b>	2956 cc
<b>Diámetro x Carrera del pistón</b>	98.00 mm x 98.00 mm
<b>Alimentación</b>	Atmosférico
<b>Trasmisión</b>	Manual de 5 velocidades 2WD
<b>Peso bruto vehicular</b>	3.59 kg
<b>Capacidad de carga</b>	2,5 Ton
<b>Capacidad del tanque de combustible</b>	60 lt

(KIA, 2011)



**Figura 5.** Kia K3000  
(KIA, 2011)

## **4.2 COMBUSTIBLE DIESEL DE USO AUTOMOTRIZ EN EL DISTRITO METROPOLITANO DE QUITO**

En el Distrito Metropolitano de Quito se comercializa combustible diesel 2 (Diesel Premium), el cual es de bajo contenido de azufre, se usa principalmente en motores de combustión interna y también para el campo industrial.

Este combustible obedece a la Ordenanza Metropolitana 213 – Capítulo VI, en donde indica que el combustible que se comercialice en Quito debe tener máximo 500 ppm de azufre (INEN, NORMA TÉCNICA ECUATORIANA Productos derivados del petróleo. Diesel. 2012).

En la tabla 5, se indican los requisitos que el diesel 2 de bajo contenido de azufre debe cumplir.

**Tabla 5.** Requisitos del diesel 2 de bajo contenido de azufre.

<b>REQUISITOS</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>MÁXIMO</b>	<b>MÍNIMO</b>	<b>METODO DE ENSAYO</b>
<b>Punto de inflamación</b>	°C	-	51	NTE INEN 1 047
<b>Agua y sedimento</b>	% en volumen	0.05	-	NTE INEN 1 047
<b>Residuo carbonoso sobre el 10% del residuo de la destilación</b>	% en peso	0.15	-	NTE INEN 1 047
<b>Ceniza</b>	% en peso	0.01	-	NTE INEN 1 047
<b>Temperatura de destilación del 90% NTE INEN 1 047</b>	°C	360	-	NTE INEN 1 047
<b>Viscosidad cinemática a 37,8° °C</b>	cSt	6	2.5	NTE INEN 1 047
<b>Azufre</b>	% en peso	0.7	-	NTE INEN 1 047
<b>Corrosión a la lámina de cobre</b>		No. 3		NTE INEN 1 047
<b>Índice de cetano calculado</b>	-	-	45	NTE INEN 1 047

(INEN, NORMA TÉCNICA ECUATORIANA Productos derivados del petróleo. Diesel. 2012)

El azufre en el combustible no solamente destruye los sistemas de control de emisiones, sino también las emisiones del SO<sub>x</sub> al unirse con el H<sub>2</sub>O forman ácidos, lo que da como resultado la lluvia ácida, la misma que daña a los seres vivos del planeta y a los bienes materiales.

En el proceso de carburación de los equipos se genera un hollín negro, que es producto de la mala calidad de los combustibles que se procesan y

comercializan en el país, está pegado en las paredes de los edificios y casas de las ciudades del país, en los túneles, pasos a desnivel, en los filos de las aceras, en los tubos de escape de los vehículos y en los árboles.

Ese hollín negro también está pegado en las vías respiratorias, garganta, pulmones y sangre de las personas.

#### **4.2.1 ORDENANZA 213 DEL DISTRITO METROPOLITANO DE QUITO – CAPÍTULO VI**

**CAPÍTULO VI - DEL CONTROL DE LA CALIDAD DE LOS COMBUSTIBLES DE USO VEHICULAR EN EL DISTRITO METROPOLITANO Y LA REGULACIÓN DE SU COMERCIALIZACIÓN.**

#### **SECCIÓN I**

#### **AMBITO DE APLICACIÓN**

**Art. II.382.-** Para ejecutar el control en la calidad y la comercialización de los combustibles expendidos en el área de jurisdicción del Distrito Metropolitano de Quito (DMQ) se verificará que las terminales de productos limpios de petróleo (TPL), públicas o privadas, expendan a las Comercializadoras y Estaciones de Servicio ubicadas dentro del Distrito Metropolitano, y éstas a su vez al usuario final, combustibles de uso automotor que cumplan con las Normas y Reglamentos Técnicos Ecuatorianos vigentes y con la normas que emita el Municipio del DMQ.

#### **NTE INEN 1489. PRODUCTOS DERIVADOS DEL PETRÓLEO. DIESEL.**

**REQUISITOS.** Que establece los requisitos que debe cumplir el diesel que se comercializa en el país. La tabla 5 muestra los requisitos que debe cumplir el Diesel No. 2 que es el combustible utilizado para uso industrial y para motores de combustión interna de autoignición.



**Art. II.382.1.-** Se prohíbe por tanto, en el DMQ, el expendio de combustibles de uso automotor que no cumplan con los requisitos contemplados en las Normas Técnicas y Reglamentos Ecuatorianos mencionados en el Art. II.382 (INEN, NORMA TÉCNICA ECUATORIANA Productos derivados del petróleo. Diesel. 2012).

### **4.3 COMBUSTIBLE DIESEL DE USO AUTOMOTRIZ EN LA REPÚBLICA DE COLOMBIA**

En la República de Colombia se comercializa combustible Diesel corriente y Diesel extra, los cuales son de bajo contenido de azufre, se usa principalmente en motores de combustión interna y también para el campo industrial.

Este combustible obedece a la Resolución 898 de 1995, modificada por el artículo 1º de la Resolución 18 2087 de 2007, donde establecen los requisitos de calidad de los combustibles Diesel y donde indica que el combustible que se comercialice en la República de Colombia, debe tener máximo 50 ppm de azufre.

Todos los combustibles llevan un aditivo tal y como lo exige el Gobierno Nacional que es diferente dependiendo de la compañía que haga la distribución final al consumidor. El diesel incluye biodiesel (aceite de palma), dependiendo de la geografía de la distribución del mismo.

La mezcla con biocombustibles para uso en motores diesel es de carácter obligatorio, de conformidad con los Decretos 2629 de Julio 10 de 2007 y 4892 del 23 de diciembre de 2011, y es de un valor de 8% al 10% de biocombustible (T95) en la destilación de la Norma ASTM D86 (MINISTERIO DE MINAS Y ENERGIA Y MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE, 2014).

En la tabla 6, se establecen los requisitos de calidad del combustible Diesel corriente, entre ellos el contenido de aromáticos, número de cetano y la temperatura máxima del 95% del volumen recobrado.

**Tabla 6.** Requisitos de calidad del combustible diesel y sus mezclas con biocombustibles.

<b>PARÁMETRO</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>ESPECIFICACIÓN</b>	<b>METODO DE ENSAYO</b>
<b>Punto de inflamación</b>	°C	52	ASTM D93
<b>Agua y sedimento</b>	% volumen	0.05	ASTM D1796 o ASTM D2709
<b>Residuo carbonoso sobre el 10% del residuo de la destilación</b>	% en masa	0.2	ASTM D4530
<b>Ceniza</b>	% en masa	0.01	ASTM D482
<b>Temperatura final de ebullición</b>	°C	390	ASTM D86
<b>Viscosidad cinemática a 40°C</b>	mm <sup>2</sup> /s	5.0	ASTM D445
<b>Azufre</b>	% en masa	0.005	ASTM D4294
<b>Corrosión a la lámina de cobre</b>	Clasificación	No. 2	ASTM D93
<b>Índice de cetano calculado</b>	-	45	ASTM D976 o ASTM 4737

(MINISTERIO DE MINAS Y ENERGIA Y MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE, 2014)

## 4.4 RESULTADOS DE POTENCIA, TORQUE, CONSUMO DE COMBUSTIBLE Y TIEMPO DE ACELERACIÓN

Para el análisis de las pruebas de potencia, torque, tiempo de aceleración y consumo de combustible, se utilizó dos tipos de combustibles, el diesel ecuatoriano, y el diesel colombiano, con el fin de comparar los dos combustibles y hacer un estudio acerca del rendimiento de cada uno de ellos.

### 4.4.1 RESULTADOS DE POTENCIA, TORQUE, CONSUMO DE COMBUSTIBLE Y TIEMPO DE ACELERACION, CON DIESEL ECUATORIANO

En la tabla 7 se muestra el resultado de cinco pruebas realizadas en dinamómetro automotriz 2WD Dyno X del fabricante Dynocom Industries (sus especificaciones técnicas se muestran en el anexo 2) y utilizando combustible diesel de origen ecuatoriano.

**Tabla 7.** Valores del rendimiento del motor diesel utilizando diesel ecuatoriano.

<b>DIESEL ECUATORIANO</b>					
	<b>Prueba 1</b>	<b>Prueba 2</b>	<b>Prueba 3</b>	<b>Prueba 4</b>	<b>Prueba 5</b>
<b>Potencia Máxima (HP)</b>	69.06	68.5	69.19	69.33	68.39
<b>Revoluciones Potencia Máx (RPM)</b>	3600	3600	3600	3600	3800
<b>Torque Máx (Nm)</b>	182.8	184.9	187.1	187.1	185.2
<b>Revoluciones Torque Máx (RPM)</b>	2200	2200	2200	2300	2200
<b>Tiempo de aceleración (s)</b>	10.7	9.3	10.5	11.8	10.7
<b>Consumo específico de combustible (l/100km)</b>	11.3	11.1	11.3	11	11.2

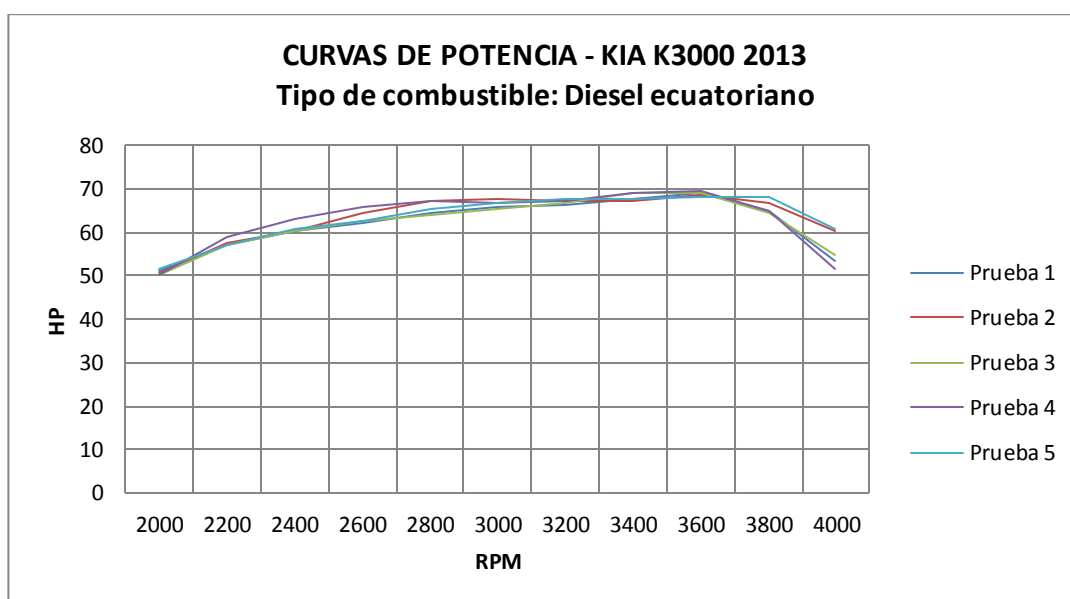
En la tabla 8 se muestra el resultado de la potencia utilizando combustible diesel de origen ecuatoriano a diferentes revoluciones.

**Tabla 8.** Valores de potencia utilizando diesel ecuatoriano.

POTENCIA CON DIESEL ECUATORIANO (RPM v HP)						
	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3	Prueba 4	Prueba 5	Media
<b>2000</b>	50.95	50.75	50.28	50.17	51.73	50.78
<b>2200</b>	57	57.66	56.99	59	57.1	57.55
<b>2400</b>	60.34	60.29	60.21	63.02	60.74	60.92
<b>2600</b>	62.35	64.36	62.49	65.71	63.83	63.75
<b>2800</b>	64.36	67.05	63.83	67.05	66.38	65.73
<b>3000</b>	65.71	67.85	65.62	67.01	67.72	66.78
<b>3200</b>	66.38	67.12	66.91	67.2	69.73	67.47
<b>3400</b>	67.72	67.03	69.06	69.06	68.79	68.33
<b>3600</b>	69.06	68.5	69.19	69.33	68.21	68.57
<b>3800</b>	65.03	66.78	64.63	65.03	68.39	65.97
<b>4000</b>	53.64	60.34	54.98	55.62	61.01	57.12

El promedio de consumo específico de combustible a potencia máxima es de 11.2 l/100km.

En el grafico 1 se indica las curvas de potencia de cinco pruebas realizadas en dinamómetro automotriz, utilizando combustible diesel de origen ecuatoriano.



**Gráfico 1.** Curvas de 5 pruebas de potencia utilizando diesel ecuatoriano.

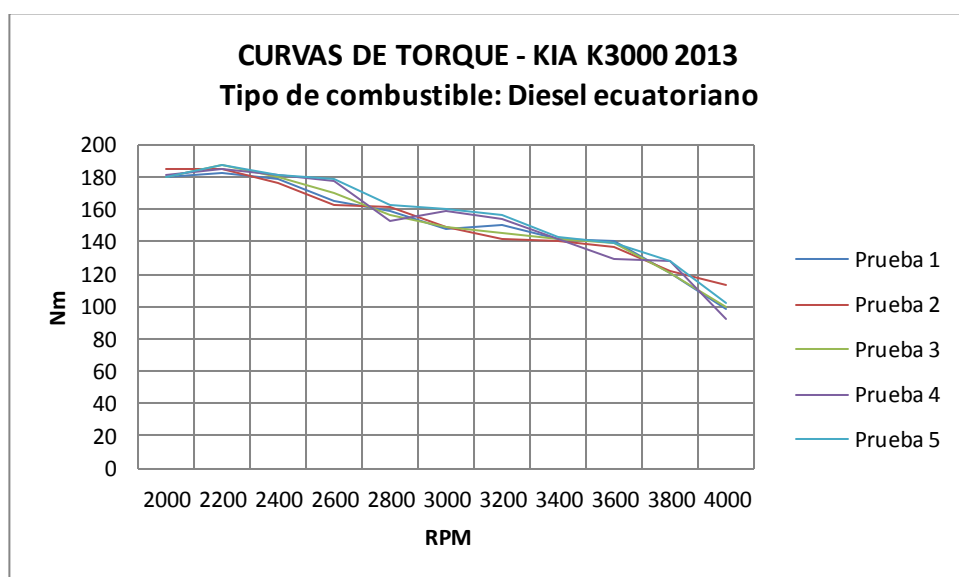
El promedio de potencia máxima (potencia base) del motor diesel utilizando diesel ecuatoriano es de 68.86HP (51.35kW) a 3600RPM.

En la tabla 9 se muestra el resultado de torque a diferentes revoluciones en cinco pruebas realizadas en dinamómetro automotriz, utilizando combustible diesel de origen ecuatoriano.

**Tabla 9.** Valores de torque utilizando diesel ecuatoriano.

TORQUE CON DIESEL ECUATORIANO (RPM v Nm)						
	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3	Prueba 4	Prueba 5	Media
<b>2000</b>	180.13	184.6	179.56	181.36	180.46	181.22
<b>2200</b>	182.84	184.9	187.1	185.2	187.1	185.43
<b>2400</b>	178.65	176.73	180.31	180.85	180.93	179.49
<b>2600</b>	165.72	162.47	170.4	177.1	178.41	170.82
<b>2800</b>	159.67	162.13	156.49	152.79	162.79	158.77
<b>3000</b>	147.98	148.69	148.67	159.31	160.31	152.99
<b>3200</b>	150.34	141.58	145.87	153.73	156.73	149.65
<b>3400</b>	141.63	140.8	142.34	141.53	143.53	141.97
<b>3600</b>	140.37	136.98	139.87	129.3	139.3	137.16
<b>3800</b>	120,82	122.45	120.78	128.21	128.52	124.16
<b>4000</b>	98.69	113.73	99.7	102.2	102.1	103.28

En el grafico 2 se indica las curvas de torque de cinco pruebas realizadas en dinamómetro automotriz, utilizando combustible diesel de origen ecuatoriano.



**Gráfico 2.** Curvas de 5 pruebas de torque utilizando diesel ecuatoriano.

El promedio de torque máximo del motor diesel utilizando diesel ecuatoriano es de 185.43Nm (136.76lbf-ft) a 2200RPM.

#### 4.4.2 RESULTADOS DE POTENCIA, TORQUE, CONSUMO DE COMBUSTIBLE Y TIEMPO DE ACELERACION, CON DIESEL COLOMBIANO

En la tabla 10 se muestra el resultado de cinco pruebas realizadas en dinamómetro automotriz, utilizando combustible diesel de origen colombiano.

**Tabla 10.** Valores del rendimiento del motor utilizando diesel colombiano.

<b>DIESEL COLOMBIANO</b>					
	<b>Prueba 1</b>	<b>Prueba 2</b>	<b>Prueba 3</b>	<b>Prueba 4</b>	<b>Prueba 5</b>
<b>Potencia Máxima (HP)</b>	79,43	77,21	78,56	79,65	81
<b>Revoluciones Potencia Máx (RPM)</b>	3600	3600	3600	3600	3600
<b>Torque Máx (Nm)</b>	196	193.2	195.6	196.1	189
<b>Revoluciones Torque Máx (RPM)</b>	2200	2400	2400	2200	2200
<b>Tiempo de aceleración (s)</b>	10.1	9.2	10	8.8	9.8
<b>Consumo específico de combustible (l/100km)</b>	15.9	15.7	15.7	15.8	15.9

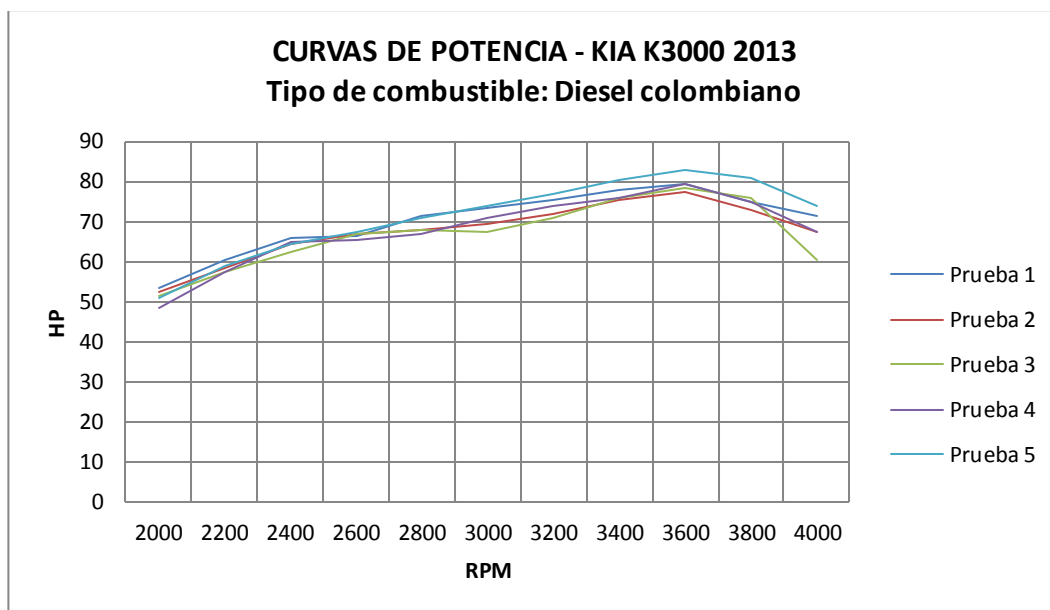
En la tabla 11 se muestra el resultado de la potencia a diferentes revoluciones en cinco pruebas realizadas en dinamómetro automotriz, utilizando combustible diesel de origen colombiano.

**Tabla 11.** Valores de potencia utilizando diesel colombiano.

<b>POTENCIA CON DIESEL COLOMBIANO (RPM v HP)</b>						
	<b>Prueba 1</b>	<b>Prueba 2</b>	<b>Prueba 3</b>	<b>Prueba 4</b>	<b>Prueba 5</b>	<b>Media</b>
<b>2000</b>	53.64	52.29	51.62	48.37	50.96	51.38
<b>2200</b>	60.34	58.66	57.39	57.39	59.12	58.58
<b>2400</b>	65.71	64.33	62.26	64.77	64.69	64.35
<b>2600</b>	66.48	67.05	67.15	65.31	67.31	66.66
<b>2800</b>	71.41	68.02	67.85	67.18	71.08	69.11
<b>3000</b>	73.41	69.45	67.66	70.81	74.02	71.07
<b>3200</b>	75.55	71.78	70.94	74.15	77.11	73.91
<b>3400</b>	77.98	75.39	75.85	75.76	80.59	77.11
<b>3600</b>	79.43	77.21	78.56	79.65	83	79.57
<b>3800</b>	75.05	73.12	75.81	75.09	81	76.01
<b>4000</b>	71.68	67.34	66.44	67.45	73.91	69.36

El promedio de consumo específico de combustible a potencia máxima es de 15.8 l/100km.

En el grafico 3 se indica las curvas de potencia de cinco pruebas realizadas en dinamómetro automotriz, utilizando combustible diesel de origen colombiano.



**Gráfico 3.** Curvas de 5 pruebas de potencia utilizando diesel colombiano.

El promedio de potencia máxima (potencia base) del motor diesel utilizando diesel ecuatoriano es de 79.57HP (51.13kW) a 3600RPM.

En la tabla 12 se muestra el resultado de torque a diferentes revoluciones en cinco pruebas realizadas en dinamómetro automotriz, utilizando combustible diesel de origen colombiano.

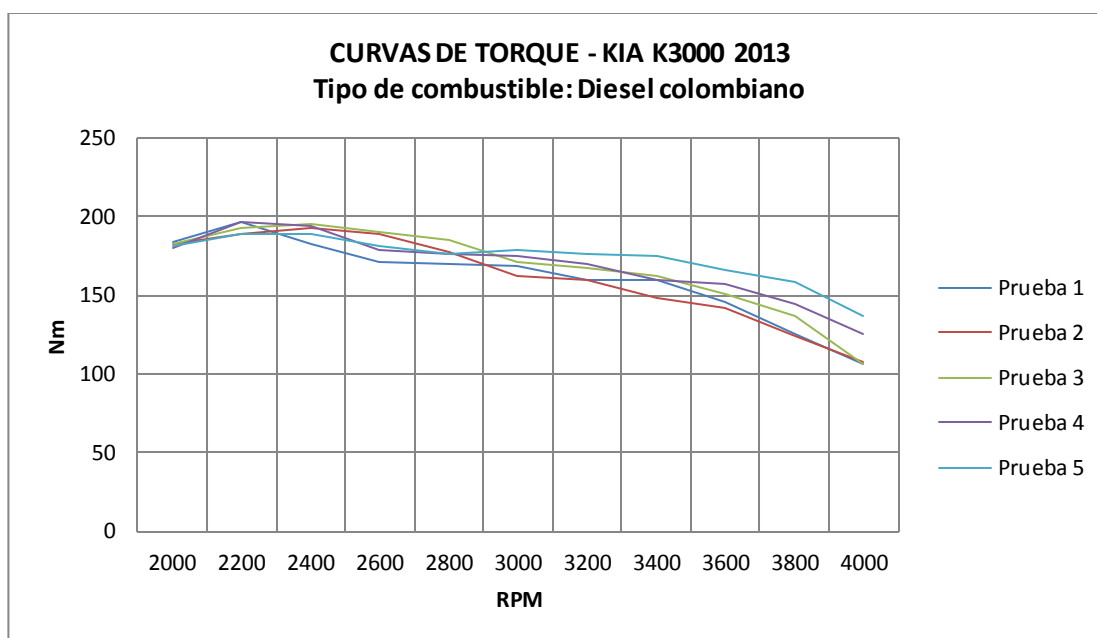
**Tabla 12.** Valores de torque utilizando diesel colombiano.

TORQUE CON DIESEL COLOMBIANO(RPM v Nm)						
	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3	Prueba 4	Prueba 5	Media
<b>2000</b>	183.42	182.12	182.53	180.22	181.83	182.02
<b>2200</b>	196	188.43	192.41	196.1	191.2	192.39
<b>2400</b>	183.1	193.2	195.6	194.37	188.75	191.00

**Tabla 12.** Valores de torque utilizando diesel colombiano. (Continuación)

<b>2600</b>	171.64	188.39	190.31	178.93	180.8	182.01
<b>2800</b>	169.23	176.87	185.44	175.8	176.83	176.83
<b>3000</b>	168.98	161.82	171.72	174.33	178.44	171.06
<b>3200</b>	160.23	160.14	167.23	169.87	176.3	166.75
<b>3400</b>	159.21	147.98	162.1	160.11	175.22	160.92
<b>3600</b>	145.49	142.1	151.21	157.31	166.65	152.55
<b>3800</b>	125.62	123.8	136.55	143.83	157.82	137.52
<b>4000</b>	105.7	107.56	105.72	124.99	137.33	116.26

En el grafico 4 se indica las curvas de torque de cinco pruebas realizadas en dinamómetro automotriz, utilizando combustible diesel de origen colombiano.



**Gráfico 4.** Curvas de 5 pruebas de torque utilizando Diesel colombiano.

El promedio de torque máximo del motor diesel utilizando diesel colombiano es de 192.39Nm (142.21lbf-ft) a 2200RPM.

## 4.5 GRÁFICOS DE CONTROL

A continuación se muestra un ejemplo de la obtención de los gráficos de control de la potencia del motor diesel utilizando combustible ecuatoriano.



Los valores de potencia usados en la elaboración de los gráficos de control se muestran en la tabla 9 del presente capítulo.

En la tabla 13 se indica los valores promedios de los datos de potencia del motor diesel utilizando combustible ecuatoriano.

**Tabla 13.** Promedio de medias y rangos para los gráficos de control.

<b>POTENCIA DIESEL ECUATORIANO</b>			
	<b>MEDIA</b>	<b>PROMEDIO DE MEDIAS</b>	<b>PROMEDIO DE RANGOS</b>
<b>PRUEBA 1</b>	69.06	69.16	2.98
<b>PRUEBA 2</b>	68.5		
<b>PRUEBA 3</b>	69.19		
<b>PRUEBA 4</b>	69.33		
<b>PRUEBA 5</b>	69.73		

Con los promedios se elabora los gráficos de control. El tamaño muestral es de  $n = 5$ .

De la tabla del anexo 1 se obtienen los valores de las constantes (con  $n = 5$ )

$D_3 = 0$	$D_4 = 2.114$	$A_2 = 0.577$
-----------	---------------	---------------

Así se obtienen los límites superior e inferior para el gráfico de control de medias.

$$LCS_x = \bar{X} + A_2\bar{R} = 62.84 + (0.577 \times 2.98) = \mathbf{70.88HP}$$

$$LCI_x = \bar{X} - A_2\bar{R} = 62.84 - (0.577 \times 2.98) = \mathbf{67.44HP}$$

Se obtienen los límites superior e inferior para el gráfico de control de rangos.

$$LCS_R = D_4\bar{R} = 2,114 \times 2.98 = \mathbf{5.53HP}$$

$$LCI_R = D_3\bar{R} = 0 \times 2.98 = \mathbf{0HP}$$

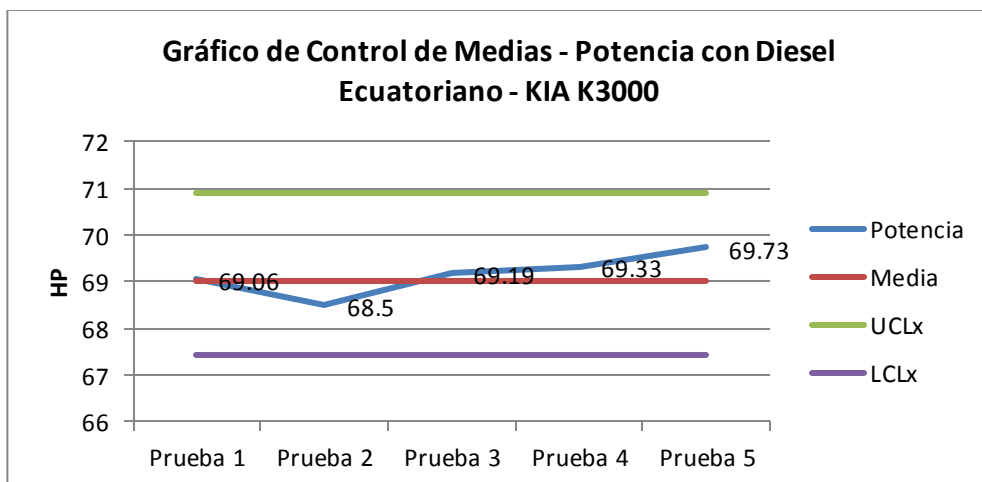
En la tabla 14 se muestra los límites de los gráficos de control para medias y rangos de la potencia del motor diesel utilizando combustible ecuatoriano.

**Tabla 14.** Límites para los gráficos de control de potencia.

POTENCIA DIESEL ECUATORIANO				
HP	LÍMITES PARA MEDIAS		LÍMITES PARA RANGOS	
	$LCS_x$	$LCL_x$	$LCS_R$	$LCL_R$
	70.88	67.44	5.53	0.00

### Gráfico de control de medias

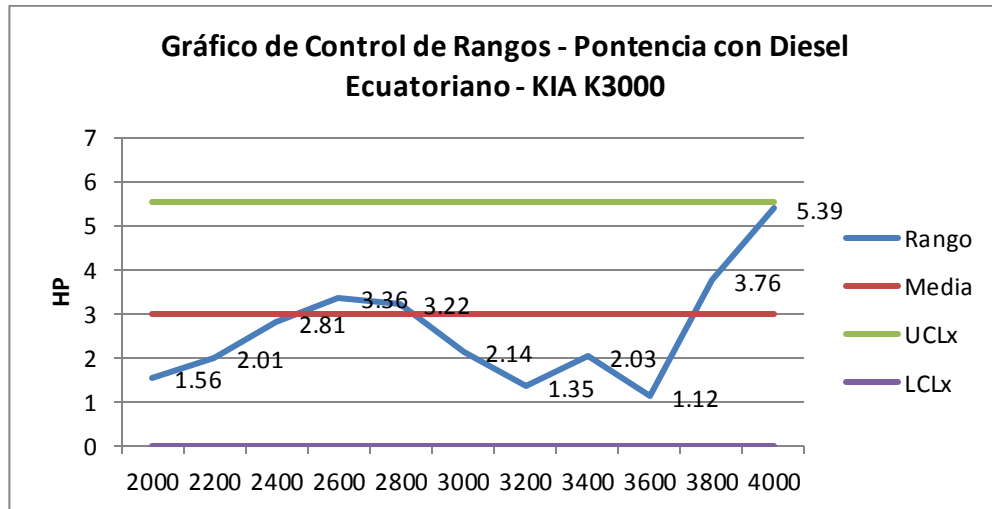
El gráfico 5 de control de medias de la potencia del motor diesel utilizando combustible ecuatoriano, indica que las medias calculadas están dentro de los límites de control, es así que no existen errores de causa asignable.



**Gráfico 5.** Gráfico de control de Medias de la potencia utilizando diesel ecuatoriano.

### Gráfico de control de rangos

El gráfico 6 de control de rangos de la potencia del motor diesel utilizando combustible ecuatoriano, indica que los rangos calculados están dentro de los límites de control, es así que no existen errores de causa asignable.



**Gráfico 6.** Gráfico de Control de Rangos de la potencia utilizando diesel ecuatoriano.

Todos los gráficos de control se muestran en los anexos 10,11 y 12.

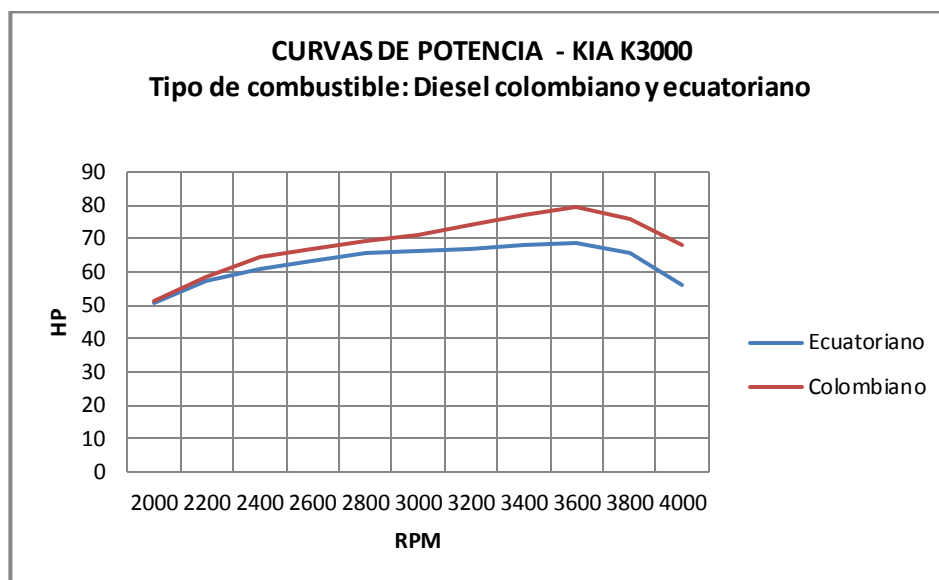
## 4.6 ANÁLISIS GENERAL

En la tabla 15 se muestra los valores de potencia promedio máxima, medido al Kia K3000, utilizando diesel ecuatoriano y colombiano.

**Tabla 15.** Valores de potencia promedio máxima.

POTENCIA DIESEL ECUATORIANO vs COLOMBIANO		
	Ecuatoriano	Colombiano
<b>2000</b>	50.78	51.38
<b>2200</b>	57.55	58.58
<b>2400</b>	60.92	64.35
<b>2600</b>	63.55	66.66
<b>2800</b>	65.53	69.11
<b>3000</b>	66.58	71.07
<b>3200</b>	67.07	73.91
<b>3400</b>	68.15	77.11
<b>3600</b>	68.86	79.57
<b>3800</b>	65.97	76.01
<b>4000</b>	56.32	68.16

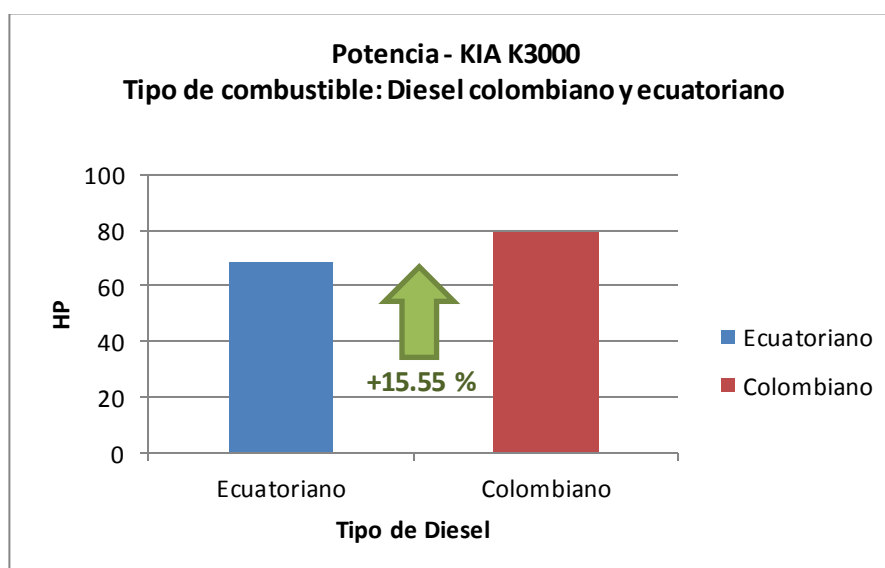
En el gráfico 7 se muestra las curvas de potencia promedio máxima, medido al Kia K3000, utilizando diesel ecuatoriano y colombiano.



**Gráfico 7.** Curvas de potencia promedio máxima.

El valor de potencia base del motor con el uso de diesel ecuatoriano es de 68.86HP a 3600RPM. La potencia del motor utilizando diesel colombiano es de 79.57HP, aumentando así 10.71HP al valor de potencia base del motor al funcionar con diesel ecuatoriano. El aumento de la potencia es de 15.55 %.

En el grafico 8 se muestra la comparación de la potencia utilizando diesel colombiano y ecuatoriano.



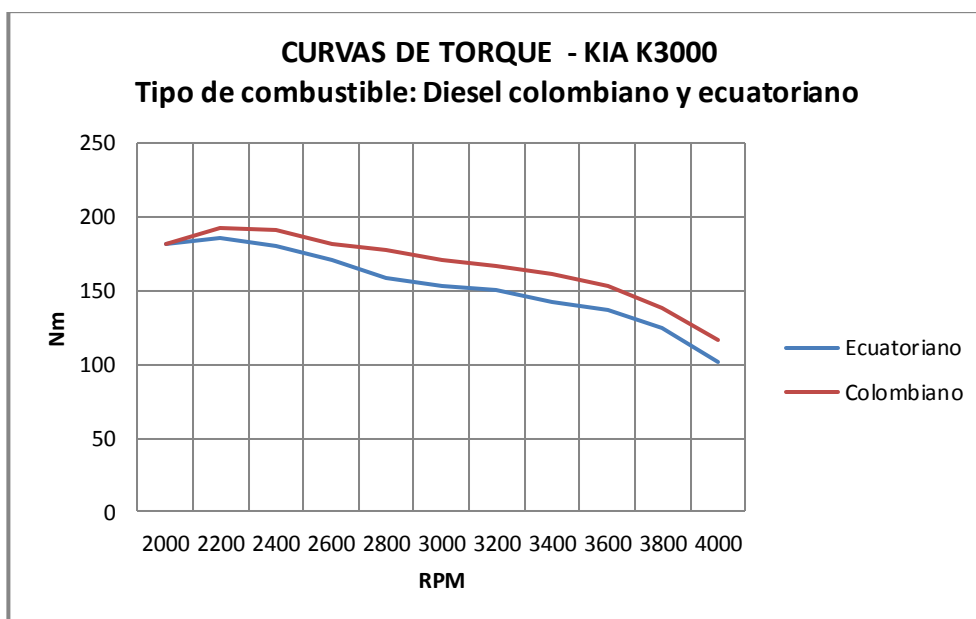
**Gráfico 8.** Potencia utilizando diesel colombiano y ecuatoriano.

En la tabla 16 se muestra los valores de torque promedio máximo, medido al Kia K3000, utilizando diesel ecuatoriano y colombiano.

**Tabla 16.** Valores de torque promedio máximo utilizando diesel colombiano y ecuatoriano.

TORQUE DIESEL ECUATORIANO vs COLOMBIANO		
	Ecuatoriano	Colombiano
<b>2000</b>	181.22	182.02
<b>2200</b>	185.43	192.83
<b>2400</b>	179.49	191.00
<b>2600</b>	170.82	182.01
<b>2800</b>	158.77	176.83
<b>3000</b>	152.99	171.06
<b>3200</b>	149.65	166.75
<b>3400</b>	141.97	160.92
<b>3600</b>	137.16	152.55
<b>3800</b>	124.16	137.52
<b>4000</b>	101.28	116.26

En el gráfico 9 se muestra las curvas de torque promedio máximo, medido al Kia K3000, utilizando diesel ecuatoriano y colombiano.



**Gráfico 9.** Curvas de torque promedio máximo utilizando diesel ecuatoriano y colombiano.

El valor del torque base del motor utilizando diesel ecuatoriano es de 185.43Nm a 2200RPM. El torque del motor utilizando diesel colombiano es de 194.42Nm (como muestra la tabla 12, el torque máximo en cada prueba fue a 2200RPM y a 2400RPM) aumentando así 8.99Nm al valor del torque base del motor al funcionar con diesel ecuatoriano. El aumento del torque es de 4.84%.

En el gráfico 10 se muestra el aumento de torque promedio máximo, medido al Kia K3000, utilizando diesel ecuatoriano y colombiano.

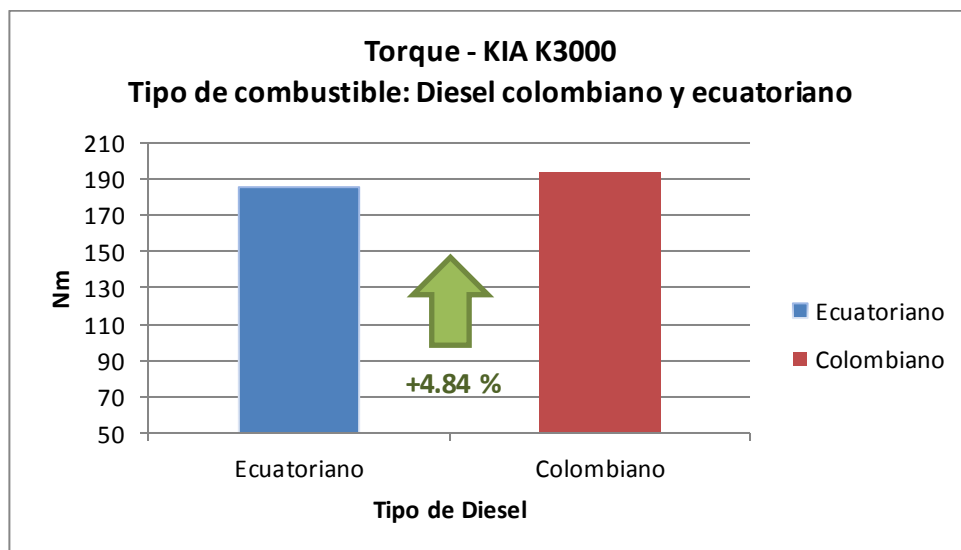


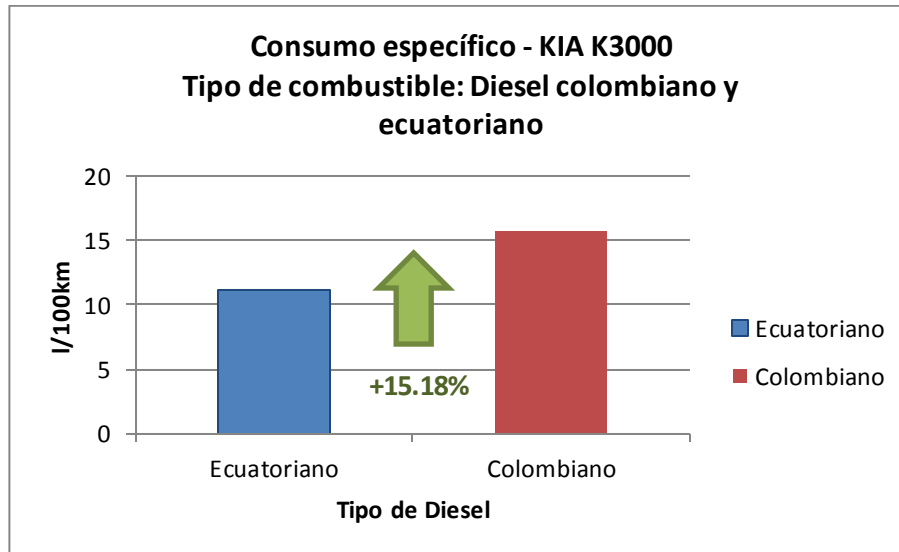
Gráfico 10. Torque utilizando diesel colombiano y ecuatoriano.

El valor del consumo específico base del motor utilizando diesel ecuatoriano es de 11.2 l/100km.

El consumo específico del motor utilizando diesel colombiano es de 12.9 l/100km, aumentando así 1.7 l/100km al valor del consumo específico base del motor al funcionar con diesel ecuatoriano.

El aumento del consumo es del 15.18%.

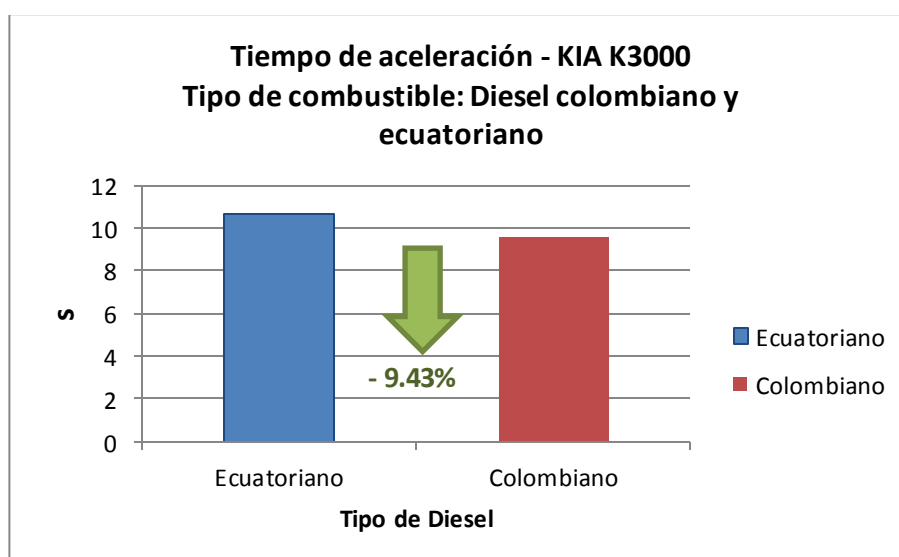
En el gráfico 11 se muestra consumo específico promedio, medido al Kia K3000, utilizando diesel ecuatoriano y colombiano.



**Gráfico 11.** Consumo específico utilizando diesel colombiano y ecuatoriano.

El tiempo de aceleración promedio base del motor utilizando diesel ecuatoriano es de 10.6s. El tiempo de aceleración promedio del motor utilizando diesel colombiano es de 9.6s, disminuyendo así 1 segundo al valor del tiempo de aceleración promedio base del motor al funcionar con diesel ecuatoriano. La disminución del tiempo de aceleración promedio de 9.43%.

En el gráfico 12 se muestra el tiempo de aceleración promedio desde las 2000RPM hasta las 4000RPM, medido al Kia K3000, utilizando diesel ecuatoriano y colombiano.



**Gráfico 12.** Tiempo de aceleración promedio utilizando diesel colombiano y ecuatoriano.

#### 4.6.1 PRUEBA DE OPACIDAD POR EL MÉTODO DE ACELERACIÓN LIBRE

Para la realización de la prueba de opacidad se utilizó un opacímetro modelo 5Y de la marca L&T Mechanical & Electrical Equipment Co. Ltd. Equipo certificado por la ISO9001:2008, y que cuenta con parámetros de calidad aprobados para el uso en estudios de opacidad, (sus especificaciones técnicas se muestran en el anexo 3). La Norma NTE INEN 2207 (Gestión ambiental. Aire. Vehículos automotores, Límites permitidos de emisiones producidas por fuentes móviles terrestres de diesel) establece como en 60% el valor máximo de opacidad para vehículos fabricados antes del año 1999. Los estudios de aceleración libre dan como valor base de opacidad del motor utilizando diesel Premium ecuatoriano en 39%. Este valor está debajo del límite permitido por la Norma INEN 2207. El valor de opacidad del motor utilizando diesel Premium colombiano es de 37%. Este valor está debajo del límite permitido por la Norma INEN 2207.

Con el uso del diesel colombiano el motor disminuye en 7.69% el valor base de opacidad en relación al diesel ecuatoriano.

En el grafico 13 se muestra la comparación de la opacidad del motor diesel utilizando combustible ecuatoriano y colombiano.

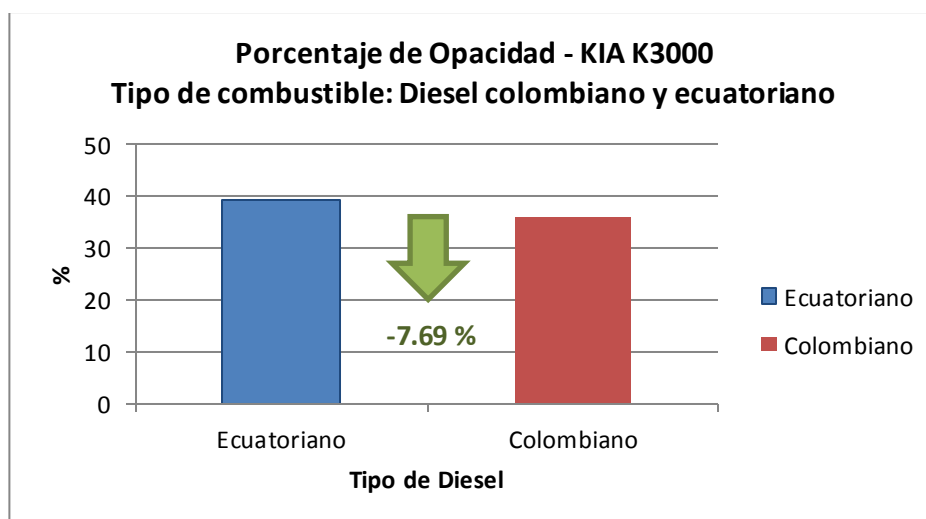


Gráfico 13. Porcentaje de opacidad utilizando diesel colombiano y ecuatoriano.



## 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 5.1 CONCLUSIONES

- Se estudió la potencia del motor diesel comparando el uso de combustible nacional y extranjero, con lo cual se evidenció que el combustible diesel colombiano genera un incremento de 15.55% de potencia, 4.84% de aumento de torque, una disminución del 9.43% en el tiempo de aceleración (de 2000 a 4000RPM), y una disminución de 7.69% al valor base de opacidad con relación al diesel ecuatoriano.
- Se identificó los parámetros de funcionamiento del motor ciclo diesel, de gases contaminantes producidos y protocolos de pruebas normalizadas para medir potencia y emisión de gases, que nos sirvieron para la realización correcta del estudio comparativo.
- Se determinó las propiedades de los combustibles diésel en relación con los valores de potencia del motor y así se tomó la decisión con cual combustible diesel extranjero realizar el estudio comparativo.
- Se realizó pruebas de potencia en un dinamómetro usando diferentes tipos de combustible diesel en el motor, en las cuales se evidenció una desventaja, ya que el combustible diesel colombiano aumenta el consumo de combustible en 15.18% con relación al diesel ecuatoriano.
- Se analizó y comparó los resultados obtenidos en las pruebas, con lo cual se concluyó que el combustible diesel ecuatoriano es de baja calidad, y en relación con el combustible diesel extranjero contiene más contenido de azufre (de 500 a 7000ppm), por esta razón no permite la importación de vehículos con controles de emisiones rigurosas, como los dictados por las normas EURO que se maneja en la Unión Europea.

## 5.2 RECOMENDACIONES

- Se recomienda seguir con este estudio, usando para los análisis, combustibles con diferentes métodos de refinación y con distintos rangos de calidad, como los usados en la Unión Europea o en Estados Unidos.
- Se recomienda tomar en cuenta combustibles diesel micro-emulsionados con agua, para hacer una comparación con el diesel común y el biodiesel.
- Se recomienda que para las prácticas se utilice vehículos de uso común, para conocer el impacto que puede generar este estudio en la sociedad.
- Se recomienda realizar un análisis de los componentes de los gases de escape, para conocer en profundidad la relación existente entre la potencia y la contaminación.
- Se recomienda tomar en cuenta factores como: temperaturas de aceite y refrigerante, presión, volumen y temperatura del aire de admisión, y el análisis del aceite antes y después de la práctica, y así tener mayor control en la práctica.
- Se recomienda realizar un análisis químico de cada combustible a ser analizado, para posteriormente elaborar un estudio termodinámico.
- Se recomienda adquirir equipos tecnológicos, como un opacímetro automotriz, por la razón de que es necesario su uso para estudios de la opacidad, ya sea estática o dinámica.

## GLOSARIO

**ASTM:** Association for Testing Materials - Asociación para el Ensayo de Materiales.

**COMBUSTIÓN:** Reacción química que se produce entre el oxígeno y un material oxidable, que va acompañada de desprendimiento de energía y habitualmente se manifiesta por incandescencia o llama.

**CONSUMO ESPECÍFICO:** Indica la eficiencia que tiene un motor para transformar carburante en energía mecánica, y se expresa como la cantidad de carburante que hay que consumir (en gramos), para obtener una determinada potencia en kilovatios (kW), durante una hora (g/kWh).

**ENERGÍA:** Capacidad para realizar un trabajo.

**EURO:** Norma europea sobre emisiones contaminantes.

**INEN:** Instituto Ecuatoriano de Normalización.

**MEDIA:** Promedio de un conjunto de números.

**MUESTRA:** Conjunto de cosas, personas o datos elegidos al azar, que se consideran representativos del grupo al que pertenecen y que se toman para estudiar o determinar las características del grupo.

**NTE:** Norma Técnica Ecuatoriana.

**PETRÓLEO:** Sustancia compuesta por una mezcla de hidrocarburos, de color oscuro y olor fuerte, de color negro y más ligera que el agua, que se encuentra en estado natural en yacimientos subterráneos de los estratos superiores de la corteza terrestre.

**POTENCIA:** Cantidad de trabajo efectuado por unidad de tiempo.

**RANGO:** Intervalo entre el valor máximo y el valor mínimo; por ello, comparte unidades con los datos.

**TORQUE:** Fuerza aplicada en una palanca que hace rotar alguna cosa.

## BIBLIOGRAFÍA

- Bernal Torres, C. A. (2010). *Metodología de la Investigación* (tercera ed.). Bogotá, Departamento de Cundinamarca, Colombia: Pearson.
- Boada, M. (2016). *ANÁLISIS TEÓRICO TERMODINÁMICO DEL CICLO DIÉSEL CON COMBUSTIBLE ECUATORIANO Y COMBUSTIBLE EXTRANJERO*. Quito.
- Bosch, R. (2004). *Sistemas de inyección Diesel por acumulador Common Rail*. Alemania: Bosch.
- Cañarte, C. (2016). *ESTUDIO DE LAS CURVAS CARACTERÍSTICAS DE MOTOR DEL VEHICULO*. Quito: UIDE.
- Çengel, Y. (2012). *TERMODINAMICA*. Mexico: Programas Educativos S.A.
- COPEC. (2016). *COPEC*. Recuperado el 31 de Octubre de 2016, de <http://ww2.copec.cl/combustibles/products/diesel-ultra>
- Escalante, C. (2015). *CONTAMINACION DELAIRE EN LA CIUDAD DE QUITO*. Obtenido de Biblioteca Virtual de Desarrollo Sostenible y Salud Ambiental:  
<http://www.bvsde.paho.org/bvsaidis/ecuador10/muni.pdf>
- Filgueira, R. (2015). *MOTORES DIESEL: CICLO IDEAL Y DIAGRAMA INDICADO*.
- Guzmán, A. (2011). *ESTUDIO DE LAS EMISIONES DE GASES CONTAMINANTES DE UN MOTOR DE CICO DIESEL, USANDO COMBUSTIBLE MICROEMULSIONADO CON AGUA*. Quito: EPN.
- INEN, N. (NORMA TÉCNICA ECUATORIANA Productos derivados del petróleo. Diesel. 2012). Quito Ecuador.
- L&T. (2008). *Especificaciones Opacimetro 5Y*. Tianjin, China.

MecanicaMotor. (2010). *Mecánica y Motores*. Recuperado el 16 de Junio de 2016, de <http://www.mecanicaymotores.com/el-uso-de-los-dinamometros.html>

Paz, A. (2004). *Manual de Automoviles*. España: Editoriales Dossat.

Piqueras, V. Y. (2013). *Universitat Politècnica de València*. Obtenido de <http://victoryepes.blogs.upv.es/2013/06/29/relacion-de-compresion-de-un-motor-de-combustion-interna/>

Romo, L. (1975). *TERMODINAMICA QUIMICA*. Quito: UNIVERSITARIA.

Sanz, S. (2007). *Mantenimiento de vehículos autopropulsados*. Madrid: España.

Secretaría de Energía – República Argentina. (2003 ).  
*Conceptos sobre Hidrocarburos*. Argentina.

SENATI. (2004). *TECNOLOGIA ESPECÍFICA*.

SOSTENIBLE, M. D. (2014). *RESOLUCIÓN NÚMERO 9 0963*. Bogota - Colombia.

UNEP. (2016). *United Nations Environment Programme*. Recuperado el 31 de Octubre de 2016, de <http://www.unep.org/transport/new/pcfiv/>

Vicente, M. d. (1987). *EL MOTOR DIESEL EN EL AUTOMOVIL*. Barcelona (España): CEAC, SA.

# ANEXOS

## ANEXO 1

TABLA DE CONSTANTES PARA ELABORAR GRÁFICOS DE CONTROL

Observaciones en la muestra, n	Diagrama para medias				Diagrama para desviaciones estándares				Diagrama para amplitudes								
	Factores para límites de control		Factores para línea central		Factores para límites de control		Factores para línea central		Factores para límites de control		Factores para línea central						
	A	A <sub>2</sub>	A <sub>3</sub>	A <sub>4</sub>	A <sub>5</sub>	A <sub>6</sub>	1/c <sub>4</sub>	B <sub>3</sub>	B <sub>4</sub>	B <sub>5</sub>	B <sub>6</sub>	d <sub>1</sub>	1/d <sub>2</sub>	d <sub>3</sub>	D <sub>1</sub>	D <sub>2</sub>	D <sub>3</sub>
2	2.121	1.880	2.659	0.7979	1.2533	0	3.267	0	2.606	1.128	0.8665	0.853	0	3.686	0	3.267	
3	1.732	1.023	1.954	0.8962	1.1284	0	2.568	0	2.276	1.693	0.5907	0.888	0	4.358	0	2.574	
4	1.500	0.729	1.628	0.9213	1.0854	0	2.266	0	2.088	2.059	0.4857	0.880	0	4.698	0	2.282	
5	1.342	0.577	1.427	0.9400	1.0638	0	2.089	0	1.964	2.326	0.4299	0.864	0	4.918	0	2.114	
6	1.225	0.483	1.287	0.9515	1.0510	0.030	1.970	0.029	1.874	2.534	0.3946	0.848	0	5.078	0	2.004	
7	1.134	0.419	1.182	0.9594	1.04230	0.118	1.982	0.113	1.806	2.704	0.3698	0.833	0.204	5.204	0.076	1.924	
8	1.061	0.373	1.099	0.9650	1.0363	0.185	1.815	0.179	1.751	2.847	0.3512	0.820	0.388	5.306	0.136	1.864	
9	1.000	0.337	1.032	0.9693	1.0317	0.239	1.761	0.232	1.707	2.970	0.3367	0.808	0.547	5.393	0.184	1.816	
10	0.949	0.308	0.975	0.9727	1.0281	0.284	1.716	0.276	1.669	3.078	0.3249	0.797	0.687	5.469	0.223	1.777	
11	0.905	0.285	0.927	0.9754	1.0252	0.321	1.679	0.313	1.637	3.173	0.3152	0.787	0.811	5.535	0.256	1.744	
12	0.866	0.266	0.886	0.9776	1.0229	0.354	1.646	0.346	1.610	3.258	0.3069	0.778	0.922	5.594	0.283	1.717	
13	0.832	0.249	0.850	0.9794	1.0210	0.382	1.618	0.374	1.585	3.336	0.2998	0.770	1.025	5.647	0.307	1.693	
14	0.802	0.235	0.817	0.9810	1.0194	0.406	1.594	0.399	1.563	3.407	0.2935	0.763	1.118	5.696	0.328	1.672	
15	0.775	0.223	0.789	0.9823	1.0180	0.428	1.572	0.421	1.544	3.472	0.2880	0.756	1.203	5.741	0.347	1.653	
16	0.750	0.212	0.763	0.9835	1.0168	0.448	1.552	0.440	1.526	3.532	0.2831	0.750	1.282	5.782	0.363	1.637	
17	0.728	0.203	0.739	0.9845	1.0157	0.466	1.534	0.458	1.511	3.588	0.2787	0.744	1.356	5.820	0.378	1.622	
18	0.707	0.194	0.718	0.9854	1.0148	0.482	1.518	0.475	1.496	3.640	0.2747	0.739	1.424	5.856	0.391	1.608	
19	0.688	0.187	0.698	0.9862	1.0140	0.497	1.503	0.490	1.483	3.689	0.2711	0.734	1.487	5.891	0.403	1.597	
20	0.671	0.180	0.680	0.9869	1.0133	0.510	1.490	0.504	1.470	3.735	0.2677	0.729	1.549	5.921	0.415	1.585	
21	0.655	0.173	0.663	0.9876	1.0126	0.523	1.477	0.516	1.459	3.778	0.2647	0.724	1.605	5.951	0.425	1.575	
22	0.640	0.167	0.647	0.9882	1.0119	0.534	1.466	0.528	1.448	3.819	0.2618	0.720	1.659	5.979	0.434	1.566	
23	0.626	0.162	0.633	0.9887	1.0114	0.545	1.455	0.539	1.438	3.858	0.2592	0.716	1.710	6.006	0.443	1.557	
24	0.612	0.157	0.619	0.9892	1.0109	0.555	1.445	0.549	1.429	3.895	0.2567	0.712	1.759	6.031	0.451	1.548	
25	0.600	0.153	0.606	0.9896	1.0105	0.565	1.435	0.559	1.420	3.931	0.2544	0.708	1.806	6.056	0.459	1.541	

## ANEXO 2

### CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DEL DINAMÓMETRO

ESPECIFICACIÓN	DATOS
Máx. Peso de Eje	6500lb
Máx. Potencia	800HP
Velocidad máxima	155+mph
Vehículo Rango de Pista	16" (mínimo dentro) – 86" (máximo)
Distancia entre ejes máxima	86"
Máx. Estado de Torque Estable	1800 libras por retardador
Máx. Dinámica de par	500 pies libra por eje
Requerimientos eléctricos	220/240 VAC @ 25AMPs

### ANEXO 3

#### CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DEL OPACÍMETRO

ESPECIFICACIÓN	DATOS
<b>Rango de medición</b>	
Capacidad n	0-99.9%
Coefficiente de absorción de luz (K)	0-16.00 m <sup>-1</sup>
<b>Resolución</b>	
Opacidad n	0.1%
Coefficiente de absorción de luz K	0.01 m <sup>-1</sup>
<b>Indicación de error</b>	
Capacidad n	± 0% (error absoluto)
Fuente de alimentación	AC220V 50 Hz
<b>Peso</b>	
Unidad de control	5 kg (incluye impresora)
Prueba	7.5 kg



## ANEXO 4

### INSTALACIÓN DE LOS EQUIPOS DE MEDICIÓN



## ANEXO 5

### INSTALACION DE LA Sonda DEL OPACÍMETRO



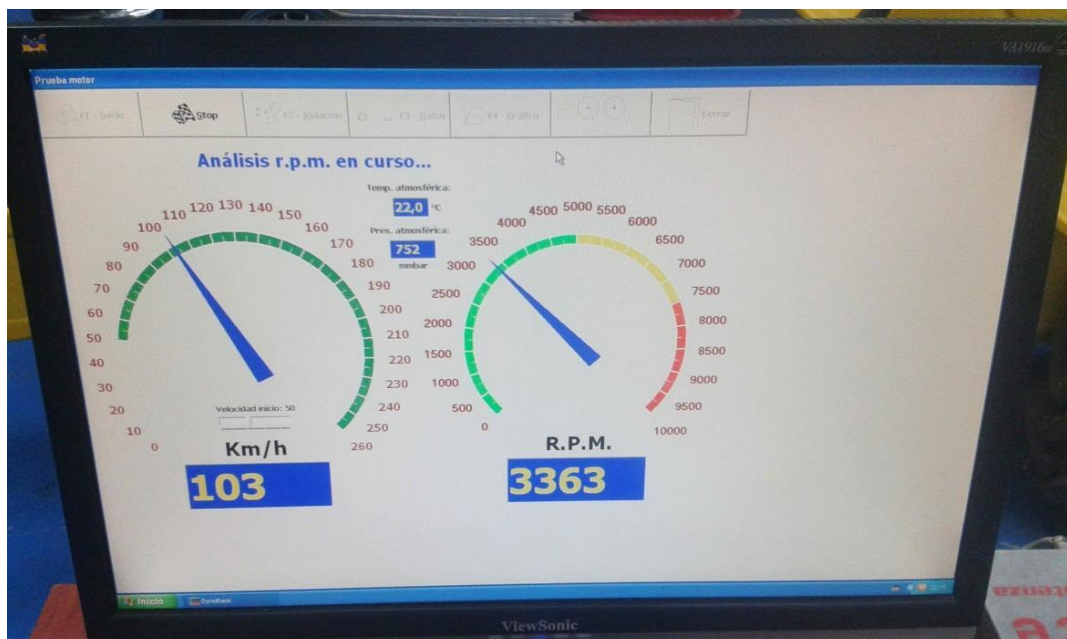
## ANEXO 6

### OPACÍMETRO EN FUNCIONAMIENTO



## ANEXO 7

### ANÁLISIS DE RPM EN CURSO



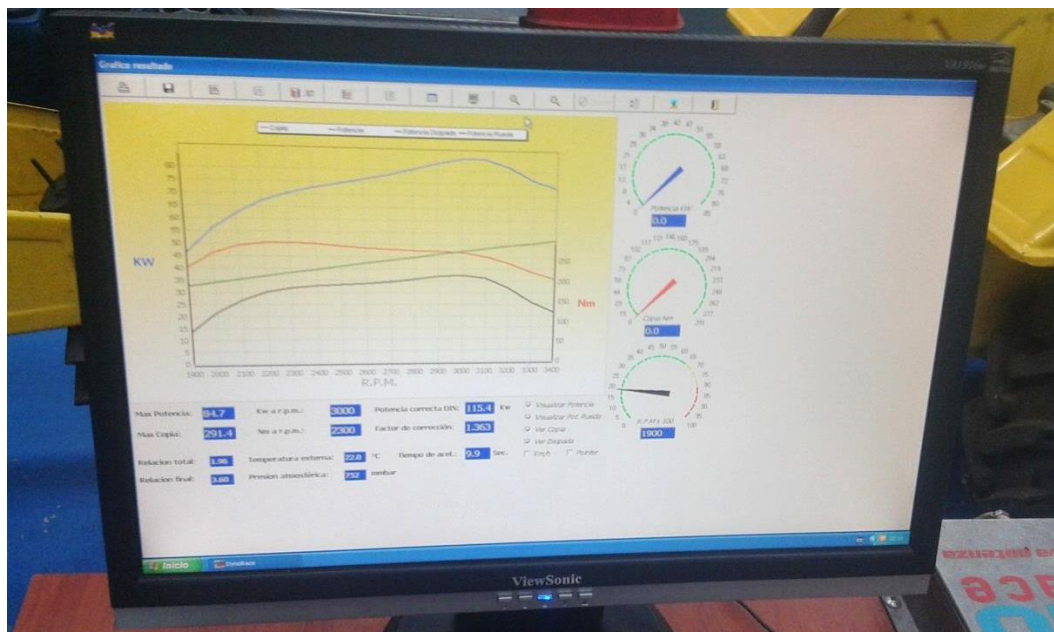
## ANEXO 8

### RODILLOS DEL DINAMÓMETRO EN FUNCIONAMIENTO



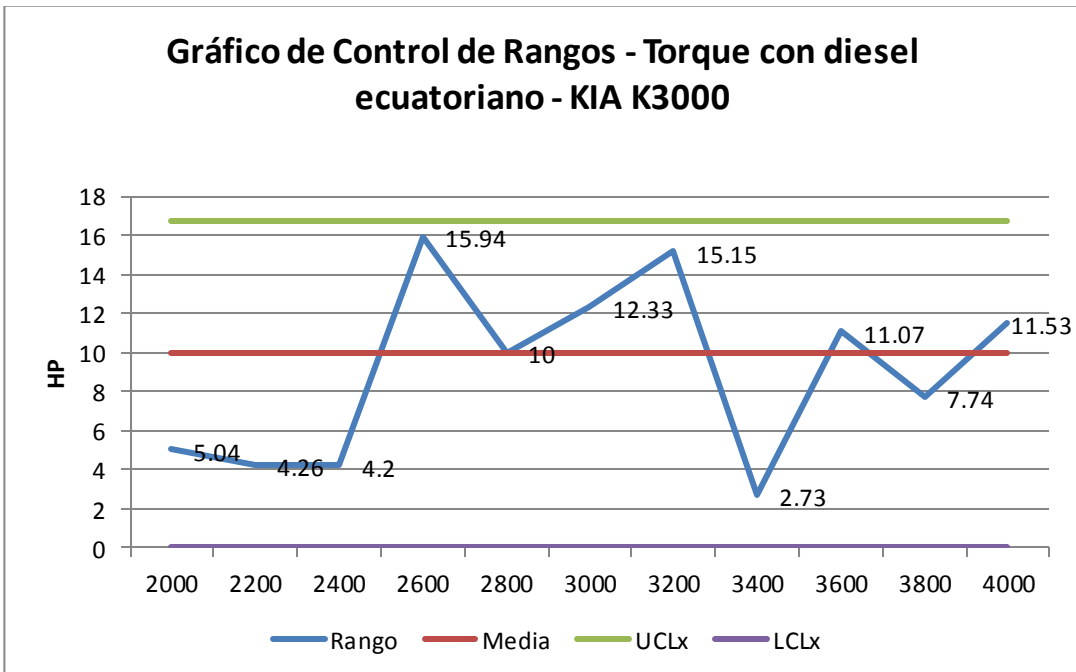
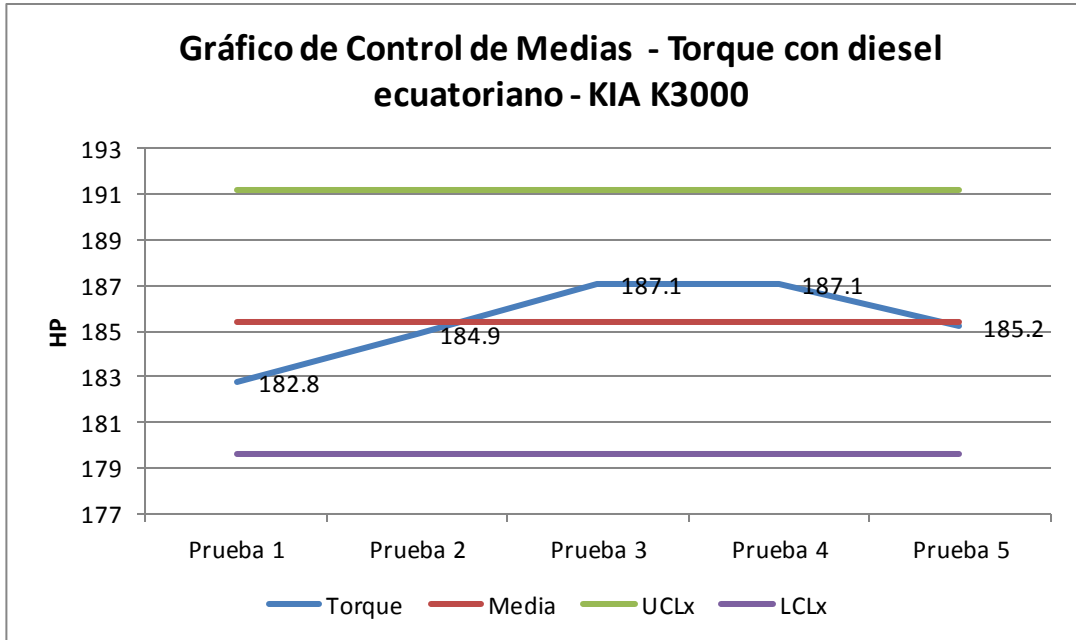
## ANEXO 9

### PRUEBA FINALIZADA



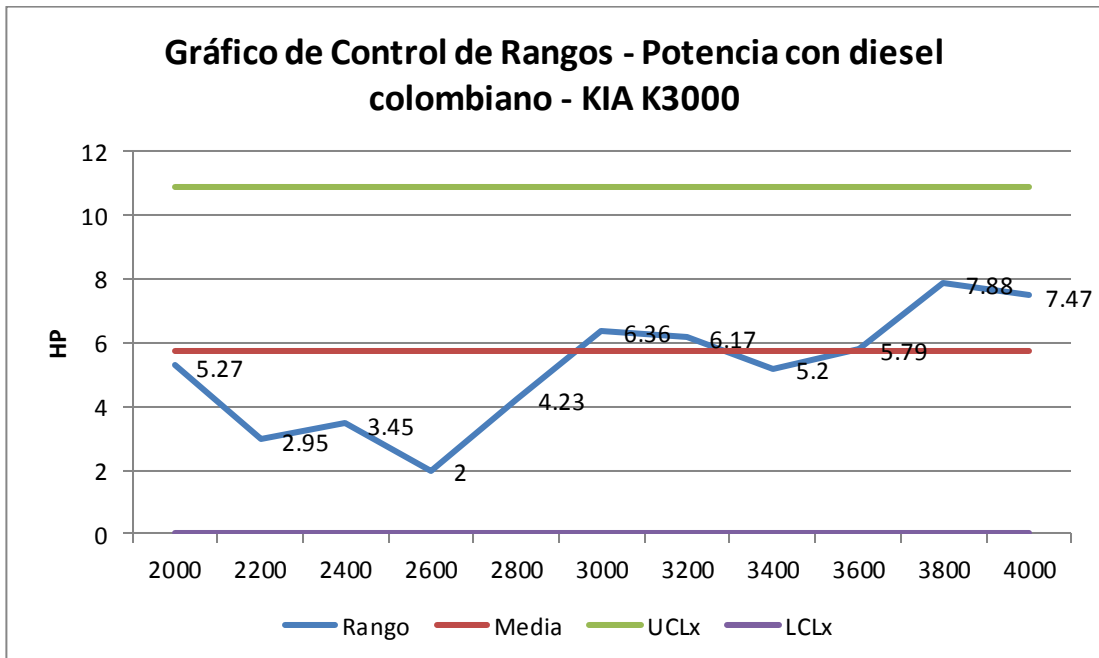
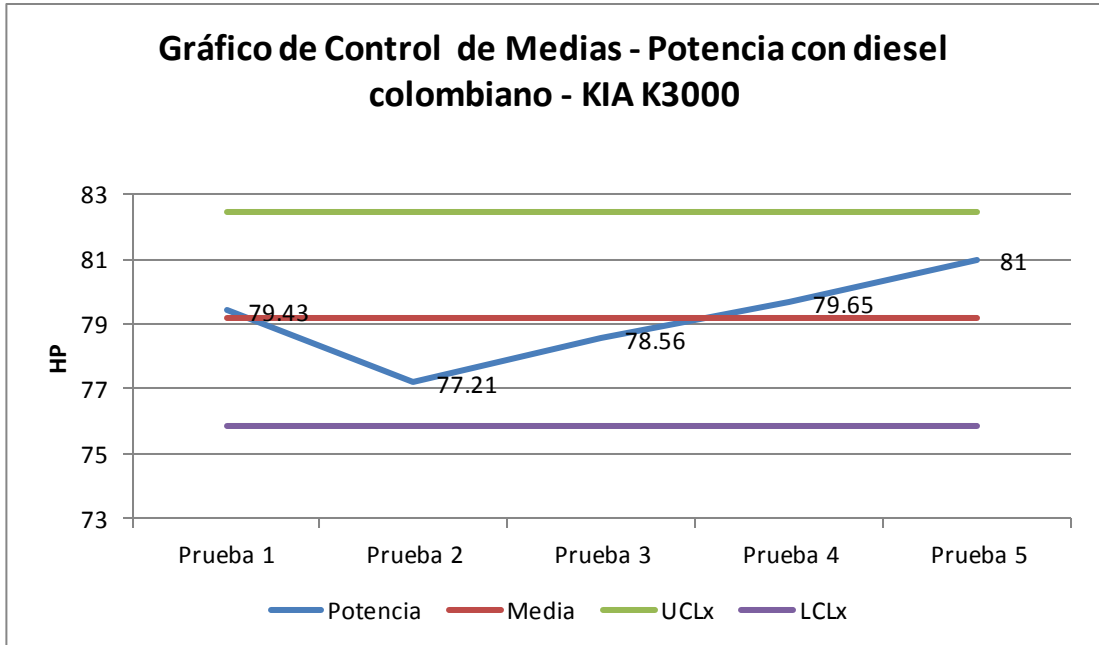
## ANEXO 10

### GRAFICOS DE CONTROL DE TORQUE UTILIZANDO DIESEL ECUATORIANO



# ANEXO 11

## GRAFICOS DE CONTROL DE POTENCIA UTILIZANDO DIESEL COLOMBIANO



## ANEXO 12

### GRAFICOS DE CONTROL DE TORQUE UTILIZANDO DIESEL COLOMBIANO

