



# **UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**

## **FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS CARRERA DE INGENIERÍA EN MANTENIMIENTO AUTOMOTRIZ**

### **TRABAJO DE GRADO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO EN MANTENIMIENTO AUTOMOTRIZ**

**TEMA: “VALORACIÓN DEL RENDIMIENTO DE UN MOTOR LUEGO DE LA  
ADICIÓN DE NANOPARTÍCULAS DE ÓXIDO DE ZINC AL DIÉSEL  
PREMIUM”**

**AUTOR: FARINANGO MORALES JIMMY PATRICIO**

**DIRECTOR: ING. CARLOS MARCELO SEGOVIA TROYA MSc.**

**IBARRA, JUNIO 2021**

## CERTIFICADO

### ACEPTACIÓN DEL DIRECTOR

En calidad de director del plan de trabajo de grado, previo a la obtención del título de Ingeniería en Mantenimiento Automotriz, nombrado por el Honorable Consejo Directivo de la Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas.

### CERTIFICO:

Que una vez analizado el plan cuyo título es “Valoración del rendimiento de un motor luego de la adición de nanopartículas de óxido de zinc al diésel premium” presentado por el señor: Farinango Morales Jimmy Patricio con el número de cédula 100361136-3 doy fe que dicho trabajo reúne los requisitos y méritos suficientes para ser sometido a presentación pública y evaluación por parte de los señores integrantes del jurado examinador que designe.

En la ciudad de Ibarra, a los 24 días del mes de junio del 2021

Atentamente



Firmado electrónicamente por:

**CARLOS MARCELO  
SEGOVIA TROYA**

Ing. Carlos Segovia MSc.  
DIRECTOR DEL TRABAJO DE GRADO



# UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

## BIBLIOTECA UNIVERSITARIA

### AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN

#### A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

#### 1. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

En cumplimiento del Art. 144 de la Ley de Educación Superior, hago la entrega del presente trabajo a la Universidad Técnica del Norte para que sea publicado en el Repositorio Digital Institucional, para lo cual pongo a disposición la siguiente información:

DATOS DE CONTACTO			
<b>CÉDULA DE IDENTIDAD:</b>	1003611363		
<b>APELLIDOS Y NOMBRES:</b>	Farinango Morales Jimmy Patricio		
<b>DIRECCIÓN:</b>	Natabuela, Barrio la Tola, Sector el Cruce, Calle Jaime Roldós Aguilera		
<b>EMAIL:</b>	jpfarinangom@utn.edu.ec		
<b>TELÉFONO FIJO:</b>	2535534	<b>TELÉFONO MÓVIL:</b>	0992534734

DATOS DE LA OBRA	
<b>TÍTULO:</b>	“VALORACIÓN DEL RENDIMIENTO DE UN MOTOR LUEGO DE LA ADICIÓN DE NANOPARTÍCULAS DE ÓXIDO DE ZINC AL DIÉSEL PREMIUM”
<b>AUTOR:</b>	Jimmy Patricio Farinango Morales
<b>FECHA:</b>	24 de junio de 2021
SOLO PARA TRABAJOS DE GRADO	
<b>PROGRAMA:</b>	<input checked="" type="checkbox"/> PREGRADO <input type="checkbox"/> POSGRADO
<b>TÍTULO POR EL QUE OPTA:</b>	INGENIERÍA EN MANTENIMIENTO AUTOMOTRIZ
<b>ASESOR /DIRECTOR:</b>	Ing. Carlos Segovia MSc.

## 2. CONSTANCIA

El autor manifiesta que la obra objeto de la presente autorización es original y se desarrolló, sin violar derechos de autor de tercero, por lo tanto, la obra es original y que es el titular de los derechos patrimoniales, por lo que se asume la responsabilidad sobre el contenido de esta y saldrá en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, a los 28 días del mes de junio del 2021

## AUTOR



Jimmy Patricio Farinango Morales

C.I 100361136-3

## **DEDICATORIA**

Este trabajo de investigación está dedicado especialmente a mis padres que con toda su paciencia, sacrificio, esfuerzo y amor supieron guiarme por el camino correcto en la vida, y a pesar de mis errores nunca dejaron de apoyarme y confiar en mí.

A mi familia, quienes me han ayudado con su apoyo y su preocupación durante mi etapa como estudiante.

***Jimmy Patricio Farinango Morales***

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco a Dios por la vida y la salud, por nunca dejarme solo en mis peores momentos, por bendecirme y permitirme llegar a cumplir mi meta.

A mis padres por haberme enseñado valores, por ser un ejemplo de superación e inspiración para mi vida, a mi abuelita Piedad, gracias por ayudarme cuando más lo necesitaba, con sus consejos y oraciones y a mis hermanos a pesar de nuestras diferencias siempre me demostraron su apoyo.

A la Universidad Técnica del Norte un inmenso agradecimiento por haberme formado académicamente, también debo agradecer a todos mis profesores de la carrera de Ingeniería en mantenimiento automotriz que han aportado sus conocimientos para mi formación profesional, de manera especial al Ing. Carlos Segovia quien supo dirigir y orientar mi trabajo de investigación con su disponibilidad y amabilidad en todo momento, al Ing. Jorge Melo, al Ing. Ignacio Benavides y al Ing. Víctor Montenegro , quienes con su asesoramiento me permitieron finalizar este trabajo.

***Jimmy Patricio Farinango Morales***

# ÍNDICE DE CONTENIDOS

<b>CAPÍTULO I</b>	<b>1</b>
<b>1 PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN</b>	<b>1</b>
1.1 Antecedentes	1
1.2 Situación Actual	2
1.3 Prospectiva	3
1.4 Planteamiento del Problema	3
1.5 Objetivos	4
1.5.1 Objetivo general	4
1.5.2 Objetivos específicos	4
1.6 Alcance	4
1.7 Justificación	5
<b>CAPÍTULO II</b>	<b>6</b>
<b>2 REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA</b>	<b>6</b>
2.1 Nanotecnología	6
2.1.1 Nanotecnología basada en los combustibles fósiles	6
2.2 Aditivos para combustibles	7
2.2.1 Antioxidantes	7
2.2.2 Aditivos oxigenados	7
2.2.3 Aditivos para mejorar el comportamiento del flujo en frío	8
2.2.4 Aditivos para mejorar el índice de cetano	8
2.2.5 Aditivos a base de metales	8
2.3 Nanoaditivos	8
2.3.1 Mezcla Combustible-nanoaditivos	9
2.3.2 Efectos de los nanoaditivos sobre las propiedades del combustible, rendimiento del motor y en las emisiones contaminantes.	10
2.4 Nanopartículas	11
2.4.1 Óxido de Zinc	11
2.4.2 Síntesis de las nanopartículas	12
2.4.2.1 Método sol-gel	12
2.4.2.2 Síntesis por precipitación	12
2.4.2.3 Reducción fotoquímica y radioquímica	12
2.4.3 Caracterización de las nanopartículas de óxido de zinc	13
2.4.3.1 Microscopía Electrónica de Transmisión (TEM)	13
2.4.3.2 Dispersión Dinámica de Luz (DLS)	13
2.4.3.3 Microscopia Electrónica de Barrido (MEB)	13
2.5 Diésel Premium	14
2.6 Motores diésel	14
2.6.1 Parámetros característicos del motor de combustión interna	15
2.6.1.1 Potencia	15
2.6.1.2 Torque o Par motor	16
2.7 Emisiones contaminantes	16
2.7.1 Composición de los gases contaminantes	17
2.7.2 Normativa técnicas nacionales e internacionales	17
2.7.2.1 Normativa Técnica Ecuatoriana INEN 2 207, 2002	17
2.7.2.3 Normativa Oficial Mexicana NOM-167-SEMARNAT -2017	19
2.8 Normativa ASTM para realización de ensayos con nanocombustibles	20

en el laboratorio	
2.8.1 Norma ASTM D 93 para determinación del punto de inflamación	20
2.8.2 Norma ASTM D 445 para la medición de viscosidad	20
2.8.3 Norma ASTM D 1298 para la determinación de la densidad	21
2.8.4 Norma ASTM D 240-02 para medición del poder calorífico	21
2.8.5 Norma ASTM D 613 para la determinación del número de cetano	21
<b>CAPÍTULO III</b>	<b>22</b>
<b>3 MATERIALES Y MÉTODOS</b>	<b>22</b>
3.1 Proyecto de investigación	22
3.2 Determinación del proceso metodológico	22
3.3 Obtención de las nanopartículas de óxido de zinc	23
3.3.1 Propiedades físicas y químicas de las nanopartículas de zinc	23
3.4 Caracterización de las nanopartículas de ZnO	23
3.4.1 Imagen obtenida de la empresa	23
3.4.2 Resultado de la caracterización mediante microscópico electrónico de barrido (MEB)	24
3.5 Equipos y materiales para la obtención del nanocombustible de Óxido de Zinc	26
3.6 Proceso de elaboración del nanocombustible de óxido de zinc	29
3.6.1 Cálculo para encontrar la masa de las nanopartículas	29
3.6.2 Mezcla de las nanopartículas de óxido de zinc con el diésel Premium	31
3.6.2.1 Pesaje de la masa de las nanopartículas según los resultados obtenidos de la ecuación	31
3.6.2.2 Proceso de dispersión de las nanopartículas de Óxido de Zinc	32
3.6.2.3 Mezcla en el vaso precipitado	33
3.6.2.4 Mezcla en el ultrasonic cleaner	34
3.6.2.5 Muestras del nanocombustible ZnO para el análisis fisicoquímico y para las pruebas de rendimiento	35
3.7 Vehículo de prueba	36
3.8 Adaptación de un sistema de alimentación externo	37
3.9 Equipos para la realización de las pruebas	38
3.9.1 Dyno Vamag	38
3.9.2 Analizador de gases Brain Bee AGS-688	39
3.9.3 Tacómetro y medidor de temperatura MGT-300	40
3.9.4 Opacímetro BRAIN BEE OPA-100	40
3.10 Preparación y procedimiento para las pruebas de potencia y torque	41
3.10.1 Preparación del equipo y el vehículo	41
3.10.2 Procedimiento para las pruebas de potencia y torque	42
3.11 Preparación y procedimiento para las pruebas de emisiones contaminantes	42
3.12 Preparación y procedimiento para las pruebas de opacidad	43
<b>CAPÍTULO IV</b>	<b>44</b>
<b>4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b>	<b>44</b>
4.1 Resultados de las pruebas del nanocombustible de ZnO	44
4.2 Tabla de resultados de los análisis fisicoquímico del nanocombustible de ZnO	44
4.3 Comparación gráfica de los resultados físico-químicos de los nanocombustibles de ZnO (144-233) ppm	45
4.3.1 Ensayo de destilación al 90%	46
4.3.2 Densidad a 15,6 °C	46
4.3.3 Índice de cetano	47
4.3.4 Corrosión lámina de cobre	48



4.3.5 Viscosidad Cinemática a 40°C	49
4.3.6 Poder calorífico neto ( MJ/kg)	50
4.4 Análisis de las pruebas de potencia y torque con diésel premium y nanocombustibles de ZnO (144,233 y 377) ppm	51
4.4.1 Prueba de potencia y torque utilizando diésel premium	51
4.4.1.1 Prueba de Potencia	51
4.4.1.2 Prueba de Torque	52
4.4.1.3 Curva característica de la potencia y torque del Hyundai H-100 con diésel Premium	53
4.4.2 Prueba de potencia y torque con nanocombustible ZnO 144 ppm	54
4.4.2.1 Prueba de Potencia	54
4.4.2.2 Prueba de Torque	55
4.4.2.3 Curva característica de la potencia y torque del Hyundai H-100 con nanocombustible ZnO 144 ppm	56
4.4.3 Prueba de potencia y torque con nanocombustible ZnO 233 ppm	57
4.4.3.1 Prueba de Potencia	57
4.4.3.2 Prueba de Torque	58
4.4.3.3 Curva característica de la potencia y torque del Hyundai H-100 con nanocombustible ZnO 233 ppm	59
4.4.4 Prueba de potencia y torque con nanocombustible ZnO 377 ppm	60
4.4.4.1 Prueba de Potencia	60
4.4.4.2 Prueba de Torque	61
4.4.4.3 Curva característica de la potencia y torque del Hyundai H-100 con nanocombustible ZnO 377 ppm	62
4.4.5 Comparación de la potencia obtenida entre el diésel premium y los nanocombustibles de ZnO 144, 233 y 377 ppm	63
4.4.5.1 Comparación diésel Premium vs nanocombustible ZnO 144 ppm	63
4.4.5.2 Comparación diésel Premium vs nanocombustible ZnO 233 ppm	64
4.4.5.3 Comparación diésel Premium vs nanocombustible ZnO 377 ppm	64
4.4.6 Comparación del torque obtenida entre el diésel premium y los nanocombustibles de ZnO 144, 233 y 377 ppm	65
4.4.6.1 Comparación Diésel Premium vs Nanocombustible ZnO 144 ppm	65
4.4.6.2 Comparación Diésel Premium vs Nanocombustible ZnO 233 ppm	65
4.4.6.3 Comparación Diésel Premium vs Nanocombustible ZnO 377 ppm	66
4.4.7 Comparación de los resultados de las pruebas de potencia entre el diésel Premium vs nanocombustibles óxido de zinc (144,233 y 377) ppm vs ficha técnica	66
4.4.8 Comparación de los resultados de las pruebas del torque entre el diésel premium vs nanocombustibles óxido de zinc (144,233 y 377) ppm vs ficha técnica	67
4.5 Análisis de la pruebas de emisiones de gases con diésel premium y nanocombustibles de ZnO (144,233 y 377) ppm	68
4.5.1 Análisis de la prueba de monóxido de carbono	68
4.5.1.1 Análisis de la prueba de monóxido de carbono (144 ppm)	68
4.5.1.2 Análisis de la prueba de monóxido de carbono (233 ppm)	69
4.5.1.3 Análisis de la prueba de monóxido de carbono (377 ppm)	69
4.5.1.4 Comparación de los resultados de las pruebas de monóxido de carbono entre diésel Premium y las nanocombustibles de ZnO (144,233 y 377) ppm	70

4.5.2	Análisis de la prueba de Dióxido de carbono	71
4.5.2.1	Análisis de la prueba de dióxido de carbono (144 ppm)	71
4.5.2.2	Análisis de la prueba de dióxido de carbono (233 ppm)	72
4.5.2.3	Análisis de la prueba de dióxido de carbono (377 ppm)	72
4.5.2.4	Comparación de los resultados de las pruebas de dióxido de carbono entre diésel Premium y las nanocombustibles de ZnO (144,233 y 377) ppm	73
4.5.3	Análisis de la prueba de hidrocarburos	74
4.5.3.1	Análisis de la prueba de hidrocarburos (144 ppm)	74
4.5.3.2	Análisis de la prueba de hidrocarburos (233 ppm)	74
4.5.3.3	Análisis de la prueba de hidrocarburos (377 ppm)	75
4.5.3.4	Comparación de los resultados de las pruebas hidrocarburos entre diésel Premium y las nanocombustibles de ZnO (144,233 y 377) ppm	75
4.5.4	Análisis de la prueba de oxígeno	77
4.5.4.1	Análisis de la prueba de oxígeno (144 ppm)	77
4.5.4.2	Análisis de la prueba de oxígeno (233 ppm)	78
4.5.4.3	Análisis de la prueba de oxígeno (377 ppm)	78
4.5.4.4	Comparación de los resultados de las pruebas oxígeno entre diésel Premium y las nanocombustibles de ZnO (144,233 y 377) ppm	79
4.5.5	Análisis de la prueba de oxígeno de nitrógeno	80
4.5.5.1	Análisis de la prueba de oxígeno de nitrógeno (144 ppm)	80
4.5.5.2	Análisis de la prueba de oxígeno de nitrógeno (233 ppm)	80
4.5.5.3	Análisis de la prueba de oxígeno de nitrógeno (377 ppm)	81
4.5.5.4	Comparación de los resultados de las pruebas oxígeno de nitrógeno entre diésel Premium y las nanocombustibles de ZnO (144,233 y 377) ppm	81
4.6	Análisis de la pruebas de opacidad con diésel Premium y nanocombutibles de ZnO (144,233 y 377) ppm	83
	<b>CAPÍTULO V</b>	<b>85</b>
	<b>5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b>	<b>85</b>
	5.1 Conclusiones	85
	5.2 Recomendaciones	86
	<b>REFERENCIAS</b>	<b>88</b>
	<b>ANEXOS</b>	<b>92</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>FIGURA NUM.</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>PÁGINA</b>
2.1	Aditivos metálicos	9
3.1	Proceso Metodológico	22
3.2	Imagen Microscopia Electrónica de la nanopartícula de ZnO	24
3.3	Muestra de las nanopartículas de ZnO	24
3.4	Imágenes a diferentes magnificaciones: a) 2400X, b) 5000X, c) 10000X d)15000X	25
3.5	Imágenes de diferentes áreas a 15000X, a) y b) muestras dispersas y c) muestra aglomerada	25
3.6	Medición de las Nanopartículas de ZnO	31
3.7	Nanopartículas de ZnO dentro del recipiente de cristal	32
3.8	Adición del Diésel Premium adentro del recipiente de cristal	32
3.9	Proceso de dispersión de las nanopartículas ZnO con el Diésel Premium	33
3.10	Mezcla de la solución	33
3.11	Utilización de la batidora para realizar la mezcla	34
3.12	Batidora y ultrasonic cleaner	34
3.13	Proceso ultrasónico	35
3.14	Nanocombustible de ZnO	36
3.15	Almacenamiento del nanocombustible ZnO	36
3.16	Hyundai H-100	37
3.17	Sistema de alimentación externo	38
3.19	Tacómetro y medidor de temperatura MGT-300	40
3.20	Preparación del vehículo para la prueba de potencia y torque	41
3.21	Analizador de gases Brain Bee AGS-688	43
4.1	Comparación gráfica ensayo de destilación	46
4.2	Comparación gráfica densidad relativa 15,6 °C	47
4.3	Comparación gráfica índice de cetano	48
4.4	Comparación gráfica corrosión a la lámina de cobre	49
4.5	Comparación gráfica viscosidad cinemática a 40 °C	50
4.6	Comparación gráfica poder calorífico neto	51
4.7	Comparación gráfica de la prueba de potencia con diésel Premium	52
4.8	Comparación gráfica de la prueba de torque con diésel Premium	53
4.9	Curva característica de la potencia y torque con el diésel Premium	54
4.10	Comparación gráfica de la prueba de potencia con el nanocombustible ZnO 144 ppm	55
4.11	Comparación gráfica de la prueba de torque con el nanocombustible ZnO 144 ppm	56
4.12	Curva característica de la potencia y torque con el nanocombustible ZnO 144 ppm	57
4.13	Comparación gráfica de la prueba de potencia con el nanocombustible ZnO 233 ppm	58
4.14	Comparación gráfica de la prueba de torque con el nanocombustible ZnO 233 ppm	59
4.15	Curva característica de la potencia y torque con el nanocombustible ZnO 233 ppm	60

<b>4.16</b>	Comparación gráfica de la prueba de potencia con el nanocombustible ZnO 377 ppm	61
<b>4.17</b>	Comparación gráfica de la prueba de torque con el nanocombustible ZnO 377 ppm	62
<b>4.18</b>	Curva característica de la potencia y torque con el nanocombustible ZnO 377 ppm	63
<b>4.19</b>	Comparación gráfica de las pruebas de potencia y la ficha técnica	67
<b>4.20</b>	Comparación gráfica de las pruebas de torque y la ficha técnica	67
<b>4.21</b>	Comparación gráfica del CO de los todos resultados obtenidos	70
<b>4.22</b>	Comparación gráfica del CO <sub>2</sub> de los todos resultados obtenidos	73
<b>4.23</b>	Comparación gráfica del HC de los todos resultados obtenidos	76
<b>4.24</b>	Comparación gráfica del O <sub>2</sub> de los todos resultados obtenidos	79
<b>4.25</b>	Comparación gráfica del NO <sub>x</sub> de los todos resultados obtenidos	82
<b>4.26</b>	Comparación gráfica de los datos de las pruebas de opacidad	84

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>TABLA NUM.</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>PÁGINA</b>
2.1	Requisitos del Diésel Premium	14
2.2	Límites máximos de emisiones permitidos para fuentes móviles con motor de diésel (prueba dinámica) a partir del año modelo 2000 (ciclos americanos y ciclos europeos)	18
2.3	Límites máximos de opacidad de emisiones para fuentes móviles con motor de diésel (prueba de aceleración)	19
2.4	Límites Máximos Permisibles de Emisión del Método de Prueba Dinámica para vehículos automotores en circulación que usan gas licuado de petróleo, gas natural u otros combustibles alternos y cuyo peso bruto vehicular es mayor de 400 y menor a 3,857 kilos	19
2.5	Vehículos con cilindrada de 1 601 a 3 000 cc	20
3.1	Propiedades físicoquímicos de las nanopartículas ZnO	23
3.2	Equipos y materiales	26
3.3	Masa de las nanopartículas (por 0,8 litros de diésel Premium)	30
3.4	Tiempo de trabajo de mezcla para la obtención del nanocombustible de ZnO	35
3.5	Especificaciones Técnicas del Hyundai H-100	37
3.6	Especificaciones técnicas del Dyno Vamag	39
3.7	Especificaciones de medición del analizador de gases	39
3.8	Especificaciones de medición del opacímetro	40
4.1	Resultado del análisis del nanocombustible ZnO	44
4.2	Comparación ensayo destilación entre el nanocombustible ZnO (144-233)ppm (144-233) ppm y el Diésel Premium	46
4.3	Comparación densidad a 15,6 °C entre el nanocombustible ZnO (144-233)ppm y el Diésel Premium	47
4.4	Comparación índice de cetano entre el nanocombustible ZnO (144-233)ppm y el Diésel Premium	48
4.5	Comparación corrosión lámina de cobre entre el nanocombustible ZnO (144-233) ppm y el Diésel Premium	49
4.6	Comparación viscosidad cinemática a 40°C entre el nanocombustible ZnO (144-233) ppm y el Diésel Premium	49
4.7	Comparación poder calorífico neto entre el nanocombustible ZnO (144-233) ppm y el Diésel Premium	50
4.8	Datos de la prueba de potencia con diésel Premium	52
4.9	Datos de la prueba de torque con diésel Premium	53
4.10	Datos de la prueba de potencia con nanocombustible ZnO 144 ppm	54
4.11	Datos de la prueba de torque con nanocombustible ZnO 144 ppm	55
4.12	Datos de la prueba de potencia con nanocombustible ZnO 233 ppm	57
4.13	Datos de la prueba de torque con nanocombustible ZnO 233 ppm	58
4.14	Datos de la prueba de potencia con nanocombustible ZnO 377 ppm	60
4.15	Datos de la prueba de torque con nanocombustible ZnO 377 ppm	61
4.16	Comparación de la prueba de potencia diésel Premium vs nanocombustible ZnO 144 ppm	63
4.17	Comparación de la prueba de potencia diésel Premium vs nanocombustible	64

ZnO 233 ppm	
<b>4.18</b> Comparación de la prueba de potencia diésel Premium vs nanocombustible ZnO 377 ppm	64
<b>4.19</b> Comparación de la prueba de torque diésel Premium vs nanocombustible ZnO 144 ppm	65
<b>4.20</b> Comparación de la prueba de torque diésel Premium vs nanocombustible ZnO 233 ppm	66
<b>4.21</b> Comparación de la prueba de torque diésel Premium vs nanocombustible ZnO 377 ppm	66

## ÍNDICE DE ECUACIONES

<b>ECUACIÓN NUM.</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>PÁGINA</b>
<b>3.1</b>	Formula para encontrar la masa de las nanopartículas	29
<b>3.2</b>	Formula para calcular la masa de las nanopartículas 144 ppm	29
<b>3.3</b>	Formula para calcular la masa de las nanopartículas 233 ppm	30
<b>3.4</b>	Formula para calcular la masa de las nanopartículas 377 ppm	30

## ÍNDICE DE ANEXOS

<b>ANEXO NUM.</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>PÁGINA</b>
<b>I.1</b>	Homogeneizador – Nanopartículas ZnO	93
<b>I.2</b>	Medición de las nanopartículas ZnO	93
<b>I.3</b>	Dispersión de las nanopartículas ZnO	94
<b>I.4</b>	Mezcla de las nanopartículas de ZnO con el Diésel Premium	94
<b>I.5</b>	Mezcla de las nanopartículas de ZnO con el Diésel Premium mediante ultrasonido	95
<b>I.6</b>	Recolección del nanocombustible ZnO	95
<b>II.1</b>	Caracterización fisicoquímica realizada en la Escuela Politécnica Nacional del nanocombustible ZnO (144-233) ppm	96
<b>II.2</b>	Caracterización fisicoquímica realizada en la Universidad Central de Ecuador del nanocombustible ZnO 144 ppm	97
<b>II.3</b>	Caracterización fisicoquímica realizada en la Universidad Central de Ecuador del nanocombustible ZnO 233 ppm	98
<b>III.1</b>	Prueba N°1 Diésel Premium	99
<b>III.2</b>	Prueba N°1 Nanocombustible ZnO 144 ppm	100
<b>III.3</b>	Prueba N°1 Nanocombustible ZnO 233 ppm	101
<b>III.4</b>	Prueba N°1 Nanocombustible ZnO 377 ppm	102
<b>IV.1</b>	Prueba N°1 @ 800 rpm Diésel Premium	103
<b>IV.2</b>	Prueba N°1 @ 800 rpm Nanocombustible ZnO 144 ppm	103
<b>IV.3</b>	Prueba N°1 @ 800 rpm Nanocombustible ZnO 233 ppm	104
<b>IV.4</b>	Prueba N°1 @ 800 rpm Nanocombustible ZnO 377 ppm	104
<b>V.1</b>	Prueba N°1 de opacidad del Diésel Premium	105
<b>V.2</b>	Prueba N°1 de opacidad Nanocombustible ZnO 144 ppm	106
<b>V.3</b>	Prueba N°1 de opacidad Nanocombustible ZnO 233 ppm	107
<b>V.4</b>	Prueba N°1 de opacidad Nanocombustible ZnO 377 ppm	108



## RESUMEN

En este proyecto se evaluó el comportamiento del motor al añadir nanopartículas de ZnO al diésel Premium, los cuales nos permitieron analizar la eficiencia de la combustión, y como esto afecta a las emisiones contaminantes y al rendimiento del motor. Las nanopartículas de ZnO fueron importados de la empresa Skyspring Nanomaterials de tamaño 30 nm, las mismas que fueron enviadas a la Escuela Politécnica del Litoral para verificar su tamaño. Para realizar este trabajo se tomó tres tipos de concentraciones de nanopartículas (144-233-377) ppm para comparar de mejor manera el desempeño del motor, los cuales fueron desarrollados por medio de métodos de producción de nanocombustible ZnO a través de dispersión, mezcla y baño ultrasónico. El nanocombustible ZnO obtenido fue caracterizado para verificar si sus propiedades fisicoquímicas cumplen con los requisitos mínimos de calidad según las normas ASTM e INEN, dicho nanocombustible y el Diésel Premium fue valorado en el vehículo Hyundai H- 100. Los análisis fisicoquímicos se realizaron con dos nanocombustibles (144-233) ppm y se llevaron a cabo en el Laboratorio de Combustibles, Biocombustibles y Aceites Lubricantes de la Escuela Politécnica Nacional y en el Departamento de Petróleos, Energía y Contaminación de la Universidad Central del Ecuador, donde cinco de las seis pruebas realizadas obtuvieron parámetros que cumplen con las normas establecidas. La prueba de potencia y torque, emisiones contaminantes y opacidad se desarrolló en el taller de la Universidad Técnica del Norte, las medidas obtenidos respecto al torque muestran que existió una disminución en los dos nanocombustibles ZnO producidos, mientras la potencia aumento en dos de los tres nanocombustibles ZnO, en las pruebas de emisiones contaminantes la comparación entre el diésel Premium y los nanocombustibles se dio mediante las normativas nacionales e internacionales, para la verificación de calidad del combustible y finalmente en la prueba de opacidad hubo una disminución en dos de los tres nanocombustibles.

## ABSTRACT

In this project, the engine was evaluated by adding nanoparticles of ZnO to the Premium diesel, which allowed us to analyse the efficiency of combustion, and how this affects pollutant emissions and engine performance. The nanoparticles ZnO were imported from the Skyspring Nanomaterials company with a size of 30 nm, the same ones that were sent to the “Politécnica del Litoral” School to verify their size. To perform this work, three types of nanoparticle concentrations (144-233-377) ppm were taken to better compare the engine performance, which were developed by ZnO nano-fuel production methods through dispersion, mixing and ultrasonic bath. The obtained ZnO nanofuel was characterized to verify if its physicochemical properties comply with the minimum quality requirements according to ASTM and INEN standards, nanofuel and the Premium Diesel were evaluated in Hyundai H-100 vehicle. The physicochemical analyses were conducted with two nanofuels (144-233) ppm and were carried out at the “Politécnica Nacional” School at the Laboratory of Fuels, Biofuels and Lubricating Oils and at the "Central del Ecuador" University at the Department of Petroleum, Energy and Pollution, where five of the six tests performed obtained parameters that meet with the established norms. The power and torque, pollutant emission and opacity were developed in the workshop of the “Técnica del Norte” University, the measurements obtained regarding the torque show that there was a decrease in the two ZnO nanofuels produced, while power increased in two of the three ZnO nanofuels, in the pollutant emission tests the comparison between Premium diesel and nanofuels was made through national and international regulations, for the verification of fuel quality and finally in the opacity test there was a decrease in two of the three nanofuels.

## INTRODUCCIÓN

En los últimos años la creación, el desarrollo y la innovación de nuevas fuentes de energía que permitan ser amigables con el medio ambiente y que mejore el rendimiento de los vehículos son de interés nacional e internacional en el campo de la investigación. Los combustibles derivados del petróleo son los más habituales en el mundo, los cuales generan gran polución ambiental por los gases que produce la combustión en los vehículos móviles, por tal razón la importancia de lograr un reemplazo paulatino del combustible fósil con la introducción de la nanotecnología en el campo automotriz generara que los motores de combustión interna cumplan las normativas de emisiones.

El uso de partículas metálicas al añadirlos al combustible ha permitido mejorar la eficiencia del vehículo provocando una combustión completa, pero estas partículas deben estar comprendidas en escalas muy pequeñas (nanopartículas), para producir los beneficios que se quieren obtener, además, el proceso de mezcla del combustible y nanopartículas debe ser eficaz, para lograr una mezcla homogénea. La obtención del nanocombustible se realizó a partir de las nanopartículas ZnO a distintas concentraciones de ZnO en 8 litros de diésel premium, en este trabajo se pretende valorar el rendimiento del motor al añadir nanopartículas de ZnO.

Finalmente, mediante pruebas de par y potencia, emisiones contaminantes y opacidad, se compararon los resultados del diésel Premium con los nanocombustibles de ZnO para verificar los efectos de las nanopartículas de ZnO en el combustible.

# CAPÍTULO I

## 1 PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

### 1.1 ANTECEDENTES

El cambio climático provocados por las emisiones contaminantes de los motores de combustión interna, han generado grandes preocupaciones y nuevos retos a la comunidad científica, los cuales buscan mejorar la seguridad del suministro de energía y fomentar el uso de las energías renovables. Los motores diésel son más eficientes que los motores a gasolina, pero emiten más gases contaminantes al ambiente tales como el HC, NO<sub>x</sub>, CO, los cuales son causantes de provocar efectos nocivos a la salud del ser humano.

Avances tecnológicos han demostrado que mediante la adición de aditivos metálicos al combustible que reducen notablemente las emisiones. En los últimos años la nanotecnología pretende posicionarse como una nueva revolución tecnológica, llegando al nivel industrial al concebirse como el campo de las ciencias aplicadas concerniente a la manipulación de la materia a una escala menor de un micrómetro (Salas Balseca, Rosas Laverde., Debut, Guerrero Barragán., & Galeas Hurtado, 2016, pág. 1). La investigación y el uso de nanomateriales han atraído mucho interés debido a su tamaño reducido (1-100 nm) y a las nuevas estructuras que exhiben propiedades biológicas, físicas, químicas, significativamente mejoradas y en comparación con sus precursores moleculares (Cioffi & Rai, 2012, pág. 119).

En los combustibles líquidos las propiedades físicas y químicas de las nanopartículas en comparación con las propiedades a escala micro, exhiben un área superficial más específica, debido a que la dispersión se da de una manera fácil y también retiene una mezcla estable durante un periodo mucho más largo que las partículas micro. Dando lugar a la aceleración de la oxidación del combustible y liberando energía más de lo acostumbrado (Gan & Qiao, 2011, pág. 158). Varios estudios afirman que las nanopartículas debido a su tamaño tan pequeño disminuyen que el calor de fusión y el punto de fusión. Además, con la adición al combustible minimizan las emisiones de hollín y retrasa la ignición. (Venkatesan & Kadiresh, 2016, pág. 960). El óxido de zinc (ZnO) tiene la capacidad de actuar como un

tampón de oxígeno causando oxidación simultánea de hidrocarburos y monóxido de carbono, y también reducción de óxidos de azufre y Nitrógeno, por lo tanto, reduce las emisiones (Kumar Sharma, Sharma, Ahmad, & Wasi, 2016, pág. 2).

Se han realizado varias investigaciones de combustible en base de las nanopartículas de ZnO, por ejemplo, (Prabakaran & Vijayabalan, 2018, pág. 1) en este trabajo, las nanopartículas de óxido de zinc fueron añadido a D45E45B10 (45% diésel, 45% etanol y 10% butanol) en tres proporciones mediante ultrasonidos para llegar a una mezcla homogénea. Las mezclas serán probadas para propiedades esenciales según las normas ASTM y probadas en un motor CI con varias cargas para el rendimiento. Los resultados se compararon con diésel. Los resultados mostrarán mejora significativa en el contenido de energía de las mezclas como resultado de la adición de nanopartículas de óxido de zinc.

(Shahad & Nassir, 2018, pág. 36) su estudio se focalizó en el efecto de la adición de nanopartículas al combustible diésel en la característica de rendimiento del motor. Los nanocombustibles se preparan agregando  $\text{Al}_2\text{O}_3$  o  $\text{TiO}_2$ , ambos con un tamaño de partícula inferior a 45 nm de combustible diésel. Cuatro dosis de cada tipo a saber (25, 50, 100 y 150) ppm se preparan. Estas nanopartículas se mezclan con combustible diésel en fracción de volumen variable por medio de un mezclador eléctrico y un ultrasonic cleaner. Los nanocombustibles utilizados son (DF +  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) y (DF +  $\text{TiO}_2$ ). Las propiedades de los nanocombustibles se miden y comparan con las del diésel puro. El estudio muestra que la adición de nanopartículas al combustible diésel mejora sus propiedades físicas tales como número de cetano, conductividad térmica y viscosidad.

## **1.1 SITUACIÓN ACTUAL**

La complejidad de asumir con responsabilidad la contaminación ambiental producida por el parque automotriz, han hecho que las organizaciones más importantes desarrollen técnicas de evaluación para el control y la reducción de las emisiones como: la Comunidad Europea (Europe Community; CE) y la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos de Norteamérica, (Environment Protection Agency; EPA-US), así como también el Gobierno Japonés. Estas organizaciones en colaboración con las empresas automotrices y asociaciones

internacionales de esta misma rama, como SAE (Society of Automotive Engineers), han establecido diversas pruebas y procedimientos de evaluación de emisiones de los motores, bajo una normatividad que establece los niveles de emisión aceptables.

En el Ecuador sabiendo la importancia del transporte y movilidad de las personas, y conscientes de las emisiones que produce cualquier vehículo de combustión interna, más específicamente los motores a diésel que son considerados altamente contaminante, no se ha realizado la búsqueda de minimizar dichos problemas de contaminación causada por los vehículos como: la creación de nuevos combustibles, el manejo de los gases de escape y el diseño del motor.

La creación de centros de revisión técnica vehicular a nivel nacional, permiten el control de las emisiones, los cuales son evaluados mediante la normativa Euro III, que consiste en una prueba dinámica o prueba de manejo; ésta se desarrolla sobre un dinamómetro de chasis, el cual permite aplicar una carga al vehículo probado, ejerciendo una fuerza extra que es igual al peso de inercia más la potencia efectiva estimada del vehículo, con lo cual se simulan las condiciones de desplazamiento normal del mismo.

## **1.2 PROSPECTIVA**

El propósito del presente trabajo de investigación es la valoración de un motor diésel en su rendimiento y potencia comparando el uso del Diésel Premium más la adición de nanopartículas de Zn, dichas nanopartículas serán en primer lugar importadas, caracterizadas y finalmente mezcladas homogéneamente con Diésel Premium mediante proceso de obtención de nanocombustible.

## **1.3 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

La falta de mejora de la calidad del combustible diésel, implica que el país no está preparado para acoger nuevas tecnologías que hoy en día países desarrollados las tienen en sus vehículos. La no disponibilidad del diésel con menos de 50 ppm de azufre, para poder cumplir con la norma Euro 5 hace imposible cumplir con las normativas internacionales.

Una de las posibilidades de mejorar esta situación es el uso de materiales a escala nanométrica como aditivos de combustible que mejora la combustión, y la alta densidad energética de los metales mejora la potencia de salida de los motores, reduciendo así el consumo de combustible, y, en consecuencia, menos emisiones tales como el CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, etc. (Prabakaran & Vijayabalan, 2018, pág. 2).

## **1.4 OBJETIVOS**

### **1.4.1 OBJETIVO GENERAL**

Valorar el rendimiento de un motor luego de la adición de nanopartículas de Óxido de Zinc al Diésel Premium.

### **1.4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

1. Caracterizar las nanopartículas de Óxido de Zinc antes de mezclarlas con el Diésel Premium.
2. Elaborar el nanocombustible ZnO a partir de las nanopartículas de Óxido de Zinc y realizar un análisis fisicoquímico de la mezcla.
3. Comparar el rendimiento, emisiones de gases y opacidad del Diésel Premium con las mezclas de nanocombustible ZnO

## **1.5 ALCANCE**

El presente trabajo propone analizar el rendimiento, emisión de gases contaminantes y opacidad del motor del camión Hyundai H -100, se utilizará nanocombustible ZnO a partir de nanopartículas de óxido de Zinc, como materia prima. Se obtendrá dicho producto mediante métodos de dispersión, mezcla y baño ultrasónico que permitirá que las mezclas preparadas con nanopartículas se mantengan intactas y homogéneas, además evitando

aglomeraciones y asegurando que no se asentaran en el depósito. Los avances en el diseño y construcción de motores diésel, genera la importancia de tener combustibles de gran calidad, los mismos que deben acatar las exigencias de las Normativas Internacionales, por tal razón, se valorará el comportamiento de los motores diésel aplicando nanocombustibles.

## **1.6 JUSTIFICACIÓN**

Este trabajo de grado trata acerca de la valoración del rendimiento del motor del camión Hyundai H-100, luego de la adición de nano partículas de Óxido de Zinc al diésel Premium. En la espera de resultados positivos con la búsqueda de combustibles alternos, que permitirán cambiar la matriz productiva del Ecuador, y a su vez mejorar la vida útil de los vehículos y la salud pública del país en el tema de las emisiones.

Por consecuente esta investigación se establece dentro del marco jurídico y legal, dirigidos hacia el cambio de la Matriz Productiva y Energética del Ecuador, bajo un manejo responsable de recursos naturales, para beneficio colectivo de la sociedad. Además, se refiere a “Promover la productividad, competitividad y calidad de los productos nacionales, como también la disponibilidad de servicios conexos y otros insumos, para generar valor agregado y procesos de industrialización en los sectores productivos con enfoque a satisfacer la demanda nacional y de exportación” (SENPLADES, 2017, pág. 83), ya que se puede plantear en un futuro poder producir nanocombustibles a gran escala.

A un régimen internacional, en diferentes países cuentan con automotores equipados con motores tipo diésel con tecnologías Euro V y VI. En Ecuador, la calidad de combustible superior a las 100 partículas por millón de azufre solo permite contar con buses y transporte pesado con tecnologías hasta Euro III, existentes desde hace más de 30 años (Carvajal & Imbaquingo, 2018, pág. 1).



## **CAPÍTULO II**

### **2 REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA**

#### **2.1 NANOTECNOLOGÍA**

La investigación exhaustiva en nanotecnología se inició en la década de 1980 y desde entonces ha continuado para ser una maravilla moderna de descubrimiento científico. La nanotecnología es el manejo de la materia a escala atómica y molecular. A nanoescala, las partículas se comportan de manera completamente diferente a sus contrapartes a gran escala. Científicos relacionan la causa de estos comportamientos extraños con el efecto cuántico o la mayor densidad de átomos en el área de superficie más grande de estas partículas (Negin, Ali, & Quan, 2016, pág. 2). Generalmente trabaja con material, dispositivos y otras estructuras con un tamaño que oscila entre 1 a 100nm.

Se pueden utilizar la nanociencia y nanotecnología en campos de la ciencia como la química, la física, e ingeniería de materiales. Hoy en día investigadores están encontrando una amplia variedad de formas de hacer materiales a nanoescalas, para aprovechar sus propiedades mejoradas como alta resistencia, peso más ligero, mayor control de la luz espectro y mayor reactividad química. En ingeniería sus aplicaciones se encuentran principalmente en fabricación, mecánica e infraestructura (Sequeira, 2015, pág. 2).

##### **2.1.1 NANOTECNOLOGÍA BASADA EN LOS COMBUSTIBLES FÓSILES**

La nanotecnología ha mejorado y revolucionado varios sectores tecnológicos e industriales, incluidos la tecnología de la información, la seguridad, la medicina, la energía y la seguridad alimentaria. Además, el uso de la nanotecnología y sus aplicaciones se ha extendido ampliamente debido a sus numerosas ventajas a nanoescala en diversos campos de la ciencia y la ingeniería, incluidos la industria del vehículo para mejorar la eficiencia. Distintos estudios experimentales han demostrado que la adición de nanopartículas a diferentes combustibles mejoró significativamente la conductividad térmica del motor del

vehículo. Como consecuencia de dicha optimización, la eficiencia de combustible del motor del vehículo se mejora significativamente y la reducción de emisiones contaminantes (Naraki, Peyghambarzadeh, Hashemabadi, & Vermahmoudi, 2013, pág. 66).

## **2.2 ADITIVOS PARA COMBUSTIBLES**

Los aditivos son sustancias de base orgánica o metálica que son fácilmente solubles en combustible y su principal objetivo es mejorar, conservar y proveer características favorables para el combustible sin perjudicar el rendimiento y la combustión. Los aditivos de combustible se agregan en cantidades más pequeñas entre 100 ppm y varios miles de ppm ( Venkatesan, Sivamani, Sampath, & Kumar , 2017, pág. 826). Se clasifica en las siguientes categorías de aditivos para prevenir la corrosión, aditivos a base de metales etc.

### **2.2.1 ANTIOXIDANTES**

El biodiesel es un modelo claro de antioxidante, estos antioxidantes actúan como ésteres metálicos de ácidos grasos producidos por trans-proceso de esterificación que está listo para reaccionar con oxígeno por el proceso llamado autooxidación. Para evitar la autooxidación de biodiesel en la mezcla diésel, se mezclan con aditivos como BHT (Butilado hidroxitolueno), TBHQ(Terc-butilohidroquinona), BHA (hidroxianisol Butilado), PG (Galato de propilo) y PA (pirogalol).

### **2.2.2 ADITIVOS OXIGENADOS**

Para mejorar las características referentes al retardo de ignición en la combustión del combustible, algunos compuestos químicos que tienen más oxígeno se agregan al combustible en una cantidad insignificante. Componentes oxigenados como etanol, metanol, biodiesel, éter dimetílico, carbonato de dimetilo, etc., que se mezclan fácilmente con el diésel son usados como aditivos.

### **2.2.3 ADITIVOS PARA MEJORAR EL COMPORTAMIENTO DEL FLUJO EN FRÍO**

En situaciones donde el frío prevalece, el contenido de cera presente en el biodiesel comienza a congelarse, dando como resultado una estructura cristalina que afecta el punto de obstrucción del filtro frío (CFPP). Esta condición se puede evadir mediante el uso de aditivos como etileno acetato de vinilo copolímero, cetales de glicerol, acetatos de glicerol, etc. Los cuales mejoran el punto de turbulencia que es una propiedad del combustible.

### **2.2.4 ADITIVOS PARA MEJORAR EL ÍNDICE DE CETANO**

El número de cetano es uno de los factores principales que determina la calidad del combustible, representando en la capacidad de encendido del combustible. Combustibles con alto índice de cetano proporcionan un mejor rendimiento con respecto a la compresión motor de encendido. Nitratos, nitro alcanos, nitro carbonatos, peróxidos, etc., se utilizan como aditivos que mejoran el número de cetano del combustible.

### **2.2.5 ADITIVOS A BASE DE METALES**

Las características de combustión del combustible también pueden ser mejorados por la adición de metales y óxidos metálicos al combustible en el rango de tamaños micro o nano hasta ppm o proporciones de porcentaje en peso. Aleaciones de metales como magnalio (Mg-Al), nanotubos de carbono (CNT) también se utilizan como aditivo a base de metal que mejora el rendimiento de los combustibles cambiando sus propiedades fisicoquímicas.

## **2.3 NANOADITIVOS**

Los nanocombustibles generan un interesante concepto actualmente como una nueva variedad de combustibles, cuya aplicación del material energético a nanoescala en combustibles fósiles, todavía no ha sido estudiado a profundidad. Existen investigaciones

donde la adición de varios tipos de nanopartículas sirve como aditivos para diésel, biodiésel y sus mezclas. Además, dichas adiciones generan efectos de varios nanoaditivos como metal, óxido de metal, nanotubos de carbono, magnéticos, nanoaditivos orgánicos y nanoaditivos mixtos en el rendimiento del motor (Shaafi, Sairam, Kumaresan, & Velraj, 2015, pág. 564).



**Figura 2.1** Aditivos metálicos

( Venkatesan, Sivamani, Sampath, & Kumar , 2017, pág. 825)

La Figura 2.1 muestra algunos nanoaditivos de óxidos metálicos utilizados como potenciadores del rendimiento. Después de varios estudios, los investigadores han encontrado que la modificación del combustible con respecto a su propiedad fisicoquímica produce mejores resultados en la mejora del motor rendimiento y control de las emisiones de escape en lugar que realizar modificaciones en el motor ( Venkatesan, Sivamani, Sampath, & Kumar , 2017, pág. 826).

### 2.3.1 MEZCLA COMBUSTIBLE-NANOADITIVOS

La utilización de nanoaditivos para modificar los combustibles tiene como objetivo el desarrollo de nuevos combustibles, sin embargo, el problema está en el proceso de mezclado combustible-nanoaditivo, es la presencia de agua en el combustible dificulta la dispersión del nanoaditivo en el combustible reduciendo influencia de este sobre el combustible. La solución al problema son las propiedades termodinámicas de las nanopartículas que permiten constituir una membrana interfacial entre el agua y el combustible (Benavides Guayara, 2017, pág. 8).

Mediante las nanopartículas disueltas en el combustible aumenta la velocidad de combustión, dependiendo de la presión y temperatura. Según (Benavides Guayara, 2017) una combustión completa implica que, si se adicionan nanoaditivos al combustible, se consigue una reducción de las emisiones gaseosas y el consumo del combustible. El funcionamiento entre aditivos normales y los nanoaditivos es muy diferente, el nanoaditivo activa la combustión total del combustible porque actúa directamente sobre la reacción de combustión, los datos de algunos estudios indican que la reducción del consumo de combustible puede llegar hasta un 18% con una eficiencia de 0,9 indicando un mejor rendimiento del motor de combustión. De igual manera, se obtiene reducciones de gases contaminantes productos de la combustión (Benavides Guayara, 2017).

### **2.3.2 EFECTOS DE LOS NANOADITIVOS SOBRE LAS PROPIEDADES DEL COMBUSTIBLE, RENDIMIENTO DEL MOTOR Y EN LAS EMISIONES CONTAMINANTES.**

Existen algunos trabajos que informan acerca de combustibles modificados para mejorar rendimiento del motor y reducir emisiones, las mismas que se ajusten a las normas internacionales. Elementos a base de metal, como manganeso, hierro, cobre, bario, calcio y platino, etc. Se utilizan como combustión catalizadora para combustibles de hidrocarburos. Además, los óxidos metálicos como los de cerio, cobre, hierro, zinc, cobalto, etc., Mejoran la eficiencia térmica y tanto regulado y emisiones no reguladas.

Las nanopartículas de óxidos metálicos fueron utilizadas para aumentar la tasa de liberación de calor y la eficiencia térmica, ya que dichas nanopartículas tienen la capacidad de conceder átomos de oxígeno a la mezcla de combustible y puede crear una alta relación superficie / volumen, comportándose como un catalizador; por lo tanto, actúan como medio altamente reactivo para la combustión, son capaces de reaccionar más eficazmente, aumentando así la tasa de combustible quemado. Otras mejoras de añadir nanopartículas a los combustibles son: aumento de la conductividad térmica, el punto de inflamación y las temperaturas del punto de inflamación; y reducida viscosidad cinemática.

El óxido de cerio, el óxido de aluminio, el óxido de cobalto y el óxido de zinc, han sido

usados con mayor frecuencia en varios trabajos de investigación realizados, debido a su estructura única que favorece efectivamente la quema de combustible dentro del cilindro del motor. La importancia de la mezcla eficaz de nanopartículas-combustible se basa en la elección del tamaño, en el efecto catalítico sobre la combustión, en el uso de surfactante y de algún dispositivo de mezcla (dispersor, agitador, homogeneizador, equipo ultrasónico ( Hossain & Hussain, 2019).

## **2.4 NANOPARTÍCULAS**

Las nanopartículas tienen una relación de superficie a volumen relativamente grande, lo que las convierte en catalizadores ideales. Las nanopartículas se dispersan por todo el combustible y fomentan una mejor mezcla de aire a combustible y mejoran la reactividad química durante la combustión, lo que conduce a un mejor rendimiento, combustión y calidad de las emisiones. Y debido a que son tan pequeños, de menos de 100 nanómetros de longitud, también se necesitan en cantidades más pequeñas. Además, estas partículas también son más estables a alta temperatura y presión. Los nanoaditivos en base a óxidos metálicos proporcionan el oxígeno para alcanzar la oxidación del monóxido de carbono, o absorben el oxígeno para la reducción de los óxidos de nitrógeno.

### **2.4.1 ÓXIDO DE ZINC**

El óxido de zinc es uno de los aditivos de óxidos metálicos más importantes, donde la nanopartícula de óxido de zinc actúa como antioxidante, posibilidad de preparar estructuras, bajo precio e inhibidores de corrosión de propiedad antidesgaste. Las propiedades que presenta el ZnO tiene una gran utilidad en la ciencia de los materiales y dependen mucho de la técnica de fabricación y de los parámetros de fabricación. La versatilidad, la facilidad de producción y bajo costo hacen que sea un material importante para muchas aplicaciones (Paria , López , & Solís, 2010, pág. 2).

## **2.4.2 SÍNTESIS DE LAS NANOPARTÍCULAS**

En diversos estudios se encuentra varios métodos adaptados para la preparación de Nanopartículas como el método sol-gel, síntesis por precipitación, la síntesis química húmeda y química verde, método hidrotermal, entre otros ( Aquino, Osorio, Ninána, & Torres, 2018)

### **2.4.2.1 Método sol-gel**

El método sol-gel es un proceso químico en fase húmeda ampliamente utilizado en la ciencia de los materiales. Este método se utiliza principalmente para la fabricación de nanomateriales (normalmente un óxido metálico). Se parte de una solución química o sol que actúa como precursor de una red integrada ya sea de partículas discretas o de una red de polímeros (Zanella, 2014, pág. 75).

### **2.4.2.2 Síntesis por precipitación**

Consiste en mezclar soluciones de los distintos iones en proporciones adecuadas, controlando parámetros tales como solubilidad y temperatura, para precipitar compuestos insolubles. Estos son filtrados y secados hasta producir un polvo, el cual si no resulta suficientemente fino se lo puede moler en molino (Díaz Campoverde, 2007, pág. 6).

### **2.4.2.3 Reducción fotoquímica y radioquímica**

La síntesis fotoquímica está caracterizada por energías por debajo de 60 eV, mientras que la radiólisis utiliza energías de 10<sup>3</sup>-10<sup>4</sup> eV. Los métodos de reducción fotoquímica y radioquímica tienen las ventajas sobre el método de reducción química. Debido a la ausencia de impurezas formadas cuando se usan reductores químicos, estos métodos producen nanopartículas de alta pureza. Además, la reducción fotoquímica y radioquímica permiten producir nanopartículas en condiciones de estado sólido y a bajas temperaturas (Zanella, 2014, pág. 4).

### **2.4.3 CARACTERIZACIÓN DE LAS NANOPARTÍCULAS DE ÓXIDO DE ZINC**

En diferentes trabajos se emplean técnicas variadas de caracterización de nanopartículas de ZnO como MEB, UV-Visible, IR-TF, TEM, SEM, entre otros, para la determinación de la cristalización, tamaño y morfología.

#### **2.4.3.1 Microscopía Electrónica de Transmisión (TEM)**

Las mediciones del tamaño de NPs-ZnO por DLS y por TEM, reportan tamaños similares, se puede decir que son técnicas que pueden emplearse para corroborar que el tamaño de los cristalitas obtenidos por el método de la precipitación nos permite obtener nanopartículas, las cuáles debido a sus propiedades excepcionales pueden tener diversas aplicaciones. La variación del tamaño medidos por XRD (72-81 nm) no resulta muy precisa debido a la variación de las condiciones experimentales de medición, pero es muy valioso en la determinación del sistema de cristalización.

#### **2.4.3.2 Dispersión Dinámica de Luz (DLS)**

Es una técnica no invasiva y bien establecida, se utiliza para medir el tamaño de partícula y el tamaño molecular, típicamente en la región submicrométrica, y con la tecnología más nueva, inferiores a 1 nm. Los usos en que más se utiliza la dispersión de luz dinámica son la caracterización de partículas, emulsiones o moléculas que se han dispersado o disuelto en un líquido (Salazar, 2020)

#### **2.4.3.3 Microscopía Electrónica de Barrido (MEB)**

Este microscopio usa un haz de electrones en vez de un haz de luz para conformar una imagen. Tiene una gigantesca hondura de campo, la cual posibilita que se enfoque a la vez una parte importante de la muestra. Además, produce imágenes de alta resolución, que significa que características espacialmente cercanas en la muestra pueden ser examinadas a una alta magnificación. La preparación de las muestras es subjetivamente fácil pues la mayoría de MEB sólo requieren que estas sean conductoras.



## 2.5 DIÉSEL PREMIUM

La producción del diésel se basa en la destilación fraccionada del petróleo, más pesada y menos volátil que la gasolina. Trabaja bajo fuerte presión cuya particularidad es la principal del diésel. Mediante un sistema de graduación permiten medir la calidad de combustible, haciendo referencia a una mezcla de un hidrocarburo denominado cetano (grado 100) y el alfa metil naftaleno (grado cero) (Rafael Morales & Hernandez Guzmán, 2014, pág. 15).

La nueva tecnología para motores diésel está disponible hace muchos años, pero esa tecnología no es factible en el Ecuador ya que su combustible no es de buena calidad. A nivel mundial hay países que disponen con buses de tecnología euro 5 y euro 6. En Ecuador según (NTE-INEN-1489, 2016) señala que el Diésel Premium con bajo contenido de azufre utilizado en el sector automotriz debe tener un máximo de 500 ppm de azufre, el cual corresponde a tecnología Euro 2.

**Tabla 2.1** Requisitos del Diésel Premium

Requisitos	Unidad	Mín.	Máx.
Punto de inflamación		51	--
Contenido de agua y sedimento	% <sup>a</sup>	--	0,05
Contenido de ceniza	% <sup>b</sup>	--	0,01
Contenido de azufre	% <sup>b</sup>	--	0,05
Contenido de residuo carbonoso sobre el 10 % de residuo destilado	% <sup>b</sup>	--	0,1
Viscosidad cinemática a 40 °C	mm <sup>2</sup> /s	2,0	5,0
Temperatura de destilación del 90 %	°C	--	360
Corrosión a la lámina de cobre	--	--	1 <sup>a</sup>
Índice de cetano calculado	--	45	--
Contenido de biodiesel	% <sup>a</sup>	5	10

Fuente: (NTE-INEN-1489, 2016, pág. 2)

## 2.6 MOTORES DIÉSEL

El motor Diésel es un motor de autoalimentación que aspira sólo aire, cuyo funcionamiento se basa en el ciclo Otto, a diferencia al motor a gasolina en este se inyecta combustible dentro del pistón una vez realizada la compresión del aire (Rafael Morales & Hernandez Guzmán, 2014, pág. 10). Por lo tanto, trabaja en base al principio de los cuatro tiempos del ciclo. En el primer tiempo solo ingresa aire, en lugar de ingresar una mezcla aire y combustible como el motor de encendido por chispa. En el segundo tiempo, el aire se calienta y se comprime

al llegar al PMS, en ese momento el diésel es inyectado. En el tercer tiempo el diésel se inflama a causa de la presión elevada en la que el aire se encuentra. El cuarto tiempo la relación de compresión de la carga del aire es lo suficiente alta como para encender el combustible inyectado (Rafael Morales & Hernandez Guzmán, 2014, pág. 10)

Según el proyecto de Rudolph Diésel, el motor diésel presenta un sistema de inyección de combustible en el que la razón de inyección se retarda y se controla para obtener una presión constante durante el proceso de combustión (Rafael Morales & Hernandez Guzmán, 2014). El combustible se dosifica por medio de una bomba y se inyecta a presión elevada en la cámara de combustión a través del pulverizador. Un motor diésel tiene una excelente reputación por su bajo consumo de combustible, fiabilidad y durabilidad, debido a su mayor eficiencia térmica de frenado debido a su alta compresión y mezclas más homogéneas de aire y combustible. Las características de rendimiento han hecho que los motores diésel sean dominantes en el mundo, pero, por otro lado, el motor diésel puede convertirse en la principal fuente de contaminación del aire en futuro debido a sus productos de combustión.

## **2.6.1 PARÁMETROS CARACTERÍSTICOS DEL MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA**

El par o torque, la potencia, el consumo de combustible y el rendimiento térmico son los indicadores del trabajo del motor a combustión interna (MCI), proporcionando información de cuanta fuerza puede generar, cuanto combustible y con qué rapidez puede trabajar un motor (Ramírez Morales, 2017, pág. 17).

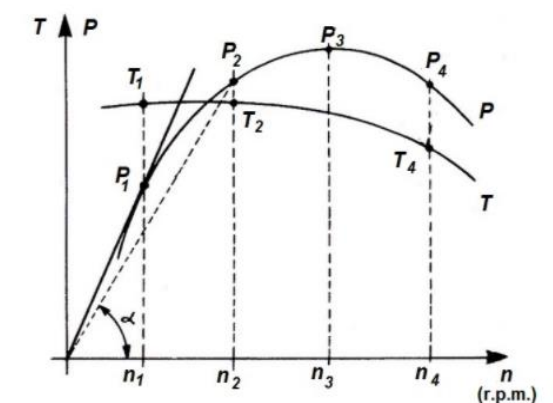
### **2.6.1.1 Potencia**

La potencia se define como la cantidad de energía producida o consumida por unidad de tiempo, y se mide en vatios (W). En un motor de combustión interna, la potencia viene determinada por la fuerza alcanzada en el par motor y por la cantidad de veces (r. p.m.) que se produce esa fuerza en la unidad del tiempo ( San Lorenzo Ferriol, 2018, pág. 49). Además, la potencia desarrollada por un motor depende de la relación de compresión y de la

cilindrada, ya que a mayores valores de estas le corresponde mayor explosión y más fuerza aplicada al pistón; (Castillo Calderón , Rojas Reinos , & Martínez Coral, 2017, pág. 3).

### 2.6.1.2 Torque o Par motor

En un motor, la combustión de la mezcla produce un aumento de presión y temperatura dentro del cilindro. Con un buen llenado de cilindros, producirá un aumento de presión que provocará una fuerza(F) de empuje sobre el pistón que se desplaza en el cilindro y produce un movimiento circular de giro del cigüeñal. El par motor se mide multiplicado la fuerza que genera la presión en la carrera de trabajo por la distancia que tiene el brazo de la muñequilla ( San Lorenzo Ferriol, 2018, pág. 48). A mayor distancia, mayor fuerza o par motor.



**Figura 2.3** Curva de par y potencia en un motor diésel

Como se puede observar en la Figura 2.2 los motores a diésel presentan en la curva de par un amplio rango de revoluciones del motor que forma prácticamente una recta horizontal, en cambio que la curva de potencia se aproxima a una recta que pasa por el origen.

## 2.7 EMISIONES CONTAMINANTES

En los últimos tiempos, un aumento drástico en invernadero ha provocado que la adicción a los combustibles fósiles se convierta un factor dominante en contra del calentamiento global. Una de las preocupaciones ambientales son los gases de escape, en particular el

dióxido de carbono, que son el resultado de los automóviles y las industrias. La mayor fuente de emisiones de dióxido de carbono en la atmósfera es la combustión de combustibles fósiles como petróleo, gas y carbón. Los gases de efecto invernadero causan irreparables daños a la capa de ozono, el medio ambiente y la salud. El calentamiento global se ha convertido en un problema internacional y necesita atención inmediata de todos los países. Algunas estrategias se han planteado para abordar esta cuestión:

- Disminuir el consumo de energía y aumentar la eficiencia de las tecnologías existentes.
- Detener el uso descontrolado de combustibles fósiles en automóviles e industrias, y utilice energías renovables.
- Involúcrese en la gestión del carbono, que implica separar y convertir carbono en productos útiles.

### **2.7.1 COMPOSICIÓN DE LOS GASES CONTAMINANTES**

Los vehículos de carretera emiten una variedad de contaminantes atmosféricos como resultado de la combustión y otros procesos. Emisiones de escape de monóxido de carbono (CO), compuestos orgánicos volátiles (COV), óxidos de nitrógeno (NOx) y las partículas (PM) están regulados por las directivas de la UE, al igual que las emisiones por evaporación de COV. También se emiten varios contaminantes gaseosos no regulados, pero estos generalmente se han caracterizado en menos detalles. Los niveles de emisión dependen de muchos parámetros, incluidos los factores relacionados con el vehículo, como el modelo, el tamaño, tipo de combustible, nivel de tecnología y kilometraje, y factores operativos como velocidad, aceleración, selección de marcha y gradiente de carretera.

### **2.7.2 NORMATIVA TÉCNICAS NACIONALES E INTERNACIONALES**

#### **2.7.2.1 Normativa Técnica Ecuatoriana INEN 2 207, 2002**

La principal prueba de evaluación de emisiones que se realiza para la certificación de vehículos nuevos es una prueba dinámica o prueba de manejo; ésta se desarrolla sobre un dinamómetro de chasis, el cual permite aplicar una carga al vehículo probado, ejerciendo

una fuerza extra que es igual al peso de inercia más la potencia efectiva estimada del vehículo, con lo cual se simulan las condiciones de desplazamiento normal, durante el ciclo de conducción.

De acuerdo con la ( NTE INEN 2 207, 2002), los valores mínimos de emisiones contaminantes para motores de diésel son evaluados en ciclos americanos y ciclos europeos. Todo vehículo propulsado a diésel que se importe o se ensamble en el país no podrá emitir al aire monóxido de carbono (CO), hidrocarburos (HC), óxidos de nitrógeno (NOx) y partículas en cantidades superiores a las indicadas en la tabla 2.2 ( NTE INEN 2 207, 2002).

**Tabla 2.2** Límites máximos de emisiones permitidos para fuentes móviles con motor de diésel (prueba dinámica) a partir del año modelo 2000 (ciclos americanos y ciclos europeos)

Categoría	Peso bruto del vehículo kg	Peso del vehículo cargado kg	CO g/km	HC g/km		NOx g/km	Partículas g/km	CICLOS DE PRUEBA
Vehículos livianos	Todos	Todos	2,10	0,25		0,62	0,12	FTP-75
Vehículos medianos	≤3860	≤1700	6,2	0,5		0,75	0,16	
		>1700≤3860	6,2	0,5		1,1	0,28	
Vehículos pesados**	>3860	Todos	15,5	1,3		5,0	0,10***	Transiente pesado
M1 <sup>(1)</sup>	≤3500	Todos	2,72			0,97 <sup>(4)</sup>	0,14	ECE-15 +EUDC
M1, N1 <sup>(2)</sup>		≤1250	2,72			0,97 <sup>(4)</sup>	0,14	
		>1250≤1700	5,17			1,4 <sup>(4)</sup>	0,19	
		>1700	6,9			1,7 <sup>(4)</sup>	0,25	
N2, N3, M2, M3 <sup>(3)</sup>	>3500	Todos	4,0		1,1	7,0	0,15	ECE-49
	* Prueba realizada a nivel del mar ** en g/bHP-h (gramos/brake Horse Power-hora) *** para buses urbanos el valor es 0,07 g/bHP-h * Prueba realizada a nivel del mar (1) Vehículos que transportan hasta 5 pasajeros más el conductor y con un peso bruto del vehículo menor o igual a 2,5 toneladas. (2) Vehículos que transportan más de 5 pasajeros más el conductor o cuyo peso bruto del vehículo exceda 2,5 toneladas. (3) Unidades g/kWh (4) HC+NOx							

**Fuente:** ( NTE INEN 2 207, 2002, págs. 4-5)

El límite máximo de opacidad de humos para motores a diésel se realiza en aceleración libre, los cuales no deben sobrepasar el porcentaje indicados tal y como se indican en la Tabla 2.3.

**Tabla 2.3** Límites máximos de opacidad de emisiones para fuentes móviles con motor de diésel (prueba de aceleración)

Año modelo	%Opacidad
2000 y posteriores	50
1999 y anteriores	60

Fuente: (NTE INEN 2 207, 2002, pág. 5)

### 2.7.2.3 Normativa Oficial Mexicana NOM-167-SEMARNAT -2017

Esta norma mexicana establece los límites máximos permitidos de emisión de contaminantes para los vehículos automotores que circulan en las entidades federativas en distintos lugares de México, basadas en pruebas dinámicas. Los límites máximos permitidos de emisiones de gases contaminantes para el desarrollo de esta investigación mediante pruebas estáticas fueron tomados de la (NORMA Oficial Mexicana NOM-167-SEMARNAT-2017, 2017, pág. 8)), dentro de la investigación se los tomó como valores referenciales ya que se utilizan para vehículos con motor de combustión interna de encendido provocado (MEP) cuyo peso bruto vehicular es mayor de 400 y menor a 3,857 kilogramos, valores que se ven reflejados en la tabla 2.4.

**Tabla 2.4** Límites Máximos Permisibles de Emisión del Método de Prueba Dinámica para vehículos automotores en circulación que usan gas licuado de petróleo, gas natural u otros combustibles alternos y cuyo peso bruto vehicular es mayor de 400 y menor a 3,857 kilos

Año modelo	(HC) μmol/mol (hppm)	(CO) cmol/mol (% vol.)	(NOx) μmol/mol (ppm)	(O <sub>2</sub> ) cmol/mol (% vol.)	Dilución (CO+CO <sub>2</sub> ) cmol/mol (% vol.)		Lambda
					mínimo	máximo	
1993 y anteriores	200	1	1,000	2	7	14.3	1.05
1994 y posteriores	100	1	1,000	2	7	14.3	1.05

Fuente: (NORMA Oficial Mexicana NOM-167-SEMARNAT-2017, 2017, pág. 8)

La tabla 2.5 muestra los rangos establecidos de las emisiones de CO, HC y NOx que los vehículos con cilindrada de 1601 a 3000 cc pueden producir en la combustión, a ralenti y a 2500 rpm.

**Tabla 2.5** Vehículos con cilindrada de 1 601 a 3 000 cc

<b>Gases de escape en ralentí</b>	<b>Rango establecido</b>	<b>Defecto tipo 1</b>	<b>Defecto tipo 2</b>	<b>Defecto tipo 3 reprobación</b>
CO	0,00-0,06	0,07-0,17	0,18-0,22	<1%
HC	1-12,28	12,29-40	40,01-44	<100 ppm
NO <sub>x</sub>	122-172,51	172,52-175	175,01-217	<1000 ppm
<b>Gases de escape a 2500 rpm</b>	<b>Rango establecido</b>	<b>Defecto tipo 1</b>	<b>Defecto tipo 2</b>	<b>Defecto tipo 3 reprobación</b>
CO	0,00-0,14	0,15-0,29	0,30-0,39	<1%
HC	0-14,75	14,76-36	36,01-54	<100 ppm
NO <sub>x</sub>	77-90,74	90,75-117	117,01-167	<1000 ppm

## **2.8 NORMATIVA ASTM PARA REALIZACIÓN DE ENSAYOS CON NANOCOMBUSTIBLES EN EL LABORATORIO**

A continuación, se muestra las normas usadas para la evaluación de propiedades fisicoquímicas de un aditivo “Sustancia que se incorpora a un sistema, en cantidades relativamente pequeñas con un propósito específico” según la Norma Técnica Ecuatoriana NTE-INEN 2482:2009 como: punto de inflamación, viscosidad cinemática, densidad, valor calorífico y número de cetanos.

### **2.8.1 NORMA ASTM D 93 PARA DETERMINACIÓN DEL PUNTO DE INFLAMACIÓN**

Este método de prueba determina el punto de inflamación de productos fósiles en un rango de temperatura de 40 °C a 360°C, por medio del equipo manual Pensky – Martens copa cerrada (Instituto Ecuatoriano de Normalización , 2005, pág. 1).

### **2.8.2 NORMA ASTM D 445 PARA LA MEDICIÓN DE VISCOSIDAD**

Este método de prueba especifica un procedimiento para determinar la viscosidad cinemática de productos del petróleo, tanto transparentes como opacos, mediante la medición del tiempo en el que un volumen de líquido fluye bajo la acción de la gravedad, a través de un viscosímetro capilar de vidrio calibrado. La viscosidad dinámica,  $\eta$ , puede obtenerse

multiplicando la viscosidad cinemática,  $\nu$ , por la densidad,  $\rho$ , del líquido (Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2013, pág. 1).

### **2.8.3 NORMA ASTM D 1298 PARA LA DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD**

Este método de prueba cubre la determinación de la densidad API del petróleo crudo y sus derivados líquidos, que tienen una presión de vapor Reid (Método de Ensayo ASTM D323) igual o menor a 26 psi (180 kPa), utilizando un hidrómetro de vidrio. La densidad API se determina a 60°F (15,56°C), o se convierte su valor a 60 °F, por medio de tablas estándar, las cuales no se aplican a productos que no sean hidrocarburos, o a hidrocarburos esencialmente puros, tales como los aromáticos (Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2013, pág. 1).

### **2.8.4 NORMA ASTM D 240-02 PARA MEDICIÓN DEL PODER CALORÍFICO**

Este método de ensayo cubre la determinación del calor de la combustión de combustibles hidrocarburos líquidos con niveles de volatilidad que van desde la de destilados ligeros hasta la de los combustibles residuales. Bajo condiciones normales, este método de prueba es directamente aplicable a combustibles como gasolinas, kerosenos, aceites combustibles, combustibles diésel, y combustibles para turbinas de gas (ASTM INTERNATIONAL, s.f.).

### **2.8.5 NORMA ASTM D 613 PARA LA DETERMINACIÓN DEL NÚMERO DE CETANO**

Este método de prueba cubre la determinación de la clasificación del aceite combustible diésel en términos de una escala arbitraria de números de cetano usando un motor diésel estándar de un solo cilindro, ciclo de cuatro tiempos, relación de compresión variable, con inyección indirecta. La escala del número de cetano cubre el rango de cero 0 a 100, pero las pruebas típicas están en el rango del número de cetano es de 30 a 65 (ASTM D613, 2010).



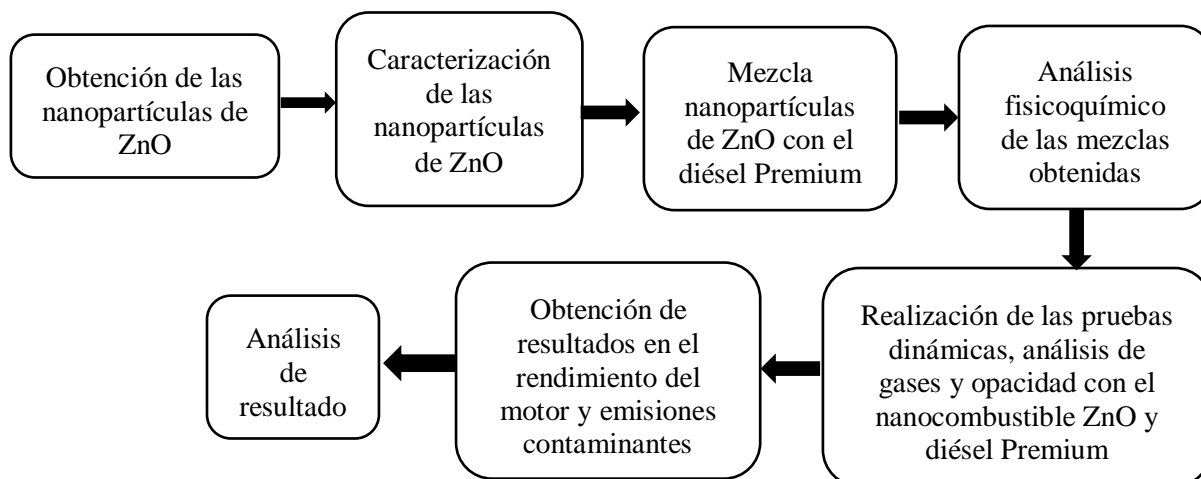
## CAPÍTULO III

### 3 MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1 PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

La finalidad de este trabajo de grado consiste en buscar una metodología adecuada que cumpla con los parámetros y lineamientos para poder desarrollar un nanocombustible, con la adición de nanopartículas de ZnO al diésel Premium, con la finalidad de encontrar un combustible que permita mejorar el rendimiento del motor y disminución de emisiones. Este producto se obtendrá por medio de un proceso de dispersión, homogeneización y ultrasónico, con el fin de encontrar una mezcla casi perfecta.

#### 3.2 DETERMINACIÓN DEL PROCESO METODOLÓGICO



**Figura 3.1** Proceso Metodológico

La explicación es fundamental debe ser clara en el proceso y en el orden que debe tener para el desarrollo de un nanocombustible de ZnO mediante la figura 3.1 se puede visualizar un organizador gráfico, que permite entender de mejor manera las secuencias de dichos procesos.

### 3.3 OBTENCIÓN DE LAS NANOPARTÍCULAS DE ÓXIDO DE ZINC

La obtención de las nanopartículas de ZnO se realizó por medio de la importación desde la empresa Skyspring Nanomaterials, Inc, donde se consideró el criterio de su tamaño, entre más pequeño la mezcla con el diésel Premium será más homogénea.

#### 3.3.1 PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS DE LAS NANOPARTÍCULAS DE ZINC

El producto importado en su página web indica las siguientes propiedades fisicoquímicas que se puede observar en la tabla 3.1, las mismas que sirvieron para la elección de la nanopartícula.

**Tabla 3.1** Propiedades fisicoquímicos de las nanopartículas ZnO

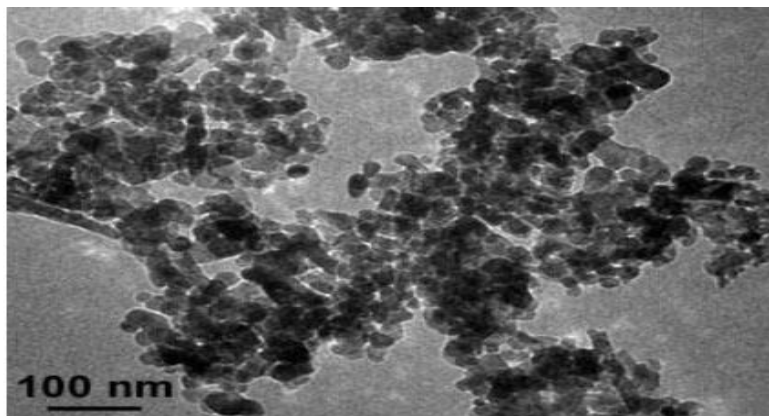
<b>Parámetros</b>	<b>Características</b>
Forma	Polvo
Color	Blanco lechoso
Olor	Inodoro
Punto de fusión / intervalo de fusión	1975 ° C
Peligro de explosión	El producto no tiene peligro de explosión.
Densidad	A 20 ° C 5.606 g / cm <sup>3</sup>
Solubilidad en / miscibilidad	Agua: Insoluble

**Fuente:** (Skyspring Nanomaterials, Inc, 2016, págs. 3-4)

### 3.4 CARACTERIZACIÓN DE LAS NANOPARTÍCULAS DE ZNO

#### 3.4.1 IMAGEN OBTENIDA DE LA EMPRESA

La caracterización de las nanopartículas de ZnO por la empresa SkySpring Nanomaterials es realizada mediante Microscopía Electrónica de Transmisión (TEM), esta técnica se usa para saber la morfología de las partículas y su tamaño.



**Figura 3.2** Imagen Microscopía Electrónica de la nanopartícula de ZnO (SkySpring Nanomaterials, Inc., 2020)

En la figura 3.2 se visualiza una distribución homogénea en la escala de medición de 100 nm. Las nanopartículas de ZnO presentan una morfología semi-hexagonal. La distribución del tamaño de partícula se ha calculado mediante el análisis de la imagen TEM con un promedio tamaño de 10 ~ 30 nm. También se visualiza en la parte roja señalada de la imagen como se encuentra aglomeradas las nanopartículas y la parte amarilla señalada de la figura se observa a las nanopartículas dispersas.

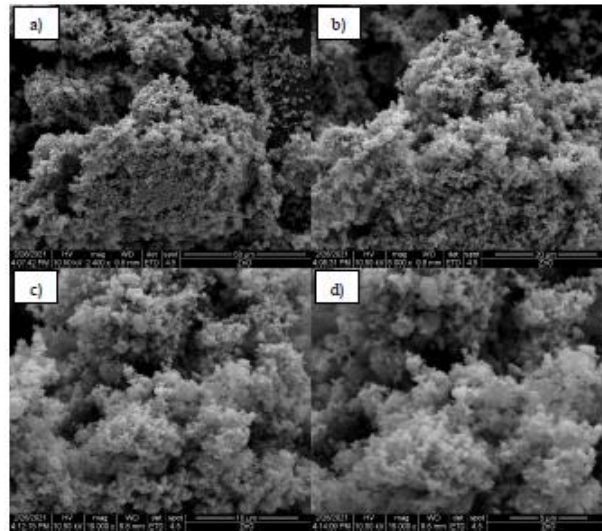
### **3.4.2 RESULTADO DE LA CARACTERIZACIÓN MEDIANTE MICROSCÓPICO ELECTRÓNICO DE BARRIDO (MEB)**

Las nanopartículas de óxido de zinc (ZnO) importadas fueron enviadas a la Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL) para la realizar la respectiva caracterización. El propósito de este análisis es estudiar la morfología del material obtenido por medio del método Microscopía Electrónica de Barrido (MEB) con un microscopio marca FEI, modelo Inspec S50, hasta que se alcance el rango máximo acordado (15000X).



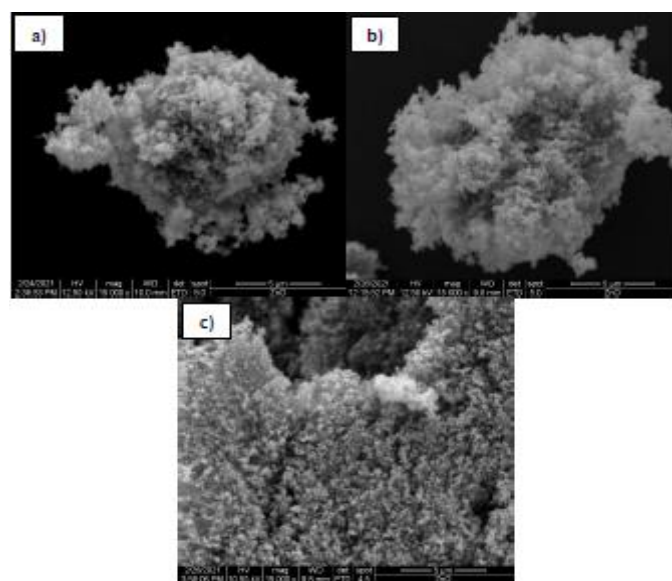
**Figura 3.3** Muestra de las nanopartículas de ZnO

La imagen obtenida de las nanopartículas de ZnO debido a las condiciones del equipo nos muestra determinado límite máximo en comparación con la imagen expuesta por la empresa, sin embargo, se puede apreciar en la figura 3.4 que la caracterización por MEB y TEM muestran características similares.



**Figura 3.4** Imágenes a diferentes magnificaciones: a) 2400X, b) 5000X, c) 10000X y d) 15000X

Estas imágenes se pueden observar a las nanopartículas de ZnO con un rango de tamaño desde 2400x hasta 15000x, realizada con el Equipo detector de trazas (ETD), imágenes con electrones secundarios y topografía, en cual nos permite una mejor nitidez. La figura 3.4 d es donde mayor resolución podemos observar a 15000x




**Figura 3.5** Imágenes de diferentes áreas a 15000X, a) y b) muestras dispersas y c) muestra aglomerada

La Figura 3.5 muestra imágenes de diferentes áreas a 15000x con detector ETD, existe la presencia de conglomerados esponjosos y porosos de partículas muy pequeñas interconectadas entre sí, como se pudo visualizar en la Fig. 3.5 c, mientras la figura 3.5 a y figura 3.5 b se puede visualizar que la muestra se encuentra dispersa.

Al realizar un análisis morfológico y comparativo con la imagen de la empresa, se logra establecer un valor aproximado del tamaño de las nanopartículas que es efectivamente menor 30 nm como lo detallaba el producto, ya que con una visibilidad de 5  $\mu\text{m}$  las nanopartículas son muy pequeñas para la capacidad del microscopio electrónico de barrido y también se puede observar cómo se encuentran distribuidos, en ambos casos dispersos y aglomerados.




### 3.5 EQUIPOS Y MATERIALES PARA LA OBTENCIÓN DEL NANOCOMBUSTIBLE DE ÓXIDO DE ZINC

**Tabla 3.2** Equipos y materiales

Equipo o material	Especificaciones
<p>Dispositivo ultrasónico</p> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Marca: Ultrasonic Cleaner FY100</li> <li>• Frecuencia: 45 kHz</li> <li>• Capacidad: 1 L</li> </ul>

(Continuación...)

**Tabla 3.2 Equipos y materiales (Continuación...)**

<p>Homogeneizador</p> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Marca: Taishi</li> <li>• Voltaje: 110V</li> <li>• Potencia: 185 W</li> <li>• Motor: 22000 rpm</li> <li>• Homogeneizador 1: 8000 ~ 18000r / min</li> <li>• Homogeneizador 2: 8000 ~ 20000r / min</li> <li>• Rendimiento único: 10 ~ 1000 ml</li> <li>• Trabajando continuamente: &lt; 5 minutos</li> </ul>
<p>Batidora Oster de 5 velocidades</p> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Modelo 2499-013</li> <li>• Color Blanco</li> <li>• Voltaje 110 V</li> <li>• Velocidades 5</li> </ul>
<p>Nanopartículas de ZnO</p> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Nombre del producto: Polvo de óxido de zinc</li> <li>• Número de producto: 8410DL</li> <li>• Forma: Polvo</li> <li>• Número de CAS: 1314-13-2</li> <li>• Fórmula empírica: ZnO</li> <li>• Tamaño: 10 ~ 30 nm</li> <li>• Pureza: 99,8%</li> <li>• Color: blanco a amarillo claro</li> <li>• Impurezas típicas (ppm máx.):  Cu: 25  Cd: 25  Mn: 25  Pb: 20  As: 20.</li> </ul>

(Continuación...)

**Tabla 3.2 Equipos y materiales (Continuación...)**

<p>Mini báscula digital profesional</p> 	<ul style="list-style-type: none"><li>• Capacidad =20g</li><li>• Legibilidad=0.001g</li><li>• Tiempo de apagado automático=180s</li><li>• Unidades=g/oz/ozt/dwt/ct/gn</li></ul>
<p>Vaso precitado graduado</p> 	<ul style="list-style-type: none"><li>• Vidrio de borosilicato</li><li>• 1000 ml de capacidad</li><li>• Graduaciones de 100 ml</li><li>• Autoclavable</li></ul>
<p>Cristalería</p> 	<ul style="list-style-type: none"><li>• Capacidad de cristalería: 5 ml, 10 ml, 15 ml, 20 ml</li></ul>

### 3.6 PROCESO DE ELABORACIÓN DEL NANOCOMBUSTIBLE DE ÓXIDO DE ZINC

La elaboración del nanocombustible de ZnO se preparó agregando nanopartículas ZnO al diésel Premium, con un tamaño de 10 ~ 30 nm. Exactamente tres porciones (144, 233, 377) ppm. La mezcla se generó por medio de un homogeneizador, una batidora y un dispositivo ultrasónico.

#### 3.6.1 CÁLCULO PARA ENCONTRAR LA MASA DE LAS NANOPARTÍCULAS

La masa de nanopartícula requerida para cada dosis se calculó usando la ecuación 3.1 por cada 8 L de diésel Premium.

$$\text{ppm} = \frac{\text{miligramos de soluto(mg)}}{\text{litro de disolución(L)}} \quad [3.1]$$

$$\text{ppm} * \text{L} = \text{mg}$$

$$\text{mg} = \text{ppm} * \text{L}$$

- $\text{mg} = 144 * 8 = 1152 \text{ mg}$
- $\text{mg} = 233 * 8 = 1864 \text{ mg}$
- $\text{mg} = 377 * 8 = 3016 \text{ mg}$

Una vez encontrada la masa de las nanopartículas en 8 L o 8000 ml de diésel Premium se procedió a calcular la masa en 800 ml cuyo volumen es determinado por el vaso precipitado y por la capacidad del equipo ultrasónico. Se aplicó regla de tres para cada uno de la ppm ya mencionadas como se detalla a continuación:

#### 144 ppm

$$1152 \text{ mg} = 8000 \text{ ml}$$

$$X_1 \text{ mg} = 800 \text{ ml}$$

$$\frac{X_1}{800 \text{ ml}} = \frac{1152 \text{ mg}}{8000 \text{ ml}} \quad [3.2]$$



$$X_1 = \frac{1152 \text{ mg}}{8000 \text{ ml}} * 800 \text{ ml}$$

$$X_1 = 115 \text{ mg}$$

### 233 ppm

$$1864 \text{ mg} = 8000 \text{ ml}$$

$$X_2 \text{ mg} = 800 \text{ ml}$$

$$\frac{X_2}{800 \text{ ml}} = \frac{1864 \text{ mg}}{8000 \text{ ml}} \quad [3.3]$$

$$X_2 = \frac{1864 \text{ mg}}{8000 \text{ ml}} * 800 \text{ ml}$$

$$X_2 = 186 \text{ mg}$$

### 377 ppm

$$3016 \text{ mg} = 8000 \text{ ml}$$

$$X_3 \text{ mg} = 800 \text{ ml}$$

$$\frac{X_3}{800 \text{ ml}} = \frac{3016 \text{ mg}}{8000 \text{ ml}} \quad [3.4]$$

$$X_3 = \frac{3016 \text{ mg}}{8000 \text{ ml}} * 800 \text{ ml}$$

$$X_3 = 301 \text{ mg}$$

Para poder medir la masa de cada una de la ppm, se consideró las especificaciones de la mini báscula digital que tiene una legibilidad de 0,001 g, por lo tanto, se transformó las unidades de mg a g como en la tabla 3.3 lo indica.

**Tabla 3.3** Masa de las nanopartículas (por 0,8 litros de diésel Premium)

Relación de volumen (ppm)	Masa de la nanopartícula ZnO (mg)	Masa de la nanopartícula ZnO (g)
144	115	0,115
233	186	0,186
377	301	0,301

### 3.6.2 MEZCLA DE LAS NANOPARTÍCULAS DE ÓXIDO DE ZINC CON EL DIÉSEL PREMIUM

Luego de efectuar las mediciones de masa de las nanopartículas se procedió a mezclar con el diésel Premium siguiendo una metodología con base a la investigación experimental, en primer lugar, para realizar los análisis físico-químicos de las muestras del nanocombustible y posteriormente para las pruebas de rendimiento del motor.

#### 3.6.2.1 Pesaje de la masa de las nanopartículas según los resultados obtenidos de la ecuación

Antes de realizar las mezclas de diésel Premium con las nanopartículas de ZnO se efectuó la medición de la masa de las nanopartículas de ZnO (144,233,374) ppm. Para efectuar las mediciones se tomó en cuenta el lugar, el cual debió un sitio cerrado donde no exista ninguna presencia de algún agente externo que imposibilite una medición exacta debido a la sensibilidad la balanza. Además, se ubicó la balanza en un sitio plano, para que no haya fluctuaciones en las medidas.

Con mucho cuidado se manipuló las nanopartículas de ZnO, y se situó encima de la balanza, por medio de un utensilio.



**Figura 3.6** Medición de las Nanopartículas de ZnO

En la figura 3.6 se puede observar el pesaje ejecutado del 144 ppm de las nanopartículas de ZnO en la mini bascula digital de capacidad máxima de 20 g y una capacidad mínima de 0.001g.

### 3.6.2.2 Proceso de dispersión de las nanopartículas de Óxido de Zinc

Este proceso se hizo porque las nanopartículas se encontraban solidificadas y unificadas entre sí dentro de su envoltura, y al momento de dispersar con el diésel la solución química será más eficiente.



**Figura 3.7** Nanopartículas de ZnO dentro del recipiente de cristal

En la figura 3.7 se puede observar que en el frasco de cristal de 5ml se colocó la masa de las nanopartículas ZnO encontrada de 144 ppm, 233 ppm y 377 ppm.



**Figura 3.8** Adición del Diésel Premium adentro del recipiente de cristal

Luego de situar las nanopartículas ZnO en el envase del cristal, en la figura 3.8 se observa que se añadió 2 ml de diésel Premium dentro del recipiente, listo para realizar el proceso de dispersión.



**Figura 3.9** Proceso de dispersión de las nanopartículas ZnO con el Diésel Premium

Con la ayuda del equipo homogeneizador en la Figura 3.9 se puede observar el proceso de dispersión, logrando que las nanopartículas se dispersen sobre todo el combustible, evitando que se forme grumos o que se solidifiquen en el fondo del recipiente. El equipo homogeneizador trabaja con un rango de velocidad de revolución de 12000-13000 rpm durante 5 min, tiempo máximo de trabajo de la máquina.

### 3.6.2.3 Mezcla en el vaso precipitado

Una vez terminado el proceso dispersión, la composición lograda se alisto para continuar con la mezcla de las nanopartículas ZnO- diésel Premium, mediante la batidora, con la primera velocidad de la máquina en un rango de 500 a 600 rpm y con un tiempo de 5 min.



**Figura 3.10** Mezcla de la solución

En la figura 3.10 se puede visualizar el momento que se situó las nanopartículas dispersas en en el vaso precipitado con 800 ml de diésel Premium para a continuación realizar la mezcla



**Figura 3.11** Utilización de la batidora para realizar la mezcla

En la figura 3.11 se observa el proceso de mezcla mediante la batidora en el cual se buscó que las nanopartículas ZnO y el diésel tenga una disolución homogénea.

#### **3.6.2.4 Mezcla en el ultrasonic cleaner**

Para conseguir el nanocombustible de ZnO óptimo, se desarrolló dos diferentes procesos para cada una de las mezclas ya establecidas (144, 233 y 377) ppm. En la figura 3.12 presenta el primer proceso batidora-ultrasonido que fueron unificados y continuos.



**Figura 3.12** Batidora y ultrasonic cleaner

En la figura 3.13 se puede observar el segundo proceso de mezcla, el cual solo se tomó en cuenta el ultrasonido, que permitió aprovechar las características fisicoquímicas del ZnO.



**Figura 3.13** Proceso ultrasónico

La tabla 3.4 indican los tiempos de trabajo que se utilizó para mezclar las nanopartículas de ZnO con el Diésel Premium, donde se puede observar que el mayor tiempo promedio es del nanocombustible ZnO 377 ppm con 45 mint y el menor tiempo promedio es del nanocombustible ZnO 144 ppm con 25 mint.

**Tabla 3.4** Tiempo de trabajo de mezcla para la obtención del nanocombustible de ZnO

<b>Parámetros</b>	<b>144 ppm</b>	<b>233 ppm</b>	<b>377 ppm</b>
Batidora-frecuencia ultrasónica	20 mint	25mint	30mint
Frecuencia ultrasónica	5mint	10 mint	15 mint
Promedio	25 mint	35mint	45 mint

### **3.6.2.5 Muestras del nanocombustible ZnO para el análisis fisicoquímico y para las pruebas de rendimiento**

Las muestras para el análisis del nanocombustible ZnO se envió a la ciudad de Quito, específicamente a la Universidad Central del Ecuador y a la Escuela Politécnica Nacional, en cuatro botellas de vidrio de litro, dos litros de 144 ppm y dos litros de 233 ppm respectivamente.



Figura 3.14 Nanocombustible de ZnO

El nanocombustible de ZnO fue colocado en botellas de vidrio color café con capacidad de 1 L tal como se puede visualizar en la figura 3.114, y enviado para su respectivo análisis.



Figura 3.15 Almacenamiento del nanocombustible ZnO

En la Figura 3.15 se puede observar el nanocombustible de ZnO obtenido de (144, 233 y 377) ppm, cada uno de ellos fue depositado en un recipiente con capacidad de 20 L, los mismos que fueron utilizados para la valoración en el vehículo a prueba.

### 3.7 VEHÍCULO DE PRUEBA

Para la prueba el vehículo utilizado es Hyundai H-100 del año 2009 propulsado a diésel, dicho automotor pertenece a la compañía “Éxito” de la ciudad de Ibarra, destinada de realizar fletes y cargas de mercadería.



**Figura 3.16** Hyundai H-100

**Tabla 3.5** Especificaciones Técnicas del Hyundai H-100

Características	Valor
Motor	Diésel common rail de 4 cilindros en línea
Cilindrada(cc)	2.497
Diámetro x carrera(mm)	91x96
Relación de compresión 16.4:1	16.4:1
Potencia máxima (ps/rpm)	130/3800
Par de motor máximo (kgm/rpm)	26/1500-3500
Caja de velocidades	Manual de 6 velocidades, con sobre marcha y marcha atrás
Tracción	Trasera

**Fuente:** (Hyundai, pág. 1)

La tabla 3.5 muestra las especificaciones técnicas del camión Hyundai H-100, la cual servirá para comparar los resultados de las pruebas en el rendimiento del motor, las emisiones de gases y opacidad del diésel Premium con los nanocombustibles.

### **3.8 ADAPTACIÓN DE UN SISTEMA DE ALIMENTACIÓN EXTERNO**

Mediante la instalación de un suministro de alimentación de combustible externo, permitió agilizar el cambio de los nanocombustibles de las diferentes mezclas, además, para evitar la contaminación del depósito del vehículo con las nanopartículas. En la figura 3.17 se puede observar el sistema donde se detalla los siguientes elementos que lo componen.





**Figura 3.17** Sistema de alimentación externo

1. Depósito externo de almacenamiento
2. Manguera de retorno
3. Manguera de alimentación

### **3.9 EQUIPOS PARA LA REALIZACIÓN DE LAS PRUEBAS**

Las pruebas de torque y potencia, emisiones de gases de escape y opacidad, se realizaron en las Instalaciones del Taller Automotriz de la Universidad Técnica del Norte, donde se utilizaron los equipos que a continuación se expone:

- Dyno Vamag
- Analizador de gases Brain Bee AGS-688
- Tacómetro y medidor de temperatura MGT-300
- Opacímetro Brain Bee PA-100

#### **3.9.1 DYNO VAMAG**

En términos generales, el dinamómetro de chasis es un dispositivo que permite medir la potencia y el par motor, donde el vehículo a prueba se ubica con sus ruedas motrices del vehículo sobre rodillos, La principal función del Dyno Vamag es la de evaluar en forma gráfica el torque y potencia en las ruedas motrices de los automóviles, alimentados a gasolina o diésel, mediante la simulación del vehículo en condiciones de trabajo a distintas velocidades, con aceleraciones en determinados tiempos. Además, los resultados de las

pruebas y ensayos obtenidos muestran el comportamiento que el vehículo tendrá en condiciones reales de trabajo (Ávila Avelino, 2016, págs. 6-7).

**Tabla 3.6** Especificaciones técnicas del Dyno Vamag

<b>Parámetros</b>	<b>Unidades</b>
Potencia máxima	400 hp
Torque	1500 Nm
Voltaje de suministro	220-400 V Ac (1-3/N/PE)
Frecuencia	50-60 Hz
Corriente nominal	16 amp
Masa	1200 kg
Dimensiones	3070x870x310 h mm
Presión del circuito de aire comprimido	6 bar
Diámetro del rodillo	240 mm
Ancho del rodillo	600 mm
Velocidad máxima	180 km/h

**Fuente:** (Vamag, 2017, pág. 4)

### 3.9.2 ANALIZADOR DE GASES BRAIN BEE AGS-688

Este equipo permite medir en porcentajes los principales gases de escape producidos en un motor de combustión interna. Los cuales nos indican posibles problemas en la combustión si los resultados son negativos, dichos fallos pueden ser causa de algunos factores como por ejemplo mecánicos y otros por las particularidades del combustible.

**Tabla 3.7** Especificaciones de medición del analizador de gases

<b>Parámetro</b>	<b>Escala</b>	<b>Unidad</b>
CO	0-9.99	% vol
CO <sub>2</sub>	0-19.9	% vol
HC	0-9.999	ppm
O <sub>2</sub>	0-25	% vol
$\lambda$	0.5-5.0	---
Revoluciones	300-9990	Min <sup>-1</sup>
Temperatura de aceite	20-150	° C

**Fuente:** (Manual AGS-688, 2015, pág. 21)

### 3.9.3 TACÓMETRO Y MEDIDOR DE TEMPERATURA MGT-300

La principal función de este dispositivo es leer el número de revoluciones y medir la temperatura de vehículos a gasolina y diésel, con respecto a la lectura de revoluciones cuenta con un sensor de RPM por golpe, el cual se ubica en la tapa válvula del motor, tal y como se muestra en la figura 3.19 y con terminales de lagarto se conecta a la batería. Para la medición de temperatura cuenta con un sensor de temperatura tipo sonda, que se ubica en el lugar donde está la varilla de medición de aceite.



**Figura 3.18** Tacómetro y medidor de temperatura MGT-300

### 3.9.4 OPACÍMETRO BRAIN BEE OPA-100

El opacímetro es un aparato que funciona mediante una celda con control de flujo que sirve para controlar la temperatura y presión del humo del escape en vehículos Diésel. Está diseñado para medir en forma continua el grado de opacidad en régimen de ralentí y durante aceleraciones. La información producida permite analizar las razones de eventuales excesos de emisión de partículas de acuerdo con las variaciones de parámetros, para diagnosticar y recomendar las guías de reparación de fallas y regulación de bomba y otros componentes.

**Tabla 3.8** Especificaciones de medición del opacímetro

Parámetro	Escala
Opacidad	0-99.9%
Opacidad	0-9.99 M-1

(Continuación...)

**Tabla 3.8** Especificaciones de medición del opacímetro (**Continuación...**)

Cuenta revoluciones	300-9990 Rpm
Temperatura de Aceite	20-150 °C
Temperatura de Humo	20-400 °C

Fuente: (Brain Bee, pág. 2)

## 3.10 PREPARACIÓN Y PROCEDIMIENTO PARA LAS PRUEBAS DE POTENCIA Y TORQUE

### 3.10.1 PREPARACIÓN DEL EQUIPO Y EL VEHÍCULO

A continuación, se detalla los pasos que se debe realizar para la preparación del dinamómetro, antes de poner en marcha al vehículo.

- Ubicar el equipo electrónico para el análisis en una posición segura, conectar y encender el CPU
- Subir las rampas ubicadas en medio de los rodillos, para que el vehículo pueda ingresar.
- Colocar las ruedas posteriores del vehículo en los rodillos, luego bajar las rampas.
- Situar las correas de sujeción en forma de X, en el chasis del vehículo, bien tensionadas hacia los anillos fijos en el suelo.
- Ingresar los datos que el equipo solicita.
- Presionar Enter para guardar los datos



**Figura 3.19** Preparación del vehículo para la prueba de potencia y torque

### **3.10.2 PROCEDIMIENTO PARA LAS PRUEBAS DE POTENCIA Y TORQUE**

Las pruebas de potencia y torque, se procedió a realizar con Diésel Premium y los nanocombustibles, para valorar su rendimiento, a continuación, se refiere el procedimiento realizado.

- Poner en marcha en vehículo
- Seleccionar la velocidad de salida 50 km/h, la cual nos indica el inicio de las curvas de torque y potencia.
- Acelerar el vehículo acorde a los cambios de marcha que indique el equipo
- Dejar que el vehículo reduzca su velocidad al régimen de ralentí
- Esperar que el vehículo este en reposo para luego continuar con las pruebas.
- Cambiar el combustible una vez finalizadas las pruebas de diésel Premium y los diferentes nanocombustibles de ZnO 144,233 y 377 ppm, mediante el depósito externo ya mencionado anteriormente.

### **3.11 PREPARACIÓN Y PROCEDIMIENTO PARA LAS PRUEBAS DE EMISIONES CONTAMINANTES**

Una vez finalizada las pruebas de torque y potencia, se dispusieron a realizar las pruebas de emisiones contaminantes, a diferentes rangos de velocidad (800, 1500 y 2500) rpm, con los distintos combustibles, siguiendo el orden ya establecido; Diésel Premium, 144 ppm, 233 ppm y 377 ppm.

- Preparar el equipo de diagnóstico para la prueba de emisiones y esperar que se calibre automáticamente en cero.
- Encender el vehículo
- Limpiar y colocar la sonda en la salida del tubo de escape del vehículo
- Proceder a acelerar según el régimen de velocidad elegido
- Retirar la sonda y limpiar posibles residuos de hollín para la siguiente prueba
- Este procedimiento se hizo tres veces, para la recolección de datos para cada uno de los combustibles.



**Figura 3.20** Analizador de gases Brain Bee AGS-688

### **3.12 PREPARACIÓN Y PROCEDIMIENTO PARA LAS PRUEBAS DE OPACIDAD**

Al finalizar las pruebas de gases de escape del vehículo, siguiendo el mismo orden, se realizó las pruebas de opacidad, que a continuación se detalla su procedimiento:

- Preparar el equipo de diagnóstico para la prueba de opacidad
- Encender el vehículo
- Limpiar e introducir la sonda en la salida del tubo de escape del vehículo
- Proceder a acelerar según el régimen de velocidad que indique el equipo
- Retirar la sonda y limpiar posibles residuos de hollín para la siguiente prueba
- Para la recolección de datos, se hizo 3 pruebas con cada tipo de combustible.



**Figura 3.12** Opacímetro BRAIN BEE OPA-100

## CAPÍTULO IV

### 4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 4.1 RESULTADOS DE LAS PRUEBAS DEL NANOCOMBUSTIBLE DE ZnO

Una vez que se ha completado la elaboración del nanocombustible del ZnO, se realizaron los análisis en la Escuela Politécnica Nacional (EPN) y en la Universidad Central del Ecuador (UCE), obteniendo resultados reales basados en los requerimientos establecidos de acuerdo con las normas INEN y ASTM.

#### 4.2 TABLA DE RESULTADOS DE LOS ANÁLISIS FISICOQUÍMICO DEL NANOCOMBUSTIBLE DE ZnO

En la Tabla 4.1 se observa los resultados fisicoquímicos del nanocombustible en base de la adición de las nanopartículas de ZnO de {(144-233)} ppm al compararlas con el diésel Premium, producto conseguido en una serie de procesos de dispersión, agitación y ultrasonido, estos resultados se obtuvieron en el Laboratorio de combustibles, biocombustibles y aceites lubricantes (LACBAL) y en el Departamento de Petróleos, Energía y contaminación (DPEC).

**Tabla 4.1** Resultado del análisis del nanocombustible ZnO

144 ppm						
Ensayo	Unidad	Norma		Resultado del Análisis	Norma ASTM	Norma INEN
Densidad relativa 15,6	kg/ m <sup>3</sup>	ASTM-D1298-12b		842	860-900	890-900
Ensayo de destilación	°C	AST M- D86	10%	210,0	---	---
			50%	269,4	---	---
			90%	342,2	Máx. 360	Máx. 360

(Continuación...)

**Tabla 4.1** Resultado del análisis del nanocombustible ZnO (Continuación...)

			Punto final	365,9	---	---
			Residuo de destilación	1,5	---	---
Índice de cetano	---	INEN 1495		50,3	47	49
Corrosión lámina de cobre	---	ASTM-D86		1a	Máx. 3	Máx. 3
Viscosidad Cinemática a 40°C*	cSt	ASTM D-445		2,99	1,9-6	3.5-5
Poder Calorífico Neto*	MJ/kg	ASTM D-287		42,8397	---	---
<b>233 ppm</b>						
Ensayo	Unidad	Norma		Resultado del Análisis	Norma ASTM	Norma INEN
Densidad relativa 15,6	kg/ m <sup>3</sup>	ASTM-D1298-12b		842	860-900	890-900
Ensayo de destilación	°C	AST M-D86	10%	206,4	---	---
			50%	268,7	---	---
			90%	343,3	Máx. 360	Máx. 360
			Punto final	365,9	---	---
			Residuo de destilación	1,0	---	---
Índice de cetano	---	INEN 1495		50,1	47	49
Corrosión lámina de cobre	---	ASTM-D86		1a	Máx. 3	Máx. 3
Viscosidad Cinemática a 40°C*	cSt	ASTM D-445		2,94	1,9-6	3.5-5
Poder Calorífico Neto*	MJ/kg	ASTM D-287		42,8444	---	---

### 4.3 COMPARACIÓN GRÁFICA DE LOS RESULTADOS FÍSICO - QUÍMICOS DE LOS NANOCOMBUSTIBLES DE ZnO (144-233) PPM

Al recibir los resultados de las muestras enviadas a la ciudad de Quito de los nanocombustibles de ZnO (144-233) ppm, se procedió a realizar la comparación de los ensayos con las normas establecidas ASTM e INEN verificando si están dentro del rango



mínimo requerido y que cumpla con los estándares de calidad.

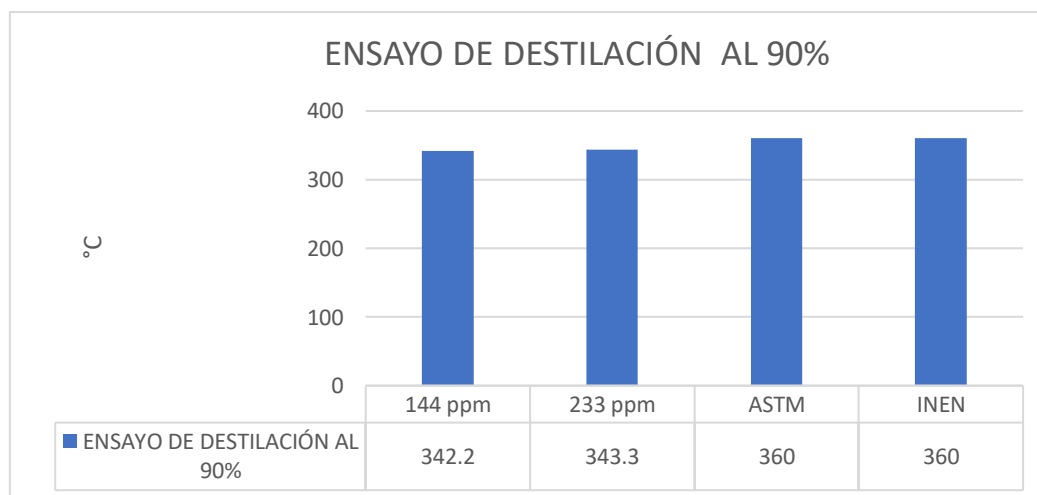
#### 4.3.1 ENSAYO DE DESTILACIÓN AL 90%

Los resultados logrados mediante los análisis del ensayo de destilación al 90 %, están acordes respecto a las normas establecidas de las normas ASTM e INEN, cuyo valor máximo es de 360°C para la temperatura de destilación al 90%. La tabla 4.2 indica los valores obtenidos en los análisis de las muestras del nanocombustible ZnO (144-233) ppm.

**Tabla 4.2** Comparación ensayo destilación entre el nanocombustible ZnO (144-233) ppm y el Diésel Premium

Ensayo	Unidad	Resultado 144 ppm	Resultado 233 ppm	ASTM	INEN	Estándar de calidad
Ensayo de destilación al 90%	°C	342,2	343,3	Máx.360	Máx.360	Si

En la figura 4.1 se puede observar mediante la gráfica de porcentajes que los resultados de los análisis de ensayo de destilación al 90% de los nanocombustibles de ZnO, cumplen con las normas internacionales y nacionales de calidad. Estos ensayos de destilación permiten que el arranque y el encendido del motor en altas temperaturas sea eficiente.



**Figura 4.1** Comparación gráfica ensayo de destilación

#### 4.3.2 DENSIDAD A 15,6 °C

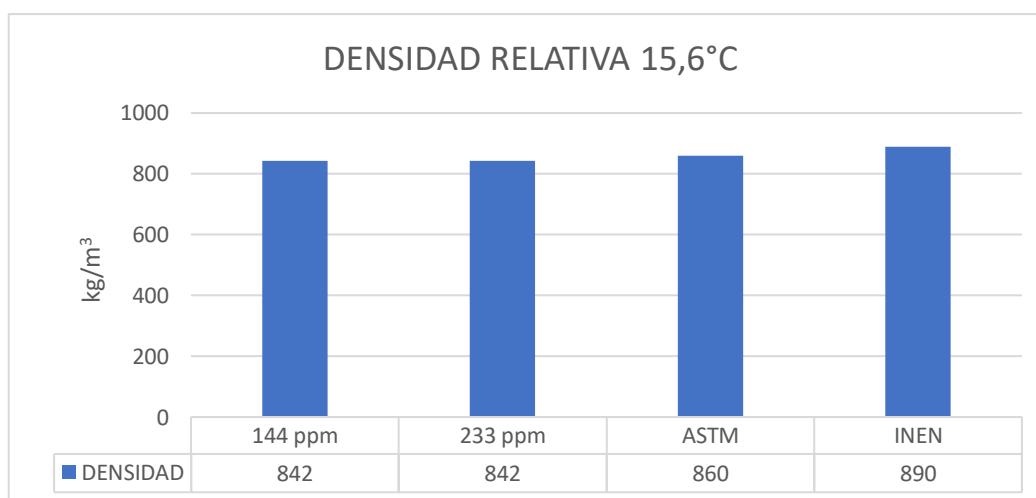
Los resultados arrojados por los análisis de la densidad de los nanocombustibles de ZnO de (144-233) ppm no fueron favorables a las normas que establece ASTM e INEN, sin embargo,

en la tabla 4.3 muestra que existe bastante proximidad al valor mínimo, con una diferencia no tan considerable de 18 kg/m<sup>3</sup>.

**Tabla 4.3** Comparación densidad a 15,6 °C entre el nanocombustible ZnO (144-233) ppm y el Diésel Premium

Ensayo	Unidad	Resultado 144 ppm	Resultado 233 ppm	ASTM	INEN	Estándar de calidad
Densidad a 15,6 °C	Kg/m <sup>3</sup>	842	842	860-900	890-900	No

En la figura 4.2 se puede observar de manera gráfica los porcentajes obtenidos en los análisis de densidad, se encuentra por debajo del límite establecido por las normas ASTM e INEN. Dicha baja puede ocasionar que disminuya el tiempo de inyección, por lo cual afectará directamente a la combustión (disminución de potencia) y las emisiones contaminantes(aumento).



**Figura 4.2** Comparación gráfica densidad relativa 15,6 °C

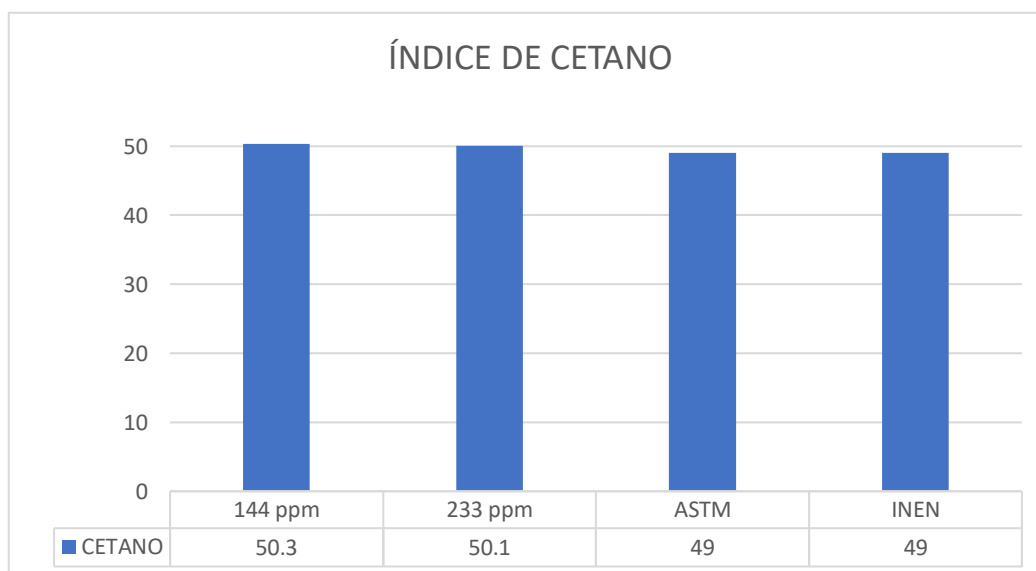
### 4.3.3 ÍNDICE DE CETANO

Los datos obtenidos luego de un análisis de muestras de nanocombustible de ZnO (144-233) ppm, de acuerdo con la norma internacional ASTM y la nacional INEN, muestran que está acorde a los estándares establecidos según la figura 4.4

**Tabla 4.4** Comparación índice de cetano entre el nanocombustible ZnO (144-233) ppm y el Diésel Premium

Ensayo	Unidad	Resultado 144 ppm	Resultado 233 ppm	ASTM	INEN	Estándar de calidad
Índice de Cetano	-	50,3	50,1	49	49	Si

En la figura 4.3 se puede observar de manera gráfica los porcentajes obtenidos en los análisis del índice de cetano, se encuentran por encima de los valores establecidos por las normas ASTM e INEN. Dicho aumento provoca grandes beneficios al motor, reduce el ruido, disminuye el consumo de combustible, reduce considerablemente presiones y temperaturas de combustión.



**Figura 4.3** Comparación gráfica índice de cetano

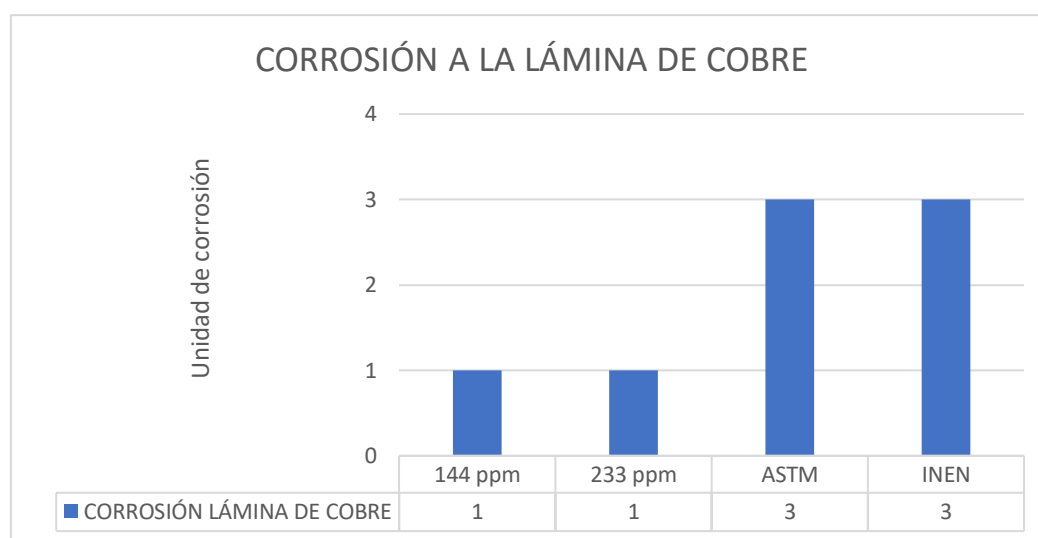
#### 4.3.4 CORROSIÓN LÁMINA DE COBRE

Con respecto a la corrosión a la lámina de cobre los resultados obtenidos de las muestras de los nanocombustibles de ZnO tienen una clasificación 1a y están dentro de los estándares internacionales y naciones, en la norma ASTM e INEN tiene un rango máximo de 3, por tal razón, en la tabla 4.5 muestra que el nanocombustible analizado es de una buena calidad respecto a la corrosión. Este ensayo permite predecir en los motores de combustión interna la acción corrosiva del combustible frente a ciertas aleaciones metálicas del cobre.

**Tabla 4.5** Comparación corrosión lámina de cobre entre el nanocombustible ZnO (144-233) ppm y el Diésel Premium

Ensayo	Unidad	Resultado 144 ppm	Resultado 233 ppm	ASTM	INEN	Estándar de calidad
Corrosión lámina de Cobre	-	1a	1a	Máx. 3	Máx.3	Si

La figura 4.4 presenta mediante la gráfica los resultados del ensayo de la corrosión a la lámina de cobre, y al comparar con las normas ASTM e INEN se puede verificar su aprobación como excelentes combustibles.



**Figura 4.4** Comparación gráfica corrosión a la lámina de cobre

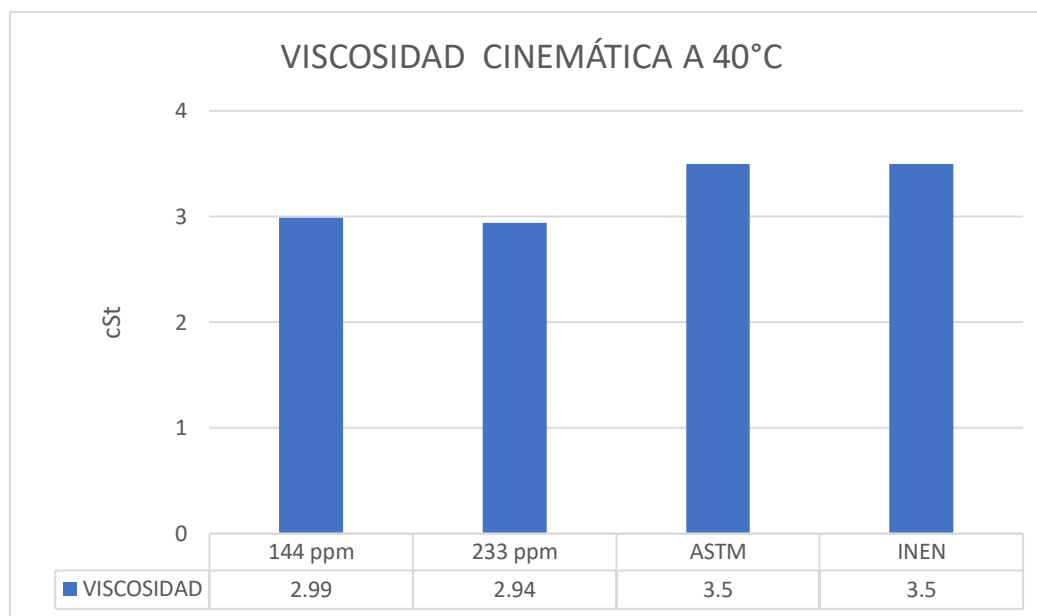
#### 4.3.5 VISCOSIDAD CINEMÁTICA A 40°C

La viscosidad cinemática a 40 °C de acuerdo con la norma internacional ASTM y la norma nacional INEN tiene un rango de 3,5 – 5 cSt. Una vez finalizada las pruebas de los análisis físicoquímicos, en la tabla 4.6 presenta que los resultados son negativos, por lo tanto, no cumplen los estándares de calidad establecidos.

**Tabla 4.6** Comparación viscosidad cinemática a 40°C entre el nanocombustible ZnO (144-233) ppm y el Diésel Premium

Ensayo	Unidad	Resultado 144 ppm	Resultado 233 ppm	ASTM	INEN	Estándar de calidad
Viscosidad cinemática a 40°C	cSt	2,99	2,94	3,5-5	3,5-5	No

En la figura 4.5 se puede observar mediante la gráfica que efectivamente los valores obtenidos de los análisis de la viscosidad cinemática a 40° C de los nanocombustibles de ZnO están por debajo al valor mínimo requerido de 3,5 cSt.



**Figura 4.5** Comparación gráfica viscosidad cinemática a 40 °C

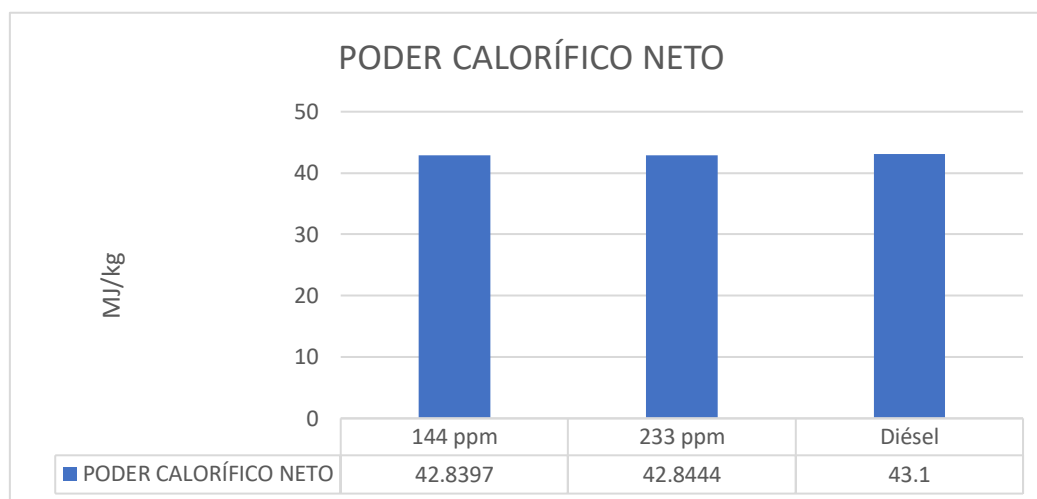
#### 4.3.6 PODER CALORÍFICO NETO ( $\frac{MJ}{kg}$ )

El poder calorífico neto o inferior de los resultados de las pruebas de los nanocombustibles están dentro del rango normal, el diésel tiene un poder calorífico inferior a 43,1 MJ/kg, la cual varía por su composición. En la tabla 4.7 se puede observar que los datos no corresponden a la aprobación de los nanocombustibles con respecto al diésel.

**Tabla 4.7** Comparación poder calorífico neto entre el nanocombustible ZnO (144-233) ppm y el Diésel Premium

Ensayo	Unidad	Resultado 144 ppm	Resultado 233 ppm	Diésel	Estándar de calidad
Poder calorífico neto	MJ/kg	42,8397	42,8444	43,1	No

En la figura 4.6 presenta mediante la gráfica que evidentemente los valores obtenidos de los análisis del poder calorífico de los nanocombustibles de ZnO están por debajo al valor mínimo requerido de 43,1 MJ/kg, con una disminución en el nanocombustible ZnO 144 ppm del 0,60% y en el nanocombustible ZnO 233 ppm del 0,59%.



**Figura 4.6** Comparación gráfica poder calorífico neto

#### **4.4 ANÁLISIS DE LAS PRUEBAS DE POTENCIA Y TORQUE CON DIÉSEL PREMIUM Y NANOCOMBUSTIBLES DE ZnO (144,233 Y 377) PPM**

Los datos de potencia y torque fueron obtenidos mediante las pruebas en el dinamómetro realizados en el taller Automotriz de la Universidad Técnica del Norte, utilizando combustible el diésel Premium y los nanocombustibles de ZnO 144, 233 y 377 ppm con 3 pruebas respectivamente al vehículo Hyundai H-100.

##### **4.4.1 PRUEBA DE POTENCIA Y TORQUE UTILIZANDO DIÉSEL PREMIUM**

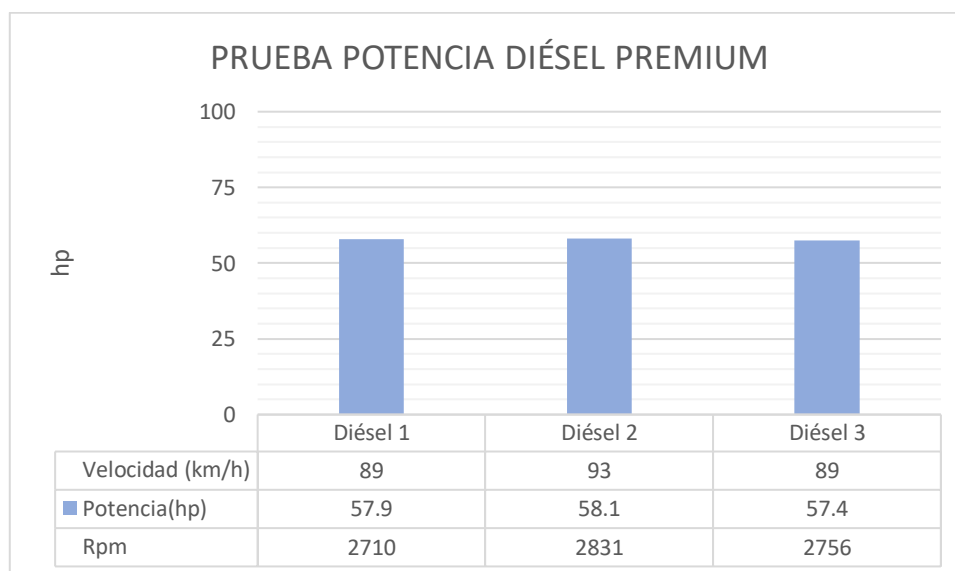
###### **4.4.1.1 Prueba de Potencia**

En la tabla 4.8 se puede observar los valores de potencia máxima, la velocidad y los rpm obtenidos en las 3 pruebas realizadas en el dinamómetro utilizando el diésel Premium, además los valores promedios de los parámetros ya mencionados.

**Tabla 4.8** Datos de la prueba de potencia con diésel Premium

N° de pruebas	Velocidad (km/h)	Potencia(hp)	Rpm
Diésel 1	89	57,9	2710
Diésel 2	93	58,1	2831
Diésel 3	89	57,4	2756
<b>Promedio</b>	<b>90</b>	<b>57,8</b>	<b>2766</b>

Los datos de las 3 pruebas de potencia con la utilización del diésel Premium son los siguientes: en la prueba N° 1 la potencia adquirida fue de 57,9 hp@2710, en la prueba N° 2 la potencia registrada fue de 58,1 hp @ 2831 rpm, siendo esta la máxima potencia obtenida, en la prueba N° 3 la potencia alcanzada fue de 57,4 hp @ 2756 rpm, la cual es la menor potencia conseguida y con un promedio de potencia de 57,8 hp @ 2766 rpm.

**Figura 4.7** Comparación gráfica de la prueba de potencia con diésel Premium

Mediante las barras del gráfico de la figura 4.7 se analizó los datos de las potencias máximas, a la velocidad y revoluciones por minuto de las 3 pruebas realizadas con el diésel Premium, donde podemos visualizar en que número de prueba la potencia máxima se registró.

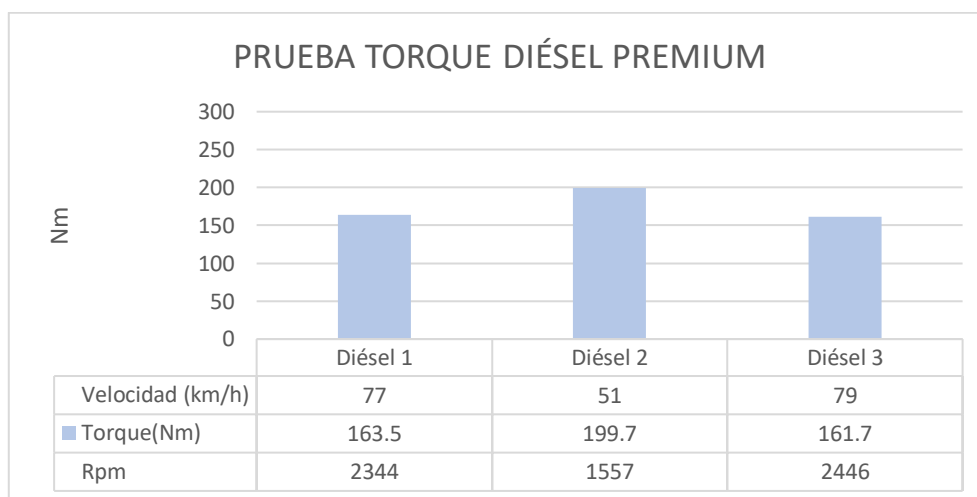
#### 4.4.1.2 Prueba de Torque

En la tabla 4.9 indica los datos recolectados de las 3 pruebas ejecutadas en el dinamómetro con el vehículo a prueba; torque máximo, velocidad y rpm, empleando el diésel Premium, asimismo el resultado de los valores promedios calculados de los parámetros ya indicados.

**Tabla 4.9** Datos de la prueba de torque con diésel Premium

N° de pruebas	Velocidad (km/h)	Torque (Nm)	Rpm
Diésel 1	77	163,5	2344
Diésel 2	51	199,7	1557
Diésel 3	79	161,7	2446
<b>Promedio</b>	<b>69</b>	<b>175</b>	<b>2116</b>

En la prueba N° 1 el torque alcanzo una medición de 163,5 Nm @ 2344 ppm, el torque de la prueba N° 2 fue una medida de 199,7 Nm@1557rpm, el mayor torque registrado y la prueba N° 3 con un torque de 161,7Nm@2446rpm fue el menor torque adquirido. Además, el promedio del torque fue de 175Nm@2116rpm.

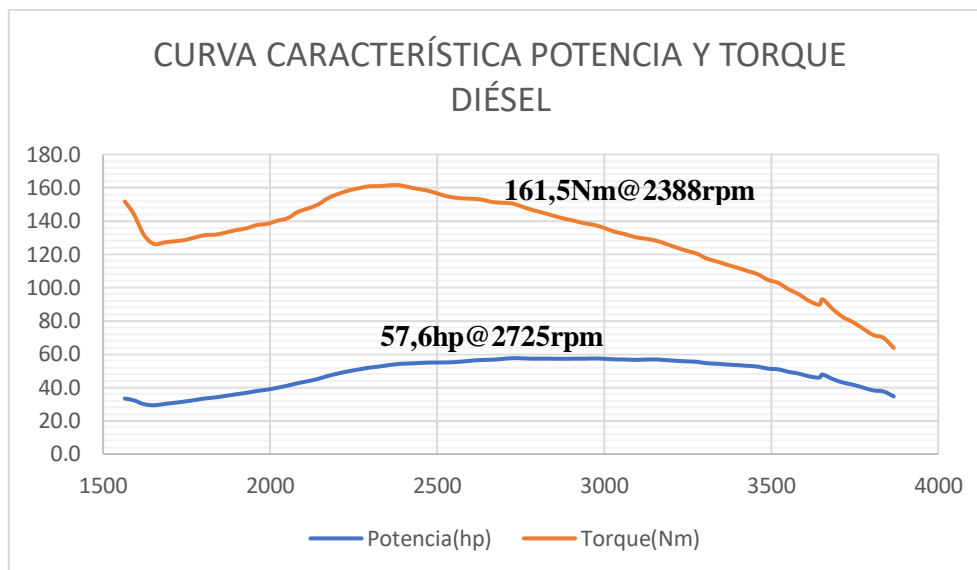
**Figura 4.8** Comparación gráfica de la prueba de torque con diésel Premium

La gráfica 4.8 muestra visualmente mediante las barras de porcentaje los máximos torques logrados en las 3 pruebas a la velocidad y rpm proporcionados, utilizando el diésel Premium.

#### 4.4.1.3 Curva característica de la potencia y torque del Hyundai H-100 con diésel Premium

En la figura 4.9 presenta la gráfica de la curva característica de la potencia y torque de los datos promedios obtenidos mediante las 3 pruebas realizadas al vehículo Hyundai H-100, donde se puede visualizar como trabaja el motor a diferentes revoluciones con diésel Premium.





**Figura 4.9** Curva característica de la potencia y torque con el diésel Premium

La curva característica indica que el diésel Premium generó después de las pruebas un torque máximo de 161,5Nm@2388rpm y una potencia de 57,6hp@2725rpm.

#### 4.4.2 PRUEBA DE POTENCIA Y TORQUE CON NANOCOMBUSTIBLE ZnO 144 PPM

##### 4.4.2.1 Prueba de Potencia

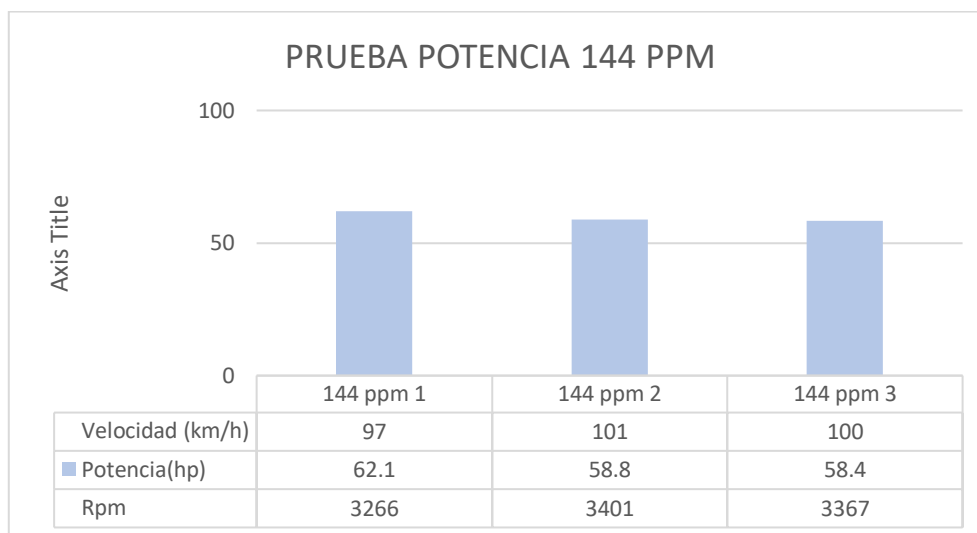
En la tabla 4.10 muestra los valores de potencia máxima, la velocidad y los rpm obtenidos en las 3 pruebas realizadas en el dinamómetro utilizando el nanocombustible ZnO 144 ppm, y también los valores promedios de los parámetros ya mencionados.

**Tabla 4.10** Datos de la prueba de potencia con nanocombustible ZnO 144 ppm

N° de pruebas	Velocidad (km/h)	Potencia(hp)	Rpm
144 ppm 1	97	62,1	3266
144 ppm 2	101	58,8	3401
144 ppm 3	100	58,4	3367
<b>Promedio</b>	<b>99</b>	<b>59,8</b>	<b>3345</b>

Los datos de las 3 pruebas de potencia con el uso del nanocombustible ZnO 144 ppm son los siguientes: en la prueba N° 1 la potencia fue de 62,1 hp@3266 rpm, siendo esta la máxima potencia obtenida, en la prueba N° 2 la potencia fue de 58,8 hp @ 3401 rpm, en la prueba

N° 3 la potencia fue de 58,4 hp @ 3367 rpm, la cual es la menor potencia registrada y con un promedio de potencia de 59,8 hp @ 3345 rpm.



**Figura 4.10** Comparación gráfica de la prueba de potencia con el nanocombustible ZnO 144 ppm

Mediante las barras del gráfico de la figura 4.11 se compara los datos de las potencias máximas, a la velocidad y rpm de las 3 pruebas realizadas con el nanocombustible ZnO 144 ppm, donde podemos visualizar la potencia máxima registrada.

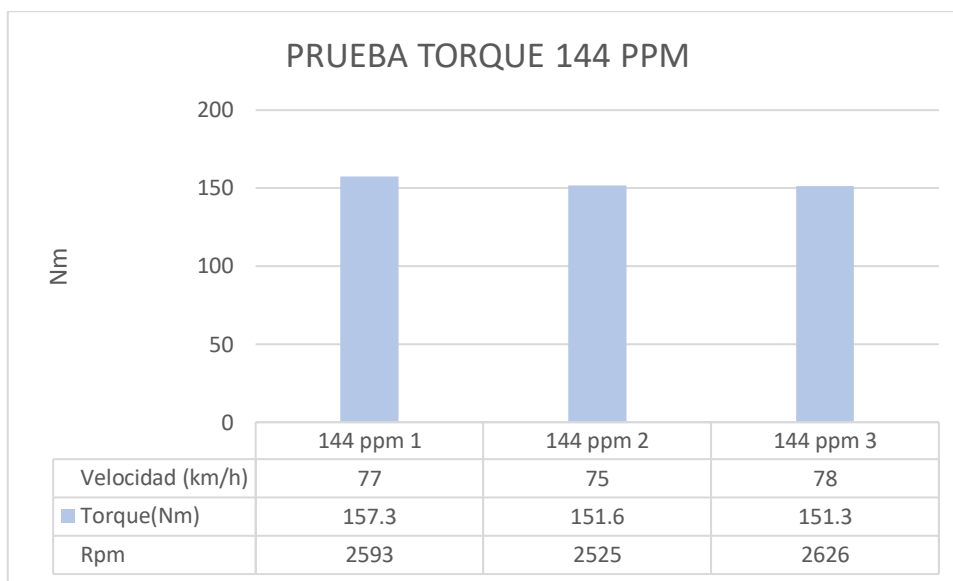
#### 4.4.2.2 Prueba de Torque

En la tabla 4.11 enseña los datos recolectados de las 3 pruebas ejecutadas en el dinamómetro al vehículo a prueba que son; el torque máximo, la velocidad y el rpm, empleando el nanocombustible ZnO 144 ppm, de esta manera se consiguió el resultado de los valores promedios de los parámetros ya indicados.

**Tabla 4.11** Datos de la prueba de torque con nanocombustible ZnO 144 ppm

N° de pruebas	Velocidad (km/h)	Torque (Nm)	Rpm
144 ppm 1	77	157,3	2593
144 ppm 2	75	151,6	2525
144 ppm 3	78	151,3	2626
<b>Promedio</b>	<b>77</b>	<b>153,4</b>	<b>2581</b>

El torque alcanzado de las 3 pruebas son los siguientes; en la prueba N° 1 el torque fue el más alto en relación con los demás con una medición de 157,3 Nm @ 2593 rpm, en la prueba N° 2 la medida del torque fue de 151,6 Nm@2525 rpm, y en la prueba N° 3 con un torque de 151,3Nm@2446rpm, el menor torque adquirido. Además, el promedio del torque fue de 153,4 Nm@2581rpm.

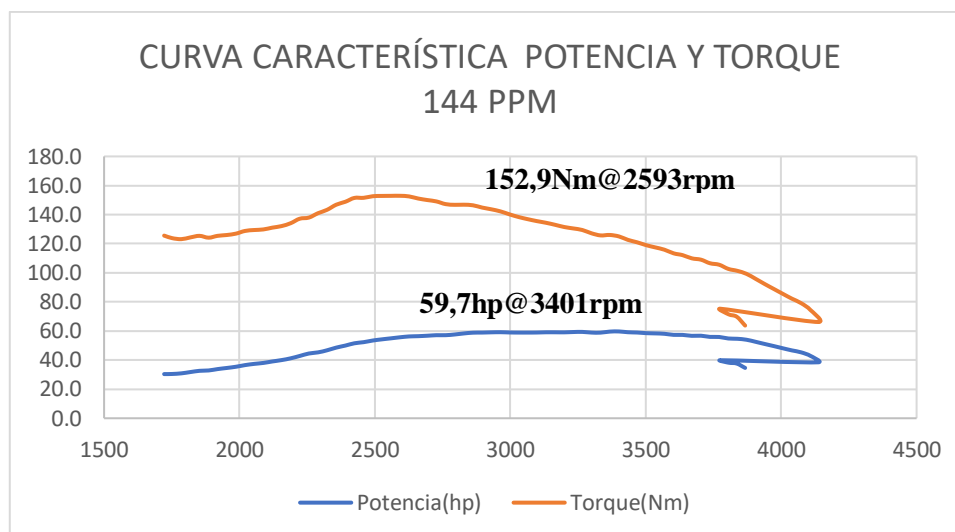


**Figura 4.11** Comparación gráfica de la prueba de torque con el nanocombustible ZnO 144 ppm

La gráfica 4.11 presenta mediante las barras de porcentaje los máximos torques alcanzados en las 3 pruebas a la velocidad y rpm proporcionados, utilizando el nanocombustible ZnO 144 ppm.

#### **4.4.2.3 Curva característica de la potencia y torque del Hyundai H-100 con nanocombustible ZnO 144 ppm**

En la figura 4.12 presenta la gráfica de la curva característica de la potencia y torque de los datos promedios obtenidos mediante las pruebas realizadas al vehículo Hyundai H-100, donde se puede visualizar como trabaja el motor a diferentes revoluciones con nanocombustible ZnO 144 ppm.



**Figura 4.12** Curva característica de la potencia y torque con el nanocombustible ZnO 144 ppm

La curva característica indica que el nanocombustible ZnO 144 ppm generó después de las pruebas un torque máximo de 152,9Nm@2593rpm y una potencia máxima 59,7hp@3401rpm.

#### 4.4.3 PRUEBA DE POTENCIA Y TORQUE CON NANOCOMBUSTIBLE ZnO 233 PPM

##### 4.4.3.1 Prueba de Potencia

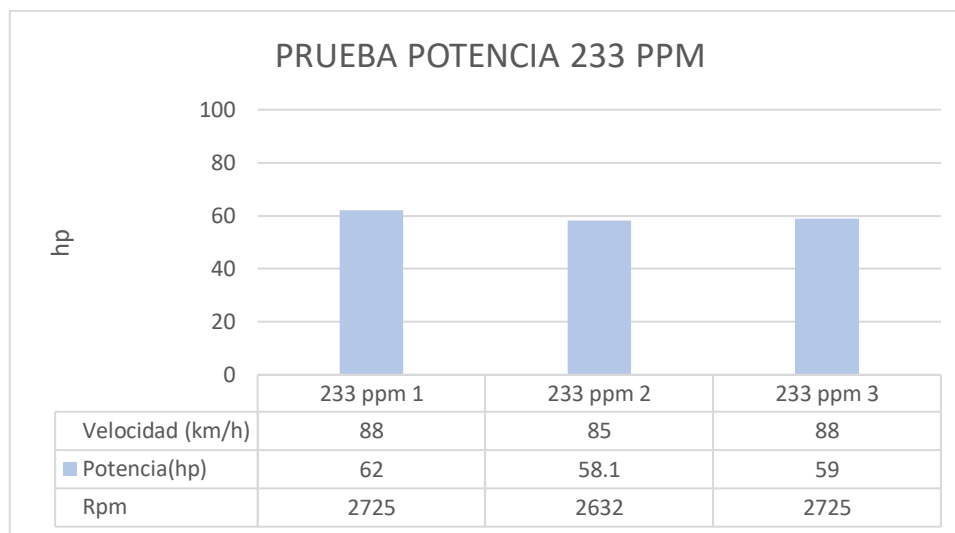
En la tabla 4.12 se puede observar los valores de potencia máxima, la velocidad y los rpm obtenidos en las 3 pruebas realizadas en el dinamómetro utilizando el nanocombustible ZnO 233 ppm, además los valores promedios de los parámetros ya mencionados.

**Tabla 4.12** Datos de la prueba de potencia con nanocombustible ZnO 233 ppm

N° de pruebas	Velocidad (km/h)	Potencia(hp)	Rpm
233 ppm 1	88	62	2725
233 ppm 2	85	58,1	2632
233 ppm 3	88	59	2725
<b>Promedio</b>	<b>87</b>	<b>59,7</b>	<b>2694</b>

Los datos de las 3 pruebas de potencia con el uso del nanocombustible ZnO 233 ppm son los siguientes: en la prueba N° 1 la potencia fue de 62 hp@2725 rpm, siendo esta la máxima

potencia obtenida, en la prueba N° 2 la potencia fue de 58,1 hp @ 2632 rpm, la cual es la menor potencia registrada, en la prueba N° 3 la potencia fue de 59 hp @ 2725 rpm y con un promedio de potencia de 59,7 hp @ 2694 rpm.



**Figura 4.13** Comparación gráfica de la prueba de potencia con el nanocombustible ZnO 233 ppm

Mediante las barras del gráfico de la figura 4.13 se analiza los datos de las potencias máximas, a la velocidad y rpm de las 3 pruebas realizadas con el nanocombustible ZnO 233 ppm, donde podemos visualizar la potencia máxima registrada.

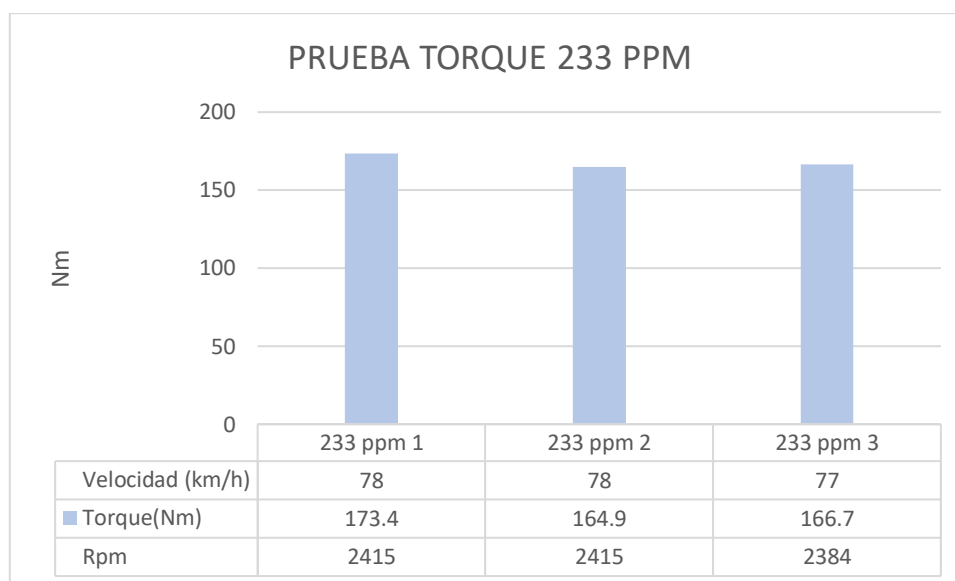
#### 4.4.3.2 Prueba de Torque

En la tabla 4.13 muestra los resultados recolectados de las 3 pruebas hechas en el dinamómetro al vehículo a prueba que son; el torque máximo, la velocidad y el rpm, empleando el nanocombustible ZnO 233 ppm, de esta manera se consiguió el resultado de los valores promedios de los parámetros ya indicados.

**Tabla 4.13** Datos de la prueba de torque con nanocombustible ZnO 233 ppm

N° de pruebas	Velocidad (km/h)	Torque (Nm)	Rpm
233 ppm 1	78	173,4	2415
233 ppm 2	78	164,9	2415
233 ppm 3	77	166,7	2384
<b>Promedio</b>	<b>78</b>	<b>168,3</b>	<b>2405</b>

El torque alcanzado de las 3 pruebas son los siguientes; en la prueba N° 1 el torque fue el más alto en relación con los demás con una medición de 173,4 Nm @ 2415 ppm, en la prueba N° 2 la medida del torque fue de 164,9 Nm@2415 rpm, siendo el menor torque registrado y en la prueba N° 3 con un torque de 166,7 Nm@2384rpm. Además, el promedio del torque fue de 168,3 Nm@2405rpm.

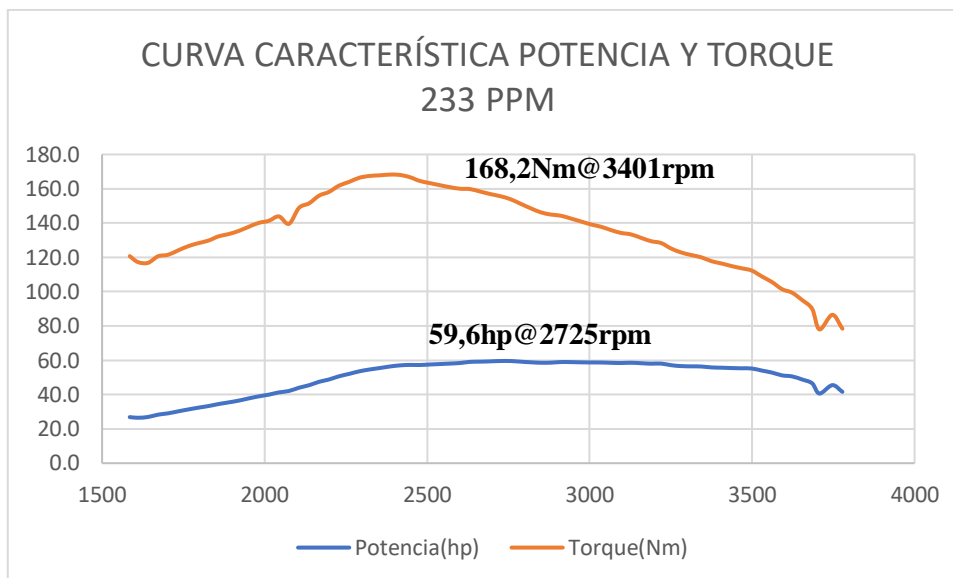


**Figura 4.14** Comparación gráfica de la prueba de torque con el nanocombustible ZnO 233 ppm

La gráfica 4.14 muestra visualmente los máximos torques logrados en las 3 pruebas a la velocidad y rpm proporcionados, utilizando el nanocombustible ZnO 233 ppm.

#### 4.4.3.3 Curva característica de la potencia y torque del Hyundai H-100 con nanocombustible ZnO 233 ppm

En la figura 4.15 presenta la gráfica de la curva característica de la potencia y torque de los datos promedios obtenidos mediante las pruebas realizadas al vehículo Hyundai H-100, donde se puede visualizar como trabaja el motor a diferentes revoluciones con nanocombustible ZnO 233 ppm.



**Figura 4.15** Curva característica de la potencia y torque con el nanocombustible ZnO 233 ppm

La curva característica indica que el nanocombustible ZnO 233 ppm generó después de las pruebas un torque máximo de 168,2Nm@3401rpm y una potencia máxima 59,6hp@2725rpm.

#### 4.4.4 PRUEBA DE POTENCIA Y TORQUE CON NANOCOMBUSTIBLE ZnO 377 PPM

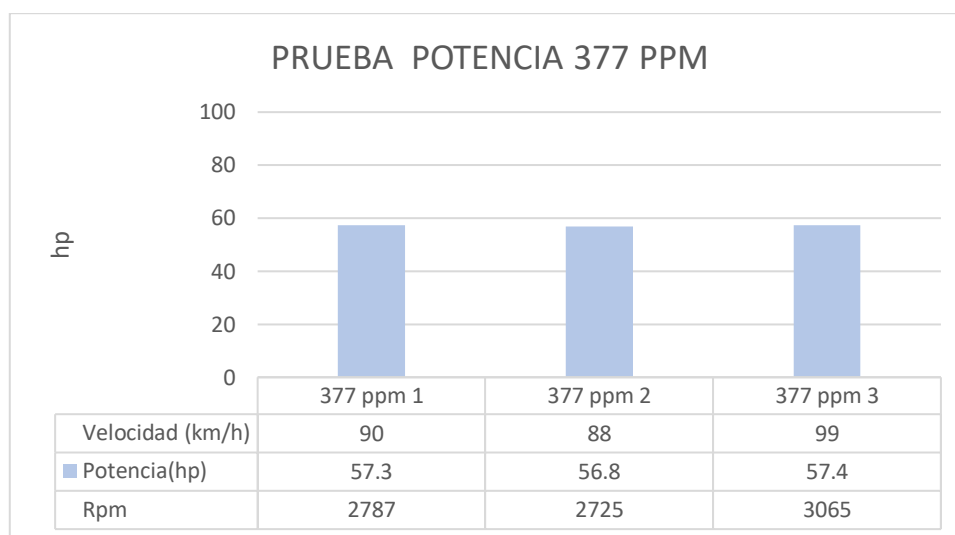
##### 4.4.4.1 Prueba de Potencia

En la tabla 4.14 demuestra los valores de potencia máxima, la velocidad y los rpm obtenidos en las 3 pruebas realizadas en el dinamómetro utilizando el nanocombustible ZnO 377 ppm, y también los valores promedios de los parámetros ya mencionados.

**Tabla 4.14** Datos de la prueba de potencia con nanocombustible ZnO 377 ppm

N° de pruebas	Velocidad (km/h)	Potencia(hp)	Rpm
377 ppm 1	90	57,3	2787
377 ppm 2	88	56,8	2725
377 ppm 3	99	57,4	3065
<b>Promedio</b>	<b>92</b>	<b>57,2</b>	<b>2862</b>

Los datos de las 3 pruebas de potencia con la utilización del nanocombustible ZnO 377 ppm son los siguientes: en la prueba N° 1 la potencia fue de 57,3 hp@2787, en la prueba N° 2 la potencia fue de 56,8 hp @ 2725 rpm, siendo esta la mínima potencia obtenida, en la prueba N° 3 la potencia fue de 57,4 hp @ 3065 rpm, la cual es la mayor potencia registrada y con un promedio de potencia de 57,2 hp @ 2862 rpm.



**Figura 4.16** Comparación gráfica de la prueba de potencia con el nanocombustible ZnO 377 ppm

Mediante las barras del gráfico de la figura 4.16 se analiza los datos de las potencias máximas, a la velocidad y rpm de las 3 pruebas realizadas con el nanocombustible ZnO 377 ppm, donde podemos visualizar la potencia máxima registrada en la prueba N°3 con 57,4 hp.

#### 4.4.4.2 Prueba de Torque

En la tabla 4.15 indica los datos recolectados de las 3 pruebas desarrolladas en el dinamómetro con el vehículo a prueba; torque máximo, velocidad y rpm, utilizando el nanocombustible ZnO 377 ppm, además el resultado de los valores promedios calculados de los parámetros ya indicados.

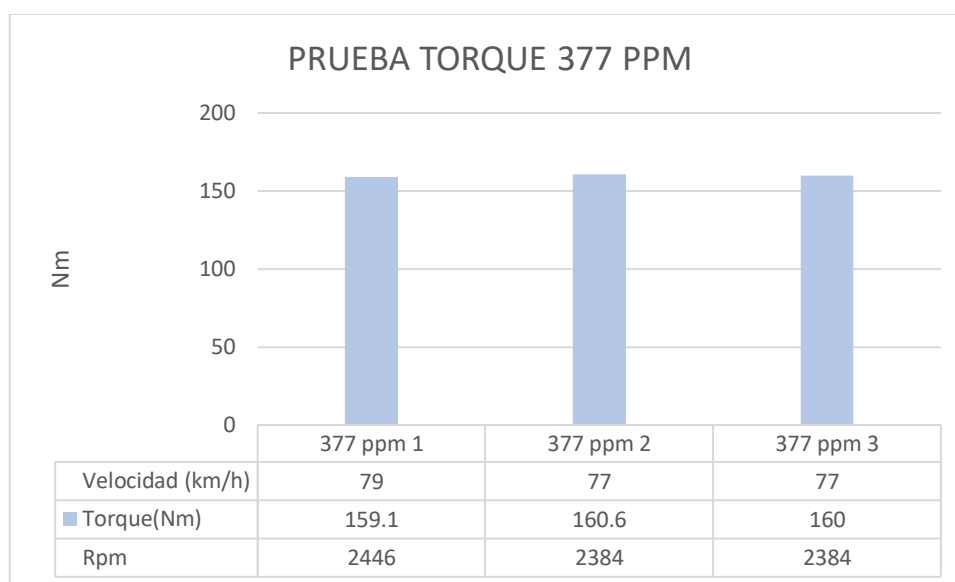
**Tabla 4.15** Datos de la prueba de torque con nanocombustible ZnO 377 ppm

N° de pruebas	Velocidad (km/h)	Torque (Nm)	Rpm
377 ppm 1	79	159,1	2446



377 ppm 2	77	160,6	2384
377 ppm 3	77	160	2384
<b>Promedio</b>	<b>78</b>	<b>159,9</b>	<b>2405</b>

Los resultados de las 3 pruebas en el vehículo Hyundai H-100 para medir el torque fueron los siguientes: en la prueba N° 1 el torque alcanzo la medición mínima de 159,1 Nm @ 2446 ppm, el torque de la prueba N° 2 fue medida máxima registrada de 160,6 Nm@2384rpm, y la prueba N° 3 con un torque de 160Nm@2384pm. Asimismo, el promedio del torque fue de 175Nm@2116rpm.

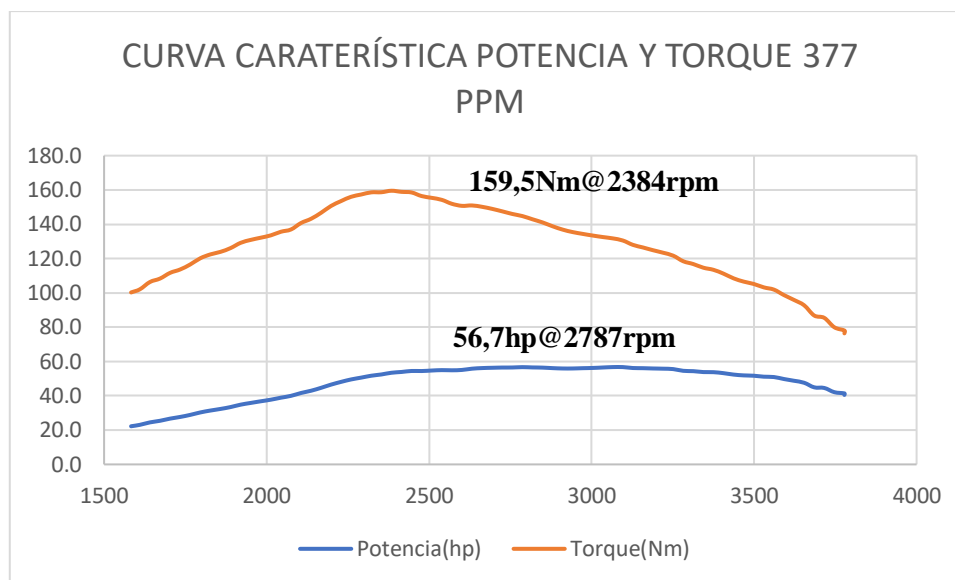


**Figura 4.17** Comparación gráfica de la prueba de torque con el nanocombustible ZnO 377 ppm

La gráfica 4.17 muestra visualmente los máximos torques logrados en las 3 pruebas a la velocidad y rpm proporcionados, utilizando el nanocombustible ZnO 377 ppm. Donde el máximo torque se consiguió en la prueba N° 2 con 160,6 Nm.

#### **4.4.4.3 Curva característica de la potencia y torque del Hyundai H-100 con nanocombustible ZnO 377 ppm**

En la figura 4.18 presenta la gráfica de la curva característica de la potencia y torque de los datos promedios obtenidos mediante las pruebas realizadas al vehículo Hyundai H-100, donde se puede visualizar como trabaja el motor a diferentes revoluciones con nanocombustible ZnO 377 ppm.



**Figura 4.18** Curva característica de la potencia y torque con el nanocombustible ZnO 377 ppm

La curva característica indica que el nanocombustible ZnO 377 ppm genero después de las pruebas un torque máximo de 159,5Nm@2384rpm y una potencia máxima 56,7hp@2787rpm.

#### 4.4.5 COMPARACIÓN DE LA POTENCIA OBTENIDA ENTRE EL DIÉSEL PREMIUM Y LOS NANOCOMBUSTIBLES DE ZnO 144, 233 Y 377 PPM

##### 4.4.5.1 Comparación diésel Premium vs nanocombustible ZnO 144 ppm

En la tabla 4.16 presentan los valores promedios de la potencia obtenida mediante la prueba en el dinamómetro al régimen de revoluciones del vehículo a prueba, en base al combustible diésel Premium y al nanocombustible ZnO 144 ppm.

**Tabla 4.16** Comparación de la prueba de potencia diésel Premium vs nanocombustible ZnO 144 ppm

Parámetros	Diésel Premium	144 ppm	Diferencia	% Aumento	% Disminución
Potencia(hp)	57,8	59,8	+2	3%	---
rpm	2766	3345	+579	21%	---

El uso del nanocombustible ZnO 144 ppm muestra un aumento del 3% de la potencia respecto al diésel Premium de 57,8 hp a 59,8 hp, de igual manera las revoluciones por minuto el nanocombustible ZnO 144 ppm aumento un 21% en relación con el diésel Premium de 2766 rpm a 3345 rpm.

#### 4.4.5.2 Comparación diésel Premium vs nanocombustible ZnO 233 ppm

En la tabla 4. 17 presentan los valores promedios de la potencia obtenida mediante la prueba en el dinamómetro al régimen de revoluciones del vehículo a prueba, en base al combustible diésel Premium y al nanocombustible ZnO 233 ppm.

**Tabla 4.17** Comparación de la prueba de potencia diésel Premium vs nanocombustible ZnO 233 ppm

Parámetros	Diésel Premium	233 ppm	Diferencia	% Aumento	% Disminución
Potencia(hp)	57,8	59,7	+2	3%	---
rpm	2766	2694	-72	---	3%

El uso del nanocombustible ZnO 233 pm muestra un aumento del 3% de la potencia respecto al diésel Premium de 57,8 hp a 59,7 hp, pero las revoluciones por minuto el nanocombustible ZnO 233 ppm disminuyo un 3% en relación con el diésel Premium de 2766 rpm a 2694 rpm.

#### 4.4.5.3 Comparación diésel Premium vs nanocombustible ZnO 377 ppm

En la tabla 4. 18 presentan los valores promedios de la potencia obtenida mediante la prueba en el dinamómetro al régimen de revoluciones del vehículo a prueba, en base al combustible diésel Premium y al nanocombustible ZnO 377 ppm.

**Tabla 4.18** Comparación de la prueba de potencia diésel Premium vs nanocombustible ZnO 377 ppm

Parámetros	Diésel Premium	377 ppm	Diferencia	% Aumento	% Disminución
Potencia(hp)	57,8	57,2	-0.6	---	1%
rpm	2766	2862	+96	3%	---

El uso del nanocombustible ZnO 377 pm muestra una disminución del 1% de la potencia respecto al diésel Premium de 57,8 hp a 57,2 hp, mientras que las revoluciones por minuto el nanocombustible ZnO 377 ppm aumento un 3% en relación con el diésel Premium de 2766 rpm a 2862 rpm.

#### **4.4.6 COMPARACIÓN DEL TORQUE OBTENIDA ENTRE EL DIÉSEL PREMIUM Y LOS NANOCOMBUSTIBLES DE ZnO 144, 233 Y 377 PPM**

##### **4.4.6.1 Comparación Diésel Premium vs Nanocombustible ZnO 144 ppm**

En la tabla 4. 19 presentan los valores promedios del torque obtenidos mediante la prueba en el dinamómetro al régimen de revoluciones del vehículo a prueba, al utilizar el diésel Premium y el nanocombustible ZnO 144 ppm.

**Tabla 4.19** Comparación de la prueba de torque diésel Premium vs nanocombustible ZnO 144 ppm

<b>Parámetros</b>	<b>Diésel Premium</b>	<b>144 ppm</b>	<b>Diferencia</b>	<b>% Aumento</b>	<b>% Disminución</b>
Torque (Nm)	175	151,3	-23,7	---	14%
rpm	2116	2626	+510	24%	---

En las pruebas de torque en el dinamómetro los resultados indicaron que con el uso del nanocombustible ZnO 144 pm hubo una disminución del 14% del torque respecto al diésel Premium de 175 Nm a 151,3 Nm, en cambio las revoluciones por minuto el nanocombustible ZnO 144 ppm aumento un 24% en relación con el diésel Premium de 2116 rpm a 2626 rpm.

##### **4.4.6.2 Comparación Diésel Premium vs Nanocombustible ZnO 233 ppm**

En la tabla 4. 20 presentan los valores promedios del torque obtenidos mediante la prueba en el dinamómetro al régimen de revoluciones del vehículo a prueba, al utilizar el diésel Premium y el nanocombustible ZnO 233 ppm.

**Tabla 4.20** Comparación de la prueba de torque diésel Premium vs nanocombustible ZnO 233 ppm

Parámetros	Diésel Premium	233 ppm	Diferencia	% Aumento	% Disminución
Torque (Nm)	175	168,3	-6,7	---	4%
rpm	2116	2405	+289	14%	---

En las pruebas de torque en el dinamómetro los resultados indicaron que con el uso del nanocombustible ZnO 233 pm hubo una disminución del 4% del torque respecto al diésel Premium de 175 Nm a 168,3 Nm, en cambio las revoluciones por minuto el nanocombustible ZnO 233 ppm aumento un 14% en relación con el diésel Premium de 2116 rpm a 2405 rpm.

#### 4.4.6.3 Comparación Diésel Premium vs Nanocombustible ZnO 377 ppm

En la tabla 4. 21 presentan los valores promedios del torque obtenidos mediante la prueba en el dinamómetro al régimen de revoluciones del vehículo a prueba, al utilizar el diésel Premium y el nanocombustible ZnO 377 ppm.

**Tabla 4.21** Comparación de la prueba de torque diésel Premium vs nanocombustible ZnO 377 ppm

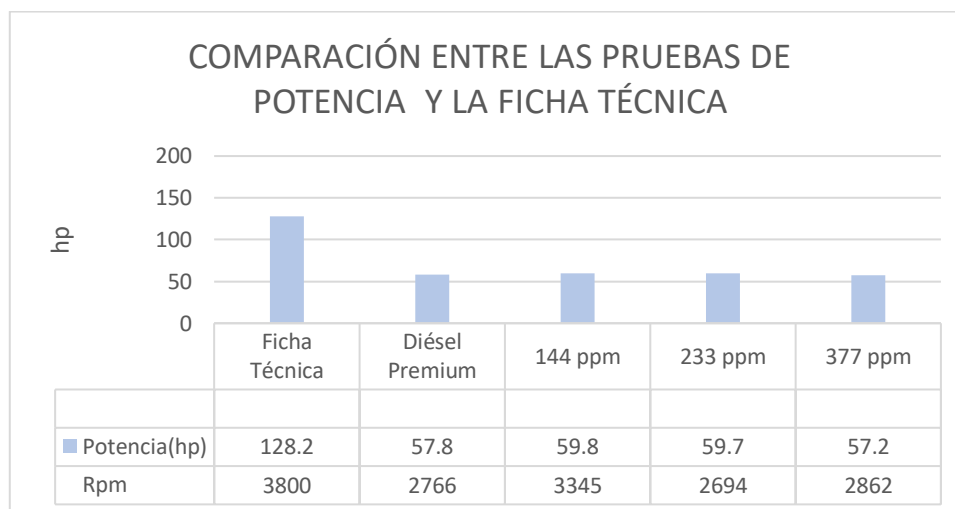
Parámetros	Diésel Premium	377 ppm	Diferencia	% Aumento	% Disminución
Torque (Nm)	175	159,9	-15,1	---	9%
rpm	2116	2405	+289	14%	---

En las pruebas de torque en el dinamómetro los resultados indicaron que con el uso del nanocombustible ZnO 377 pm hubo una disminución del 9% del torque respecto al diésel Premium de 175 Nm a 159,9 Nm, en cambio las revoluciones por minuto el nanocombustible ZnO 377 ppm aumento un 14% en relación con el diésel Premium de 2116 rpm a 2405 rpm.

#### 4.4.7 COMPARACIÓN DE LOS RESULTADOS DE LAS PRUEBAS DE POTENCIA ENTRE EL DIÉSEL PREMIUM VS NANOCOMBUSTIBLES ÓXIDO DE ZINC (144,233 Y 377) PPM VS FICHA TÉCNICA

En la figura 4.19 muestra los datos obtenidos en las pruebas de potencia del vehículo Hyundai H-100 utilizando diésel Premium y los nanocombustibles ZnO, donde se puede

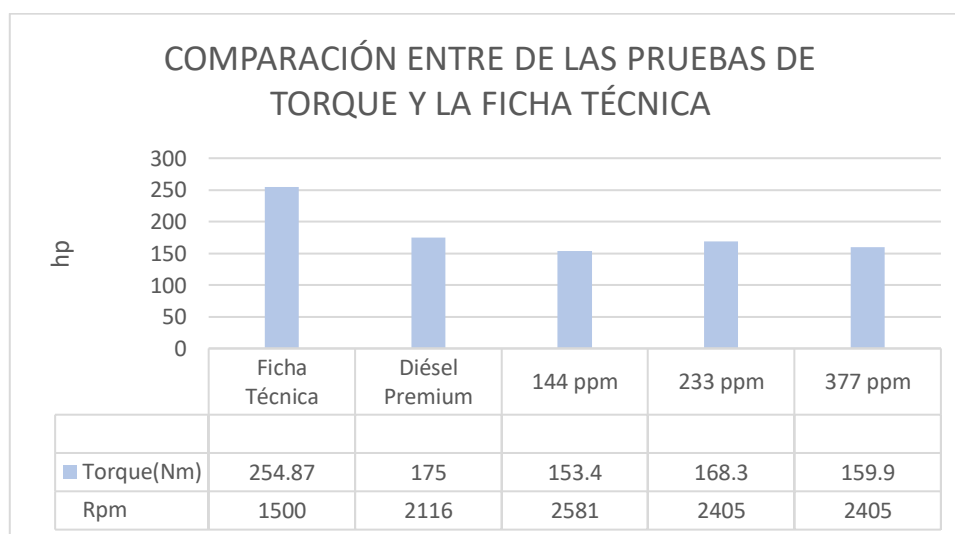
observar que los resultados han disminuido en comparación a los valores originales de la ficha técnica del vehículo.



**Figura 4.19** Comparación gráfica de las pruebas de potencia y la ficha técnica

#### 4.4.8 COMPARACIÓN DE LOS RESULTADOS DE LAS PRUEBAS DEL TORQUE ENTRE EL DIÉSEL PREMIUM VS NANOCOMBUSTIBLES ÓXIDO DE ZINC (144,233 Y 377) PPM VS FICHA TÉCNICA

En la figura 4.20 muestra los datos obtenidos en las pruebas del torque del vehículo Hyundai H-100 utilizando diésel Premium y los nanocombustibles ZnO, los cuales presenta una disminución considerable respecto a los valores de la ficha técnica del vehículo.



**Figura 4.20** Comparación gráfica de las pruebas de torque y la ficha técnica

## 4.5 ANÁLISIS DE LA PRUEBAS DE EMISIONES DE GASES CON DIÉSEL PREMIUM Y NANOCOMBUSTIBLES DE ZnO (144,233 Y 377) PPM

Al finalizar las pruebas de potencia y torque, con el analizador de gases de escape AGS-688 se procede a analizar y comparar los resultados de los gases de escape del Hyundai H-100 del diésel Premium con los nanocombustibles de ZnO (144,233 y 377) ppm, a 800, 1500 y 2500 Rpm, con 3 repeticiones respectivamente. Los límites máximos permitidos de emisiones de gases contaminantes para el desarrollo de esta investigación mediante pruebas estáticas fueron tomados de la normativa mexicana (NOM-167-SEMARNAT-2017), dentro de la investigación se los tomó como valores referenciales ya que se utilizan para vehículos con motor de combustión interna de encendido provocado (MEP), valores que se ven reflejados en la tabla 2.5.

### 4.5.1 ANÁLISIS DE LA PRUEBA DE MONÓXIDO DE CARBONO

#### 4.5.1.1 Análisis de la prueba de monóxido de carbono (144 ppm)

Se analizan y se compara los resultados de la prueba de emisiones de gases en el vehículo Hyundi-H100, con el diésel Premium y el nanocombustible de ZnO 144 ppm, a distintas revoluciones del motor. En la tabla 4.22, se puede apreciar los valores promedios de las 3 pruebas realizadas, con estos valores se pudo establecer el aumento o disminución del CO al añadir nanopartículas de ZnO.

**Tabla 4.22** Datos obtenidos del CO diésel Premium y nanocombustible de ZnO 144 ppm

Rpm	Diésel Premium	Nanocombustible de ZnO 144 ppm	Diferencia	Disminución %	Aumento%
800	0,076	0,092	+0,016	---	21%
1500	0,074	0,026	-0,048	35%	---
2500	0,051	0,036	-0,015	29%	---

Respecto a la prueba realizada a 800 rpm, el nanocombustible ZnO 144 ppm aumento un 21% de CO respecto al diésel Premium, en las pruebas a 1500 y 2500 rpm el CO registro una disminución del 35% y 29% respectivamente.

#### 4.5.1.2 Análisis de la prueba de monóxido de carbono (233 ppm)

Mediante las 3 pruebas desarrolladas de gases de escape del diésel Premium y el nanocombustible de ZnO 233ppm, en la tabla 4.23 se analiza los datos promedios obtenidos respecto a las emisiones del CO efectuadas al vehículo Hyundai H-100, los mismos que permiten evaluar el aumento o disminución del CO.

**Tabla 4.23** Datos obtenidos del CO diésel Premium y nanocombustible de ZnO 233 ppm

Rpm	Diésel Premium	Nanocombustible de ZnO 233 ppm	Diferencia	Disminución %	Aumento%
800	0,076	0,098	+0,022	---	29%
1500	0,074	0,026	-0,048	35%	---
2500	0,051	0,043	-0,008	16%	---

El nanocombustible de ZnO 233 ppm presenta un aumento a 800 rpm de 29% de CO respecto al Diésel Premium, y una disminución de CO a 1500 y 2500 rpm de 35% y 16% respectivamente.

#### 4.5.1.3 Análisis de la prueba de monóxido de carbono (377 ppm)

Los datos promedios obtenidos de la prueba de CO se presentan en la tabla 4.24, con las pruebas y método establecidos a diferentes regímenes de giro del banco motor, los cuales permiten valorar el aumento o disminución del CO entre el diésel Premium y nanocombustible de ZnO 377 ppm.

**Tabla 4.24** Datos obtenidos del CO diésel Premium y nanocombustible de ZnO 377 ppm

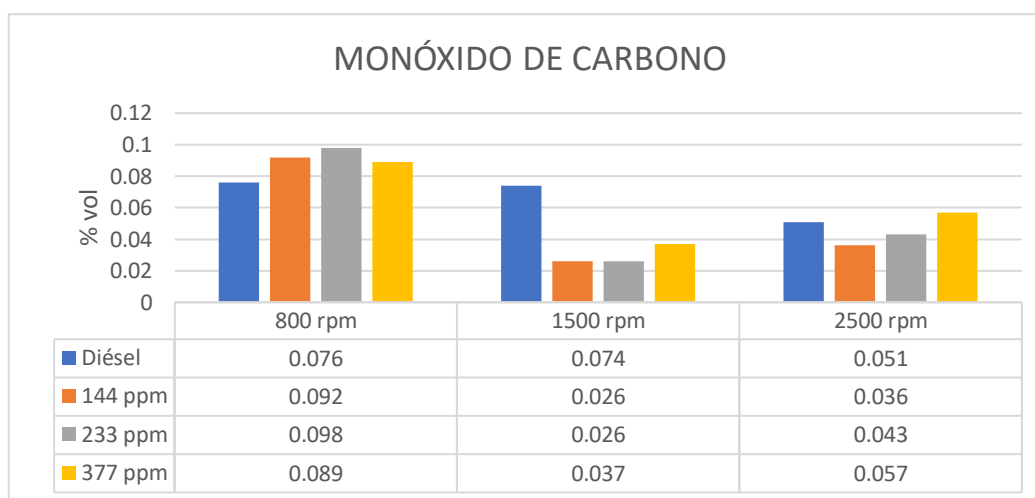
Rpm	Diésel Premium	Nanocombustible de ZnO 377 ppm	Diferencia	Disminución %	Aumento%
800	0,076	0,089	+0,013	---	21%
1500	0,074	0,037	-0,037	50%	---
2500	0,051	0,057	+0,006	---	12%

Las pruebas de diésel Premium y nanocombustible de ZnO 377 ppm obtuvieron los siguientes resultados, un aumento de CO de 21% y 12% a 800 rpm y 2500 rpm respectivamente, y una disminución de CO de 50 % a 1500 rpm.



#### 4.5.1.4 Comparación de los resultados de las pruebas de monóxido de carbono entre diésel Premium y las nanocombustibles de ZnO (144,233 y 377) ppm

Una vez realizada las pruebas de emisiones de gases de escape se procede a analizar mediante la figura 4.21, la cantidad de % Vol. CO de los valores promedios de las mediciones a las diferentes revoluciones 800, 1500 y 2500 rpm del diésel Premium y nanocombustibles 144, 233 y 377 ppm.



**Figura 4.21** Comparación gráfica del CO de los todos resultados obtenidos

Todos los datos obtenidos de la prueba de emisión de gases de escape del CO, se obtuvieron mediante 3 pruebas con las mismas condiciones, para un régimen de 800 rpm muestra un aumento en comparación al resultado del diésel Premium, para 1500 rpm hay una disminución de CO y a 2500 rpm hay una disminución con 144 y 233 ppm, y un aumento con 377 ppm, además se puede observar que el mayor valor registrado es del nanocombustible de ZnO 233 ppm con 0,098 % Vol. CO a 800 rpm y el menor valor es de los nanocombustible de ZnO de 144 y 233 ppm con 0,026% Vol. CO a 1500 rpm.

Basándose en las normativas mexicanas, empleando únicamente diésel Premium que se comercializa en la Ciudad @ 800 rpm se obtuvo un promedio de 0,076 %, este valor se encuentra fuera del rango establecido, el cual se encuentra con un máximo de 0,06% a ralentí.

- Al añadir 144 ppm de nanopartículas de ZnO al diésel Premium se obtuvo un valor de 0,092%, es decir un incremento de 0,016 %.
- Al añadir 233 ppm de nanopartículas de ZnO al diésel Premium se obtuvo un valor de

0,098%, es decir un incremento de 0,022 %.

- Al añadir 377 ppm de nanopartículas de ZnO al diésel Premium se obtuvo un valor de 0,092%, es decir un incremento de 0,012 %.

Empleando únicamente diésel Premium @ 2500 rpm se obtuvo un promedio de 0,051 %, este valor se encuentra en el rango establecido por las normativas antes mencionadas.

- Al añadir 144 ppm de nanopartículas de ZnO al diésel Premium se obtuvo un valor de 0,036%, es decir un decremento de 0,015 %.
- Al añadir 233 ppm de nanopartículas de ZnO al diésel Premium se obtuvo un valor de 0,043%, es decir un decremento de 0,008 %.
- Al añadir 377 ppm de nanopartículas de ZnO al diésel Premium se obtuvo un valor de 0,057%, es decir un incremento de 0,006 %.
- A un régimen de 2500 rpm, el mejor resultado se obtuvo con la adición de 144 ppm de nanopartículas de ZnO, obteniendo una merma del 29,41%.

## 4.5.2 ANÁLISIS DE LA PRUEBA DE DIÓXIDO DE CARBONO

### 4.5.2.1 Análisis de la prueba de dióxido de carbono (144 ppm)

Las pruebas de los gases de escape de CO<sub>2</sub> producidos por el vehículo Hyundai H-100, mediante el analizador de gases mostraron los siguientes datos que a continuación la tabla 4.25 presenta, con el diésel Premium y el nanocombustible ZnO de 144 ppm, la diferencia entre ellos se obtuvo mediante los promedios de las 3 pruebas realizadas a diferentes rangos de velocidades de 800, 1500 y 2500 rpm, para verificar aumento o disminución de CO<sub>2</sub> en las emisiones de gases.

**Tabla 4.25** Datos obtenidos del CO<sub>2</sub> diésel Premium y nanocombustible de ZnO 144 ppm

Rpm	Diésel Premium	Nanocombustible de ZnO 144 ppm	Diferencia	Disminución %	Aumento%
800	3,2	3,3	+0,1	---	3%
1500	3,2	3,2	0	---	---
2500	4,2	4,0	-0,2	5%	---

Según los datos proporcionados por la prueba de emisiones de gases de CO<sub>2</sub>, muestran que a 800 rpm existe un aumento de 3% de CO<sub>2</sub> del nanocombustible de ZnO 144 ppm respecto al diésel Premium, a 1500 rpm no existen ninguna diferencia su resultado es igual y a 2500 rpm existe una disminución del 5% de CO<sub>2</sub>.

#### 4.5.2.2 Análisis de la prueba de dióxido de carbono (233 ppm)

Mediante las 3 pruebas realizadas en el vehículo Hyundai H-100 a diferentes revoluciones, se obtienen los promedios concernientes a CO<sub>2</sub> mediante el analizador de gases utilizando diésel Premium y nanocombustible de ZnO 233 ppm, a continuación, la tabla 4.26 muestra los valores que permite determinar el aumento o disminución de emisiones de gases de CO<sub>2</sub> entre los diferentes tipos de combustible.

**Tabla 4.26** Datos obtenidos del CO<sub>2</sub> diésel Premium y nanocombustible de ZnO 233 ppm

Rpm	Diésel Premium	Nanocombustible de ZnO 233 ppm	Diferencia	Disminución %	Aumento%
800	3,2	3,2	0	---	---
1500	3,2	3,2	0	---	---
2500	4,2	4,0	-0,2	5%	---

Los resultados del nanocombustible de ZnO 233 ppm no son favorables a 800 y 1500 rpm respecto al diésel Premium, no existen ninguna variedad en sus porcentajes de CO<sub>2</sub>, en cambio la prueba a 2500 rpm presenta una disminución del 5 % de CO<sub>2</sub>.

#### 4.5.2.3 Análisis de la prueba de dióxido de carbono (377 ppm)

El análisis del CO<sub>2</sub> se procede a realizar una vez finalizada las 3 pruebas de emisiones del vehículo Hyundai H-100 a diferentes revoluciones, con diésel Premium y el nanocombustible ZnO 377 ppm, los valores promedios como se indica en la tabla 4.27 ayudan a evaluar el aumento o disminución del CO<sub>2</sub> al añadir nanopartículas de ZnO.

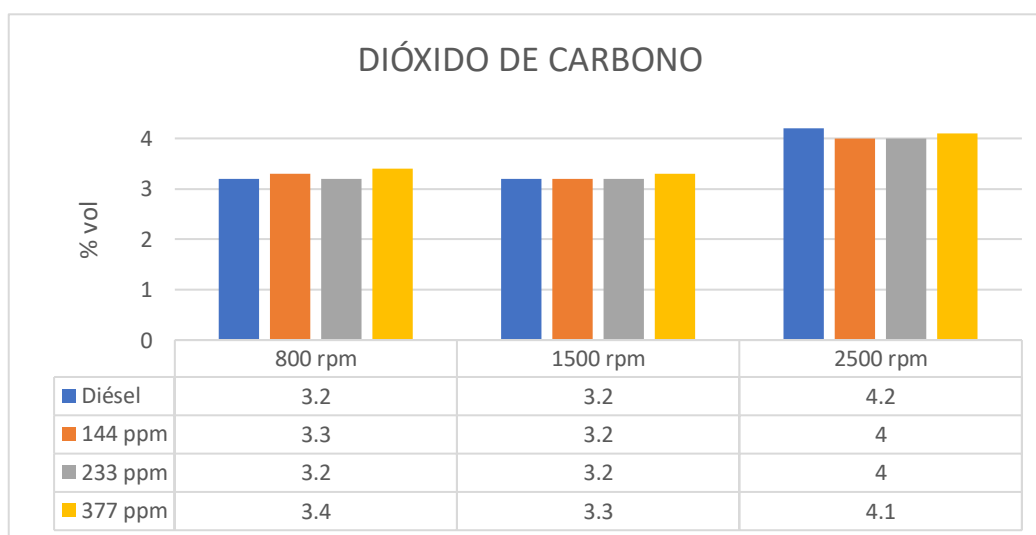
**Tabla 4.27** Datos obtenidos del CO<sub>2</sub> diésel Premium y nanocombustible de ZnO 377 ppm

Rpm	Diésel Premium	Nanocombustible de ZnO 377 ppm	Diferencia	Disminución %	Aumento%
800	3,2	3,4	+0,2	---	6%
1500	3,2	3,3	+0,1	---	3%
2500	4,2	4,1	-0,1	4%	---

Según los datos adquiridos en la prueba de emisiones el CO<sub>2</sub> a 800 y 1500 rpm presenta un aumento del 6 % y 3 % respectivamente al añadir nanopartículas de ZnO 377 ppm y una disminución del 4 % a 2500 rpm.

#### 4.5.2.4 Comparación de los resultados de las pruebas de dióxido de carbono entre diésel Premium y las nanocombustibles de ZnO (144,233 y 377) ppm

Mediante el analizador de gases se obtuvieron los siguientes resultados que serán analizados en la figura 4.22 de todas las pruebas de emisiones del CO<sub>2</sub> a las distintas mezclas del Diésel con las nanopartículas de ZnO a 144, 233 y 377 ppm, cuyos valores están representados en % Vol. CO<sub>2</sub>.

**Figura 4.22** Comparación gráfica del CO<sub>2</sub> de los todos resultados obtenidos

Las emisiones de gases CO<sub>2</sub> se obtuvieron mediante 3 pruebas, para un régimen de 800 rpm el porcentaje de % Vol.CO<sub>2</sub> no presento un aumento significativo al añadir nanopartículas de ZnO con el resultado del diésel Premium, el mayor aumento registrado fue el nanocombustible 377 ppm 3,4%Vol.CO<sub>2</sub>, para 1500 rpm los datos de igual manera no

aumento el porcentaje del volumen del CO<sub>2</sub>, siendo el nanocombustible de 277 ppm 3,3% Vol.CO<sub>2</sub> el de mayor porcentaje y a 2500 rpm hay una disminución mínimo en los tres tipos de nanocombustibles, donde los nanocombustible (144-233)ppm fueron los que registraron una mayor disminución.

### 4.5.3 ANÁLISIS DE LA PRUEBA DE HIDROCARBUROS

#### 4.5.3.1 Análisis de la prueba de hidrocarburos (144 ppm)

El análisis y la comparación de los resultados de la prueba de emisiones de gases en el vehículo Hyundai-H100, entre el diésel Premium y el nanocombustible de ZnO 144 ppm, a distintas revoluciones del motor permite establecer el aumento o disminución del HC, en la tabla 4.28, se puede apreciar los valores promedios de las 3 pruebas realizadas.

**Tabla 4.28** Datos obtenidos del HC diésel Premium y nanocombustible de ZnO 144 ppm

Rpm	Diésel Premium	Nanocombustible de ZnO 144 ppm	Diferencia	Disminución %	Aumento%
800	14,7	15,0	+0,3	---	2%
1500	22,7	3,3	-19,4	86%	---
2500	5,0	8,0	+3,0	---	63%

Respecto a la prueba realizada a 800 rpm, el nanocombustible ZnO 144 ppm aumento un 2% de HC, a 1500 rpm registro una disminución del 86% y a 2500 rpm el HC aumento un 63%, con relación al diésel Premium

#### 4.5.3.2 Análisis de la prueba de hidrocarburos (233 ppm)

Mediante las 3 pruebas desarrolladas de gases de escape del diésel Premium y el nanocombustible de ZnO 233ppm, en la tabla 4.29 se analiza los datos promedios obtenidos respecto a las emisiones del HC realizadas al vehículo Hyundai H-100, los mismos que permiten evaluar el aumento o disminución del HC.

**Tabla 4.29** Datos obtenidos del HC diésel Premium y nanocombustible de ZnO 233 ppm

Rpm	Diésel Premium	Nanocombustible de ZnO 233 ppm	Diferencia	Disminución %	Aumento%
800	14,7	16,7	+2,0	---	14%
1500	22,7	13,0	-9,7	43%	---
2500	5,0	11,3	+6,3	---	126%

El nanocombustible de ZnO 233 ppm presenta un aumento a 800 rpm de 14% de HC, una disminución de 43% de HC a 1500 rpm y a 2500 rpm hay un aumento considerable de 126%, con respecto al Diésel Premium.

#### 4.5.3.3 Análisis de la prueba de hidrocarburos (377 ppm)

Los datos promedios obtenidos de la prueba emisiones de gases respecto al HC se presentan en la tabla 4.30, con las pruebas y método establecidos a diferentes regímenes de giro del motor, los cuales permiten valorar el aumento o disminución del HC entre el diésel Premium y nanocombustible de ZnO 377 ppm.

**Tabla 4.30** Datos obtenidos del HC diésel Premium y nanocombustible de ZnO 377 ppm

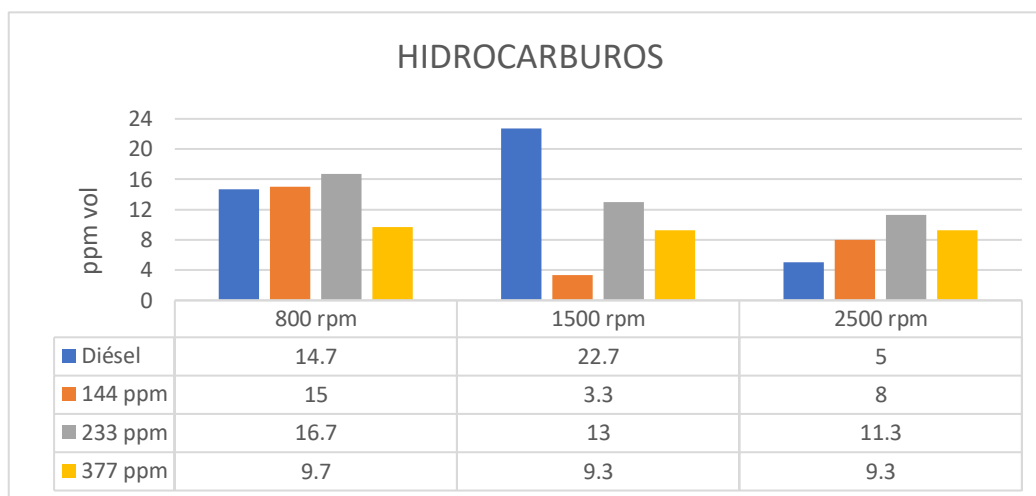
Rpm	Diésel Premium	Nanocombustible de ZnO 377 ppm	Diferencia	Disminución %	Aumento%
800	14,7	9,7	-5,0	36%	---
1500	22,7	9,3	-13,4	59%	---
2500	5,0	9,3	+4,3	---	86%

Los resultados de las pruebas de diésel Premium y nanocombustible de ZnO 377 ppm son; existió una disminución del HC a 800 rpm del 36%, a 1500 rpm del 59% de HC y a 2500 rpm presento un aumento del 86%.

#### 4.5.3.4 Comparación de los resultados de las pruebas hidrocarburos entre diésel Premium y las nanocombustibles de ZnO (144,233 y 377) ppm

Una vez realizada las pruebas de emisiones de gases de escape se procede a comparar mediante la figura 4.23, la cantidad de % Vol. HC de los valores promedios de las

mediciones a las diferentes revoluciones 800, 1500 y 2500 rpm del diésel Premium y nanocombustibles 144, 233 y 377 ppm.



**Figura 4.23** Comparación gráfica del HC de los todos resultados obtenidos

Las emisiones de gases HC se obtuvieron mediante 3 pruebas, para un régimen de 800 rpm el diésel Premium es de 14,7ppm Vol. HC, el cual presenta un aumento significativo en los nanocombustibles de 144ppm (15ppmVol. HC) y 233 ppm (16,7ppmVol. HC) y una disminución en el nanocombustible de 377 ppm (9, 7ppmVol.HC), a 1500 rpm al comparar con el valor de ppm Vol. diésel Premium de 22,7, existen una disminución en los 3 nanocombustibles, con 144ppm (3,3ppmVol. HC), con 233 ppm (13ppmVol. HC) y con 377 ppm (9,3ppmVol. HC) y a 2500 rpm hay un aumento en los 3 tipos de nanocombustibles con respecto al valor del diésel Premium 14,7ppm Vol. HC; a 144ppm (8ppmVol. HC), a 233 ppm (11,3ppmVol. HC) y con 377 ppm (9,3ppmVol. HC).

Según las normativas mexicanas @ 800 rpm contemplan un rango de 1 a 12,28 ppm de HC a ralentí, al emplear diésel Premium se obtuvo un valor de 14,7 ppm, superando el rango máximo establecido.

- Al añadir 144 ppm de nanopartículas de ZnO al diésel Premium se obtuvo un valor de 15 ppm, obteniendo un incremento de 0,3 ppm.
- Al añadir 233 ppm de nanopartículas de ZnO al diésel Premium se obtuvo un valor de 16,7 ppm, obteniendo un incremento de 2 ppm.
- Al añadir 377 ppm de nanopartículas de ZnO al diésel Premium se obtuvo un valor de

9,7 ppm, obteniendo un decremento de 5 ppm.

Con 2500 rpm contemplan un rango de 0 a 14,75 ppm de HC a 2500 rpm, al emplear diésel Premium se obtuvo un valor de 5 ppm, el cual se encuentra dentro de los rangos establecidos.

- Al añadir 144 ppm de nanopartículas de ZnO al diésel Premium se obtuvo un valor de 8 ppm, obteniendo un incremento de 3 ppm.
- Al añadir 233 ppm de nanopartículas de ZnO al diésel Premium se obtuvo un valor de 11,3 ppm, obteniendo un incremento de 6,3 ppm.
- Al añadir 377 ppm de nanopartículas de ZnO al diésel Premium se obtuvo un valor de 9,3 ppm, obteniendo un incremento de 4,3 ppm.

#### 4.5.4 ANÁLISIS DE LA PRUEBA DE OXÍGENO

##### 4.5.4.1 Análisis de la prueba de oxígeno (144 ppm)

Los resultados adquiridos mediante las pruebas de los gases de escape del O<sub>2</sub> producidas por el vehículo Hyundai H-100 son presentados en la tabla 4.31, los cuales se registró con el uso del diésel Premium y el nanocombustible ZnO de 144 ppm a diferentes rangos de velocidades de 800, 1500 y 2500 rpm, para verificar aumento o disminución de O<sub>2</sub> en las emisiones de gases.

**Tabla 4.31** Datos obtenidos del O<sub>2</sub> diésel Premium y nanocombustible de ZnO 144 ppm

Rpm	Diésel Premium	Nanocombustible de ZnO 144 ppm	Diferencia	Disminución %	Aumento%
800	16,68	16,54	-0,14	1%	---
1500	16,69	16,71	+0,02	---	0,12%
2500	15,52	15,59	+0,07	---	0,45%

Según los datos recolectados por la prueba de emisiones de gases de O<sub>2</sub>, muestran que a 800 rpm existe una disminución del 1% de O<sub>2</sub> del nanocombustible de ZnO 144 ppm respecto al diésel Premium, a 1500 y 2500 rpm existe un aumento de 12 y 0,45% respectivamente.



#### 4.5.4.2 Análisis de la prueba de oxígeno (233 ppm)

Mediante las 3 pruebas realizadas en el vehículo Hyundai H-100 a diferentes revoluciones, se obtienen los promedios referentes al O<sub>2</sub> mediante el analizador de gases utilizando diésel Premium y nanocombustible de ZnO 233 ppm, a continuación, la tabla 4.32 muestra los valores que permite determinar el aumento o disminución de emisiones de gases de O<sub>2</sub> entre los diferentes tipos de combustible.

**Tabla 4.32** Datos obtenidos del O<sub>2</sub> diésel Premium y nanocombustible de ZnO 233 ppm

Rpm	Diésel Premium	Nanocombustible de ZnO 233 ppm	Diferencia	Disminución %	Aumento%
800	16,68	16,5	+0,18	1,1%	---
1500	16,69	16,69	0	---	---
2500	15,52	15,53	+0,01	---	0,1%

Los resultados del nanocombustible de ZnO 233 ppm a 800 rpm es una disminución del 1,1%, a 1500 rpm no presenta ningún cambio y a 2500 rpm muestra un aumento muy pequeño de 0,1 %, todos estos datos respecto al diésel Premium.

#### 4.5.4.3 Análisis de la prueba de oxígeno (377 ppm)

Los datos de las pruebas de emisiones del O<sub>2</sub> al vehículo Hyundai H-100 se obtuvo gracias a las 3 pruebas con el analizador de gases a diferentes revoluciones, con el manejo del diésel Premium y el nanocombustible ZnO 377 ppm, los valores promedios como se indica en la tabla 4.33 ayudan a valorar el aumento o disminución del O<sub>2</sub> al añadir nanopartículas de ZnO.

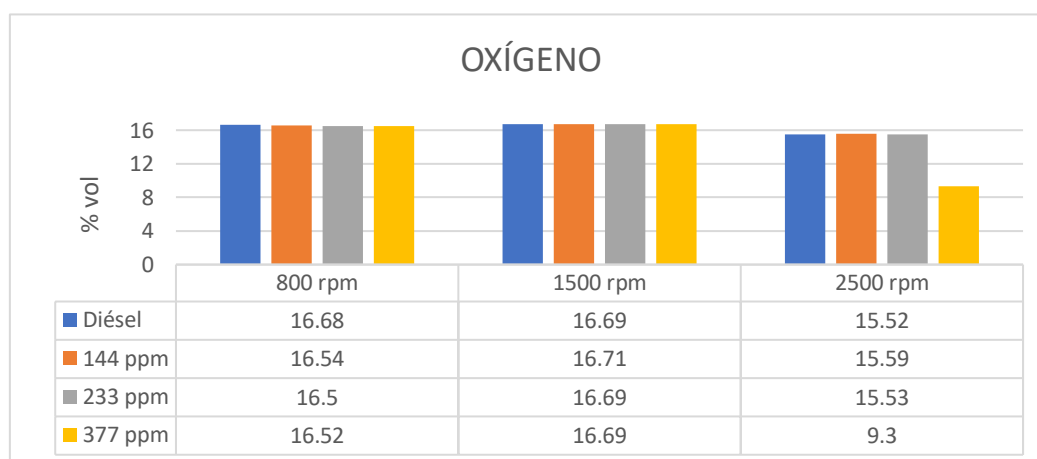
**Tabla 4.33** Datos obtenidos del O<sub>2</sub> diésel Premium y nanocombustible de ZnO 377 ppm

Rpm	Diésel Premium	Nanocombustible de ZnO 377 ppm	Diferencia	Disminución %	Aumento%
800	16,68	16,52	-0,16	1%	---
1500	16,69	16,69	0	---	---
2500	15,52	15,71	+0,19	---	1,2%

Según los datos adquiridos en la prueba de emisiones del O<sub>2</sub>, muestra que a 800 rpm tiene una disminución de 1 %, a 1500 rpm no presenta ningún cambio y a 3500 rpm hay un aumento de 1,2 %, todas estas comparaciones respecto al diésel Premium.

#### 4.5.4.4 Comparación de los resultados de las pruebas oxígeno entre diésel Premium y las nanocombustibles de ZnO (144,233 y 377) ppm

Mediante el analizador de gases se obtuvieron los siguientes resultados que serán analizados en la figura 4.24 de todas las pruebas de emisiones del O<sub>2</sub> a las distintas mezclas del Diésel con las nanopartículas de ZnO a 144, 233 y 377 ppm, cuyos valores están representados en % Vol. O<sub>2</sub>.



**Figura 4.24** Comparación gráfica del O<sub>2</sub> de los todos resultados obtenidos

Todos los datos de la prueba de emisión de gases de escape del O<sub>2</sub> se lograron mediante 3 pruebas con las mismas condiciones de trabajo, para un régimen de 800 rpm muestra una disminución en los 3 tipos de nanocombustibles ZnO con respecto al diésel Premium de 16,68 % Vol. O<sub>2</sub>, con 144 ppm aumento a 16,54 % Vol. O<sub>2</sub>, con 233 ppm ascendió a 16,5% Vol. O<sub>2</sub>, y con 377 ppm subió a 16,52 % Vol. O<sub>2</sub>, para 1500 rpm solo hay aumento con el nanocombustible de 144 ppm de 16,71% Vol. O<sub>2</sub> y con (233-377)ppm comparándolos con el valor de 16,69% Vol. O<sub>2</sub> del diésel Premium se mantuvo igual y a 2500 rpm hay aumento con 144ppm(15,59% Vol. O<sub>2</sub>) y con 233 ppm(15,53% Vol. O<sub>2</sub>), y una disminución con 377 ppm(9,3% Vol. O<sub>2</sub>), todos estos datos en relación con el resultado de diésel Premium (15,52% Vol. O<sub>2</sub>).

## 4.5.5 ANÁLISIS DE LA PRUEBA DE OXÍGENO DE NITRÓGENO

### 4.5.5.1 Análisis de la prueba de oxígeno de nitrógeno (144 ppm)

Los resultados de la prueba de emisiones de gases en el vehículo Hyundi-H100, con el diésel Premium y el nanocombustible de ZnO 144 ppm, a distintas revoluciones del motor. En la tabla 4.34 se puede apreciar los valores promedios de las 3 pruebas realizadas, con estos valores se pudo establecer el aumento o disminución del NOx al añadir nanopartículas de ZnO.

**Tabla 4.34** Datos obtenidos del NOx diésel Premium y nanocombustible de ZnO 144 ppm

Rpm	Diésel Premium	Nanocombustible de ZnO 144ppm	Diferencia	Disminución %	Aumento%
800	48,3	56,0	+7,7	---	16%
1500	45,0	77,7	+32,7	---	73%
2500	45,3	58,3	+13	---	29%

Respecto a la prueba realizada a 800 rpm el nanocombustible ZnO 144 ppm aumento un 16% de NOx respecto al diésel Premium, en las pruebas a 1500rpm nos muestra un aumento cuyo valor es el más grande obtenido con 73% y a 2500 rpm el NOx registro un aumento del 29%.

### 4.5.5.2 Análisis de la prueba de oxígeno de nitrógeno (233 ppm)

Mediante las 3 pruebas desarrolladas de gases de escape del diésel Premium y el nanocombustible de ZnO 233ppm, en la tabla 4.35 se analiza los datos promedios obtenidos respecto a las emisiones del NOx efectuadas al vehículo Hyundai H-100, los mismos que permiten evaluar el aumento o disminución del NOx.

**Tabla 4.35** Datos obtenidos del NOx diésel Premium y nanocombustible de ZnO 233 ppm

Rpm	Diésel Premium	Nanocombustible de ZnO 233 ppm	Diferencia	Disminución %	Aumento%
800	48,3	54,3	+6	---	12%
1500	45,0	68,7	+23,7	---	53%
2500	45,3	48,7	+3,4	---	8%

El nanocombustible de ZnO 233 ppm presenta un aumento a 800 rpm de 29% de NOx respecto al Diésel Premium, a 1500 rpm hubo un aumento del 53% de NOx y finalmente a 2500 rpm también existe un aumento del 8% de NOx.

#### 4.5.5.3 Análisis de la prueba de oxígeno de nitrógeno (377 ppm)

Los datos promedios obtenidos de la prueba de NOx se muestran en la tabla 4.36 con las pruebas y método establecidos a diferentes regímenes de giro del banco motor, los cuales permiten valorar el aumento o disminución del NOx entre el diésel Premium y nanocombustible de ZnO 377 ppm.

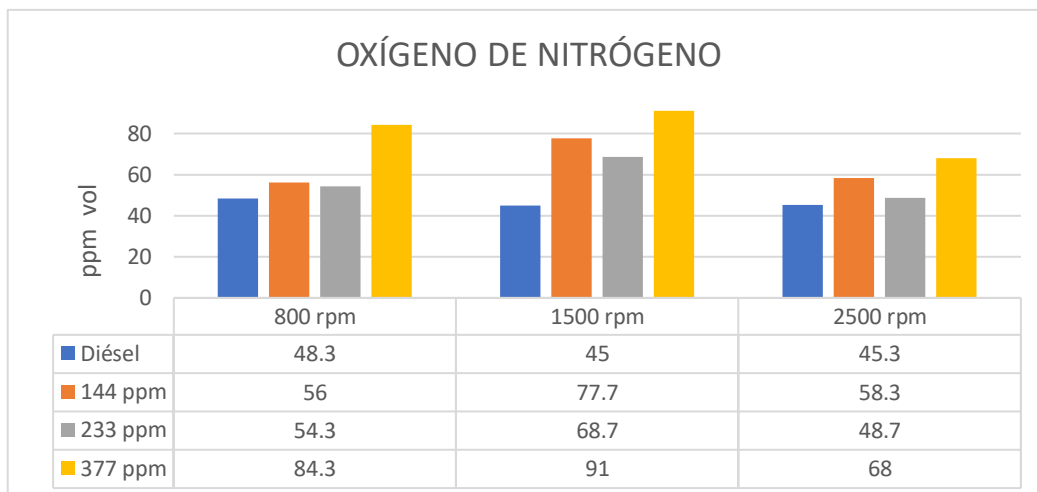
**Tabla 4.36** Datos obtenidos del NOx diésel Premium y nanocombustible de ZnO 377 ppm

Rpm	Diésel Premium	Nanocombustible de ZnO 377 ppm	Diferencia	Disminución %	Aumento%
800	48,3	84,3	+36	---	75%
1500	45,0	91,0	+46	---	102,2%
2500	45,3	68,0	+22,7	---	50%

Las pruebas de diésel Premium y nanocombustible de ZnO 377 ppm con respecto al NOx fueron los siguientes; existe un aumento al comparar con el diésel Premium en las 3 pruebas realizadas a 800 rpm 75%, a 1500 rpm 102,2% y a 2500 rpm 50%.

#### 4.5.5.4 Comparación de los resultados de las pruebas oxígeno de nitrógeno entre diésel Premium y las nanocombustibles de ZnO (144,233 y 377) ppm

Una vez realizada las pruebas de emisiones de gases de escape se procede a analizar mediante la figura 4.25, la cantidad de ppm Vol. NOx de los valores promedios de las mediciones a las diferentes revoluciones 800, 1500 y 2500 rpm del diésel Premium y los nanocombustibles 144, 233 y 377 ppm.



**Figura 4.25** Comparación gráfica del NOx de los todos resultados obtenidos

Las emisiones de gases NOx se consiguieron mediante 3 pruebas a (800-1500-2500)rpm, para un régimen de 800 rpm el porcentaje de ppm Vol.CO<sub>2</sub> presento un aumento al añadir nanopartículas de ZnO al diésel Premium en las 3 mezclas, donde se determinó que el mayor porcentaje obtenido fue el nanocombustible de 377 ppm con 84,3 ppm Vol. NOx, con 1500 rpm los datos de igual manera aumentaron el porcentaje de ppm del NOx, siendo el nanocombustible de 377 ppm el mayor porcentaje registrado, aumento a 91 ppm Vol. NOx y finalmente a 2500 rpm hay un aumento en los tres tipos de nanocombustibles en relación con el diésel 45,3 ppm Vol. NOx, y también el nanocombustible con 377 ppm obtuvo el aumento más alto a 68 ppm Vol. NOx.

Mediante las normativas mexicanas @ 800 rpm se contemplan un rango de 122 a 172,51 ppm de NOx a ralentí, en el cual al emplear diésel Premium se obtuvo un valor de 158,3 ppm, con estos datos se puede establecer los siguiente:

- Al añadir 144 ppm de nanopartículas de ZnO al diésel Premium se obtuvo un valor de 166 ppm, obteniendo un incremento de 7,7 ppm.
- Al añadir 233 ppm de nanopartículas de ZnO al diésel Premium se obtuvo un valor de 164,3 ppm, obteniendo un incremento de 6 ppm.
- Al añadir 377 ppm de nanopartículas de ZnO al diésel Premium se obtuvo un valor de 194,3 ppm, obteniendo un incremento de 36 ppm.

En cambio, a 2500 rpm contemplan un rango de 77 a 90,74 ppm de NOx, al emplear diésel Premium se obtuvo un valor de 91,3 ppm, y al comparar con los resultados de los nanocombustibles se puede contemplar lo siguiente:

- Al añadir 144 ppm de nanopartículas de ZnO al diésel Premium se obtuvo un valor de 104,3 ppm, obteniendo un incremento de 13 ppm.
- Al añadir 233 ppm de nanopartículas de ZnO al diésel Premium se obtuvo un valor de 94,6 ppm, obteniendo un incremento de 3,3 ppm.
- Al añadir 377 ppm de nanopartículas de ZnO al diésel Premium se obtuvo un valor de 114 ppm, obteniendo un incremento de 22,7 ppm.

#### **4.6 ANÁLISIS DE LA PRUEBAS DE OPACIDAD CON DIÉSEL PREMIUM Y NANOCOMBUTIBLES DE ZnO (144,233 Y 377) PPM**

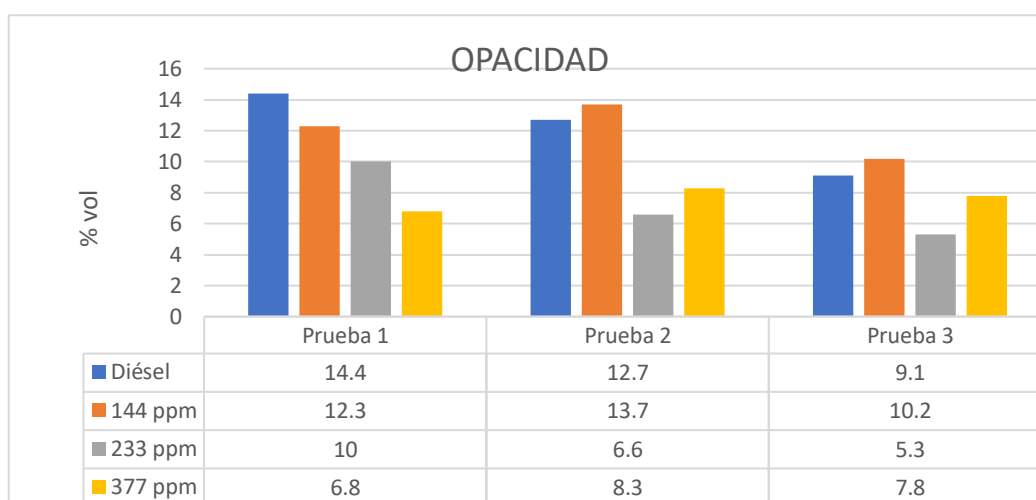
Los resultados de las pruebas de opacidad del diésel Premium y los nanocombustibles de ZnO 144,233 y 377 ppm se realizaron 3 pruebas con un rango de revoluciones de 2800 a 3200 rpm al vehículo Hyundai H-100, a continuación, la tabla 4.37 indica los promedios de los datos de la prueba de opacidad los cuales muestran una disminución favorable de los nanocombustibles de ZnO con respecto al Diésel Premium.

**Tabla 4.37** Resultados de las pruebas de opacidad

<b>Ensayos</b>	<b>Diésel</b>	<b>144 ppm</b>	<b>233 ppm</b>	<b>377 ppm</b>
Prueba 1	14,4	12,3	10	6,8
Prueba 2	12,7	13,7	6,6	8,3
Prueba 3	9,1	10,2	5,3	7,8
<b>Promedio</b>	12,1	12,1	7,3	7,6

- El promedio de las pruebas realizadas con diésel Premium arrojó valores de 12,1%
- Con la adición de 144 ppm de nanopartículas de ZnO se obtuvo 12,1%.
- Con la adición de 233 ppm de nanopartículas de ZnO se obtuvo 7,3%.
- Finalmente, con la adición de 377 ppm se obtuvo 7,6%

Como se puede observar en la figura 4.26 las barras del gráfico en la prueba 1, el diésel Premium tiene el mayor porcentaje en opacidad con 14,4% el cual es el mayor valor de los datos promedios de las pruebas de opacidad y el nanocombustible de ZnO 377 ppm tiene el menor porcentaje de opacidad, en la prueba 2 el nanocombustible de ZnO 144 ppm tiene un volumen superior a los demás con 13,7 % y el nanocombustible de ZnO 233 ppm el menor volumen con 6,6% y en la prueba 3 el nanocombustible de ZnO 144 ppm tiene el mayor valor de opacidad con 10,2% y el valor menor es el nanocombustible de ZnO 233 ppm con 5,3% siendo este el menor valor promedio obtenido de todas las pruebas de opacidad realizadas.



**Figura 4.26** Comparación gráfica de los datos de las pruebas de opacidad

## CAPÍTULO V

### 5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 5.1 5.1 CONCLUSIONES

- Las nanopartículas ZnO importadas para verificar su morfología y tamaño fueron caracterizadas mediante el método Microscopia Electrónica de Barrido (MEB), cuyos resultados obtenidos comprobaron que efectivamente la medida del producto especificado era el correcto.
- A partir de las nanopartículas de ZnO se produjo el proceso de preparación del nanocombustible ZnO, mediante los métodos de dispersión, mezcla y baño ultrasónico, y en comparación con otros métodos de preparación de nanocombustibles realizados en otras investigaciones, se determina que el nanocombustible ZnO obtenido fue de una buena calidad, mediante el análisis comparativo de las propiedades físicas y químicas del nanocombustible ZnO de 144 y 233 ppm, basándose en la norma internacional ASTM y la norma nacional INEN, se determina que, de las seis pruebas realizadas, cinco están acorde a los estándares de calidad y solo una está por debajo del rango permitidos por dichas normas.
- En la relación a las pruebas de rendimiento del motor en la prueba del torque, existe una disminución de los resultados del par promedios determinados del diésel Premium con los nanocombustibles ZnO elaborados, con el nanocombustible 144 ppm -14 %, el nanocombustible 233 ppm -4 % y el nanocombustible 377 ppm -9 % respecto al diésel Premium con 175 Nm @ 2116 rpm. Esta disminución del par es generada por el cambio en las propiedades del nanocombustible (densidad, viscosidad y poder calorífico) al añadir nanopartículas de ZnO al diésel Premium y en la prueba de potencia el nanocombustible ZnO tiene una pequeña mejoría que el diésel Premium en dos de las tres mezclas, alcanzando un aumento del 3% en el nanocombustible ZnO 144 ppm y en el nanocombustible ZnO 233 ppm, mientras con el nanocombustible 377 ppm presenta una disminución mínima del 1%.



- Los rangos obtenidos de los gases de escape y la opacidad, según la normativa mexicana en las emisiones de CO a un régimen de 2500 rpm, el mejor resultado se obtuvo con la adición de 144 ppm de nanopartículas de ZnO, obteniendo una merma del 29,41%, en las emisiones HC los resultados más viables se obtuvieron con la adición de 377 ppm de nanopartículas de ZnO, reflejando una disminución del 34,01% frente al uso de diésel Premium y finalmente en las emisiones de NOx con la adición de 144 y 233 ppm se incrementan los NOx, pero se mantienen en los rangos establecidos por la normativa, cosa que no ocurre al añadir 377 ppm de nanopartículas de ZnO al diésel Premium y según la normativa ecuatoriana INEN, al comparar los resultados promedios sobre la prueba de opacidad utilizando nanocombustibles ZnO y el diésel Premium, todos los valores están dentro de lo que establece la normativa, el mejor resultado se encuentra con la adición de 233 ppm de nanopartículas de ZnO al diésel Premium, obteniendo una disminución del 39,67% en la prueba de aceleración libre.

## 5.2 5.2 RECOMENDACIONES

- Con la finalidad de verificar que las nanopartículas ZnO adquiridas, cumplan con las especificaciones detalladas por la empresa, se recomienda realizar la caracterización, si bien en el Ecuador no posee aun con microscopios acordes a las medidas tan pequeñas como son los nanómetros, la búsqueda de otros métodos de caracterización ayudaran a establecer una comparación razonable.
- Con base en los resultados obtenidos del análisis fisicoquímico del nanocombustible ZnO, la adición de nanopartículas de ZnO se muestra como una buena alternativa para la mejora del combustible diésel Premium, sin embargo, para optimizar los beneficios de las nanopartículas se recomienda diseñar, adquirir y aplicar equipos de mayor eficiencia para obtener mejores periodos de trabajo de los procesos de dispersión, mezcla y baño ultrasónico.
- Realizar pruebas de rendimiento, emisiones de gases y opacidad, con nanocombustibles con mayores concentraciones de nanopartículas, para verificar si producirán mejores resultados en el rendimiento y en la reducción de emisiones.

- Es recomendable impulsar la investigación sobre la producción de nanopartículas basado en óxidos metálicos para viabilizar la fabricación de nanocombustibles acordes a la investigación que se plantee, los cuales permitan minimizar gastos.

## REFERENCIAS

1. Aquino, P., Osorio, A. M., Ninána, E., & Torres, F. (2018). Caracterización de nanopartículas de ZnO sintetizadas por el método de precipitación y su evaluación en la incorporación en pinturas esmalte. *Soc Quím Perú.*, 5-17.
2. ASTM D613. (31 de Diciembre de 2010). AENOR. Obtenido de ARNOR: <https://www.en.aenor.com/normas-y-libros/buscador-de-normas/astm?c=063879>
3. ASTM INTERNATIONAL. (s.f.). *ASTM International Helping our world work better.* Obtenido de ASTM International Helping our world work better: <https://www.astm.org/DATABASE.CART/HISTORICAL/D240-17-SP.htm>
4. Ávila Avelino, A. A. (2016). Estudio e implementación del dinamómetro de chasis modelo x tracción 2 ruedas del fabricante DYNOCOM. *Trabajo de titulación previo a la obtención de título de Ingeniero en mecánica automotriz.* Universidad Internacional del Ecuador, Guayaquil.
5. Benavides Guayara, D. E. (2017). Estudio del efecto de nanoaditivos sobre la eficiencia de combustión del diésel y la eficiencia neta de una fuente fija de combustión. *Ingeniería.* Escuela Politécnica Nacional, Quito.
6. Brain Bee. (s.f.). *OPA-100 Opacímetro para motor diésel.* Parma: Brain Bee Automotive.
7. Carvajal , A. M., & Imbaquingo, J. (14 de 03 de 2018). Calidad del diésel mejora, pero la norma todavía es permisiva en Quito. *El Comercio*, pág. 1.
8. Castillo Calderón , J. D., Rojas Reinos , E., & Martínez Coral, J. E. (2017). Determinación del Torque y Potencia de un Motor de Combustión Interna a Gasolina Mediante el Uso de Bujía con Sensor de Presión Adaptado y Aplicación de un Modelo Matemático. *Revista Politécnica*, 1-9.
9. Cioffi, N., & Rai, M. (2012). *Nano-Antimicrobials.* Madrid: Springer.
10. Díaz Campoverde, C. (2007). Obtención de nanopartículas mediante el método de precipitación controlada: Caracterización e incorporación en matrices termoestables. *Tesis previa a la obtención del grado de Magíster. En materiales, diseño y producción.* Escuela Politécnica Nacional, Quito.
11. Erazo López, J. E. (2016). Análisis del comportamiento de un motor de combustión interna a gasolina de 4 cilindros 1800 cc del vehículo Chevrolet Optra Limited. *Obtención de título Ingeniero mecánico automotriz.* Universidad Internacional SEK, Quito.

12. Gan, Y., & Qiao, L. (2011). Combustion Characteristics of Fuel Droplets with Addition of Nano and Micron-Sized Aluminum Particles. *Combustion and Flame*, 354.
13. Hossain, A. K., & Hussain, A. (2019). Impact of Nanoadditives on the Performance and Combustion Characteristics of Neat Jatropha Biodiesel. *Energies*, 1-16.
14. Hyundai. (s.f.). *H100 Truck GLS*. Buenos Aires: Hyundai Motor Argentina S.A.
15. Instituto Ecuatoriano de Normalización. (2005). *Producto de Petróleo. Determinación del punto de inflamación en vaso cerrado(Pensky-Martens)*. Quito: Petroleum Products. Test methods for flash point by Pensky Martens closed cup tester.
16. Instituto Ecuatoriano de Normalización. (2013). *Productos de petróleo. Determinación de la viscosidad cinemática y dinámica en líquidos transparentes y opacos*. Quito: Petroleum products. Test method for kinematic viscosity and calculation dynamic viscosity.
17. Instituto Ecuatoriano de Normalización. (2013). *Productos derivados de petróleo. Determinación de la densidad API por el método del hidrómetro*. Quito: Petroleum products. Test method for API gravity. Hydrometer method.
18. Kumar Sharma, A., Sharma, A., Ahmad, N., & Wasi, K. (2016). Zinc Oxide Nanoparticle Fuel Additives for Improved Efficiency and Emissions. *Advanced Science, Engineering and Medicine*, 1-5.
19. Llumitasig Calvopiña, M. J., & Soledispa Proaño, H. M. (2017). Caracterización energética del biodiesel obtenido por transesterificación a partir de materia orgánica y su influencia como aditivo en el rendimiento mecánico del motor del vehículo mazda BT-50. *Trabajo de titulación previo a la obtención del título de Ingeniero automotriz*. Escuela Politécnica del Ejército, Latacunga.
20. Manual AGS-688. (2015). *Especificaciones Técnicas del Analizador de Gases*.
21. Morales Balladares, D. A., & Ribadeneira Orti, A. H. (2007). Dimensionamiento de un banco para pruebas de motores diésel. *Proyecto previo a la obtención del título de Ingeniero Mecánico*. Escuela Politécnica Nacional, Quito.
22. Naraki, M., Peyghambarzadeh, S., Hashemabadi, S., & Vermahmoudi, Y. (2013). Estudio paramétrico del coeficiente global de transferencia de calor de nanofluido CuO/agua en un radiador de coche. *Revista Internacional de Ciencias Térmicas*, 82-90.
23. Negin, C., Ali, S., & Quan, X. (2016). Application of nanotechnology for enhancing oil recovery- a review. *Petroleum*, 1-21.

24. Ng Robles, T. L. (2016). Diseño de procesos para la aplicación operativa de un dinamómetro de chasis modelo x tracción 2 ruedas del fabricante dynocom. *Trabajo de titulación previo a la obtención de título de ingeniero en mecánica automotriz*. Universidad Internacional del Ecuador, Guayaquil.
25. Norma Oficial Mexicana NOM-167-SEMARNAT-2017. (2017). *DOF - Diario Oficial de la Federación*. Ciudad de México: RED BOA Foro Americano de Diarios Oficiales.
26. NTE INEN 2 207. (2002). *Gestión ambiental. Aire. Vehículos*. Quito. Obtenido de <http://www.competencias.gob.ec/wp-content/uploads/2017/06/03NOR2000-INEN04.pdf>
27. NTE-INEN-1489. (2016). *Productos derivados de petróleo. Diésel. Requisitos*. Quito.
28. Paria, R., López, A., & Solís, J. (2010). Fabricación y caracterización de sensores de gas natural (GN) y gas licuado de petróleo (GLP), basados en nanopartículas de ZNO. *Revista del Encuentro Científico Internacional*, 1-4.
29. Pilataxi Yungan, E. V., & Palomo Palomo, K. S. (2012). Diseño y construcción de un sistema de medición del consumo específico de combustible con la utilización de un software para la optimización del dinamómetro del laboratorio de motores diesel gasolina. *Proyecto de grado previo a la obtención del título académico de: ingeniero automotriz*. Escuela Politécnica del Ejército, Quito.
30. Prabakaran, B., & Vijayabalan, P. (2018). Influence of zinc oxide nano particles on performance,. *Materials Science and Engineering*, 1-9.
31. Rafael Morales, M. Y., & Hernandez Guzmán, A. (2014). Caracterización de un motor de combustión interna con dos tipos de combustible. *Sanfandila*, 1-68.
32. Ramírez Morales, J. A. (2017). Diseño e implementación del sistema de ingreso de aire y control de inyección de combustible para verificar la incidencia en el desempeño mecánico de un motor de combustión interna de 200cc mono cilíndrico. *Trabajo de titulación previo a la obtención del título de Ingeniero Automotriz*. Escuela Superior Politécnica del Ejército, Quito.
33. Romero Piedrahita, C. A., & Carranza Sánchez, Y. A. (2005). Leyes de semejanza de los motores diésel modernos. *Scientia et Technica*, 151-155.
34. Salas Balseca, G. F., Rosas Laverde., N. M., Debut, A. P., Guerrero Barragán., V. H., & Galeas Hurtado, S. G. (2016). Síntesis de Nanopartículas de ZnO por el Método de Pechini. *Revista Politécnica*.

35. Salazar, C. (23 de Marzo de 2020). *Cecoltec*. Obtenido de Cecoltec: <http://www.cecoltec.com/blog/malvernpanalytical/tec>
36. San Lorenzo Ferriol, J. A. (2018). *Motores*. Madrid: Síntesis.
37. SENPLADES. (2017). *Plan Nacional de desarrollo 2017-2021.toda una vida*. Quito: SENPLADES.
38. Sequeira, S. (2015). Applications of Nanotechnology in Automobile Industry. *ResearchGate*, 1-4.
39. Shaafi, T., Sairam, K., Kumaresan, A., & Velraj, R. (2015). Effect of dispersion of various nanoadditives on the performance and emission characteristics of a CI engine fuelled with diesel,biodiesel and blends. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 563-573.
40. Shahad, H., & Nassir, A. K. (2018). Experimental Study of a Diesel Engine Performance Fueled with Different types of nano-fuel. *ResearchGate*, 36-57.
41. Skyspring Nanomaterials, Inc. (2016). *Zinc Oxide Nanoparticles/ Nanopowder ( ZnO, 99.8%, 10~30nm)*. Houston: Ssnano.
42. SkySpring Nanomaterials, Inc. (2020). *ssnano.com*. Obtenido de [ssnano.com](https://www.ssnano.com/inc/sdetail/zinc_oxide_nanoparticle__nanopowder_powder_99_8__zno__99_8__10_30nm_/221): [https://www.ssnano.com/inc/sdetail/zinc\\_oxide\\_nanoparticle\\_\\_nanopowder\\_powder\\_99\\_8\\_\\_zno\\_\\_99\\_8\\_\\_10\\_30nm\\_/221](https://www.ssnano.com/inc/sdetail/zinc_oxide_nanoparticle__nanopowder_powder_99_8__zno__99_8__10_30nm_/221)
43. Vamag. (2017). *Especificaciones Técnicas del Dinamómetro*.
44. Venkatesan, H., Sivamani, S., Sampath, S., & Kumar , D. (2017). A Comprehensive Review on the Effect of Nano Metallic Additives on Fuel Properties, Engine Performance and Emission Characteristics. *International journal of renewable energy research*, 825-843.
45. Venkatesan, S. P., & Kadiresh, P. N. (2016). Effects of nano-sized ZnO fuel additive on combustion in a diesel engine. *Ecological tribology – effect of nano-sized ZnO particles on diesel engine combustion*, 959-970.
46. Zanella, R. (2014). Metodologías para la síntesis de nanopartículas: controlando forma y tamaño. *Mundo nano*, 69-81.

## **ANEXOS**

## ANEXO I

### PROCESO DE OBTENCIÓN DEL NANOCOMBUSTIBLE ZnO



**Figura I.1** Homogeneizador – Nanopartículas ZnO



**Figura I.2** Medición de las nanopartículas ZnO





**Figura I.3** Dispersión de las nanopartículas ZnO



**Figura I.4** Mezcla de las nanopartículas de ZnO con el Diésel Premium







**Figura I.5** Mezcla de las nanopartículas de ZnO con el Diésel Premium mediante ultrasonido



**Figura I.5** Recolección del nanocombustible ZnO

### ANEXO III

## CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA DEL NANOCOMBUSTIBLE

		<b>ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL</b> 		Edición:	00		
				Fecha	2020-04-20		
				Página	1 de 1		
		<b>INFORME DE ANÁLISIS DE RESULTADOS</b>		FRP7.801			
<b>36-I-LACBAL-2020-479</b>							
INFORMACIÓN LACBAL:	DIRECCIÓN	Ladrón de Guevara E11-253-Edificio N° 17 (Química- Eléctrica) 5to piso, Quito.					
	TELÉFONOS	02976-300 Ext. 4329/4328/4317					
	E-MAIL	lacbal@epn.edu.ec					
INFORMACIÓN CLIENTE:	NOMBRE/EMPRESA	UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE					
	DIRECCIÓN	AV. 17 DE JULIO 5-21 Y GRAL. JOSÉ Córdova					
	NÚMERO DE MUESTRAS	2					
<b>INFORMACIÓN GENERAL</b>							
RESPONSABLE DEL INFORME	Quim. Alisson Hernández	TIPO CLIENTE	EXTERNO				
FECHA	RECEPCIÓN DE MUESTRA EN LACBAL	2020-10-29	FECHA TRANSPORTE	NO APLICA			
	INICIO DE ENSAYO	2020-11-04	N° PROFORMA	DQ-P0479-2020			
	ENTREGA DE INFORME	2020-11-06	N° FACTURA	001-003-0065977			
<b>IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA:</b>							
INFORMACIÓN PROPORCIONADA POR EL CLIENTE		IDENTIFICACIÓN DEL CLIENTE	CÓDIGO LABORATORIO	TIPO MUESTRA	TIPO ENVASE	CANTIDAD	
		Muestra Diesel	144 ppm	479-01	Diesel premium	Vidrio	1L
		Muestra Diesel	233 ppm	479-02	Diesel premium	Vidrio	1L
<b>CONDICIONES AMBIENTALES:</b>							
TEMPERATURA [°C]	19,4	HUMEDAD RELATIVA [%]	56	PRESIÓN [kPa]	72,9		
<b>RESULTADOS OBTENIDOS:</b>							
MUESTRA	ENSAYO	NORMA MÉTODO	UNIDAD	VALOR OBTENIDO			
479-01	Densidad relativa 15,6°C	ASTM-D 1298-12b	kg/m³	842			
	Ensayo de destilación	ASTM-D86	10%	°C	210,0		
			50%	°C	269,4		
			90%	°C	342,2		
			Punto final	°C	365,9		
			Residuo de destilación	%	1,5		
Índice de cetano	INEN 1495	---	50,3				
Corrosión lámina de cobre	ASTM-D130	---	1a				
479-02	Densidad relativa 15,6°C	ASTM-D 1298-12b	kg/m³	842			
	Ensayo de destilación	ASTM-D86	10%	°C	206,4		
			50%	°C	268,7		
			90%	°C	343,3		
			Punto final	°C	365,9		
			Residuo de destilación	%	1,0		
Índice de cetano	INEN 1495	---	50,1				
Corrosión lámina de cobre	ASTM-D130	---	1a				
							




**Q.A. MELISSA ALBUJA**  
 RESPONSABLE TÉCNICO DE LACBAL

**NOTAS ACLARATORIAS**

1. No permitimos ser escrutados dentro del Sistema de Gestión ISO 17025, pero se incluye acreditado.
2. Los métodos que se usaron de acuerdo a los métodos acreditados.
3. Los resultados se basan en el soporte de laboratorio y los datos de los ensayos.
4. Queda prohibido la reproducción de forma parcial o total y su uso sin el consentimiento de la institución LACBAL.
5. Cuando aplica, se envían los envases a sus clientes los cuales se desechan y se hacen de las muestras de líquido de escape y envases plásticos del cliente, la información se envía en la etiqueta de la muestra.
6. El informe es responsabilidad del cliente, la Institución Politécnica Nacional no es responsable por los errores o omisiones ocasionados por el cliente o el laboratorio.
7. Modificaciones en el informe se hacen en un documento aparte que se adjunta a los resultados de los ensayos de LACBAL.
8. El responsable del laboratorio es el responsable del soporte de los ensayos que se realizan en el laboratorio de LACBAL, teléfono 02976-300 Ext. 4329/4328/4317.

**Figura II.1** Caracterización fisicoquímica realizada en la Escuela Politécnica Nacional del nanocombustible ZnO (144-233) ppm



UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR  
FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA  
DEPARTAMENTO DE PETRÓLEOS, ENERGÍA Y CONTAMINACIÓN



INFORME DE RESULTADOS  
PETRÓLEOS

Informe N° 20-10-07-P-1  
Fecha 2020-11-12

**Referencia:** OT-20-10-07-P  
**Empresa:** UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE  
**Atención:** Sr. Jimmy Farinango  
**Dirección:** Natabuela, Barrio La Tola, Sector El Cruce, Calle Jaime Roldos Aguilera  
**Tipo de ensayos:** Análisis Físicoquímicos  
**Tipo de muestra:** DIÉSEL PREMIUM CON NANOPARTICULAS DE ZnO  
**Identificación de la muestra:** 144 ppm  
**Descripción de la muestra:** Muestras en envases de vidrio ámbar con tapa rosca  
**Muestra tomada por:** El cliente  
**Fecha de ingreso de la muestra:** 2020-10-29  
**Código de muestra:** OE-20-10-07-P-1  
**Fecha de realización de ensayos:** 2020-11-05 al 2020-11-10

DETERMINACIÓN	UNIDADES	MÉTODO	RESULTADO	INCERTIDUMBRE (k=2)
VISCOSIDAD CINEMÁTICA A 40° C*	cSt	PNE/DPEC/P/ASTM D-445	2,99	-
PODER CALÓRICO NETO*	MJ/kg	PNE/DPEC/P/ASTM D-287	42,8397	-

**Nota.-** Los ensayos marcados (\*) no están incluidos en el alcance de acreditación del SAE  
**Nota.-** Los resultados que constan en el presente informe solo están relacionados con la muestra entregada por el cliente al DPEC

**Condiciones Ambientales.** - Presión: 542,0 a 544,8 mm Hg; Temperatura: 18,8 a 20,7 °C


AN: DRA  
Realizado por: VRT

Revisado por:

  
x Ing. Fernanda Toasa L.  
RESPONSABLE TÉCNICO



Aprobado por:

  
x Ing. Ghem Carvajal C.  
DIRECTOR DEL LAB. DEL DPEC

ADVERTENCIA: EL USUARIO DEBE EXIGIR EL ORIGINAL. EL DPEC NO SE RESPONSABILIZA POR DOCUMENTOS FOTOCOPIADOS.

Dirección: Enrique Ritter s/n y Bolivia

Teléfono: 2904794 / 2544631 ext. 26  
QUITO - ECUADOR

E-mail: [fiq.secretaria.dpec@uce.edu.ec](mailto:fiq.secretaria.dpec@uce.edu.ec)

**Figura II.2** Caracterización fisicoquímica realizada en la Universidad Central de Ecuador del nanocombustible ZnO 144 ppm



**UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA**  
 DEPARTAMENTO DE PETRÓLEOS, ENERGÍA Y CONTAMINACIÓN



**INFORME DE RESULTADOS**  
**PETRÓLEOS**

Informe N° 20-10-07-P-2  
 Fecha 2020-11-12

**Referencia:** OT-20-10-07-P  
**Empresa:** UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE  
**Atención:** Sr. Jimmy Farinango  
**Dirección:** Natabuela, Barrio La Tola, Sector El Cruce, Calle Jaime Roldos Aguilera  
**Tipo de ensayos:** Análisis Físicoquímicos  
**Tipo de muestra:** DIÉSEL PREMIUM CON NANOPARTICULAS DE ZnO  
**Identificación de la muestra:** 233 ppm  
**Descripción de la muestra:** Muestras en envases de vidrio ámbar con tapa rosca  
**Muestra tomada por:** El cliente  
**Fecha de ingreso de la muestra:** 2020-10-29  
**Código de muestra:** OE-20-10-07-P-2  
**Fecha de realización de ensayos:** 2020-11-05 al 2020-11-10

DETERMINACIÓN	UNIDADES	MÉTODO	RESULTADO	INCERTIDUMBRE (k=2)
VISCOSIDAD CINEMÁTICA A 40° C*	cSt	PNE/DPEC/P/ASTM D-445	2,94	-
PODER CALÓRICO NETO*	MJ/kg	PNE/DPEC/P/ASTM D-287	42,8444	-

**Nota.-** Los ensayos marcados (\*) no están incluidos en el alcance de acreditación del SAE  
**Nota.-** Los resultados que constan en el presente informe solo están relacionados con la muestra entregada por el cliente al DPEC

**Condiciones Ambientales.** - Presión: 542,0 a 544,8 mm Hg; Temperatura: 18,8 a 20,7 °C

AN: DRA  
 Realizado por: VRT

Revisado por:

\* Ing. Fernanda Toasa L.  
 RESPONSABLE TÉCNICO



Aprobado por:

\* Ing. Ghem Carvajal C.  
 DIRECTOR DEL LAB. DEL DPEC

ADVERTENCIA: EL USUARIO DEBE EXIGIR EL ORIGINAL. EL DPEC NO SE RESPONSABILIZA POR DOCUMENTOS FOTOCOPIADOS.

Dirección: Enrique Ritter s/n y Bolivia

Teléfono: 2904794 / 2544631 ext. 26  
 QUITO - ECUADOR

E-mail: [fig.secretaria.dpec@uce.edu.ec](mailto:fig.secretaria.dpec@uce.edu.ec)

**Figura II.3** Caracterización fisicoquímica realizada en la Universidad Central de Ecuador del nanocombustible ZnO 233 ppm

### ANEXO III

## PRUEBAS DE POTENCIA Y TORQUE

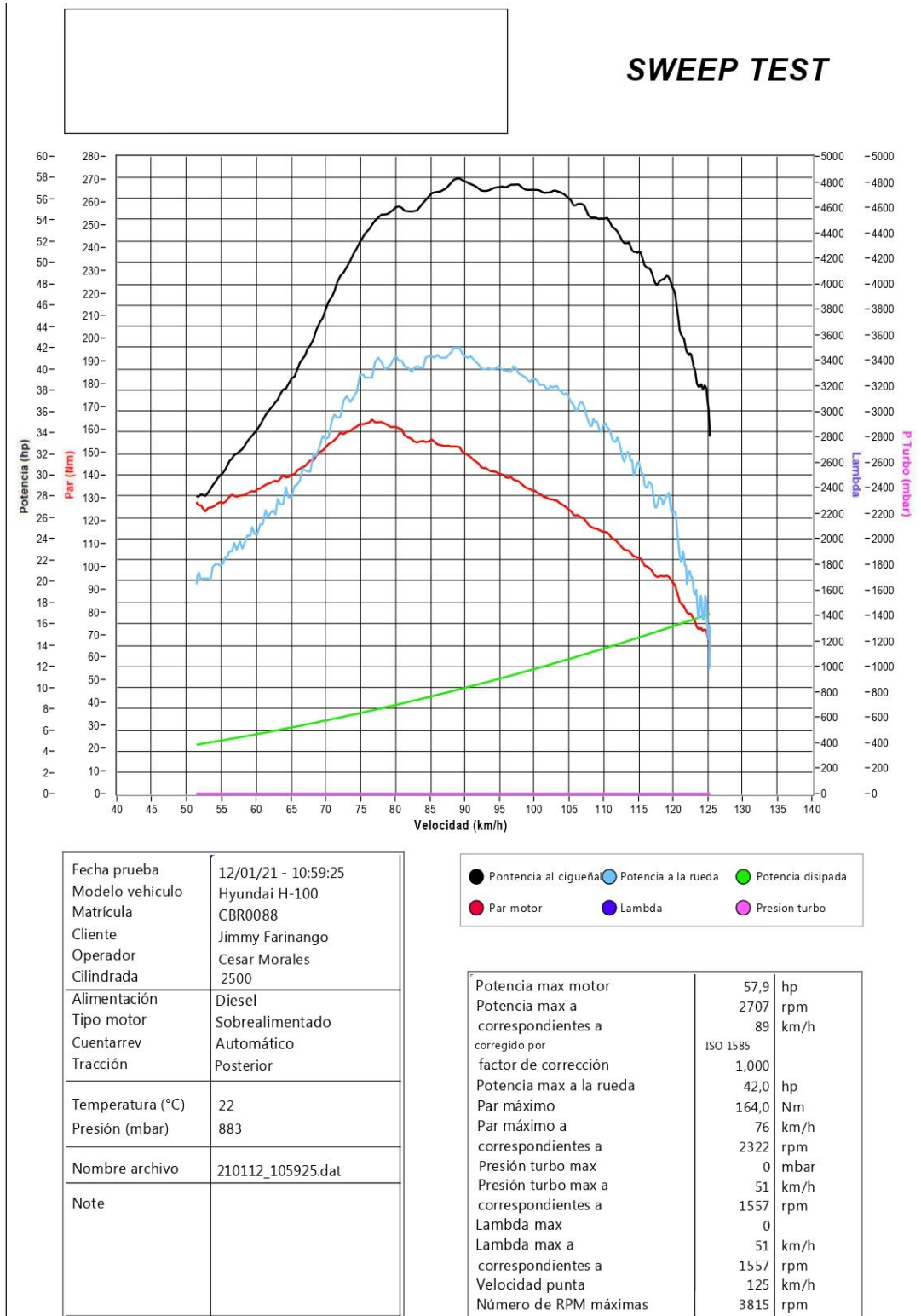
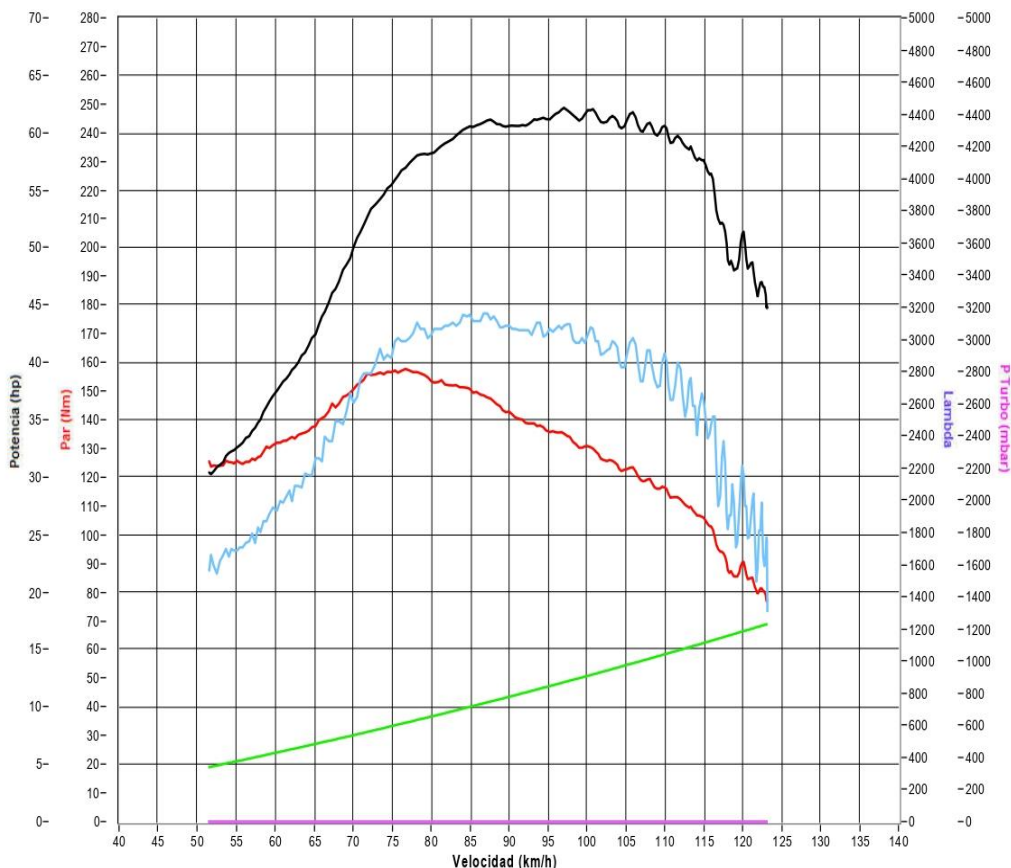


Figura III.1 Prueba N°1 Diésel Premium

### SWEEP TEST



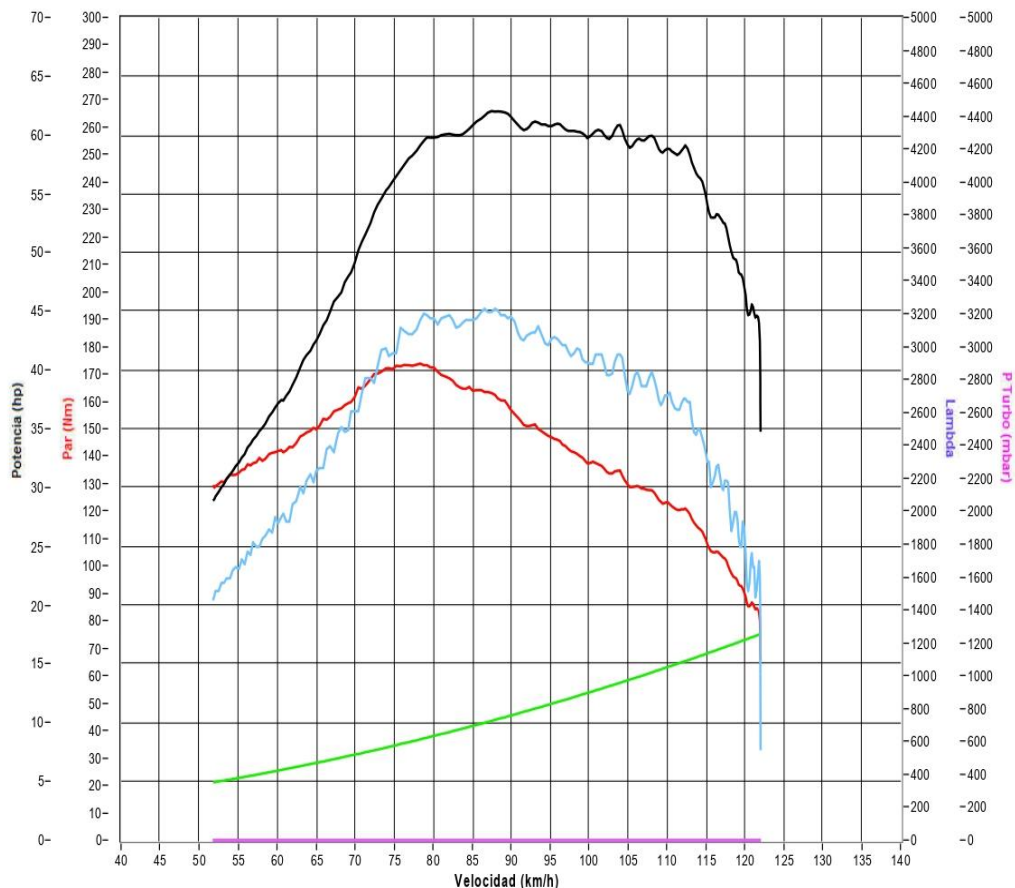
Fecha prueba	14/01/21 - 11:08:08
Modelo vehículo	Hyundai H-100
Matrícula	CBR0088
Cliente	Jimmy Farinango
Operador	Cesar Morales
Cilindrada	2500
Alimentación	Diesel
Tipo motor	Sobrealimentado
Cuentarrev	Automático
Tracción	Posterior
Temperatura (°C)	22
Presión (mbar)	883
Nombre archivo	210114_110808.dat
Note	

● Potencia al cigueñal	● Potencia a la rueda	● Potencia disipada
● Par motor	● Lambda	● Presion turbo

Potencia max motor	62,2	hp
Potencia max a correspondientes a	3275	rpm
corregido por	97	km/h
factor de corrección	1,000	
Potencia max a la rueda	44,3	hp
Par máximo	158,0	Nm
Par máximo a correspondientes a	76	km/h
Presión turbo max	2572	rpm
Presión turbo max a correspondientes a	0	mbar
Lambda max	51	km/h
Lambda max a correspondientes a	1726	rpm
Velocidad punta	0	
Número de RPM máximas	51	km/h
	1726	rpm
	123	km/h
	4149	rpm

Figura III.2 Prueba N°1 Nanocombustible ZnO 144 ppm

### SWEEP TEST



Fecha prueba	15/01/21 - 10:36:09
Modelo vehículo	Hyundai H-100
Matrícula	CBR0088
Cliente	Jimmy Farinango
Operador	Cesar Morales
Cilindrada	2500
Alimentación	Diesel
Tipo motor	Sobrealimentado
Cuentarrev	Automático
Tracción	Posterior
Temperatura (°C)	22
Presión (mbar)	883
Nombre archivo	210115_103609.dat
Note	

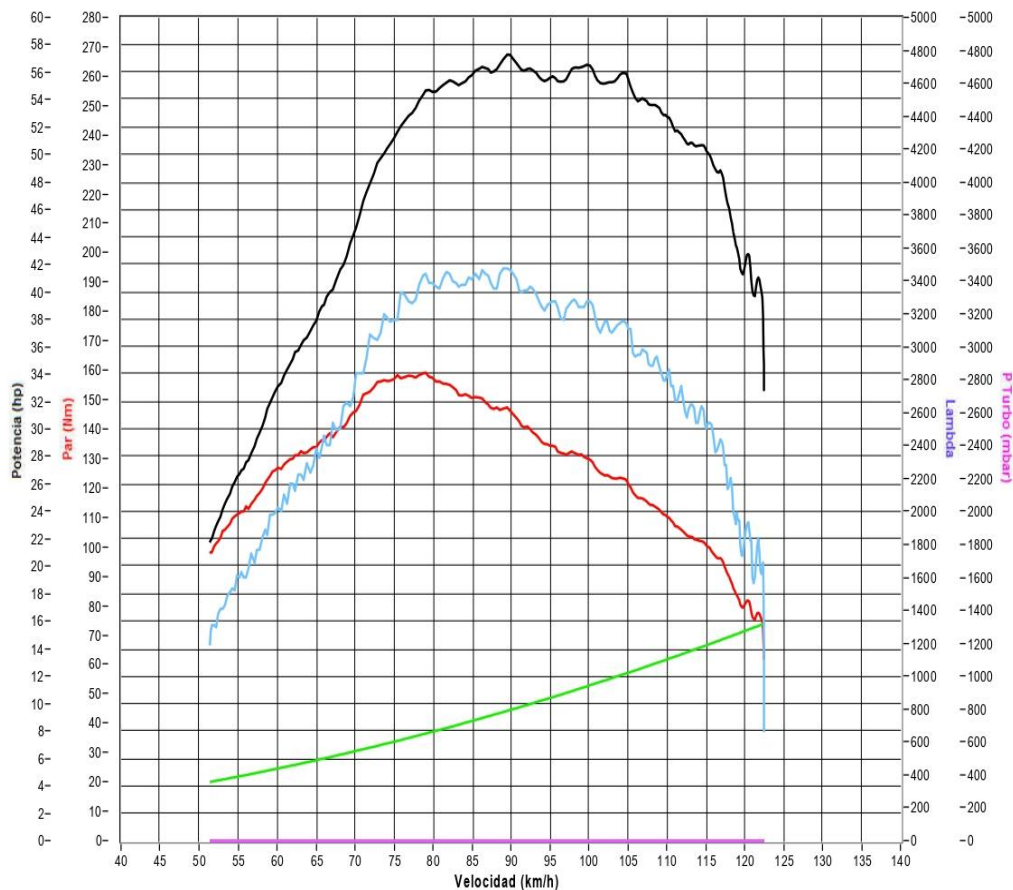
● Potencia al cigüeña	● Potencia a la rueda	● Potencia disipada
● Par motor	● Lambda	● Presion turbo

Potencia max motor	62,0	hp
Potencia max a correspondientes a	2709	rpm
corregido por	87	km/h
factor de corrección	ISO 1585	
Potencia max a la rueda	1,000	
Par máximo	45,2	hp
Par máximo a correspondientes a	174,0	Nm
correspondientes a	78	km/h
Presión turbo max	2423	rpm
Presión turbo max a correspondientes a	0	mbar
Lambda max	51	km/h
Lambda max a correspondientes a	1588	rpm
Velocidad punta	0	
Número de RPM máximas	51	km/h
	1588	rpm
	122	km/h
	3780	rpm

Figura III.3 Prueba N°1 Nanocombustible ZnO 233 ppm



### SWEEP TEST



Fecha prueba	15/01/21 - 11:53:15
Modelo vehículo	Hyundai H-100
Matrícula	CBR0088
Cliente	Jimmy Farinango
Operador	Cesar Morales
Cilindrada	2500
Alimentación	Diesel
Tipo motor	Sobrealimentado
Cuentarrev	Automático
Tracción	Posterior
Temperatura (°C)	23
Presión (mbar)	883
Nombre archivo	210115_115315.dat
Note	

● Potencia al cigüeña	● Potencia a la rueda	● Potencia disipada
● Par motor	● Lambda	● Presion turbo

Potencia max motor	57,3	hp
Potencia max a correspondientes a	2769	rpm
corregido por	89	km/h
factor de corrección	1,000	
Potencia max a la rueda	41,7	hp
Par máximo	159,0	Nm
Par máximo a correspondientes a	79	km/h
correspondientes a	2447	rpm
Presión turbo max	0	mbar
Presión turbo max a correspondientes a	51	km/h
correspondientes a	1584	rpm
Lambda max	0	
Lambda max a correspondientes a	51	km/h
correspondientes a	1584	rpm
Velocidad punta	122	km/h
Número de RPM máximas	3793	rpm

Figura III.4 Prueba N°1 Nanocombustible ZnO 377 ppm

## ANEXO IV

## PRUEBAS DE EMISIONES CONTAMINANTES



**Figura IV.1** Prueba N°1 @ 800 rpm Diésel Premium



**Figura IV.2** Prueba N°1 @ 800 rpm Nanocombustible ZnO 144 ppm



**Figura IV.3** Prueba N°1 @ 800 rpm Nanocombustible ZnO 233 ppm



**Figura IV.4** Prueba N°1 @ 800 rpm Nanocombustible ZnO 377 ppm

## ANEXO V

## PRUEBAS DE OPACIDAD




		<b>TEST OFICIAL OPACIDAD HUMO</b>	
<b>OPACÍMETRO OPA-100</b> Número de Serie : 110909000111 Número de Homologación : OM00293bNET Fecha vencimiento calibración : 03/10/2020		<b>TACÓMETRO</b> Número de Serie : Número de Homologación : Fecha vencimiento calibración :	
<b>DATOS TALLER</b>			
IBARRA IMBABURA		UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE CIAUT FAX - EMAIL	
<b>DATOS DEL VEHICULO</b>			
Placa	: CBR0088	Odómetro	:
Marca	: HYUNDAI	Año de Construcción	: 2009
Modelo	: H 100		
No. Chasis	:		
<b>LIMITES PRESCRITOS</b>			
Temperatura Motor	: 75 [°C]	Diferencia opacidad	: 10 [%]
		Opacidad	: 50 [%]
<b>VALORES MEDIDOS</b>			
<b>OPACIDAD</b>			
Temperatura Motor	:	#85 [°C]	
		<b>Pico opacidad</b>	<b>RPM ralenti</b>
		<b>[%]</b>	<b>[1/min]</b>
Aceleración 1	:	19.3 *	790
Aceleración 2	:	13.6 *	790
Aceleración 3	:	13.3 *	790
Aceleración 4	:	13.4 *	790
Aceleración 5	:	12.5 *	790
			<b>RPM max</b>
			<b>[1/min]</b>
			2670
			2920
			3040
			2880
			2720
<b>RESULTADO DEL TEST : APROBADO SIN FALTAS</b>			
Valor diferencia de la opacidad	:	<b>6.8</b>	
Valor promedio de la opacidad	:	<b>14.4</b>	
Fecha y hora de inicio prueba	:	12/01/2021	11:34:41
Fecha y hora de termine prueba	:	12/01/2021	11:36:37
Examinador	:	BICER	
Firma			


Figura V.1 Prueba N°1 de opacidad del Diésel Premium

		<b>TEST OFICIAL OPACIDAD HUMO</b>	
<b>OPACÍMETRO</b>		<b>TACÓMETRO</b>	
Número de Serie	: 110909000111	Número de Serie	:
Número de Homologación	: OM00293bNET	Número de Homologación	:
Fecha vencimiento calibración	: 03/10/2020	Fecha vencimiento calibración	:
<b>DATOS TALLER</b>			
UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE			
IBARRA		CIAUT	
IMBABURA		FAX - EMAIL	
<b>DATOS DEL VEHICULO</b>			
Placa	: CBR0088	Odómetro	:
Marca	:	Año de Construcción	: 2009
Modelo	:		
No. Chasis	:		
<b>LIMITES PRESCRITOS</b>			
Temperatura Motor	: 75 [°C]	Diferencia opacidad	: 10 [%]
		Opacidad	: 50 [%]
<b>VALORES MEDIDOS</b>			
<b>OPACIDAD</b>			
Temperatura Motor	:	#80 [°C]	
	<b>Pico opacidad</b>	<b>RPM ralenti</b>	<b>RPM max</b>
	<b>[%]</b>	<b>[1/min]</b>	<b>[1/min]</b>
Aceleración 1	: 69.0	790	2690
Aceleración 2	: 10.5 *	790	3080
Aceleración 3	: 12.3 *	780	2680
Aceleración 4	: 10.1 *	780	2560
Aceleración 5	: 13.3 *	790	1250
Aceleración 6	: 15.4 *	790	2750
<b>RESULTADO DEL TEST : APROBADO SIN FALTAS</b>			
Valor diferencia de la opacidad	:	<b>5.3</b>	
Valor promedio de la opacidad	:	<b>12.3</b>	
Fecha y hora de inicio prueba	:	13/01/2021	11:41:07
Fecha y hora de termine prueba	:	13/01/2021	11:50:05
Examinador	:	BICER	
Firma			

**Figura V.2** Prueba N°1 de opacidad Nanocombustible ZnO 144 ppm

		<b>TEST OFICIAL OPACIDAD HUMO</b>	
<b>OPACÍMETRO OPA-100</b> Número de Serie : 110909000111 Número de Homologación : OM00293bNET Fecha vencimiento calibración : 03/10/2020		<b>TACÓMETRO</b> Número de Serie : Número de Homologación : Fecha vencimiento calibración :	
<b>DATOS TALLER</b>			
UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE			
IBARRA		CIAUT	
IMBABURA		FAX - EMAIL	
<b>DATOS DEL VEHICULO</b>			
Placa	: CBR0088	Odómetro	:
Marca	:	Año de Construcción	: 2009
Modelo	:		
No. Chasis	:		
<b>LIMITES PRESCRITOS</b>			
Temperatura Motor	: 75 [°C]	Diferencia opacidad	: 10 [%]
		Opacidad	: 50 [%]
<b>VALORES MEDIDOS</b>			
<b>OPACIDAD</b>			
Temperatura Motor	:	#85 [°C]	
		<b>Pico opacidad</b>	<b>RPM ralenti</b>
		<b>[ % ]</b>	<b>[ 1/min ]</b>
			<b>RPM max</b>
			<b>[ 1/min ]</b>
Aceleración 1	: 13.5 *	790	3070
Aceleración 2	: 9.1 *	780	2590
Aceleración 3	: 9.3 *	780	2670
Aceleración 4	: 10.1 *	790	3090
Aceleración 5	: 7.9 *	780	3050
<b>RESULTADO DEL TEST : APROBADO SIN FALTAS</b>			
Valor diferencia de la opacidad	:	<b>5.6</b>	
Valor promedio de la opacidad	:	<b>10.0</b>	
Fecha y hora de inicio prueba	:	14/01/2021	11:08:21
Fecha y hora de termine prueba	:	14/01/2021	11:10:41
Examinador	:	BICER	
Firma			

**Figura V.3** Prueba N°1 de opacidad Nanocombustible ZnO 233 ppm

		<b>TEST OFICIAL OPACIDAD HUMO</b>	
<b>OPACÍMETRO OPA-100</b> Número de Serie : 110909000111 Número de Homologación : OM00293bNET Fecha vencimiento calibración : 03/10/2020		<b>TACÓMETRO</b> Número de Serie : Número de Homologación : Fecha vencimiento calibración :	
<b>DATOS TALLER</b>			
IBARRA IMBABURA		UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE CIAUT FAX - EMAIL	
<b>DATOS DEL VEHICULO</b>			
Placa	: CBR0088	Odómetro	:
Marca	:	Año de Construcción	: 2009
Modelo	:		
No. Chasis	:		
<b>LIMITES PRESCRITOS</b>			
Temperatura Motor	: 75 [°C]	Diferencia opacidad	: 10 [%]
		Opacidad	: 50 [%]
<b>VALORES MEDIDOS</b>			
<b>OPACIDAD</b>			
Temperatura Motor	:	#85 [°C]	
		<b>Pico opacidad</b>	<b>RPM ralenti</b>
		<b>[%]</b>	<b>[1/min]</b>
			<b>RPM max</b>
			<b>[1/min]</b>
Aceleración 1	: 7.8 *	790	2440
Aceleración 2	: 5.4 *	790	2730
Aceleración 3	: 7.5 *	790	3090
Aceleración 4	: 6.3 *	790	3200
Aceleración 5	: 7.0 *	780	3250
<b>RESULTADO DEL TEST : APROBADO SIN FALTAS</b>			
Valor diferencia de la opacidad	:	<b>2.4</b>	
Valor promedio de la opacidad	:	<b>6.8</b>	
Fecha y hora de inicio prueba	:	14/01/2021	11:56:38
Fecha y hora de termine prueba	:	14/01/2021	11:58:29
Examinador	:	BICER	
Firma			

**Figura V.4** Prueba N°1 de opacidad Nanocombustible ZnO 377 ppm