



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y
MECÁNICA**

CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA

**TRABAJO DE TITULACIÓN, PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL
TÍTULO DE INGENIERO MECÁNICO**

**TEMA: ANÁLISIS COMPARATIVO DE PARÁMETROS
TERMODINÁMICOS Y DE DESEMPEÑO DE UN MOTOR DE
COMBUSTIÓN INTERNA DE 4 TIEMPOS CICLO OTTO UTILIZANDO
NANOPARTÍCULAS.**

AUTOR: MANOSALVAS LÓPEZ, JUAN FRANCISCO

DIRECTOR: ING. LUIS MIGUEL CARRIÓN MATAMOROS

SANGOLQUÍ

2019

CERTIFICACIÓN TRABAJO DE TITULACIÓN



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA

CERTIFICACIÓN

Certifico que el trabajo de titulación, “ANÁLISIS COMPARATIVO DE PARÁMETROS TERMODINÁMICOS Y DE DESEMPEÑO DE UN MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA DE 4 TIEMPOS CICLO OTTO UTILIZANDO NANOPARTÍCULAS.” fue realizado por el señor **Manosalvas López, Juan Francisco**, el mismo que ha sido revisado en su totalidad, analizado por la herramienta de verificación de similitud de contenido; por lo tanto cumple con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de Fuerzas Armadas-ESPE, razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que lo sustenten públicamente.

Sangolquí, 07 de Febrero de 2019



Ing. Luis Miguel Carrión Matamoros

Director

AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA****AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD**

Yo, Manosalvas López Juan Francisco, con C.I. 171914778-5, declaro que el contenido, ideas y criterios del trabajo de titulación **“ANÁLISIS COMPARATIVO DE PARÁMETROS TERMODINÁMICOS Y DE DESEMPEÑO DE UN MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA DE 4 TIEMPOS CICLO OTTO UTILIZANDO NANOPARTÍCULAS.”** es de mi autoría y responsabilidad cumpliendo con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas.

Consecuentemente el contenido de la investigación mencionada es veraz.

Sangolquí, 07 de Febrero de 2019



Juan Francisco Manosalvas López

CI: 171914778-5

AGRADECIMIENTOS




DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA

AUTORIZACIÓN

Yo, Manosalvas López Juan Francisco, autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de titulación **“ANÁLISIS COMPARATIVO DE PARÁMETROS TERMODINÁMICOS Y DE DESEMPEÑO DE UN MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA DE 4 TIEMPOS CICLO OTTO UTILIZANDO NANOPARTÍCULAS.”** en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi responsabilidad.

Sangolquí, 07 de Febrero de 2019



Juan Francisco Manosalvas López

CI: 171914778-5

DEDICATORIA

Este trabajo de investigación lo dedico principalmente a mis padres quienes me han permitido estar aquí este día culminando una de las etapas más importantes para mí vida profesional.

Juan Francisco Manosalvas

AGRADECIMIENTOS

A mi madre Dolorosa por acompañarme cada día de mi vida y permitirme “Ser más para servir mejor”.

Agradezco a mis padres Jaqueline y Luis por todo su esfuerzo y trabajo que han hecho para que a mi y a mis hermanos nunca nos falta nada en esta vida y nos podamos desarrollar en todo aspecto; sin ustedes este logro profesional no sería posible. Sepan que sus todas sus palabras de ánimo, su apoyo y aliento incondicional lo llevo en mi mente y en mi corazón, gracias por todo.

A Carmen María, mi novia, quien estuvo a mi lado casi en la totalidad de esta carrera universitaria, brindándome toda su comprensión y sobre todo su apoyo inclusive en la realización de este proyecto.

Al Ingeniero Alberto Naranjo por su tiempo y ayuda técnica desinteresada, gracias por demostrar que en la ESPE existen verdaderos profesionales que buscan transmitir conocimiento y contribuir realmente al desarrollo de la comunidad investigadora.

Al Ingeniero Luis Carrión por la confianza y ayuda para poder culminar este proyecto.

Juan Francisco Manosalvas

INDICE DE CONTENIDOS

CERTIFICACIÓN TRABAJO DE TITULACIÓN	i
AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD	ii
AGRADECIMIENTOS	iii
DEDICATORIA.....	iv
AGRADECIMIENTOS	v
RESUMEN.....	xiii
ABSTRACT	xiv
1. CAPÍTULO I.....	1
INTRODUCCIÓN	1
1.1. Antecedentes	1
1.2. Justificación e Importancia.....	4
1.3. Definición del Problema.....	4
1.4. Objetivos	5
1.4.1. Objetivo general	5
1.4.2. Objetivos específicos.....	6
1.5. Alcance.....	6
2. CAPÍTULO II	7
MARCO TEÓRICO	7
2.1. Nanotecnología.....	7
2.1.1. Aplicaciones	7
2.2. Nanopartículas.....	9

2.2.1. Principales Nanopartículas y sus características.	9
2.2.2. Métodos de obtención	12
2.2.3. Nanopartículas aplicadas a los lubricantes automotrices.	16
2.2.4. Nanopartículas de interés	20
2.2.5. Nanofluidos	22
2.3. Influencia de los aditivos nanométricos en los lubricantes automotrices.	23
2.4. Parámetros termodinámicos y de desempeño de los motores de combustión interna	26
2.4.1. Presión de Compresión.....	26
2.4.2. Eficiencia termodinámica.....	26
2.4.3. Torque y Potencia.....	27
2.4.4. Consumo específico de combustible	31
2.4.5. Emisiones contaminantes	32
3. CAPÍTULO III	34
EXPERIMENTACIÓN.....	34
3.1. Parámetros y variables de experimentación.	36
3.1.1. Parámetros termodinámicos	36
3.1.2. Parámetros de desempeño	36
3.2. Normas utilizadas para la medición.	37
3.3. Plan y protocolos de experimentación.....	40
3.3.1. Equipos e instrumental de medida.....	43
3.3.2. Insumos	46
3.3.3. Formularios de registro de datos.	47

3.4. Recopilación de datos.....	48
3.4.1. FASE 1- Condiciones estándar	48
3.4.2. FASE 2- Utilizando Nanopartículas.....	59
4. CAPÍTULO IV	62
ANÁLISIS DE RESULTADOS	62
4.1. Análisis comparativo de parámetros termodinámicos (pre y post aditivo).	62
4.1.1. Presión de Compresión (PC)	62
4.1.2. Eficiencia térmica.....	65
4.2. Análisis comparativo de parámetros de desempeño (pre y post aditivo).	68
4.2.1. Torque	68
4.2.2. Potencia	71
4.2.3. Consumo específico de combustible	76
4.3. Análisis comparativo de la composición de los gases de escape.	80
4.4. Determinación de cambios en las propiedades del aceite lubricante.	85
4.4.1. Determinación del aumento de vida Útil del lubricante.....	87
5. CAPÍTULO V	89
6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	92

INDICE DE TABLAS

Tabla 1 <i>Principales aplicaciones de la nanotecnología</i>	8
Tabla 2 <i>Resumen de los aditivos lubricantes a base de nanopartículas</i>	17
Tabla 3 <i>Límite de emisiones contaminantes permitidos (prueba estática)</i>	38
Tabla 4 <i>Coefficientes K respecto al niveles de confianza</i>	41
Tabla 5 <i>Especificaciones del vehículo</i>	42
Tabla 6 <i>Equipos e instrumentos utilizados en las pruebas</i>	43
Tabla 7 <i>Insumos</i>	46
Tabla 8 <i>Cantidad en mililitros y en porcentaje utilizado de nanopartículas</i>	60
Tabla 9 <i>Resultados de la presión de compresión inicial obtenida en PSI</i>	62
Tabla 10 <i>Presiones de compresión, prueba final</i>	62
Tabla 11 <i>Cambio porcentual de la presión de compresión en cada cilindro del motor</i>	63
Tabla 12 <i>Comparación porcentual en la variación de la eficiencia térmica del motor</i>	67
Tabla 13 <i>Comparación porcentual de Torque con y sin Nanopartículas</i>	68
Tabla 14 <i>Comparación porcentual de potencia efectiva con y sin Nanopartículas</i>	71
Tabla 15 <i>Comparación porcentual de potencia indicada con y sin Nanopartículas</i>	74
Tabla 16 <i>Consumo de combustible en cada prueba realizada</i>	76
Tabla 17 <i>Consumo de combustible total en Km/gal</i>	77
Tabla 18 <i>Consumo de combustible en cada prueba realizada</i>	77
Tabla 19 <i>Consumo de combustible total en Km/gal</i>	77
Tabla 20 <i>Comparación del consumo de combustible en las dos etapas de prueba</i>	78
Tabla 21 <i>Calculo del CEC al freno</i>	79

Tabla 22 <i>Calculo del CEC Indicado.</i>	79
Tabla 23 <i>Valores de los gases de combustión obtenidos en prueba inicial.</i>	80
Tabla 24 <i>Valores de los gases de combustión obtenidos en prueba final</i>	81
Tabla 25 <i>Comparación porcentual de los gases de escape medidos con y sin NP 's</i>	81
Tabla 26 <i>Comparación de la viscosidad del aceite nuevo con y sin nanopartículas</i>	85
Tabla 27 <i>Comparación de la viscosidad del aceite usado con y sin nanopartículas</i>	87
Tabla 28 <i>Estimación de la vida útil del aceite lubricante</i>	87

INDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1</i> Aplicación de las nanopartículas en ciertas industrias.....	11
<i>Figura 2</i> Enfoque de <i>constitución</i> de nanopartículas Top-Down y Bottom-Up.....	13
<i>Figura 3</i> Diferencia en los métodos de obtención Top-Down y Bottom-Up.	13
<i>Figura 4</i> Esquema de procesamiento de partículas por mecanizado.	14
<i>Figura 5</i> Esquema de procesamiento de partículas por método de obtención químico.	15
<i>Figura 6</i> Flujo de fabricación de nanopartículas mediante el proceso Sol-Gel.....	16
<i>Figura 7</i> Curva de Stribeck (Influencia de los nanoaditivos según los tipos de Lubricación).....	25
<i>Figura 8</i> Esquema biela-manivela, representación de fuerzas.	28
<i>Figura 9</i> Esquema del proceso de formación de gases contaminantes.....	33
<i>Figura 10</i> Proceso de limpieza, Fase 1.....	34
<i>Figura 11</i> Renovación de las superficies en fricción, fase 2.	35
<i>Figura 12</i> Gráfica Velocidad vs Tiempo, ciclo IM240	39
<i>Figura 13</i> Caso de estudio, motor Kia DOHC.	42
<i>Figura 14</i> Formato de registro para presión de compresión.....	47
<i>Figura 15</i> Esquema de proceso de la medición de compresión. Pasos 5, 6, 7, 9.	50
<i>Figura 16</i> Procedimiento 1-7 prueba de torque y potencia.	51
<i>Figura 17</i> Datos y condiciones para prueba de torque y potencia.....	52
<i>Figura 18</i> Cambio de la cañería de admisión de combustible a la cañería de la bomba manual.	53
<i>Figura 19</i> Interfaz gráfica de medición utilizando ciclo IM 240.....	54
<i>Figura 20</i> Llenado del Erlenmeyer con el combustible sobrante de la prueba (A).	55
<i>Figura 21</i> Procedimiento de elaboración de muestras de aceite con nanopartículas.	56

Figura 22 Esquema del protocolo de prueba Reómetro Discovery HR 2	57
Figura 23 Pantallas mostradas en el software de control MAHA, pasos 4,5,8,9.	58
Figura 24 Esquema representativo del proceso de conexión del equipo MAHA MGT 5	59
Figura 25 Procedimiento de adición de nanopartículas en el aceite lubricante.	60
Figura 26 Grafica comparativa de la presión de compresión Con y Sin Nanopartículas.	64
Figura 27 Gráfica comparativa de Torque – Velocidad angular.....	70
Figura 28 Gráfica comparativa de Potencia efectiva – Velocidad angular.	73
Figura 29 Gráfica comparativa de Potencia Indicada – Velocidad angular.....	75
Figura 30 Gráfica comparativa del consumo de combustible.....	78
Figura 31 Gráfica de combustión estequiométrica.....	82
Figura 32 Emisión de CO ₂	83
Figura 33 Emisión de CO.....	83
Figura 34 Emisión de Hidrocarburos no combustionados	84
Figura 35 Emisión de O ₂	84
Figura 36 Estado de la mezcla aire combustible.....	85
Figura 37 Gráfica representativa de lubricante NUEVO Con y sin Nanopartículas.....	86
Figura 38 Gráfica representativa de aceite USADO Con y sin Nanopartículas	87

RESUMEN

La creación de aditivos lubricantes que permitan mejorar el performance de los motores a combustión interna ha sido un reto importante para los ingenieros desde el surgimiento de estas máquinas térmicas. Actualmente, debido a las inusuales propiedades y a la facilidad de fabricación de las nanopartículas, varios nanomateriales están siendo investigados para aprovechar su uso como nanofluidos y posteriormente ser utilizados como lubricantes o aditivos lubricantes. El objetivo de este trabajo de investigación es determinar los cambios que se generan en los parámetros termodinámicos y de desempeño de un motor de combustión interna de 4 tiempos tras la adición de una concentración de 0.15% en volumen de nanopartículas de SiO₂, Al₂O₃ y grafito (compuesto) al aceite lubricante. Se utilizó un dinamómetro de chasis para cuantificar los cambios en la potencia, torque y consumo de combustible del motor, además de un analizador de gases para determinar los cambios estequiométricos que el uso de nanopartículas genera en los gases de escape. Adicionalmente con los datos obtenidos se realiza el cálculo de la eficiencia térmica del motor y posterior análisis de su variación, finalmente se efectúan pruebas reológicas al aceite lubricante para determinar los cambios en la viscosidad dinámica y vida útil. Este trabajo representa un importante aporte al entendimiento de los nanofluidos como aditivos lubricantes y al uso de los mismos para reducir la fricción y el desgaste de los componentes internos de los motores, minimizando las pérdidas energéticas que se generan en el proceso recíprocante.

PALABRAS CLAVE:

- **NANOFLUIDO**
- **DINAMÓMETRO DE CHASIS**
- **VISCOSIDAD DINÁMICA**

ABSTRACT

The creation of lubricant additives that improve the performance of internal combustion engines has been a major challenge for engineers since the development of these thermal machines. Currently, due to the unusual properties and the easiness of manufacturing nanoparticles, several nanomaterials are being investigated for use as nanofluids and later as lubricants or lubricant additives. The aim of this research work is to determine the changes generated in the thermodynamic and performance parameters evaluated in a 4-stroke internal combustion engine after the addition of 0.15% volume concentration of nanoparticles of SiO₂, Al₂O₃ and graphite (compound) into lubricating oil. A chassis dynamometer was used to quantify the changes in power, torque and fuel consumption of the engine, as well as a gas analyzer to determine the stoichiometric changes that the use of nanoparticles generates in the exhaust gases. In addition, the analysis of the thermal efficiency of the engine and the subsequent analysis of it is carried out, finally the rheological tests of the lubricating oil are carried out to determine the changes in the dynamic viscosity and its lifespan. This work represents an important contribution to the understanding of nanofluids as lubricant additives and its use to reduce friction and wear on the internal components in engines, minimizing the energy losses that are generated in the reciprocating process.

KEYWORDS:

- **NANOFLUID**
- **CHASSIS DYNAMOMETER**
- **DYNAMIC VISCOSITY**

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1. Antecedentes

Varias han sido las aplicaciones y soluciones que la nanotecnología ha generado en diferentes industrias desde su creación en la década de los 70 (Molina, 2002). Actualmente una de las principales líneas de investigación se relaciona con la tribología, en la cual, mediante varios estudios se ha demostrado que el uso de nanopartículas de diversos materiales brinda beneficios a los lubricantes que no se pueden obtener con la adición de partículas micrométricas, comúnmente utilizadas (Chen & Liu, 2005).

La necesidad de alternativas lubricantes más eficientes motivó a la comunidad científica a plantear la inclusión de la teoría nanométrica en los lubricantes para cumplir con requisitos de operación específicos y mejorar el performance de los motores; para este fin en 1985, países como Alemania, China, Estados Unidos y Corea del Sur, dan inicio a la nanotribología (Zhang, Simionesie, & Schascke, 2014).

Aditivos con base nanométrica se comercializan desde hace varias décadas en Latinoamérica, su aceptación en la industria automotriz no tuvo un impacto considerable debido a la poca información existente de esta nueva alternativa lo cual generaba incertidumbre y desconfianza frente a los aditivos convencionales que se encontraban ya posicionados en el mercado, con costos mucho menores, aunque con prestaciones menos favorables.

A finales del siglo XX surgen los primeros estudios relacionados a las nanopartículas; el aporte de estas investigaciones ha permitido que en la actualidad se pueda controlar con exactitud el

tamaño y forma de las nanopartículas y aplicarlas de manera adecuada aprovechando al máximo sus propiedades. Para el año 1995 se crean ya los primeros nanofluidos, elaborados utilizando nanopartículas de compuestos metálicos y derivados del carbono disueltas en fluidos base como agua, etilenglicol, olefinas y parafinas para obtener soluciones coloidales. Estudios realizados en fluidos refrigerantes demuestran que el uso de nanopartículas en ciertos fluidos genera propiedades térmicas y mecánicas útiles en diferentes aplicaciones, resaltan además que la adición de estas nanopartículas no modifica la viscosidad del fluido debido a las mínimas concentraciones utilizadas (Keblinski, Eastman, & Cahill, 2005).

En el año 2006 la empresa alemana MSH, tras 10 años de investigación, empieza la producción y comercialización de aditivos con nanopartículas para lubricantes, utilizando principalmente óxidos de silicio, aluminio y grafito. El uso de estas nanopartículas en bancos de prueba, muestran resultados favorables en la reducción de pérdidas mecánicas y mejoras en el desempeño de los motores de combustión interna ya que permiten reducir la fricción entre las superficies internas del motor que están en contacto, además de generar un comportamiento de aditivo anti desgaste (Xie, Jiang, He, Xia, & Pan, 2015).

Las pruebas de laboratorio y los estudios realizados por TÜV (Technischer Überwachungs-Verein, Organización alemana para la certificación de productos y servicios) e instituciones académicas, han demostrado que al utilizar nanopartículas de Dióxido de Silicio- SiO_2 , Óxido de Aluminio- Al_2O_3 y grafito en motores de maquinaria pesada y buques cargueros, se reduce la fricción, aumenta la vida útil del lubricante, minimiza el desgaste y la abrasión de las piezas móviles (Pohland, 2012).

Estudios realizados por Liu, Hu, Wang, Li y otros plantean dos teorías para aclarar el mecanismo de acción, las pruebas se realizaron utilizando tribómetros principalmente haciendo uso de la metodología disco-bola para la estimación de la fricción y posterior análisis microscópico de las superficies tratadas (Liu, Li, Wang, Sun, & Liu, 2002).

El primer mecanismo, llamado “micro rodamiento” explica que las nanopartículas ruedan en la interfaz de las dos superficies durante el movimiento relativo del motor debido a su forma esférica, así la fricción entre las superficies cambia de deslizamiento a rodadura, por lo que por obvias razones el coeficiente de fricción y el desgaste disminuyen. El segundo mecanismo es la “formación de películas protectoras” en este caso se postula que los aditivos lubricantes a base de nanopartículas pueden formar una capa o película delgada en los metales, la cual “repara” la superficie, rellenando irregularidades y rayaduras en el metal. Este proceso puede hacer que la superficie obtenga una reducción en el coeficiente de fricción, prevención de desgaste, y auto reparación de la superficie desgastada (Wang & Chung, 2013).

En cualquiera de los dos casos, las investigaciones únicamente se han enfocado entender cómo se genera el mecanismo de acción; autores como Shabanov y Zaitsev realizaron estudios diferentes, en los que utilizaron un banco de pruebas (motor 4 tiempos a carburador) en análisis prolongados y bajo diferentes condiciones, para determinar si la adición de nanopartículas de silicio, aluminio o grafito produce cambios en la eficiencia del motor. Concluyeron que el consumo de combustible y las pérdidas mecánicas disminuyen hasta en un 20%, aumentando además el torque generado y mejorando la combustión del MCI (Shabanov & Zaitsev, 2007).

1.2. Justificación e Importancia

El aumento de la eficiencia de los motores de combustión interna (MCI) ha sido por más de un siglo tema de estudio e investigación alrededor del mundo entero, dando como resultado la creación e implementación de sistemas anexos y alternativas que ayuden y brinden mejoras a estas máquinas. En la actualidad la nanotecnología contribuye en la mejora de las propiedades de los lubricantes aumentando la eficiencia de los motores, por lo que es fundamental poder aprovechar en nuestro país las ventajas que este tipo de tecnología nos brinda.

Si bien es cierto la tendencia actual de los fabricantes automotrices es dar un giro hacia la propulsión vehicular con motores híbridos o eléctricos, en el Ecuador pasaran varias décadas para que la transición se dé por completo, por lo que es muy importante contar con alternativas que den soporte a los MCI. Este estudio permitirá que los propietarios de maquinaria y vehículos automotrices logren reducir costos de mantenimiento, aumentar la vida útil y mejorar su eficiencia.

Este proyecto contribuye a la población a comprender cómo funcionan los nanomateriales aplicados como aditivos lubricantes para MCI; finalmente permite que la utilización de estos aditivos sea respaldada técnicamente considerando todas las variables operativas que cambian en nuestro país y en América latina en general, como la calidad del combustible, condiciones atmosféricas y el tipo de lubricante utilizados en pruebas previas en otros países.

1.3. Definición del Problema

Como se mencionó anteriormente, la investigación relacionada al uso de nanopartículas como aditivos lubricantes en motores se ha desarrollado en varios países en el mundo y ha procedido desde hace más de 20 años. Sin embargo, en el Ecuador, hasta la fecha, no se ha realizado ningún

estudio para verificar si el uso de estas nanopartículas genera la misma respuesta en los motores al utilizar un combustible de diferentes características (gasolina extra de 87 de octanos).

Debido a la facilidad de fabricación, la creación de métodos más precisos como el Sol-gel la disposición de nanopartículas se ha generalizado en el mundo permitiendo que la investigación del comportamiento de los nanoaditivos sea posible actualmente.

Para estimar los cambios que las nanopartículas generan en los MCI se han realizado pruebas en bancos de pruebas durante largos periodos de tiempo, pero pocos son los registros de pruebas en motores de vehículos utilitarios.

Los cambios generados en los parámetros termodinámicos y de desempeño de un MCI ante el uso de Dióxido de Silicio, Oxido de Aluminio y Grafito añadidos en el sistema de lubricación deben ser analizados para poder comprobar si se generan ventajas o desventajas al utilizar este aditivo, fabricado por la empresa .

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo general

- Realizar un análisis comparativo de los parámetros termodinámicos y de desempeño de un motor de combustión interna de 4 tiempos, determinados en las fases previa y posterior al uso de nanopartículas como parte del sistema de lubricación.

1.4.2. Objetivos específicos

- Determinar la variación en la eficiencia termodinámica del motor de combustión interna al utilizar nanopartículas de dióxido de Silicio-SiO₂, óxido de Aluminio-Al₂O₃ y grafito.
- Determinar si la adición de partículas nanométricas en el aceite lubricante afecta sus propiedades y a su vida útil.
- Comparar cuantitativamente los parámetros de desempeño del motor (Potencia, Torque, C.E.C.) al utilizar nano partículas.
- Determinar la variación en la composición estequiométrica de los gases de escape al utilizar nano partículas.

1.5. Alcance

El presente proyecto contempla la realización de un análisis comparativo de los parámetros termodinámicos y de desempeño de un motor de combustión interna ciclo Otto, a los datos obtenidos en pruebas de desempeño en dinamómetro y análisis reológicos del aceite lubricante antes y después de adicionar Dióxido de Silicio, Oxido de Aluminio y Grafito en el sistema de lubricación del automotor, permitiendo así determinar los cambios generados por las nanopartículas en el MCI.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Nanotecnología

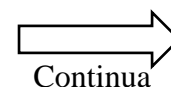
La nanotecnología es un amplio campo de la ciencia moderna y también de la ingeniería, que crea, potencialmente, infinitas aplicaciones en cualquier tipo de industria. Este término se define con mayor frecuencia como la creación y uso de materiales, dispositivos y sistemas a través del control de la materia a escala nanométrica en las que al menos una dimensión se expresa en nanómetros. Usualmente, las dimensiones de estas estructuras están en el rango de 1 a 100 nm (1 nm equivale a $1E^{-9}$ [m]). El término nanotecnología fue utilizado por primera vez en 1974 por el científico japonés Norio Taniguchi usó el término para describir procesos de semiconductores. Su definición de nano-tecnología fue la siguiente: "La nanotecnología consiste principalmente en el proceso de separación, consolidación y deformación de los materiales por un átomo o una molécula" (Zarzycki, 2014).

2.1.1. Aplicaciones

Hoy en día, la nanotecnología es un campo interdisciplinario que involucra áreas como la mecánica de precisión, electrónica, química, física, ciencia de los materiales, sistemas electromecánicos, así como el uso de la bioingeniería y la biomedicina para la terapia génica o la aplicación de drogas, en la Tabla 1 podemos ver las aplicaciones más importantes. Alrededor del mundo tanto países como instituciones privadas proyectan fuertes inversiones hacia el desarrollo y aplicación de la nanotecnología a través de nanomateriales para todas las industrias mencionadas en esta tabla. (Zarzycki, 2014)

Tabla 1*Principales aplicaciones de la nanotecnología.*

INDUSTRIA	APLICACIONES
Medio Ambiente	Tratamiento de aguas residuales, desalinización de agua, descontaminación de suelos, tratamiento de residuos, reciclaje de sustancias, nanosensores para la detección de sustancias químicas dañinas o gases tóxicos, son algunas de las aplicaciones de la nanotecnología en el medio ambiente.
Energía	En cuanto al sector energético, se busca mejorar los sistemas de producción y almacenamiento de energía, en especial las renovables, como la energía solar, o basadas en el Hidrógeno; también tecnologías que disminuyan el consumo de energía por medio del desarrollo de aislantes térmicos más eficientes basados en nanomateriales.
Medicina	Nanomedicina, en esta área encontramos el desarrollo de nano transportadores de fármacos dirigidos a sitios específicos del cuerpo, que pueden ser útiles en el tratamiento del cáncer u otras enfermedades; biosensores moleculares con la capacidad de detectar alguna sustancia de interés como glucosa o un biomarcador de alguna enfermedad, nanobots programados para reconocer y destruir células tumorales o bien reparar algún tejido como el tejido óseo a raíz de una fractura, nanopartículas con propiedades antisépticas y desinfectantes; partes del cuerpo creadas en laboratorio.
Tecnologías de la comunicación e informática.	Creación sistemas de almacenamiento de datos con mayor capacidad y reduciendo su actual tamaño, pantallas basadas en materiales con mayor flexibilidad u otras propiedades como transparencia, así como el desarrollo de la computación cuántica.



Continua

Alimentos	La nanotecnología se aplica en la industria alimentaria desarrollando nanosensores y nanochips útiles en el control de la calidad y seguridad del alimento, dispositivos que funcionen como nariz y lengua electrónica, detección de frescura y vida útil de un alimento, detección de microorganismos patógenos, aditivos, fármacos, metales pesados, toxinas y otros contaminantes, desarrollo de nanoenvases, e incluso nanoalimentos con propiedades funcionales nutritivas y saludables.
Textil	La industria textil está desarrollando tejidos que repelen las manchas y no se ensucian, incorpora nanochips electrónicos que dan la posibilidad de cambio de color a las telas o el control de color variando la temperatura.

Fuente: (Aqua, 2016)

2.2. Nanopartículas

Una nanopartícula (nanopolvo, nanoracimo, o nanocristal) es una nueva clase de partícula con por lo menos una dimensión menor a 100 nm. Actualmente las nanopartículas son un área de intensa investigación científica, debido a una amplia variedad de aplicaciones potenciales (Ver Figura 1) en campos tales como biomédicos, ópticos, electrónicos, nanoquímica, agricultura, etc. Las partículas están calificadas por su diámetro y dependiendo de su tamaño estas poseerán propiedades físicas y químicas particulares. Las partículas ultrafinas son las mismas que las nanopartículas entre 1 y 100 nm en tamaño. Las partículas finas están entre los 100 y 2,500 nm. Las partículas gruesas cubren un rango de entre 2,500 y 10,000 nm. (Gutiérrez Wing, s.f.)

2.2.1. Principales Nanopartículas y sus características.

Nanoarcillas (nanoclays): Silicatos laminados. Su estructura consiste en dos capas formadas por tetraedros de óxido de aluminio (Al_2O_3) y una capa de octaedros de óxido de silicio (SiO_2), formando apilamientos, con un espaciado regular entre ellas denominada galería. El silicato

más utilizado es la montmorillonita. Se emplean por sus propiedades barrera a gases/vapores, propiedades mecánicas y térmicas, anti ignifugo, etc. (Araque Burjassot, 2014)

Carbonato de calcio: Proporciona una mejora de la dureza, viscosidad, estabilidad dimensional y propiedades térmicas de materiales como poliolefinas, PET o ácido poliláctico (PLA). nanocomposites.

Nanopartículas de óxidos metálicos: Como TiO₂, ZnO y SiO₂, empleados por su capacidad de absorción de rayos UV, rigidez, dureza, propiedades antimicrobianas, propiedades foto catalíticas, colorantes, etc.

Nanopartículas metálicas: Entre las más utilizadas están la plata, el zinc y oro. Presentan propiedades catalíticas, propiedades antimicrobianas, antifricción y desgaste, propiedades barreras, etc. También se emplean por sus propiedades eléctricas y magnéticas por ejemplo en circuitos electrónicos impresos. Otras aplicaciones son para el aumento de rigidez o dureza en superficies.

Grafeno: Gran interés por las excelentes propiedades mecánicas, estructurales, térmicas y eléctricas del grafito. (Araque Burjassot, 2014)

Negro de carbono: Color, resistencia mecánica y a temperatura.

Nanocelulosa: Por sus propiedades biodegradable y propiedades mecánicas.

Nanotubos de carbono: Su estructura es la de una lámina de grafito enrollada sobre sí misma. Dependiendo del grado de enrollamiento y de cómo se conforma la lámina original, se obtienen nanotubos de distinto diámetro y geometría interna. En general existen tres tipos de CNT:

Nanotubos monocapa, o SWNTs (Single-Walled Nanotubes) a modo de canuto, Nanotubos de doble capa, o DWCNT (Double-wall carbon nanotubes). Nanotubos multicapa, o MWNTs (Multi-walled Nanotubes): Su estructura se asemeja a la de una serie de tubos concéntricos.

Debido a la resistencia termo-mecánica que proporcionan a los polímeros, se emplean como agentes de refuerzo en matrices poliméricas como poliésteres, policarbonato, poliestireno, o incluso en poliolefinas. También se emplean por su conductividad eléctrica. (Araque Burjassot, 2014)

En la Figura 1 se muestran las principales aplicaciones de las nanopartículas, en cada subdivisión se muestra el tipo de industria el campo de aplicación y al final tenemos el producto o servicio que se puede obtener al utilizar los nanomateriales.

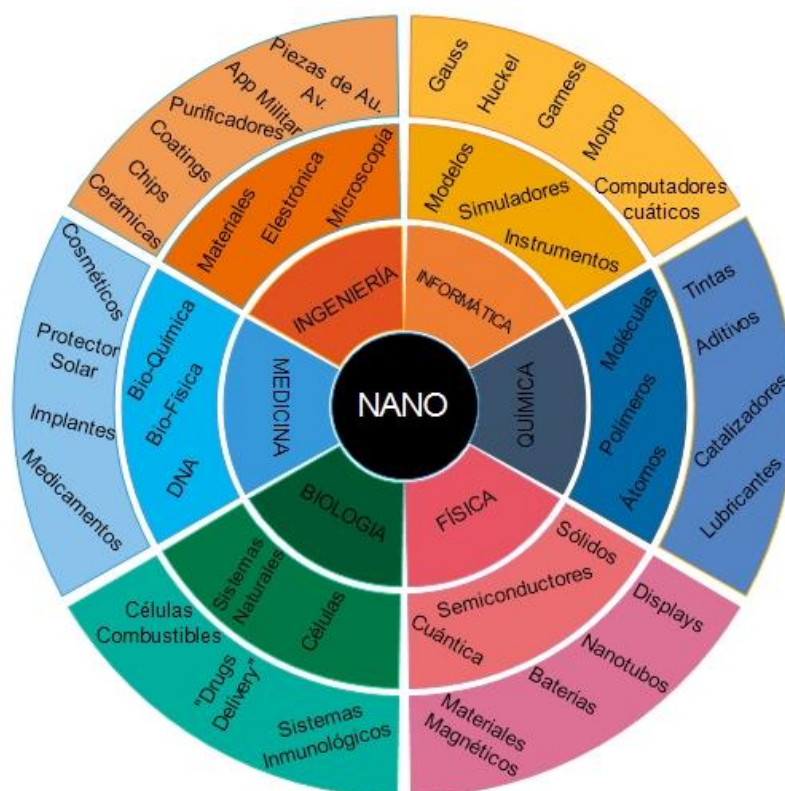


Figura 1. Aplicación de las nanopartículas en ciertas industrias
Fuente: (Matsuda, 2017)

2.2.2. Métodos de obtención

Los materiales en la escala del nanómetro se han producido por varias décadas. El Negro de carbón (material producto de la combustión incompleta de los hidrocarburos), por ejemplo, se ha utilizado en neumáticos desde 1930. Hoy en día, las capacidades de producción de nanomateriales especialmente diseñados han aumentado considerablemente. La mayoría de los nanomateriales son producidos sintéticamente y las diversas aplicaciones requieren que las características de las nanopartículas sean definidas con precisión (Flexicon, 2015).

Se han desarrollado una serie de procesos de producción para satisfacer las formas, composiciones y distribuciones de los tamaños buscados (Oliveira Santos, 2017).

Para eso, tanto científicos como ingenieros también usan diferentes metodologías y herramientas. Para comprender y distinguir los métodos de obtención de las nanopartículas dos términos deben ser definidos; “de arriba hacia abajo” (Top-Down) y de “abajo hacia arriba” (Bottom-Up). Brevemente, “de arriba hacia abajo” se refiere a los métodos de fabricación de nano objetos para los cuales se utilizan métodos de obtención macroscópicos (métodos físicos), tales como grabado, deposición, mecanizado, etc.; mientras que “de abajo hacia arriba” a los métodos donde las estructuras se construyen átomo por átomo o molécula por molécula (métodos químicos) (Zarzycki, 2014).

En la Figura 2 y en la Figura 3 se ilustra el proceso de formación de las nanopartículas dependiendo el método utilizado (Top-Down o Bottom-Up). Podemos ver que el tipo de método utilizado permite definir el tamaño e inclusive la calidad de la nanopartícula obtenida.

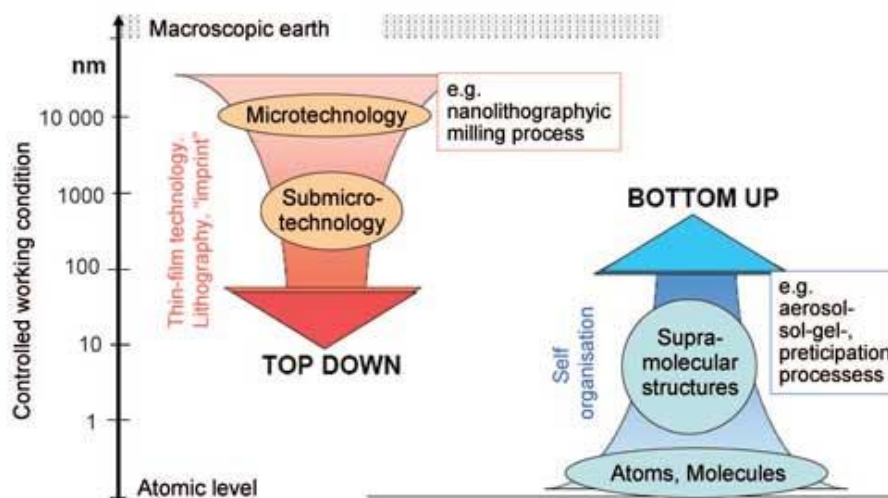


Figura 2. Enfoque de constitución de nanopartículas Top-Down y Bottom-Up
Fuente: (Scherrer, 2016)

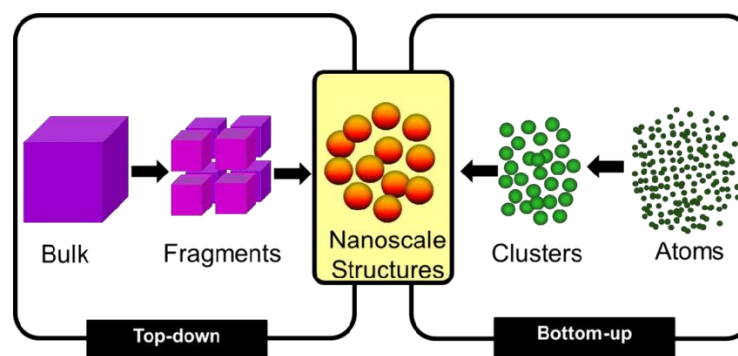


Figura 3. Diferencia en los métodos de obtención Top-Down y Bottom-Up
Fuente: (Scherrer, 2016)

2.2.2.1. Métodos de obtención físicos (Top-Down)

“De arriba hacia abajo” se refiere a procesos de producción de partículas mecánica-físicas basados en principios de tecnología de microsistemas. Los métodos tradicionales de trituración mecánica-física para producir nanopartículas implican varias técnicas de molienda (Oliveira Santos, 2017).

La Figura 4 ilustra el flujo de proceso para la obtención de nanopartículas mediante el proceso (Top Down), da inicio con cuerpos del orden de los centímetros y mediante molienda, trituración o cualquier proceso de fragmentación mecánica se reducen las partículas a la escala deseada.

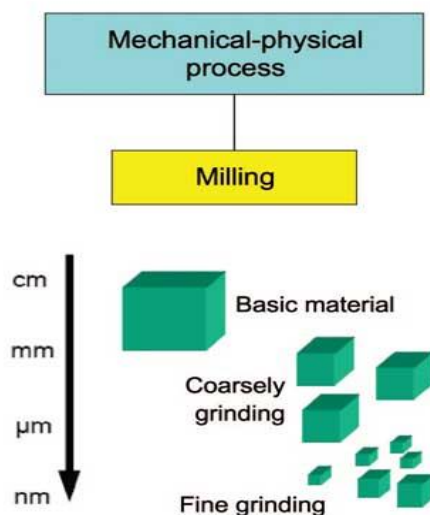


Figura 4. Esquema de procesamiento mecanizado
Fuente: (Oliveira Santos, 2017)

2.2.2.2. Métodos de obtención químicos (Bottom-Up)

Los métodos ascendentes se basan en principios fisicoquímicos de auto organización molecular o atómica. Consiste en construir a partir de las menores “piezas de materia” conocidas, como son los átomos y las moléculas, entidades supramoleculares en la escala nanométrica con propiedades específicas y un mejor control del tamaño (Torres Cebada, s.f.).

En la Figura 5 se muestra los procesos químico físicos de fase líquida o gaseosa para la obtención de nanopartículas (Bottom-Up). Se observa que el proceso da inicio en la escala atómica siendo posible obtener nanomateriales e inclusive cuerpos micrométricos.

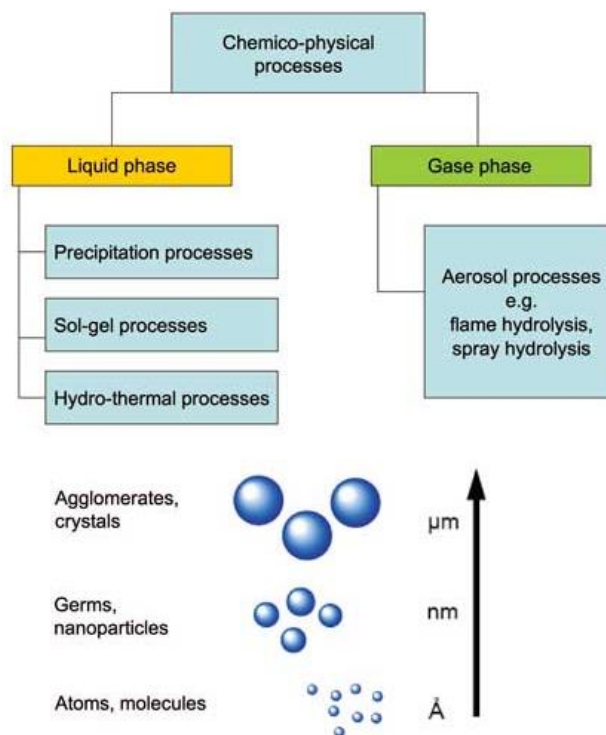


Figura 5. Esquema de procesamiento de partículas por método de obtención químico
Fuente: (Oliveira Santos, 2017)

Procesos Sol-gel

Las síntesis de sol-gel (producción de un gel a partir de materiales en forma de polvo) son procesos químicos húmedos para producir nanomateriales porosos, polímeros cerámicos nanoestructurados, así como nanopartículas de óxido. La síntesis tiene lugar en condiciones relativamente suaves y a bajas temperaturas (Ko, Etrl, Knözinger, & Weitkamp, 1999).

El término “sol” se refiere a dispersiones de partículas sólidas en el intervalo de tamaños 1-100 nm, que se distribuyen finamente en agua o disolventes orgánicos. En los procesos sol-gel, la producción o deposición de material tiene lugar desde un estado de sol líquido, que se convierte en un estado de gel sólido mediante una transformación sol-gel Figura 6.

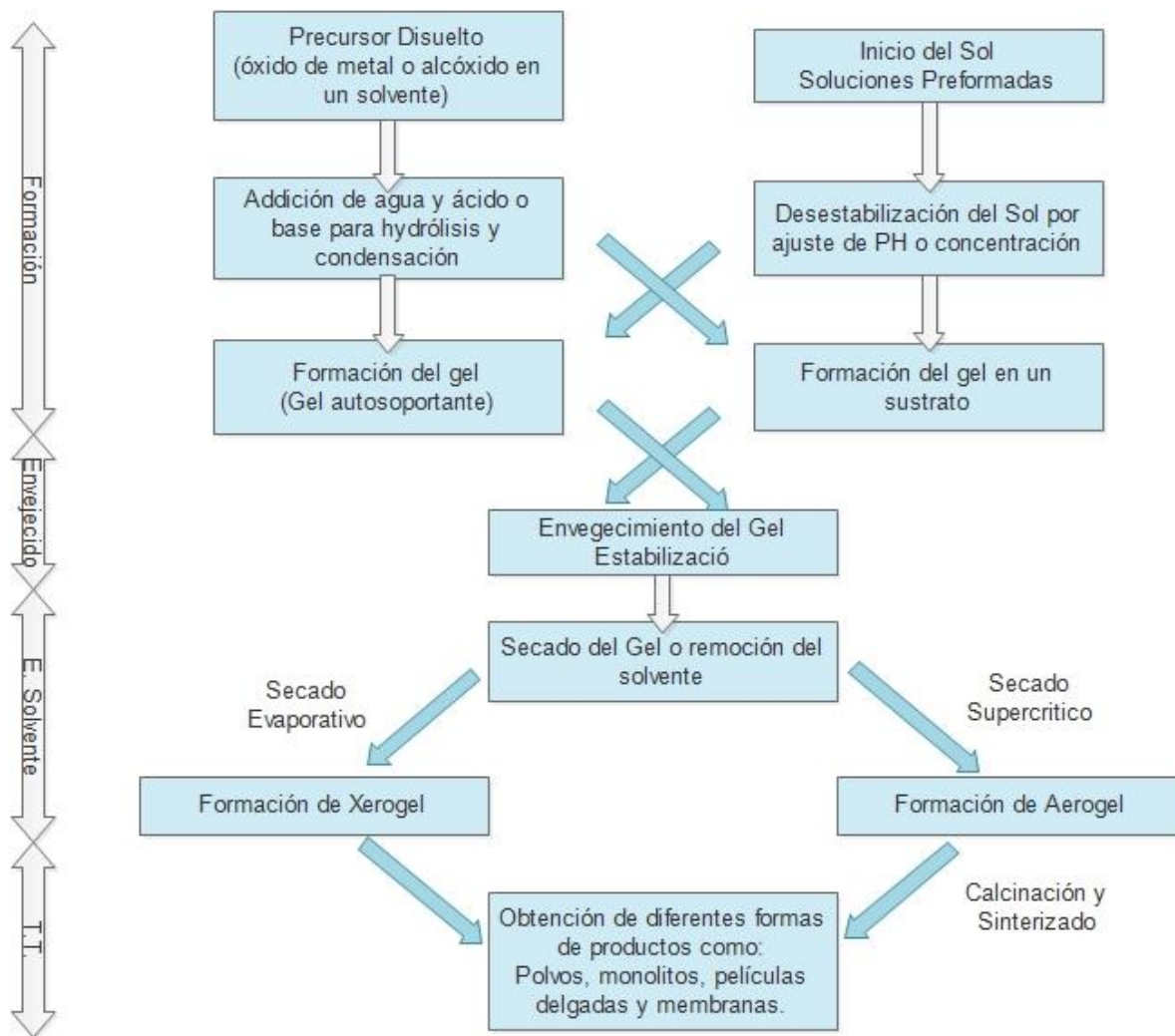


Figura 6. Flujo de fabricación de nanopartículas mediante el proceso Sol-Gel
Fuente: (Ko, Etrl, Knözinger, & Weitkamp, 1999)

2.2.3. Nanopartículas aplicadas a los lubricantes automotrices.

Los aditivos lubricantes a base de nanopartículas pueden funcionar como reductores de fricción, aditivo anti desgaste y de extrema presión, etc. Actualmente se han investigado muchos tipos de NPs y se ha demostrado que son un potencial aditivo lubricante de excelentes prestaciones, algunos de los cuales han sido industrializados. En general, se clasifican en los siguientes seis tipos: (Wang & Chung, 2013).

- NPs Metálicas
- NPs de compuestos metálicos
- NPs de compuestos de tierras raras
- NPs de carbono
- NPs poliméricas
- NPs de materiales estructurados

Tabla 2

Resumen de los aditivos lubricantes a base de nanopartículas.

Materiales		Representativos
Metales		Ag, Cu, Ni, Al, In, Sn, Bi, Pb, etc. Al + Sn (mezcla mecánica)
Compuestos Metálicos	Aleaciones Metálicas	Cu-Ni, In-Sn, Bi-In, Pb-Bi, Sn-Bi, Sn-Cd, Bi-Pb-Sn-Cd, etc.
	Óxidos Metálicos	CuO, SiO ₂ , TiO ₂ , Al ₂ O ₃ , ZrO ₂ , ZnO, PbO, Fe ₂ O ₃ , Fe ₃ O ₄ , etc.
	Boratos Metálicos	Borato de calcio, borato de magnesio, borato de lantano, titanio borato, borato cúprico, etc
	Carbonatos Metálicos	CaCO ₃ , SrCO ₃ , etc.
	Sulfatos Metálicos	ZnS, PbS, CuS, Ag ₂ S, etc.
	Hidróxidos Metálicos	Ni(OH) ₂ , Mg(OH) ₂ , Mn(OH) ₂ , Cu(OH) ₂ , Zn(OH) ₂ , etc.
Compuestos de tierras raras		LaF ₃ , La(OH) ₃ , CeF ₃ , CeO ₂ , etc.
Carbono		Nano-diamond, graphite
Polímeros		Polytetrafluoroethylene (PTFE), polystyrene (PS), etc.
Materiales estructurados	Fullerenos	C ₆₀ , C ₇₀ , carbon onions (COs)
	Fullerenos inorgánicos como dicalcogenuros	IF-MoS ₂ , IF-WS ₂ , IF-Mo _x W _{1-x} S ₂ , IF-MoSe ₂ , IF-WSe ₂
	Nanopartículas huecas	HN- WS ₂ , Nanotubos de carbono

Fuente: (Wang & Chung, 2013)

En la (Tabla 2) se mencionan las nanopartículas de interés que han sido ampliamente estudiadas en las últimas décadas. Toda esta clase de nanopartículas representan hoy en día tema importante en el desarrollo de aditivos lubricantes de nueva generación para el campo de la tribología. (Wang & Chung, 2013)

Debido a su estructura ultrafina, las NPs exhiben propiedades fisicoquímicas especiales y nuevas debido a su tamaño cuántico. Los aditivos lubricantes basados en nanotecnología tienen mayores ventajas que las alternativas tradicionales usadas actualmente en el mercado (Liu, Li, Wang, Sun, & Liu, 2006).

Características especiales de los nanoaditivos:

Alta densidad de suspensión. La cantidad de partículas aumentan un millón de veces si el diámetro de las partículas del aditivo disminuye de 1 μm a 10 nm. Es obvio que la densidad de suspensión de la dispersión de lubricante que contiene aditivos basados en nanopartículas es mucho más alta que el de los aditivos tradicionales con tamaños de escala micrométrica. Además, las NPs pueden entrar fácilmente en pequeños espacios entre pares deslizantes debido a sus tamaños ultrafinos, donde los aditivos de escala micrométrica tradicional no pueden. Se puede decir que los lubricantes con aditivos basados en nanopartículas pueden proporcionar protección más confiable contra el desgaste causado en los puntos de fricción vacantes generados por presión extrema. Mientras tanto, también puede minimizar el uso de aditivos en aceite base reduciendo costos (Wang & Chung, 2013).

Mecanismo de acción. La reducción de la fricción, protección antidesgaste, y prestaciones de extrema presión de los lubricantes con aditivos tradicionales se atribuyen a la formación de

películas físicas o químicas con baja resistencia al corte entre las superficies de fricción, en el que el correspondiente proceso de fricción ocurre. Sin embargo, el mecanismo tribológico es muy diferente para los lubricantes con aditivos basados en nanopartículas (Wang & Chung, 2013).

Sometidos a baja temperatura y carga normal, NP's con formas esféricas y poliédricas pueden reducir la fricción al cambiar los tipos de desgaste desde fricción deslizante a fricción de rodadura o fricciones mixtas de ambos y evitar que los pares de fricción generen contacto directo. En temperaturas locales más altas y carga normal, las NP's pueden incrustarse en superficies de fricción o reaccionar con ciertos elementos de los pares de fricción para formar películas protectoras. Casi todos los comportamientos de fricción no ocurren directamente en el cuerpo de los pares de fricción. Por lo tanto, los aditivos basados en nanopartículas no corroen las bases metálicas y algunos incluso exhiben capacidades de auto reparación, como las NPs de metal blando.

Alta resistencia de película límite. Los aditivos tradicionales, compuestos polares orgánicos de cadena larga poseen una baja fuerza de resistencia en las películas formadas, sean físicas o químicas, además son altamente sensibles a la temperatura, limitando su aplicación en casos específicos. Las películas límite formadas por aditivos con NP's poseen mucha más resistencia adhiriéndose de mejor manera a las superficies. Por un lado, la mayoría de las NP's utilizadas como aditivos lubricantes son materiales inorgánicos que tienen alta dureza, y su dureza y fuerza mejoran con la disminución del tamaño de partícula. Por otro lado, el punto de fusión de las NP es más bajo que el de su masa proveniente y reduce con la disminución del tamaño de las partículas. Durante el proceso de operación del motor, estas NP's pueden derretirse por el calor generado por la fricción formando películas protectoras. Comparado con lubricantes que contienen aditivos tradicionales,

los aditivos basados en nanopartículas han expresado una excelente reducción de la fricción, protección antidesgaste y mejor comportamiento en extrema presión (Wang & Chung, 2013).

2.2.4. Nanopartículas de interés

2.2.4.1. Dióxido de Silicio – SiO₂

El dióxido de silicio, también conocido como sílice, ácido silícico o cualquier tipo de ácido silícico, es un óxido de silicio con la fórmula química SiO₂, que se encuentra más comúnmente en la naturaleza como el cuarzo y en varios organismos vivos. En muchas partes del mundo, la sílice es el principal componente de la arena. La sílice es una de las familias de materiales más complejas y más abundantes, que existe como un compuesto de varios minerales y como producto sintético. Ejemplos notables incluyen cuarzo, sílice pirógena, gel de sílice y aerogeles (Haynes, 2014).

Entre las principales propiedades del óxido de silicio (SiO₂) están:

- Densidad: 2.6 g/cm³
- Masa molar: 60,0843 g/mol
- Punto de fusión: 1713 °C
- Punto de ebullición: 2230 °C
- Solubilidad: 0,012g en 100g de agua

2.2.4.2. Óxido de Aluminio – Al₂O₃

El óxido de aluminio (Al₂O₃) también conocido como Alúmina, es un polvo blanco de elevada dureza y resistencia media. Está presente en la naturaleza en forma de corindón y de esmeril. Su obtención puede realizarse de forma sintética a partir de la bauxita (Haynes, 2014).

Se encuentra formado por:

2 átomos de aluminio y 3 átomos de oxígeno

Las principales propiedades del óxido alumínico (Al_2O_3) son:

- Densidad: 3,95 g/cm³
- Masa molar: 101,9 g/mol
- Punto de fusión: 2072 °C
- Punto de ebullición: 2980 °C

2.2.4.3. Carbono Tratado – Grafito

Inicialmente los nanomateriales, específicamente el grafito, solo se aplicaban como lubricantes secos en condiciones extremas en entornos tales como aplicaciones de alta temperatura, donde los lubricantes orgánicos se consideran inadecuados.

Se trata de un mineral considerado de carbono casi puro, de brillo metálico y color negro algo graso al tacto. El grafito procede de las rocas carbonosas que han sufrido metamorfismo, se extrae de esta forma de las minas, más predominante en Asia (Haynes, 2014).

En el grafito los átomos de carbono están fuertemente unidos en el plano mediante enlaces covalentes, configurando capas (planos basales). Estas capas están apiladas paralelamente y unidas entre sí por fuerzas de Van der Waals, más débiles. Para ser más precisos, la distancia entre planos basales es de 0,335 nm. Los grafitos se pueden dividir en dos grandes grupos de acuerdo con su origen, natural o sintético (Haynes, 2014).

Propiedades del grafito

El grafito natural es un mineral suave, de color gris a negro y brillo metaloide, es estable, inodoro y no tóxico. Su peculiaridad es que no funde en condiciones normales (presión atmosférica), sublimando a temperaturas del orden de 3.725 °C, por lo que es extremadamente refractario. Tiene una densidad de 2,26 g por cm(cúbico). No obstante, la mayoría de los materiales grafiticos presentan valores de densidad menores de 2,26 g por cm(cúbico), debido a la presencia de imperfecciones estructurales, tales como porosidad, vacantes atómicas y dislocaciones (Haynes, 2014).

2.2.5. Nanofluidos

Los nanofluidos (NFs) son una nueva clase de materiales compuestos de partículas sólidas, contienen nanopartículas dispersadas en algún tipo de líquido. Estos nuevos líquidos compuestos han atraído mucha atención después de que variaciones en sus propiedades térmicas fueron reportadas a finales del siglo pasado. Una pequeña cantidad (<1% fracción volumétrico) de nanopartículas de cobre o nanotubos de carbón en etilen glicol (EG) o en aceites de motor incrementaron la conductividad térmica de los fluidos en un 40 y 150%, respectivamente (Keblinski, Eastman, & Cahill, 2005).

Un nanofluido comprende partículas de tamaño suficientemente pequeño para no verse afectadas por las fuerzas gravitacionales ($\leq 1 \mu\text{m}$) pero suficientemente grande para mostrar diferencias con respecto de las disoluciones reales ($> 1 \text{ nm}$). Las partículas coloidales pueden ser de naturaleza cristalina o amorfa. Las suspensiones acuosas de partículas de tamaño comprendido entre 5–100 nm son de gran interés en muchas aplicaciones (Keblinski, Eastman, & Cahill, 2005).

2.2.5.1. Propiedades de los nanofluidos

En 1995, Choi, utilizo por primera vez el término nanofluidos para designar a los fluidos con nanopartículas en suspensión (Choi, 1998). Estas suspensiones presentan importantes ventajas con respecto a las suspensiones coloidales convencionales como su elevada superficie específica, predominante movimiento browniano y fácil modificación de sus propiedades ajustando las interacciones entre partículas. Pero una de sus principales características es que pueden aguantar durante periodos de tiempo muy prolongados sin que se produzca una sedimentación significativa o una pérdida de estabilidad. Las propiedades termofísicas de los nanofluidos determinan su comportamiento ante factores externos como la presión y la temperatura (Choi & Eastman, 1995).

Las propiedades más importantes que caracterizan a los nanofluidos son:

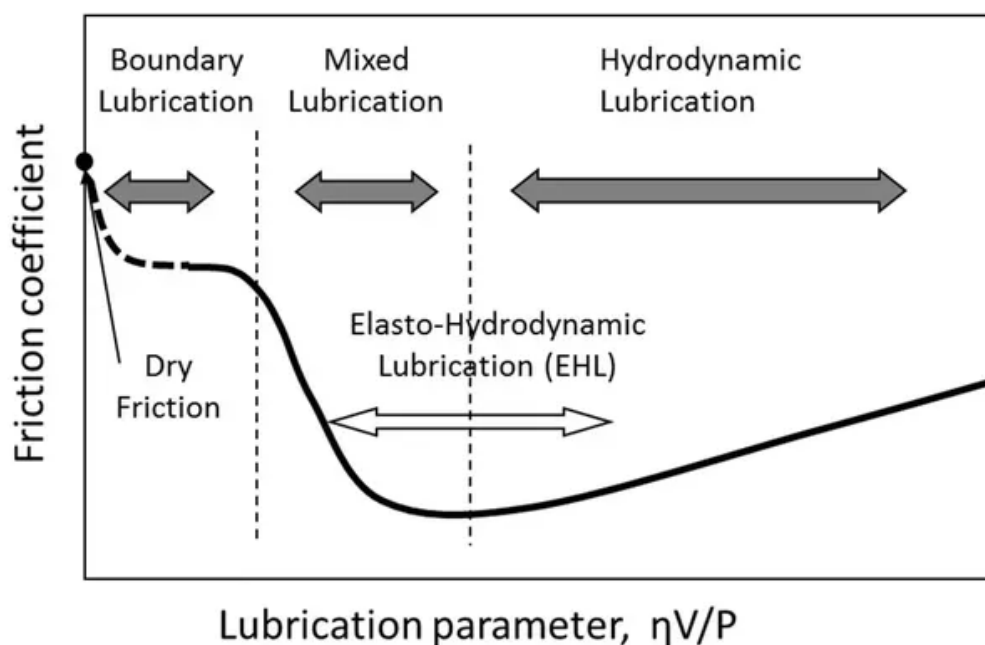
- Viscosidad Cinemática y Dinámica
- Calor específico
- Conductividad térmica
- Densidad

2.3. Influencia de los aditivos nanométricos en los lubricantes automotrices.

La reducción de la fricción al deslizar dos contrapartes en movimiento en presencia de un lubricante se realiza mediante la reducción de la resistencia al corte en el material de interfase (el llamado tercer cuerpo). Cuando se usa un lubricante líquido viscoso, tres regímenes de lubricación han sido identificados, de acuerdo con la curva de Stribeck (Figura 7) lubricación hidrodinámica (HD), lubricación elastohidrodinámica (EHL) y lubricación de frontera (BL). En el primer régimen, la carga normal es respaldada por una película líquida y su espesor es suficiente para separar las

superficies deslizantes evitando cualquier contacto metálico entre ellos. Ya que el grosor de la película generalmente está en el orden de los micrones, las pequeñas nanopartículas no interfieren en el régimen de HD. En el régimen EHL, el espesor de la película de lubricante disminuye drásticamente y se somete a alta presión y cizalla. Este régimen de lubricación se produce en varios contactos mecánicos en motores térmicos (pistones, leva / seguidor, etc.). En este caso, el espesor de la película es de el orden del tamaño de partícula y las interacciones comienzan a ser posibles. (Wang & Chung, 2013)

Los nanolubricantes son más activos sobre la lubricación de frontera (BL) donde la película es tan delgada que las asperezas del metal entran en contacto real, generando desgaste adhesivo y abrasivo. En este caso, los nanoaditivos añadidos al aceite lubricante forman tribofilms por reacciones triboquímicas en las superficies por lo que se logra reducir la fricción y evitar el desgaste abrasivo (Wang & Chung, 2013).



Continúa →

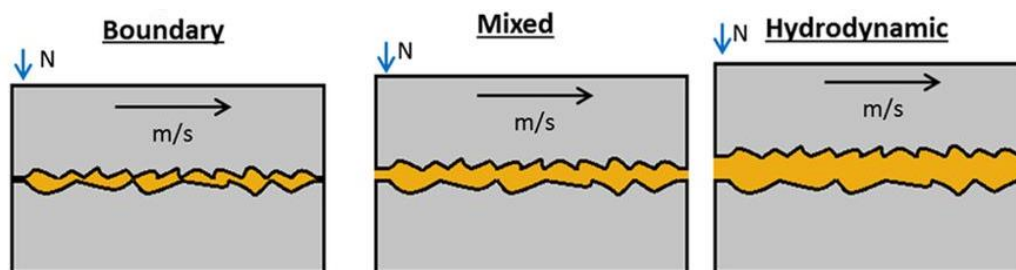


Figura 7. Curva de Stribeck (Influencia de los nanoaditivos según la lubricación)
Fuente: (Wang, 2003)

El tratamiento con nanopartículas mejora el rendimiento en condiciones de presión extrema. Las pruebas de laboratorio muestran que la inclusión de estas aumenta la protección contra el desgaste incluso en condiciones de funcionamiento en seco, cuando no existe una película lubricante continua, normalmente puede provocar la soldadura de las piezas móviles debido a la fundición del metal por la temperatura generada por la fricción (Shabanov & Zaitsev, 2007).

(Compuesto nanotecnológico constituido por Dióxido de Silicio, Oxido de Aluminio y Grafito) se ha probado en ensayos industriales prácticos a largo plazo en los cuales se comprueba la teoría del aporte nanotecnológico en la transferencia de calor y la lubricación. Las pruebas en motores han mostrado mejoras significativas en la potencia, desarrollando la potencia del motor más rápido a menos revoluciones (Efficiency Technologies, 2007).

El material nano particulado como nanofluido es fácil de usar en motores, se puede mezclar con cualquier aceite, grasa o grasa artificial y se puede aplicar sobre superficies metálicas en contacto con el lubricante. Una vez que está en el límite (Lubricación de frontera, Figura 7) el material reacciona con la superficie metálica en condiciones normales de operación para formar una capa a nanoescala. Una vez tratado, el compuesto sigue teniendo efecto después de los cambios

de lubricante en un motor. El adicionar nanopartículas no tiene influencia en las formulaciones o recetas de lubricantes y no forma capas rígidas. No hay azufre, fósforo o zinc presente. Las concentraciones son tan bajas como 10 partes por millón, por lo que sus propiedades se mantienen sin modificaciones (Efficiency Technologies, 2007).

Las pruebas de laboratorio y los estudios realizados por TÜV (Technischer Überwachungs-Verein, Organización alemana para la certificación de productos y servicios), instituciones académicas y la industria han demostrado independientemente que el utilizar nanopartículas de Dióxido de Silicio-SiO₂, Óxido de Aluminio-Al₂O₃ y Carbono tratado reduce la fricción, protege la estructura del lubricante, minimiza el desgaste y la abrasión de las piezas móviles, limpia y regenera las superficies en fricción (Efficiency Technologies, 2007).

2.4. Parámetros termodinámicos y de desempeño de los motores de combustión interna

2.4.1. Presión de Compresión

Valor de la presión en el punto muerto superior, medida en el interior de la cámara de combustión por medio de un manómetro o sensor de presión. La magnitud obtenida (de 0 a 300 psi, según el motor) indica el estado de desgaste y que tan efectivo es el sello o estanqueidad que se generan en los anillos de compresión, empaque del cabezote y en los asientos de las válvulas de cada cilindro (Acosta, 2016).

2.4.2. Eficiencia termodinámica

La eficiencia térmica (2) de un motor es la relación entre la potencia de salida dividida para la energía potencial del combustible utilizado. El motor de gasolina posee eficiencia térmica teórica aproximada de un 45 % pero debido a las pérdidas por ineficiencias de combustión, fricción, etc.

La potencia útil es de apenas alrededor de 13% del total contenido por el combustible, “esto significa que de 8 litros de gasolina apenas uno es usado para mover el vehículo.” (Volvo, 2016)

El motor térmico recibe un calor, Q_c , de una fuente caliente, efectúa un trabajo, W , y debe ceder calor, Q_f , a un punto frío.

Para que la energía se conserve debe cumplirse que:

$$Q_c = W + Q_f. \quad (1)$$

El rendimiento es, por lo tanto:

$$\eta_t = \frac{P_f}{\dot{m} * Q_{Neto}} \quad (2)$$

2.4.3. Torque y Potencia

El torque y la potencia son indicadores del funcionamiento del motor, y nos dicen qué tanta fuerza se produce y la rapidez con la que puede trabajar.

2.4.3.1. Torque

En términos más técnicos, el torque (par motor) es la fuerza que producen los cuerpos de rotación y se puede definir como la capacidad que tiene el motor para mover un vehículo, con o sin carga dentro de él (Rueda, 2017). Entonces podemos decir que el torque es la fuerza que saca de su estado de reposo a un vehículo y lo pone en movimiento, por lo que, a mayor torque, mayor aceleración tendrá el dicho vehículo.

La combustión de la mezcla aire-combustible, por acción de la chispa eléctrica, genera un aumento de la presión y temperatura en el interior de los cilindros del motor. Esta presión interior

produce a su vez una fuerza de empuje F sobre el pistón que lo desplaza generando el clásico mecanismo de biela-manivela de los motores de combustión interna alternativo, donde el movimiento lineal del pistón en el interior del cilindro se transforma en un movimiento rotatorio del cigüeñal. La fuerza que actúa sobre el pistón es proporcional a la presión media efectiva durante la carrera de expansión (Genta et al., 2014), la misma que depende del grado de llenado de los cilindros, de la relación de compresión, de la cilindrada y de la eficacia con que se desarrolla la combustión. En el esquema de la *Figura 8*, la fuerza F ejercida sobre el pistón se descompone en la fuerza Fb que actúa sobre la cabeza de biela y en la Fn que produce un empuje lateral sobre las paredes del cilindro (Castillo , Rojas, & Martínez , 2017).

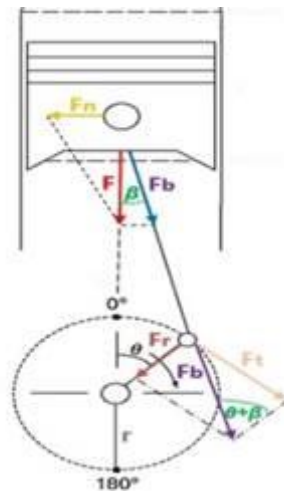


Figura 8. Esquema biela-manivela, representación de fuerzas
Fuente: (Castillo , Rojas, & Martínez , 2017)

Por lo tanto, el producto de la fuerza Fb por el radio r de la manivela determina el par motor, reflejado aritméticamente en la Ecuación (3)

$$T = F_b * r \quad (3)$$

T : Torque o par motor (N.m)

F_b : Fuerza sobre la biela (N)

r : Radio de la manivela del cigüeñal (m)

La fuerza F que produce el torque es variable, que en un motor de 4 tiempos es máxima en el momento que se lleva a cabo la fase de combustión y su posterior expansión en el cilindro, siendo negativo el torque en las demás fases. Dentro de la etapa donde se genera trabajo el rendimiento del motor no es igual en todos los puntos, depende del régimen de giro y consecuentemente de la fuerza de empuje que se genera. Es así que el número de revoluciones limita el llenado correcto de los cilindros y, por tanto, el par motor. A bajas revoluciones la combustión de la mezcla no resulta óptima debido a la escasa inercia que poseen los gases que provoca que el llenado del cilindro no sea el ideal, al igual que su vaciado. Por otro lado, si el motor funciona a un elevado régimen, tampoco el llenado de los cilindros es completo debido al escaso tiempo que dispone el gas para ocupar todo el espacio disponible (Reif, 2014). Además, a partir del punto óptimo de revoluciones del motor, aunque se quemé más combustible acelerando el mismo y consiguiendo que la potencia todavía se incremente más, el par descende. De ahí que los consumos específicos óptimos estén en valores próximos a la zona de par máximo, aumentando el consumo del motor conforme se aleja de este rango (Genta et al., 2014).

2.4.3.2. Potencia

Por otro lado, la potencia es la rapidez con que se realiza un trabajo, si se hace en menor tiempo es posible que la potencia que se produzca por el motor sea mayor. Se debe aclarar que este

indicador no va ligado a la aceleración sino al tiempo que dura la sensación de empuje. También hay que recalcar que la potencia determina el “caballaje de un motor” (Rueda, 2017).

El concepto de potencia expresa cuantas veces está disponible el par motor en el tiempo, es decir, con qué velocidad se puede disponer del par. 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; también depende íntimamente de las revoluciones por minuto a las que gira el motor. En consecuencia, la potencia puede ser determinada mediante la ecuación (4).

$$P = T * w = \frac{T * n}{\frac{60}{2\pi}} \quad (4)$$

P : Potencia del motor (kW)

T : Torque o par motor (N.m)

w : Velocidad angular del eje del cigüeñal (rad/s)

n : Revoluciones por minuto (rpm)

Luego de alcanzar la potencia máxima, el exceso de revoluciones ocasiona que ésta disminuya debido a que el sistema de inyección de combustible tiene un límite operativo, superado el mismo, no tiene precisión suficiente para inyectar el combustible eficazmente; además, el sistema de distribución no es capaz de abrir y cerrar las válvulas con la suficiente velocidad para que los gases de escape y de admisión fluyan adecuadamente. El límite máximo de revoluciones a la que puede

girar el motor está establecido por las propias limitaciones de los elementos mecánicos que lo constituyen (Rueda, 2017).

2.4.4. Consumo específico de combustible

Se define como la cantidad de combustible que se necesita para suministrar una unidad de potencia durante una hora de funcionamiento. Este parámetro al relacionar potencia y consumo es representativo del rendimiento del motor y se obtiene en forma empírica del banco de pruebas. Su valor depende fundamentalmente de la presión media efectiva y de las revoluciones del motor (Salinas,2007).

$$C_e = \frac{V * \delta}{W * T} \quad (5)$$

Donde:

C_e : Consumo específico $\left[\frac{Kg}{KW * s} \right]$ o $\left[\frac{g}{J} \right]$

V : Volumen de combustible $[m^3]$

δ : Densidad del combustible $\left[\frac{Kg}{m^3} \right]$

W : Potencia de motor $[KW]$

T : Tiempo $[s]$

El consumo de un motor es medido como un flujo volumétrico o másico del carburante (\dot{m}), sin embargo este flujo no representa realmente la eficiencia del motor. Un parámetro

representativo es el consumo específico de combustible (sfc), el cual se define como razón entre el flujo másico de combustible y la potencia entregada (Heywood, 1998).

$$sfc = \frac{\dot{m}_f}{P} \quad (6)$$

Valores bajos para el consumo específico son altamente deseables, para el caso de motores de encendido por chispa los valores son cercanos a los $270 \frac{g}{Kwh}$.

El consumo específico de combustible también se define como la eficiencia del motor en la conversión de la energía contenida en el combustible, ya que si se conoce el poder calorífico del combustible (Q_{MV}) utilizado es posible calcular la cantidad de energía que se suministra al motor y cuanta de esta energía se recupera como trabajo útil en el eje devcfl motor, lo que corresponde con la definición de la eficiencia global de un motor (Heywood, 1998).

La eficiencia térmica de un motor (η_f) se define:

$$\eta_f = \frac{W_C}{m_f Q_{HV}} = \frac{\left(\frac{P n_r}{N}\right)}{(\dot{m}_f n_r / N) Q_{HV}} = \frac{P}{\dot{m}_f * Q_{HV}} \quad (7)$$

Donde m_f es la masa de combustible consumida por cada ciclo del motor, entonces:

$$\eta_f = \frac{1}{sfc Q_{HV}} \quad (8)$$

2.4.5. Emisiones contaminantes

El motor de combustión interna, por su forma de funcionar, no es capaz de quemar de forma total el combustible en los cilindros. Pero si esta combustión incompleta no es regulada, mayor será la cantidad de sustancias nocivas expulsadas en los gases de escape hacia la atmósfera. Dentro

de los gases generados en la combustión, hay unos que son nocivos para la salud y otros no.

(Meganeboy, 2014)

Los gases de escape son:

- Monóxido y dióxido de carbono (CO, CO_2).
- Hidrocarburos (HC).
- Óxidos de nitrógeno (NO_x), Otros.

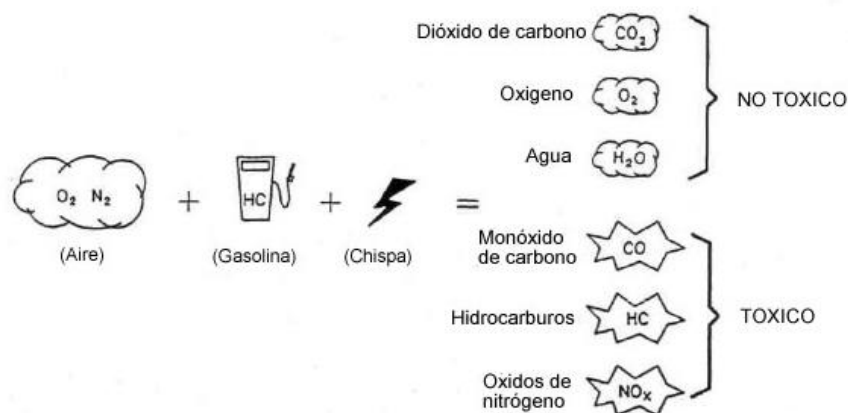


Figura 9. Esquema del proceso de formación de gases contaminantes
Fuente: (Meganeboy, 2014).

En la Figura 9 se ilustra los componentes para generar combustión y los productos típicos y contaminantes de un motor de combustión interna.

En el mundo entero, los medios de locomoción son responsables del 25 % de las emisiones de dióxido de carbono (CO_2), del 87 % de las de monóxido de carbono (CO) y del 66 % de las de óxidos de nitrógeno (NO_x). Esta contaminación, además de contribuir al calentamiento global, provoca problemas en la salud de los habitantes de algunas ciudades (Meganeboy, 2014).

CAPÍTULO III

EXPERIMENTACIÓN

Para entender como los parámetros del motor se modifican por la adición de nanopartículas al aceite lubricante es necesario explicar detalladamente el mecanismo de acción de las nanopartículas presentes en el compuesto.

Los 3 componentes del nanoaditivo (SiO_2 , Al_2O_3 y grafito) actúan en 2 fases:

La primera, llamada fase de limpieza, permite eliminar residuos de la combustión, contaminación y “lodos” impregnados en el interior del motor; el efecto de limpieza se lo atribuye específicamente al Óxido de Aluminio (Figura 10), debido a su dureza y tamaño de partícula. Los residuos que se generan en este proceso son eliminados en el recambio del filtro de aceite.

“El cambio del filtro de aceite se lo realiza una vez recorridos 250 kilómetros”, proceso indispensable para continuar con la segunda fase.

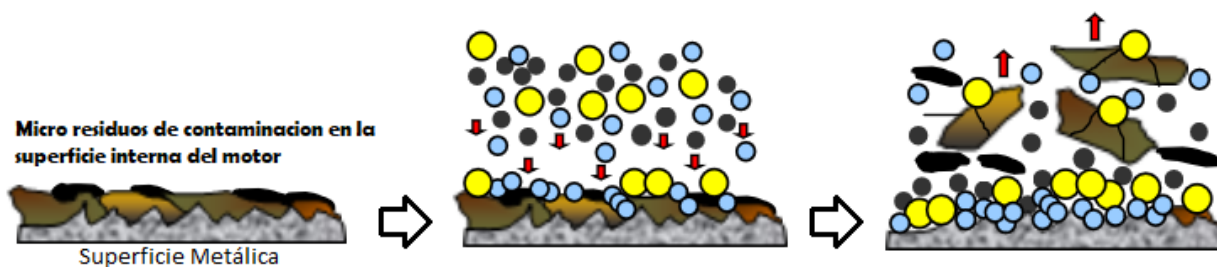


Figura 10. Proceso de limpieza, Fase 1.
Fuente: (Lynch, 2012)

En la segunda fase, debido a la presión y temperatura, se forma una capa elástica semipermanente la cual restaura la superficie metálica del motor. Esta nueva capa antifricción permanece en el motor después de los cambios de aceite, adaptándose y renovándose en las

superficies metálicas. Las principales características de esta capa protectora son; un menor coeficiente de fricción, resistencia a altas temperaturas (1200°C), forma una estructura química estable con el fluido lubricante (Figura 11) Para que las nanopartículas puedan operar establemente es necesario que el motor recorra al menos 1500 kilómetros (Shabanov & Zaitsev, 2007).

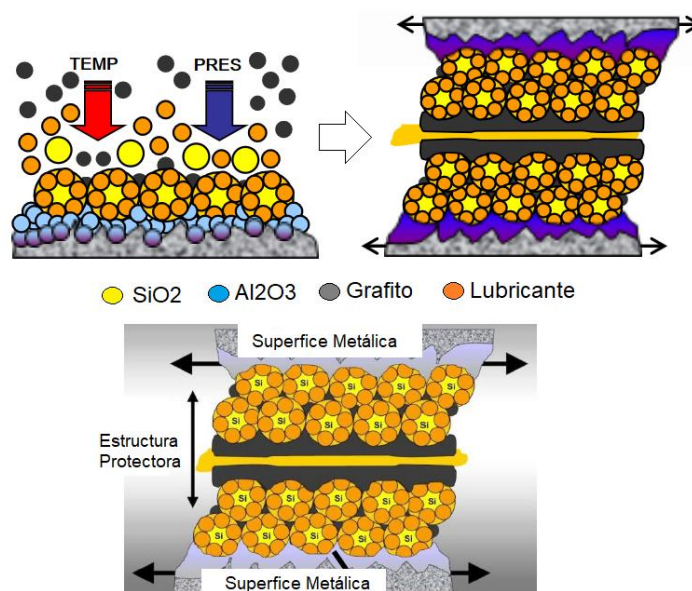


Figura 11. Renovación de las superficies en fricción, fase 2
Fuente: (Lynch, 2012)

Las moléculas de SiO₂ y grafito se encuentran dispersas en el aceite lubricante mientras que el Al₂O₃ forma una película metálica a nanoescala adherida firmemente sobre las superficies, esta película devuelve parcialmente las condiciones iniciales o de fábrica de operación y repara las micro rayaduras y poros existentes en las superficies internas del motor que se encuentran en fricción (Efficiency Technologies, 2007).

“El mecanismo de fricción pasa de un medio deslizante a uno de rodadura, debido a la presencia de las nanopartículas de forma esférica” (Wang & Chung, 2013).

3.1. Parámetros y variables de experimentación.

3.1.1. Parámetros termodinámicos

Presión de compresión: “La adición de nanopartículas en el aceite lubricante genera una capa de protección en las paredes de los cilindros”. Al existir la presencia de una capa entre la interfaz de los cilindros y los anillos de los pistones se incrementa la presión de compresión de los cilindros; mediante la medición de este parámetro se comprobará si en realidad se genera esta capa nanométrica.

Eficiencia termodinámica: Para determinar la eficiencia térmica del motor hacemos referencia a las ecuaciones presentadas en el numeral (2.4.2). Las variables a considerarse en este cálculo serán el poder calorífico y la densidad del combustible, por lo que el combustible utilizado en las pruebas iniciales y finales debe ser el mismo, para asegurar que los cambios en el comportamiento del motor sean por efecto de las nanopartículas mas no del combustible.

3.1.2. Parámetros de desempeño

Torque y Potencia: Al aumentar o disminuir la presión de compresión, los parámetros de torque y potencia modifican su magnitud proporcionalmente debido a la relación directa con la presión media efectiva de los cilindros.

Para la medición de estos parámetros es necesario especificar que el Centro de Transferencia Tecnológica para la Capacitación e Investigación en Control de Emisiones Vehiculares (de aquí en adelante, CCICEV) utiliza una nomenclatura diferente, se especifica lo siguiente:

La “potencia a la rueda” es igual a la potencia al freno o potencia efectiva.

La “potencia de motor” es una potencia de referencia medida en dinamómetro la cual se ajusta mediante la norma SAE J349 para obtener la potencia indicada.

La “potencia normal” es igual a la potencia indicada.

Consumo de combustible: El valor de consumo se determina de dos maneras, para el primero, se calcula el consumo específico de combustible, definido como razón entre el flujo másico de combustible y la potencia entregada (ecuación 6). El segundo parámetro se mide experimentalmente en pruebas de dinamómetro, se obtienen valores de kilómetros recorridos por galón ($\frac{Km}{gal}$) o litros de combustible utilizado por kilómetro ($\frac{l}{km}$).

Emisiones contaminantes: Las variables a consideradas en este punto específicamente serán los HC y el CO en conformidad con la norma INEN 2203/2204.

Como parte del alcance de este proyecto también se determinan los cambios físico-químicos del aceite lubricante con y sin el aditivo nanométrico, para esta prueba se realizaron análisis reológicos del aceite en diferentes condiciones de uso, con y sin NP's. La variable considerada fue la viscosidad a diferentes temperaturas; al ser la viscosidad la propiedad más importante de los lubricantes bastará el análisis reológico para estimar su vida útil, ya que es un factor determinante que rige el espesor de la película entre los elementos tribológicos y la presión que esta película resiste (CRO, 2014).

3.2. Normas utilizadas para la medición.

Norma SAE J1349: El rendimiento de los motores a gasolina (SI) se ve afectado por la densidad del aire de entrada, así como por las características del combustible de prueba. Siempre

que sea posible, las pruebas deben realizarse en las condiciones estándar (especificadas por la norma, Ver Anexo D) con combustibles de referencia. Cuando esto no sea posible, para proporcionar una base común de comparación, deben aplicarse factores de corrección a la potencia neta y al torque medidos. Todos los cálculos de corrección los realiza el dinamómetro automáticamente utilizando la norma mencionada.

Norma (NTE) INEN 2203/2204: Norma que permite establecer los límites de emisiones contaminantes producidas por fuentes móviles terrestres (vehículos automotores) que utilizan gasolina. Esta norma se aplica a las fuentes móviles terrestres de más de tres ruedas o a sus motores (vehículo automotor, vehículo o motor prototipo o de certificación) para condiciones de marcha mínima o ralentí (método estático).

El aseguramiento de la calidad del aire ambiental es el principal objetivo de la utilización de esta norma, e indica que toda fuente móvil con motor de combustión interna a gasolina no debe emitir a la atmosfera valores mayores de CO y HC que los presentes en la Tabla 3.

Tabla 3

Límites máximos de emisiones permitidos para fuentes móviles con motor de gasolina, marcha mínima o ralentí (prueba estática).

Año/Modelo	% CO*		ppm HC*	
	0 - 1 500 **	1 500 - 3 000 **	0 - 1 500 **	1 500 - 3 000 **
2000 y posteriores	1,0	1,0	200	200
1990 a 1999	3,5	4,5	650	750
1989 y anteriores	5,5	6,5	1000	1200

*Volumen

**Altitud = Metros sobre el nivel del mar (msnm)

IM 240: La prueba IM240 es una simulación de 240 segundos, en la que un automóvil se conduce a través de un rango de escenarios de carga de motor (Figura 12) en un dinamómetro, Implica conectar el escape del automóvil a un banco de analizadores de gas para medir gases nocivos en gramos por kilómetro (G. G. Reyes-Campaña, 2015).

Es desarrollada y recomendada por la Agencia de Protección Ambiental (EPA) de los EE.UU. Este procedimiento se elaboró en base al ciclo FTP (Federal Test Procedure-75), y es utilizado como referencia o norma alrededor del mundo para pruebas de emisiones de vehículos livianos en programas de inspección y mantenimiento (I&M).

El IM240 es una prueba corta que representa una ruta de 1.96 millas (3.1 km) con una velocidad promedio de 29.4 mph (47.3 km/h) y una velocidad máxima de 56.7 mph (91.2 km/h), la prueba se aplica para vehículos livianos y medianos a gasolina o Diesel (Tipanluisa & Portilla , 2017).

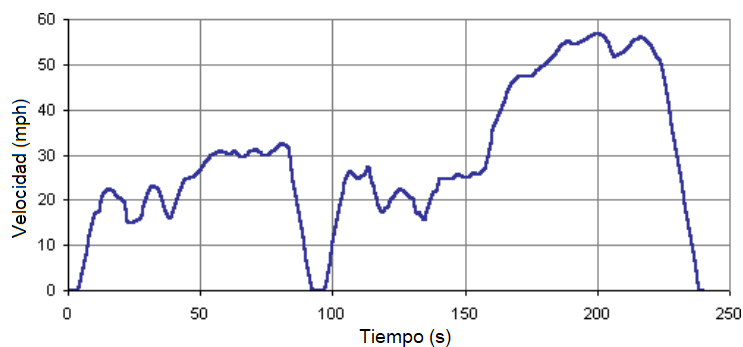


Figura 12. Gráfica Velocidad vs Tiempo, ciclo IM240
Fuente: (DieselNet, 2018)

Para el presente proyecto de investigación se utiliza el procedimiento IM240 para la medición del consumo de combustible mas no para la medición de emisiones contaminantes, practica aceptada técnicamente ya que el ciclo de manejo describe y simula adecuadamente los patrones de manejo en ciudad y carretera.

3.3. Plan y protocolos de experimentación

Para la elaboración de este proyecto primero se define el número de pruebas que se deben ejecutar y se selecciona el automotor en el cual se realizan las pruebas.

Tamaño de la muestra

Un aspecto importante en la metodología de la investigación, es el cálculo de la cantidad de pruebas que deben incluirse en un estudio. El tamaño de muestra permite a los investigadores saber cuántas pruebas son necesarias estudiar, para poder estimar un parámetro determinado con el grado de confianza y repetibilidad deseado (García , Reding, & López, 2013).

Formula de cálculo para la determinación del tamaño de la muestra:

$$n = \frac{Z_{\alpha}^2 * p * q}{e^2} \quad (9)$$

Donde:

Z_{α} = Nivel de confianza, al 95% = 1.96

p = Probabilidad de éxito

q = $(1 - p)$, Probabilidad de fracaso

e = Precisión (error máximo admisible), de 5 a 10%

$$n = \frac{1.96^2 * 0.99 * 0.01}{0.1^2} \quad (10)$$

$$n = 3.803$$

$n \cong 4$ Número de pruebas a realizarse en cada etapa y para cada parámetro

Al realizarse 4 pruebas de cada una se asegura un 95% de confianza de los resultados obtenidos.

Al calcular el porcentaje de confianza con 3 pruebas obtenemos que:

$$\text{Si se realizan 3 pruebas:} \quad 3 = \frac{K^2 * 0.99 * 0.01}{0.1^2} \quad (11)$$

$$K = 1.74$$

Donde K es el coeficiente representativo para cada nivel de confianza, se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 4

Coeficientes K respecto al niveles de confianza.

Nivel de Confianza %	Coeficiente K
68	0.99
75	1.15
80	1.28
90	1.64
95	1.96
96	2.05
98	2.32

Interpolando el valor K=1.74 en la tabla, se obtiene que al realizar 3 pruebas de cada experimento el nivel de confianza es de 91.88%.

No es justificable realizar 4 pruebas puesto que el costo incrementa considerablemente y el nivel de confianza obtenido con n=3 ya es aceptable.

Selección del vehículo

El motor que se utilizó para el análisis corresponde al de un vehículo Kia Cerato 5 modelo 2005 (Figura 13), motor de 4 tiempos ciclo Otto, todas las especificaciones técnicas presentes en la Tabla 5 y en el anexo A.



Figura 13 Caso de estudio, motor Kia DOHC

Tabla 5

Especificaciones del vehículo

ESPECIFICACIONES DEL VEHÍCULO	
VIN: 899KIAKNAG4EA40	Serie de motor: G4ED5H010892
Marca: KIA	Modelo: CERATO 5
Versión: HATCHBACK	Año modelo: 2005
Torque: 142Nm @ 4500 RPM	Potencia: 105 HP @ 5800 RPM
Cilindrada y número de cilindros: 1599 cm ³ , 4 cilindros	Modelo del motor: DOCH 16 Válvulas
Disposición de cilindros: 4 en línea	Posición del motor: TRANSVERSAL
Combustible: Gasolina (Extra)	Tracción: DELANTERA
Tonelaje: 0.75 T	País de origen: KOREA
Designación de tamaño de neumáticos: 185/65R15	
Tipo de frenos: Frenos de disco, tambores	Numero de ejes: 2
Categoría-Subcategoría-Código-Tipo: M1- HBK- HATCHBACK	Clase:

3.3.1. Equipos e instrumental de medida.

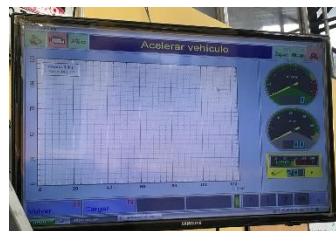
Tabla 6

Equipos e instrumentos utilizados en las pruebas.

Dinamómetro de chasis MAHA LPS 3000/R200



Sistema de control y adquisición de datos
MAHA Software



Interfaces MAHA (sonda/termopar)




Ventilador MAHA



Bomba externa para combustible LiquiMoly



Continúa 

Probeta (1000 ml), Matraz-Erlenmeyer (5lts),
embudo



Tanque de combustible 20 lts



Analizador de gases MAHA MGT5



Sonda de medición de gases

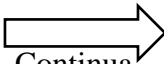


Medidor de rpms



Reómetro Discovery HR 2



Continúa 

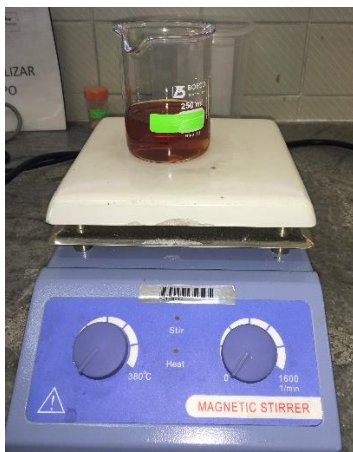
Rotor de Vanos



Banco de calentamiento para medidos de tipo Cilindros concéntricos



Agitador magnético



Compresímetro (Trisco Protune, apreciación 5bares)



Jeringas, contenedores, vaso de precipitación



Herramientas

- Llaves, dados, rachas (10mm, 5/8 in)
- Destornilladores
- Extensores

3.3.2. Insumos

Tabla 7

Insumos

Aceite SHELL Helix HX3 25W60 2 galones



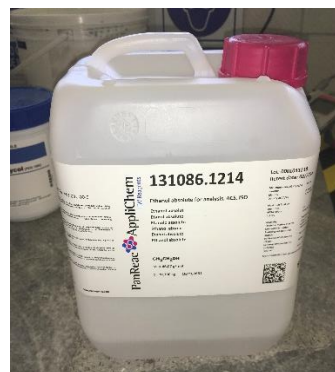
Nanofluido 10 ml (Dióxido de Silicio, Oxido de Aluminio y Grafito)



Filtros de aceite (2)



Etanol



Combustible, "Extra" 87 octanos

Otros

-Guantes de nitrilo

-Filtros de papel

-Microfibras

3.3.3. Formularios de registro de datos.

Consumo de combustible:

Formato de registro CCICEV-LI-CCL, Ver Anexo B.

Torque y Potencia:

Formato de registro CCICEV-LI-ETP, Ver Anexo B.

Emisiones contaminantes:

Formato de registro CCICEV-LI-GEO, Ver Anexo B.

Viscosidad dinámica del aceite:

Formularios de registro del laboratorio de reología, Ver Anexo C.

Presión de compresión:

Tabla de registro (*Figura 14*) perteneciente al laboratorio de motores de combustión interna-ESPE.

TABULACIÓN DE DATOS:						
Registrar los resultados en las siguientes tablas.						
PRUEBA DE LA PRESIÓN DE COMPRESIÓN						
FECHA:						
MOTOR:						
TEMPERATURA DEL MOTOR:						
VELOCIDAD DE RALENTÍ:						
PRUEBA EN SECO:						
PRUEBA	CIL. #1	CIL. #2	CIL. #3	CIL. #4	CIL. #5	CIL. #6
PRESIÓN						

Figura 14. Formato de registro para presión de compresión.
Fuente: (ESPE-Lab.Motores)

3.4. Recopilación de datos

3.4.1. FASE 1- Condiciones estándar

Para la toma de datos iniciales se consideró lo siguiente:

- Kilometraje inicial de prueba
- El vehículo se encuentra utilizando aceite Shell Helix Hx 3 25W60
- El estado del aceite se describe a continuación:
 - Recorrido: 2700 km de uso
 - Sin Nano Partículas

3.4.1.1. Pruebas y medición de parámetros termodinámicos

Para la realización de cada una de las pruebas en el CCICEV se siguió el siguiente protocolo de verificación y puesta a punto del automotor.

- Inspección visual integral.
- Verificación de condiciones de operación del vehículo (Presencia de desperfectos mecánicos que comprometan la integridad de la máquina).
- Comprobar que el vehículo contenga al menos $\frac{1}{4}$ de tanque de combustible.
- Nivel de aceite de motor.
- Nivel de agua y líquido refrigerante en radiador.
- Presión de neumáticos adecuada. (30 bares = 3×10^6 Pascal para este caso).
- Si el vehículo cuenta con sistemas ABS de frenos o control de tracción, estos deben ser desactivados. (No aplica)

- Mantener las luces apagadas durante todas las pruebas.
- Condiciones ambientales de prueba:
 - $T^{\circ} \text{ Ambiente} = 77.4 [^{\circ}F] = 25.2 ^{\circ}C = 298.37^{\circ}K$
 - $T^{\circ} \text{ Aire Aspirado} = 119.3 [^{\circ}F] = 48.5 ^{\circ}C = 321.65^{\circ}K$
 - $\text{Humedad Relativa del aire} = 31.8\%$
 - $\text{Presión del Aire} = 73.670 [KPa]$
 - $T^{\circ} \text{ Aceite} = 198 - 203[^{\circ}F] = 92.2 - 95 ^{\circ}C = 365.4 - 368.2^{\circ}K$

3.4.1.1.1. Presión de compresión

La medición de presión de compresión en cilindros se siguió en conformidad a las guías de práctica de laboratorio, el procedimiento fue el siguiente:

1. Contar con los instrumentos y herramientas adecuadas (manómetro para el tipo de motor a ser analizado, llaves de bujías).
2. Calentar el motor a temperatura normal de funcionamiento. Para que la medición de la compresión sea fiable (85°C aprox. o lo que recomiende el fabricante del vehículo).
3. Apagar el motor
4. Verificar el estado de la batería
5. Retirar el depurador de aire.
6. Desconectar todos los cables de alta tensión (AT) del distribuidor, con el motor detenido y en caliente. Prestar mucha atención al orden en que están conectados los cables a las bujías para luego conectarlos en la misma posición.

7. Desenroscar y retirar todas las bujías.
8. Colocar la punta del manómetro (compresímetro) en el cilindro 1, procurando tapar completamente el orificio de la culata donde se inserta la bujía. Verificar una completa hermeticidad.



Figura 15. Esquema de proceso de la medición de compresión. Pasos 5, 6, 7, 9.

9. Medir la compresión en el cilindro 1, para lo cual se acciona el motor de arranque (asistido por otra persona), durante unos segundos (aprox. 4 seg.) con el pedal del acelerador pisado a fondo, hasta que se estabilice la aguja del manómetro.
10. Repetir los pasos anteriores para cada uno de los cilindros del motor.
11. Registrar la lectura obtenida en el manómetro en el formato de registro (ANEXO B).

3.4.1.1.2. Eficiencia termodinámica

Para la determinación de este parámetro es necesario realizar el cálculo matemático utilizando las fórmulas 2.4.2, ya que no se mide de forma experimental. Los datos correspondientes se presentan en 4.1.

3.4.1.2. Pruebas y medición de parámetros de desempeño

3.4.1.2.1. Torque y Potencia

Para el desarrollo de estas pruebas se utilizó el dinamómetro de chasis MAHA LPS 3000/R200 (Tabla 6, Anexo E), el procedimiento fue el siguiente:

1. Cumplimiento del protocolo de verificación inicial.
2. Registro del kilometraje inicial de prueba.
3. Se alineó y centró el vehículo sobre los rodillos del dinamómetro.
4. Verificación de posición del vehículo con rodillos en marcha.



Figura 16. Procedimiento 1-7 prueba de torque y potencia

5. Anclaje del automotor utilizando fajas tensoras.

6. Colocar el ventilador refrigerante frente al vehículo.
7. Introducir la sonda de temperatura en el ducto de la bayoneta del aceite.
8. Establecer condiciones de prueba en el equipo de medición (Figura 17).
9. Verificar temperatura de operación, debe alcanzar los 198°F antes de iniciar la prueba.
10. Realizar la medición de torque y potencia.

The screenshot shows the 'Datos del vehículo' (Vehicle Data) configuration window in the MAHA LPS 3000 LKW software. The interface is organized into several sections with radio buttons and input fields for setting up a torque and power test.

Section	Options / Values
Tipo de motor:	<input checked="" type="radio"/> Otto, <input type="radio"/> Diesel, <input type="radio"/> Wankel
Sobrealimentación:	<input checked="" type="radio"/> Sin sobrealimentador, <input type="radio"/> Turbo (refrig. aire), <input type="radio"/> Turbo (refrig. agua)
Caja de velocidades:	<input checked="" type="radio"/> Manual, <input type="radio"/> Automática
Deslizamiento:	<input checked="" type="radio"/> Sin deslizamiento, <input type="radio"/> Medir deslizamiento, <input type="radio"/> Entrada
Accionamiento:	<input checked="" type="radio"/> Tracción delantera, <input type="radio"/> Tracción trasera
Rango de potencia:	<input type="radio"/> 10HP, <input type="radio"/> 30HP, <input type="radio"/> 70HP, <input checked="" type="radio"/> 130HP, <input type="radio"/> 250HP, <input type="radio"/> 500HP
Corrección de potencia:	<input checked="" type="radio"/> Sin, <input type="radio"/> DIN, <input type="radio"/> EWG, <input type="radio"/> ISO, <input type="radio"/> JIS, <input type="radio"/> SAE
Factores adicionales:	f_m [input: 0.720], Q_v [%] [input: 0.00], P_{va} [HP] [input: 4.40]
Valores límite:	$v_{máx}$ [mph] [input: 124], $n_{máx}$ [rpm] [input: 5800], $T_{máx}$ [F] [input: 203]
Masa rotatoria:	<input checked="" type="radio"/> Masa rotatoria std., <input type="radio"/> Calcular m. rotatoria, <input type="radio"/> Entrada

Navigation buttons at the bottom: Volver (F5), Base de datos, Continuar (F8).

Figura 17. Datos y condiciones para prueba de torque y potencia

11. Registro de datos en formulario (Datos presentes en el Anexo D).

3.4.1.2.2. Consumo de Combustible

El consumo de combustible fue medido siguiendo el protocolo IM240, especificado en el literal (3.2) para el cual se utilizó el dinamómetro de chasis MAHA LPS 3000/R200. Para esta prueba fue necesario reemplazar la cañería de admisión de combustible (Figura 18), la cual trabaja con la

presión de la bomba misma del automóvil, por la cañería de combustible de la bomba de presión manual de la Tabla 6; este proceso se realiza para poder cuantificar la cantidad de combustible utilizado en cada tramo de prueba.



Figura 18. Cambio de la cañería de admisión de combustible a la bomba manual

Una vez realizada la adaptación de la bomba manual procedemos a realizar los siguientes pasos para la medición del consumo de combustible:

1. Cumplimiento del protocolo de verificación inicial.
2. Registro del kilometraje inicial de prueba.
3. Se alineó y centró el vehículo sobre los rodillos del dinamómetro.
4. Verificación de posición del vehículo con rodillos en marcha.

5. Anclaje del automotor utilizando fajas tensoras.
6. Colocar el ventilador refrigerante frente al vehículo.
7. Llenar la bomba de presión manual con 5 litros de combustible.
8. Dar inicio al protocolo IM 240 (Figura 19) en el software de control MAHA Maschinenbau Haldenwang (Tabla 6).



Figura 19. Interfaz gráfica de medición utilizando ciclo IM 240

9. Desconectamos la bomba manual de presión y utilizando el Erlenmeyer y la probeta se mide la cantidad de combustible consumido.

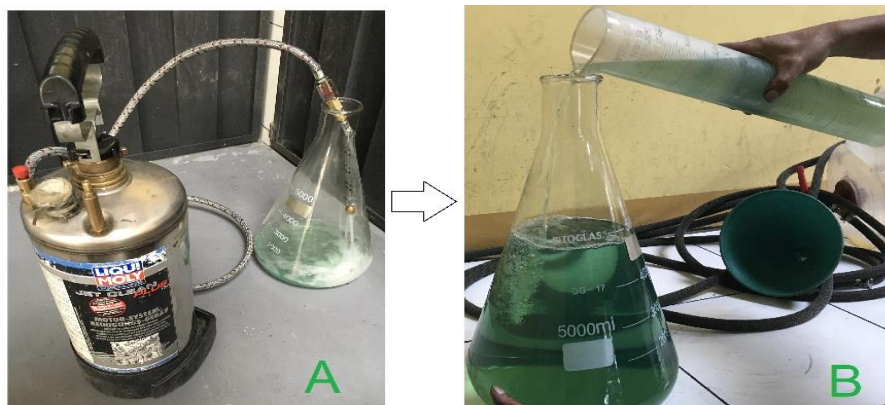


Figura 20. Llenado del Erlenmeyer con el combustible sobrante de la prueba (A), aforado utilizando probeta graduada (B)

10. Registro de datos en formulario.

3.4.1.3. Análisis del aceite lubricante

Se realizó un análisis reológico del lubricante (Laboratorio de Reología-ESPE) para determinar la variación en la viscosidad y estimar la vida útil del aceite.

La prueba reológica constó de 4 testigos diferentes:

1. Aceite Shell Helix Hx3 25W60 – Nuevo/Sin Nano Partículas
2. Aceite Shell Helix Hx3 25W60 – Nuevo/Con Nano Partículas
3. Aceite Shell Helix Hx3 25W60 – Usado/Sin Nano Partículas
4. Aceite Shell Helix Hx3 25W60 – Usado/Con Nano Partículas

Se realizó una rampa de temperatura desde 25°C a los 110°C para obtener el comportamiento de la viscosidad, específicamente los puntos de interés serán a 40° y 100°C, valores de referencia comparativa según la norma ASTM D445.

Los pasos realizados para la medición de viscosidad fueron los siguientes:

1. Aditivar las muestras de aceite que necesitemos contengan las partículas nanotecnológicas. Conforme a las siguientes consideraciones:
 - a. Para el aceite nuevo con aditivo se utilizó 1 ml de nanofluido en 100 ml de aceite lubricante.
 - b. El aceite usado de motor se aditivo en la fase 2 de instalación del nanofluido, especificado en el numeral 3.4.2.
2. Agitar las muestras utilizando el agitador magnético.
3. Una vez obtenidos los testigos de prueba procedemos a encender el reómetro.
4. Para el encendido del reómetro Discovery HR 2 es necesario comprobar que el suministro de aire a presión se encuentre encendido y con una presión en manómetro de mínimo 30 PSI antes de accionar los dispositivos.
5. Encender la unidad de control junto con la unidad refrigerante y finalmente el equipo de medición D HX2.
6. Se retira la tapa plástica del acople roscado y se instala el rotor de vanos.

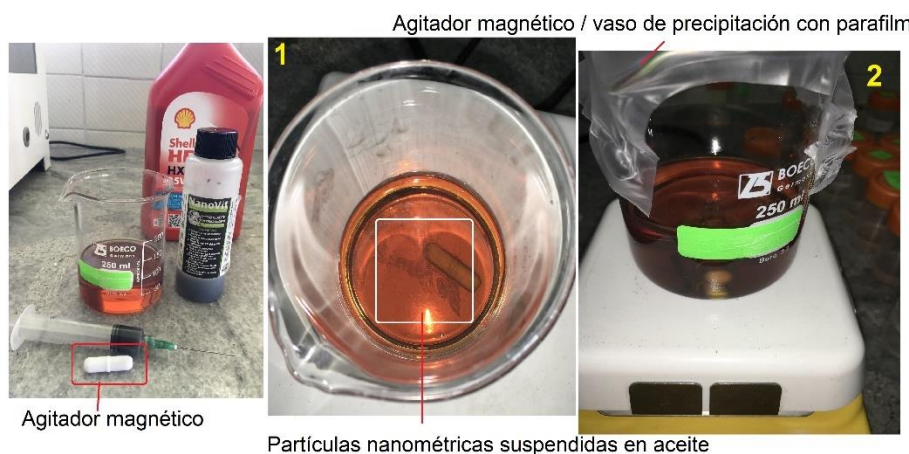


Figura 21. Procedimiento de elaboración de muestras de aceite con nanopartículas

7. Se acopla el accesorio de cilindros concéntricos, es necesario verificar las conexiones de refrigeración.
8. Después de instalar y verificar la posición de los accesorios se realiza un censado automático del equipo a través del software de control TRIOS TA.
9. Calibrar equipo antes de cada medición,
10. Establecer parámetros para protocolo de prueba, estos fueron:
 - a. Rampa de temperatura de 25 a 110°C
 - b. Velocidad de cizalla $[\dot{\gamma}] = 510 \text{ [s}^{-1}\text{]}$
11. Colocar el aceite de prueba en el depósito de cilindros concéntricos para generar el proceso de pre-cizalla.

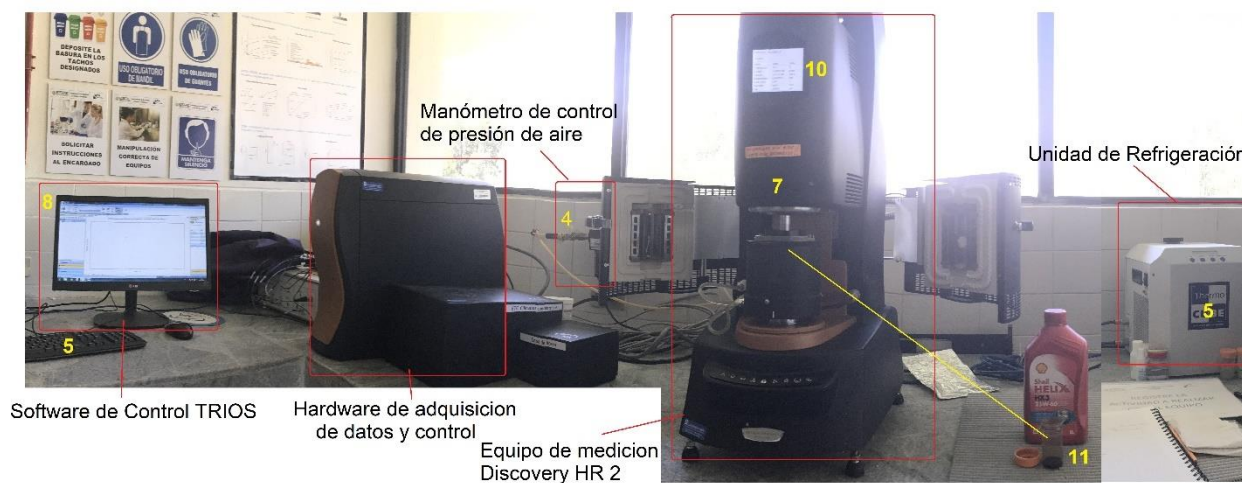


Figura 22. Esquema del protocolo de prueba Reómetro Discovery HR 2

12. Concluida la “pre-cizalla” y una vez alcanzada la temperatura inicial establecida el equipo automáticamente da inicio a la medición de la viscosidad.
13. Concluida la prueba desechar el testigo y utilizar una nueva muestra en la siguiente prueba.

14. Esperar que la temperatura vuelva al punto inicial y repetir el proceso.

15. Registrar los datos (Anexo C).

3.4.1.4. Emisiones contaminantes

Para la medición de emisiones contaminantes se siguió los siguientes pasos:

1. Cumplimiento del protocolo de verificación inicial.
2. Registro del kilometraje inicial de prueba.
3. Encender el equipo MAHA y seleccionar el tipo de vehículo y condiciones de prueba.
4. Calibración del equipo de medición de gases.
5. Prueba inicial para comprobar hermeticidad y niveles de HC.



Figura 23. Pantallas mostradas en el software de control MAHA, pasos 4,5,8,9

6. Conexión del medidor de revoluciones.
7. Conexión de la sonda en el tubo de escape.

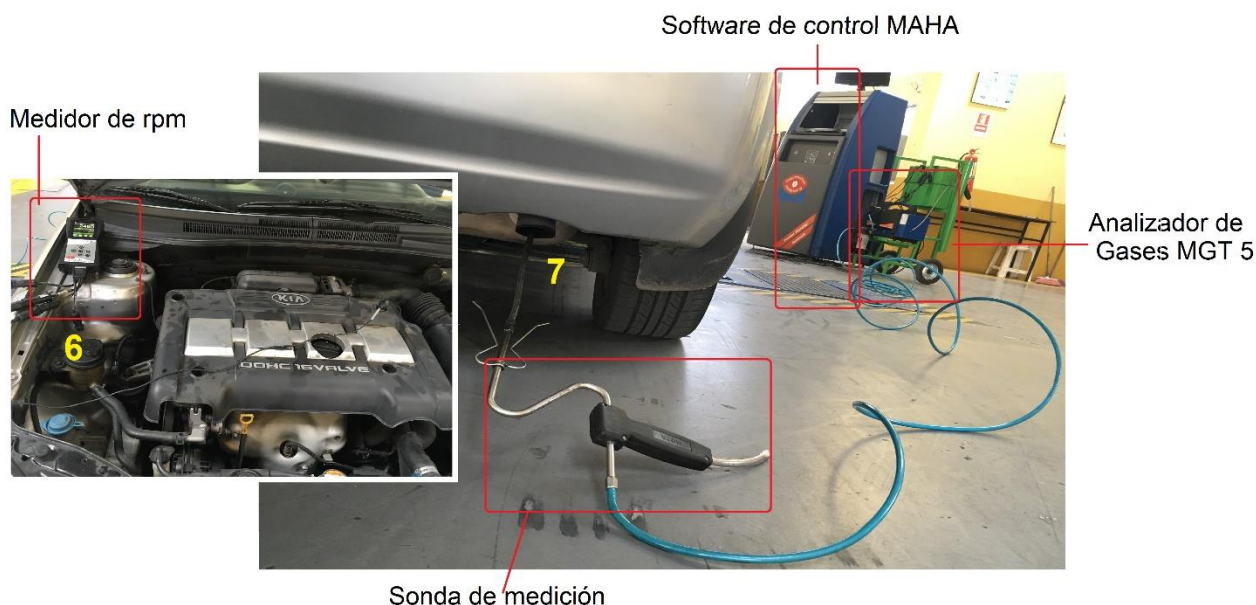


Figura 24. Esquema representativo del proceso de conexión del equipo MAHA MGT 5

8. Realizar las mediciones respectivas en ralentí y en condición acelerada.
9. Registro de datos .

3.4.2. FASE 2- Utilizando Nanopartículas

Para la toma de datos finales como parte del procedimiento, primero se aditiva el aceite lubricante con las nanopartículas, se siguió el procedimiento especificado a continuación:

1. Una vez recorridos aproximadamente 2700 km de uso del aceite en el motor se deposita la primera fase del nano particulado para realizar el proceso de limpieza. La cantidad añadida en este punto fue de 1 ml por cada litro de aceite de motor, 4 ml en total; la cantidad de producto utilizada fue la mínima recomendada por la enciclopedia de la tribología, [valores comprendidos entre 0.1% y 1% son óptimos para el estudio sin modificar la viscosidad del aceite” (Wang & Chung, 2013).

Tabla 8

Cantidad en mililitros y en porcentaje utilizado de nanopartículas.

Cantidad de nanopartículas utilizadas en cada etapa			
	Fase 1 [limpieza]	Fase 2	TOTAL
Cantidad de Aceite (L)	4	4	4000 ml
Cantidad de Aditivo (ml/lt)	1	1.5	-
Total, Nanofluido Utilizado (ml)	4	6	10 ml
Porcentaje utilizado	0.1%	0.15%	-

- Dejar que el compuesto permanezca en el circuito de lubricación por 250 km, no más allá de 300 km, debido a que la remoción de suciedad interna del motor podría generar obstrucción en los conductos de lubricación de los componentes internos.
- Una vez recorridos los kilómetros recomendados es necesario realizar un cambio de aceite y filtro de motor.
- Depositar la cantidad de aceite nuevo recomendada por el fabricante, 1 galón para este caso.



Figura 25. Procedimiento de adición de nanopartículas en el aceite lubricante

5. Al realizar el cambio de aceite y ya con el filtro de aceite instalado se procede a depositar la segunda fase del compuesto nanométrico. En conformidad a la (Tabla 8) la cantidad aquí utilizada fue de 6 ml en total.
6. Antes de proceder a la medición de los parámetros necesarios para este proyecto debemos recorrer los mismos kilómetros que se recorrió para las pruebas iniciales, esto lo realizamos para que las variables de experimentación sean exactamente las mismas y la única modificación del proceso sea la adición de nanopartículas.
7. Registro de datos.

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS DE RESULTADOS

4.1. Análisis comparativo de parámetros termodinámicos (pre y post aditivo).

4.1.1. Presión de Compresión (PC)

Los datos utilizados para el análisis corresponden a la Tabla 9, prueba sin nanopartículas y a las Tabla 10, prueba realizada con el aditivo nanométrico.

Proceso de medición detallado en 3.4.1.1.

Datos obtenidos:

Tabla 9

Resultados de la presión de compresión inicial obtenida en PSI (MPa).

Cilindro	1	2	3	4
Presión 1	150 (1.034)	115 (0.792)	115 (0.792)	150 (1.034)
Presión 2	150 (1.034)	100 (0.689)	130 (0.896)	150 (1.034)
Presión 3	150 (1.034)	100 (0.689)	135 (0.930)	155 (1.068)
Promedio	150 (1.034)	105 (0.723)	126.6 (0.873)	151.6 (1.045)

Tabla 10

Presiones de compresión, prueba final Con nanopartículas.

Cilindro	1	2	3	4
Presión 1	150 (1.034)	140(1.103)	160(1.103)	160 (1.103)
Presión 2	150(1.034)	160(1.103)	160(1.103)	150(1.034)
Presión 3	145(0.999)	145(0.999)	155(1.068)	155(1.068)
Promedio	148.33(1.022)	148.33(1.022)	158.33(1.091)	155(1.068)

Para el análisis se consideró que la compresión original del motor es de 1.099 MPa, para este caso particular al no contar con datos del fabricante de la PC exacta se considera como regla general que la presión de compresión es igual al valor de relación de compresión más 1. En este caso la relación de compresión es 10:1 por lo que la presión de compresión sería de 11 bares, equivalentes a 159.5 Psi (1.099 MPa).

A continuación, la Tabla 11 presenta una comparación porcentual de la PC en cada cilindro analizado, los datos aquí mostrados pertenecen al promedio total de presiones medidas por cilindro.

Tabla 11

Cambio porcentual de la presión de compresión en cada cilindro del motor.

	Cilindro 1	Cilindro 2	Cilindro 3	Cilindro 4
Sin Nanopartículas	150	105	126.66	151.66
Con Nanopartículas	148.33	148.33	158.33	155
Porcentual	1.11%	41.27%	25.00%	2.20%
	↓	↑	↑	↑

Inicialmente las medidas de PC presentan una diferencia considerable entre los cilindros ubicados en los extremos y los dos centrales. La diferencia entre cilindros manifiesta que el motor precisa ser reparado. Sin embargo, con presencia de nanopartículas el motor indica valores de PC estables, denotando que el motor opera con normalidad.

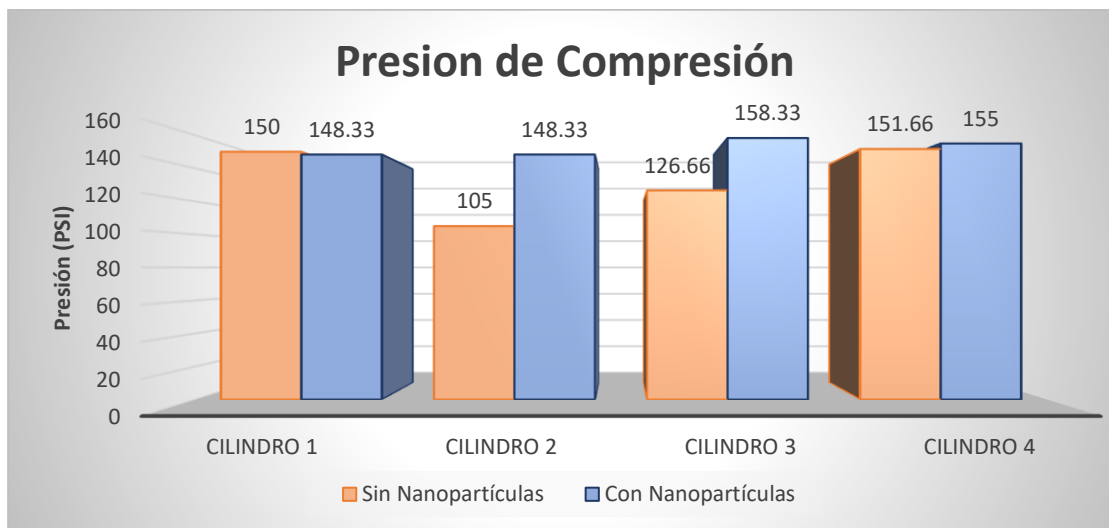


Figura 26. Grafica comparativa de la presión de compresión Con y Sin Nanopartículas

La Figura 26 muestra que el cilindro 1 presenta un decremento de 1.11%, mientras que el cilindro 4 aumenta 2.2% su PC, esta variación al ser mínima en ambos casos se debe al error de apreciación o al error humano generado mientras se realizaba la medición.

Los cilindros 2 y 3 muestran un aumento en su PC de 41.27% y 25% respectivamente. Este aumento porcentual indica que los cilindros con baja PC mejoran su estanqueidad debido a la adición de SiO₂, Al₂O₃ y grafito al aceite lubricante. Esto demuestra que, evidentemente, las nanopartículas se depositan en la holgura entre los cilindros y los anillos de compresión de los pistones, evitando que el aire escape en la fase de compresión.

El aumento de compresión se lo atribuye netamente a la presencia de nanopartículas en la interfaz pistón-cilindro y no a un posible aumento de viscosidad del aceite, ya que la prueba reológica posterior, manifiesta que la viscosidad no varía al añadir 0.15% en volumen de SiO₂, Al₂O₃ y grafito al aceite lubricante nuevo.

4.1.2. Eficiencia térmica

Para el cálculo de eficiencia térmica (ET) se utilizan los datos de torque y potencia (indicada y al freno) proporcionados en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** (medición inicial) y en **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** (medición final).

Primero se determina la máxima eficiencia térmica del motor:

$$\eta_{térmica} = 1 - \frac{1}{r^{\kappa-1}}$$

Donde:

$r = \text{relacion de compresión} = 10$

$\kappa = \text{Coeficiente de dilatación adiabática} = \frac{C_p}{C_v} = 1.4$

$$\eta_{térmica} = 1 - \frac{1}{10^{1.4-1}} = 1 - \frac{1}{2.511}$$

$$\eta_{térmica} = 0.60189 \cong 60.189\%$$

Sin Nanopartículas:

$$\eta_{térmica} = \frac{P_{\mu}}{P_{\text{Suministrada}}}$$

$$P_{\mu} = \text{Potencia indicada} = M * \omega$$

$$= \left(87.27[\text{lb. ft}] * \frac{1.3558[\text{N. m}]}{1[\text{lb. ft}]} \right) * \left(3100[\text{rpm}] * \frac{2\pi}{60} \right)$$

$$P_{\mu} = 38410.46 \left[\text{N.} \frac{\text{m}}{\text{s}} \right]$$

$$P_{\mu} = 38.41[\text{KW}] \cong 51.508 [\text{HP}]$$

$$P_f = \text{Potencia al freno}$$

$$P_f = 29.50 [\text{HP}] \cong @5400 \text{ rpm}$$

$$= 21.90 [\text{KW}]$$

$$\begin{aligned}
 P_{Suministrada} &= \dot{m}f * P_{Calorifico} = C * \rho * Q \\
 &= 7 \left[\frac{lt}{h} \right] * 0.85 \left[\frac{kg}{lt} \right] * 11500 \left[\frac{kcal}{kg} \right] \\
 &= 65653 \left[\frac{kcal}{h} \right] * 4.18 \left[\frac{kJul}{Kcal} \right] * \frac{1[h]}{3600[s]} \\
 P_{Suministrada} &= 79.449[KW]
 \end{aligned}$$

$$\eta = \frac{38.41[KW]}{79.449 [KW]}$$

$$\eta_{t\acute{e}rmica-Indicada} = 0.4834 = 48.3\%$$

Con Nanopartículas:

$$\begin{aligned}
 P_{\mu} &= \text{Potencia indicada} = M * \omega \\
 &= \left(85.83[lb. ft] * \frac{1.3558[N. m]}{1[lb. ft]} \right) * \left(3100[rpm] * \frac{2\pi}{60} \right) \\
 P_{\mu} &= 37777 \left[N. \frac{m}{s} \right] \\
 P_{\mu} &= 37.77[KW] \cong 44.38 [HP]
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 P_{Suministrada} &= \dot{m}f * P_{Calorifico} = C * \rho * Q \\
 P_{Suministrada} &= 79.449[KW]
 \end{aligned}$$

$$\eta = \frac{37.77 [KW]}{79.449[KW]}$$

$$\eta_{t\acute{e}rmica-Indicada} = 0.4755 = 47.6\%$$

$$\begin{aligned}
 P_{Suministrada} &= \dot{m}f * P_{Calorifico} \\
 &= C * \rho * Q
 \end{aligned}$$

$$P_{Suministrada} = 76.23[KW]$$

$$\eta = \frac{21.90 [KW]}{79.45 [KW]}$$

$$\eta_{Al freno} = 0.2756$$

$$P_f = \text{Potencia al freno}$$

$$\begin{aligned}
 P_f &= 31.23[HP] \cong @5400 rpm \\
 &= 23.23 [KW]
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 P_{Suministrada} &= \dot{m}f * P_{Calorifico} \\
 &= C * \rho * Q
 \end{aligned}$$

$$P_{Suministrada} = 76.23[KW]$$

$$\eta = \frac{23.23 [KW]}{79.45 [KW]}$$

$$\eta_{Al freno} = 0.2923$$

La Tabla 12 muestra los resultados de los cálculos antes realizados, referentes a las eficiencias indicadas y al freno obtenidas con y sin nanopartículas.

Tabla 12

Comparación porcentual en la variación de la eficiencia térmica del motor.

Eficiencia Térmica			
Indicada		Efectiva	
Sin NP	Con NP	Sin NP	Con NP
0.4834	0.4755	0.2754	0.2923
48.34%	47.55%	27.54%	29.23%
	0.79%		1.69%

Eficiencia Mecánica

$$\eta_{mecánico} = 1 - \frac{N_{Pm}}{P_{Suministrada}}$$

Donde:

$$N_{Pm} = \text{Perdidas mecánicas} = \frac{12.56 [Kw] \text{Sin NP}}{10.79 [Kw] \text{Con NP}}$$

$$P_{Suministrada} = P_{Indicada} \text{ o } P_{Efectiva} = \frac{38.41 [Kw]}{37.33 [Kw]}$$

$$\begin{aligned} \eta_{mecánico \text{ Sin NP}} &= 1 - \frac{12.56 [Kw]}{38.41 [Kw]} \\ &= 1 - 0.32698 \end{aligned}$$

$$\eta_{mecánico \text{ Sin NP}} = 0.6730 \cong 67.3\%$$

$$\begin{aligned} \eta_{mecánico \text{ Con NP}} &= 1 - \frac{10.79 [Kw]}{37.33 [Kw]} \\ &= 1 - 0.28904 \end{aligned}$$

$$\eta_{mecánico \text{ Con NP}} = 0.71095 \cong 71.1\%$$

Respecto a la variación en la eficiencia térmica del motor se menciona que la eficiencia calculada utilizando la potencia efectiva se reduce en 2.80% y la eficiencia calculada utilizando la potencia al freno muestra un aumento de 2.71%. Esto indica que la adición de nanopartículas no contribuye a la mejora de la combustión para obtener mayor potencia en el motor. Beneficia únicamente a la reducción de las pérdidas mecánicas producidas en la transferencia de potencia a las ruedas.

4.2. Análisis comparativo de parámetros de desempeño (pre y post aditivo).

4.2.1. Torque

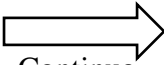
Las pruebas de torque y potencia se realizaron en conformidad al protocolo especificado en el numeral 3.4.1.2, se utilizaron las normas correspondientes especificadas en el apartado 3.2. Los datos utilizados para el análisis son los datos obtenidos en las pruebas de torque y potencia presentes en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** (condición estándar, sin nanopartículas), y en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** (con nanopartículas).

En la Tabla 13 se muestran los datos promedio de torque en las dos etapas de prueba y los porcentajes de incremento o decremento respecto a las rpm desarrolladas por el motor.

Tabla 13

Comparación porcentual de Torque con y sin Nanopartículas.

n(rpm)	Promedio Inicial Sin/NP (lb.ft)	Torque		Porcentaje	Aumenta o disminuye
		Promedio Final Con/NP (lb.ft)			
2300	79.03	78.60		0.55%	↓
2400	79.70	79.23		0.59%	↓
2500	80.47	80.13		0.41%	↓
2600	81.87	81.70		0.20%	↓


 Continúa

2700	83.57	82.97	0.72%	↓
2800	85.30	83.83	1.72%	↓
2900	86.60	83.97	3.04%	↓
3000	87.13	84.23	3.33%	↓
3100	87.27	84.53	3.13%	↓
3200	86.67	83.47	3.69%	↓
3300	85.40	82.67	3.20%	↓
3400	84.10	82.00	2.50%	↓
3500	83.00	81.23	2.13%	↓
3600	82.10	80.50	1.95%	↓
3700	81.33	80.10	1.52%	↓
3800	80.73	79.90	1.03%	↓
3900	80.40	79.93	0.58%	↓
4000	80.33	80.03	0.37%	↓
4100	80.27	80.27	0.00%	-
4200	80.37	80.60	0.29%	↑
4300	80.87	81.13	0.33%	↑
4400	81.23	81.70	0.57%	↑
4500	81.83	82.43	0.73%	↑
4600	82.73	82.97	0.28%	↑
4700	83.67	83.27	0.48%	↓
4800	84.30	83.57	0.87%	↓
4900	84.60	83.73	1.02%	↓
5000	84.70	83.90	0.94%	↓
5100	84.67	83.93	0.87%	↓
5200	84.77	84.27	0.59%	↓
5300	84.63	84.37	0.32%	↓
5400	84.03	84.27	0.28%	↑
5500	83.23	83.27	0.04%	↑
5600	82.30	82.23	0.08%	↓
5700	81.27	81.30	0.04%	↑
5800	80.20	80.40	0.25%	↑

Los resultados indican que el torque mínimo a 2300 rpm y máximo a 3100 rpm disminuyen en 0.55% y 3.13% respectivamente, considerando la precisión de medición del equipo ($\pm 2\%$), se determina que el torque mínimo no varía debido a la adición de nanopartículas al aceite lubricante.

El torque máximo disminuye más allá del porcentaje de precisión de medición en 1.13%, por lo que se demuestra que al utilizar 0.15% V de SiO₂, el Al₂O₃ y grafito reduce la magnitud de este parámetro en el motor, bajo las condiciones de prueba especificadas.

En la Figura 27 se muestran las curvas de Torque – Velocidad angular obtenidas con y sin nanopartículas, proveniente de los datos tabulados de la Tabla 13.

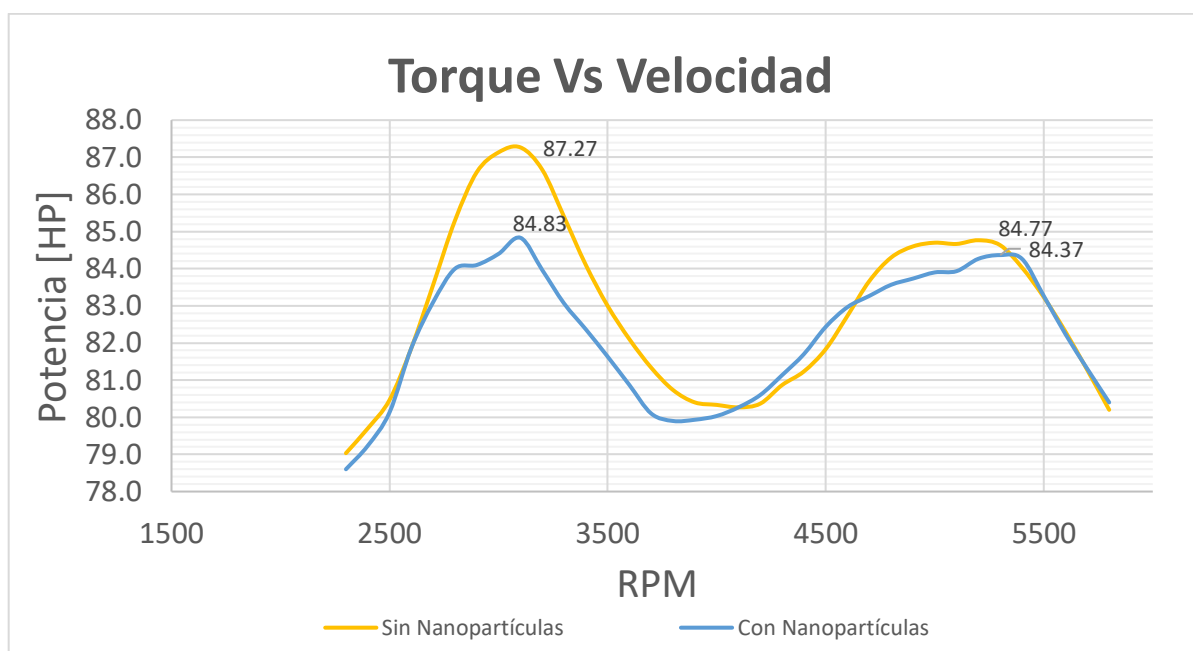


Figura 27. Gráfica comparativa de Torque – Velocidad angular

Al aumentar la presión media efectiva (PME) en los cilindros, el valor del torque desarrollado debe incrementarse proporcionalmente, ya que el torque está en función de la fuerza ejercida sobre la cabeza del pistón, producto de la explosión de la mezcla aire combustible. Sin embargo, según los resultados obtenidos el torque mantiene su magnitud a velocidades cercanas a 2500 rpm y 5500 rpm. En las franjas de alto torque, a 3100 y 5100 rpm y en el rango de desempeño óptimo del motor (de 3000 a 4000 rpm) el torque disminuye hasta 3.71 (N.m).

La curva descrita con nanopartículas (en azul), muestra ser más irregular que la curva sin aditivo (en amarillo); se observa que en el régimen de bajas revoluciones no se desarrolla constantemente el torque, denotando una caída repentina antes de llegar al valor máximo.

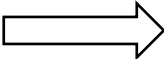
4.2.2. Potencia

En la Tabla 14 se exhiben los valores de potencia efectiva y su correspondiente variación porcentual respecto a la velocidad angular desarrollada.

Tabla 14

Comparación porcentual de potencia efectiva con y sin Nanopartículas.

Potencia a la Rueda/freno (Efectiva)				
n(rpm)	Promedio Inicial Sin/NP (HP)	Promedio Final Con/NP (HP)	Porcentaje	Aumenta o disminuye
2300	16.23	16.83	3.70%	↑
2400	17.03	17.70	3.91%	↑
2500	17.93	18.67	4.09%	↑
2600	19.03	19.87	4.38%	↑
2700	20.23	20.97	3.62%	↑
2800	21.50	21.93	2.02%	↑
2900	22.60	22.67	0.29%	↑
3000	23.50	23.43	0.28%	↓
3100	24.20	24.07	0.55%	↓
3200	24.63	24.43	0.81%	↓
3300	24.73	24.77	0.13%	↑
3400	24.83	25.07	0.94%	↑
3500	24.97	25.27	1.20%	↑
3600	25.13	25.47	1.33%	↑
3700	25.27	25.80	2.11%	↑
3800	25.53	26.27	2.87%	↑
3900	25.93	26.83	3.47%	↑
4000	26.40	27.43	3.91%	↑
4100	26.83	28.03	4.47%	↑
4200	27.33	28.70	5.00%	↑
4300	28.07	29.53	5.23%	↑
4400	28.73	30.33	5.57%	↑


 Continua

4500	29.50	31.23	5.88%	↑
4600	30.43	32.03	5.26%	↑
4700	31.43	32.67	3.92%	↑
4800	32.27	33.27	3.10%	↑
4900	32.90	33.77	2.63%	↑
5000	33.40	34.33	2.79%	↑
5100	33.87	34.90	3.05%	↑
5200	34.27	35.30	3.02%	↑
5300	34.53	35.57	2.99%	↑
5400	34.67	35.60	2.69%	↑
5500	34.43	35.17	2.13%	↑
5600	34.07	34.63	1.66%	↑
5700	33.60	34.17	1.69%	↑
5800	33.07	33.67	1.81%	↑

A excepción del rango entre 3000 a 3200 rpm el motor aumenta la potencia efectiva en toda su operación, se comprueba en la Tabla 14 que, debido a las nanopartículas, las pérdidas mecánicas del motor se reducen, mejorando la potencia mínima y máxima en 3.70% y 2.69% respectivamente.

La disminución de potencia en el rango mencionado se considera parte del error de apreciación en el proceso de medición, por lo que queda descartado que el SiO₂, el Al₂O₃ y el grafito tenga un efecto negativo en la potencia efectiva.

El aumento en la potencia efectiva de mayor valor porcentual se indica a 4500 rpm con 5.88%.

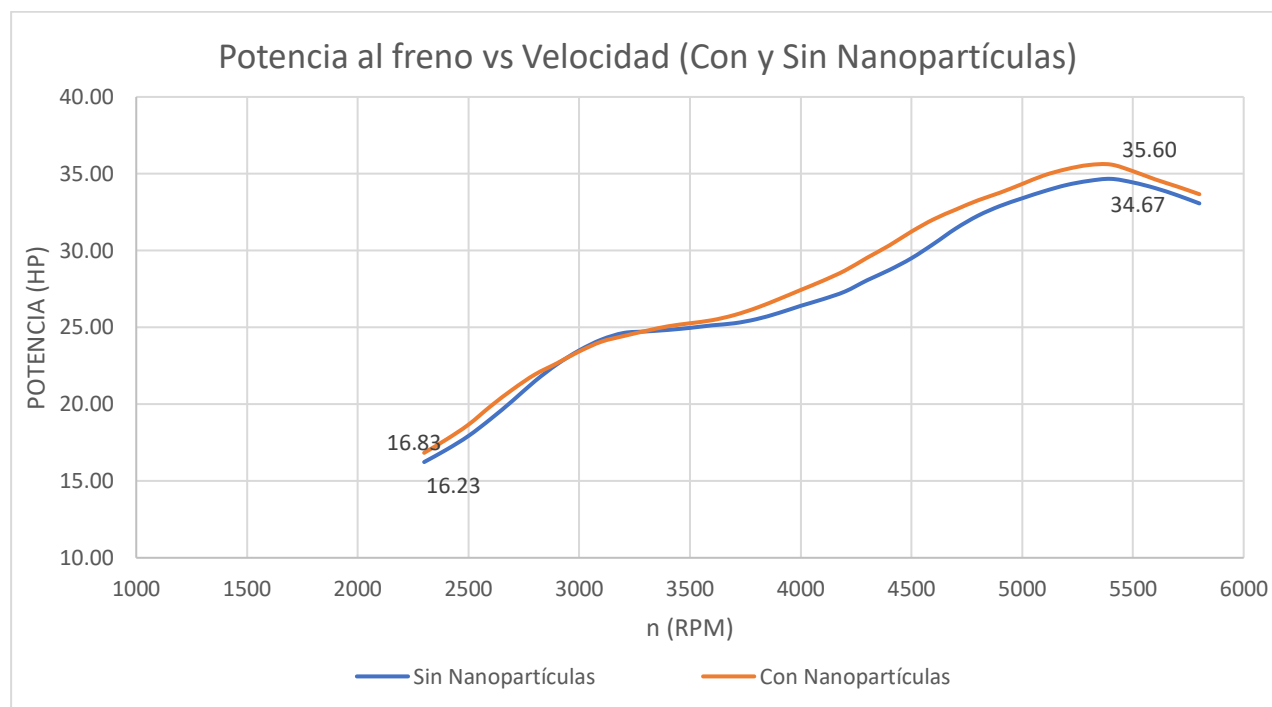


Figura 28. Gráfica comparativa de Potencia efectiva – Velocidad angular

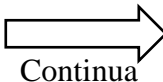
Como se observa en la Figura 28, el motor que trabaja con nanopartículas (SiO_2 , Al_2O_3 y grafito) desarrolla más potencia efectiva (al freno) trabajando a las mismas revoluciones que Sin nanopartículas. Esta condición permite que el consumo de combustible disminuya ya que se necesita menor cantidad de energía para vencer la fuerza de fricción en la camisa del motor.

Al aumentar la velocidad, desde las 3600 rpm en adelante, las pérdidas mecánicas disminuyen por efecto de las nanopartículas, es evidente que el aditivo genera una capa en las superficies metálicas que poseen un menor coeficiente de fricción que el del metal de los elementos del motor.

A continuación, en la Tabla 15 se comparan los datos de la potencia indicada de motor y su correspondiente variación porcentual.

Tabla 15*Comparación porcentual de potencia indicada con y sin Nanopartículas.*

Potencia normal (Indicada)				
n(rpm)	Promedio Inicial Sin/NP	Promedio Final Con/NP	Porcentaje	Aumenta o disminuye
2300	34.60	34.43	0.48%	↓
2400	36.40	36.23	0.46%	↓
2500	38.33	38.13	0.52%	↓
2600	40.53	40.43	0.25%	↓
2700	42.97	42.67	0.70%	↓
2800	45.50	44.67	1.83%	↓
2900	47.83	46.37	3.07%	↓
3000	49.80	48.13	3.35%	↓
3100	51.50	49.73	3.43%	↓
3200	52.77	50.83	3.66%	↓
3300	53.67	51.93	3.23%	↓
3400	54.43	53.07	2.51%	↓
3500	55.30	54.10	2.17%	↓
3600	56.27	55.17	1.95%	↓
3700	57.30	56.43	1.51%	↓
3800	58.40	57.80	1.03%	↓
3900	59.70	59.37	0.56%	↓
4000	61.20	60.93	0.44%	↓
4100	62.63	62.63	0.00%	↓
4200	64.27	64.47	0.31%	↑
4300	66.20	66.43	0.35%	↑
4400	68.07	68.47	0.59%	↑
4500	70.13	70.63	0.71%	↑
4600	72.47	72.67	0.28%	↑
4700	74.87	74.50	0.49%	↓
4800	77.03	76.40	0.82%	↓
4900	78.93	78.13	1.01%	↓
5000	80.63	79.87	0.95%	↓
5100	82.20	81.50	0.85%	↓
5200	83.87	83.43	0.52%	↓
5300	85.37	85.27	0.12%	↓
5400	86.40	86.67	0.31%	↑
5500	87.17	87.20	0.04%	↑



Continua

5600	87.80	87.63	0.19%	↓
5700	88.20	88.23	0.04%	↑
5800	88.57	88.80	0.26%	↑

La potencia indicada responde de manera diferente a la potencia al freno, en este caso, la potencia disminuye hasta en 3.66% a 3200 rpm, la potencia mínima medida a 2300 rpm decreció 0.48%, mientras que la potencia máxima medida a 5800 aumentó 0.26%. Esto muestra que el proceso de combustión no mejora, entregando la misma energía con y sin nanopartículas.

La Figura 29 compara la potencia indicada medida en las dos condiciones de prueba.

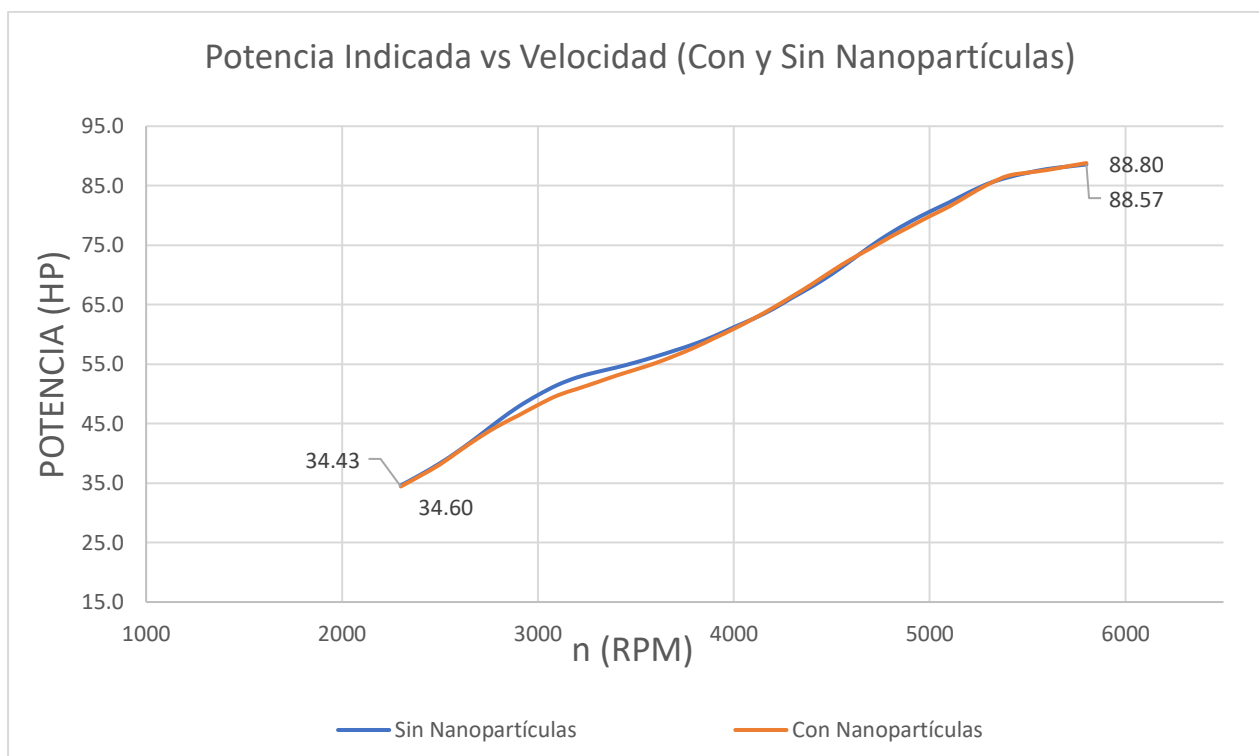


Figura 29. Gráfica comparativa de Potencia Indicada – Velocidad angular

Debido a que la PC aumentó tras la adición de SiO₂, Al₂O₃ y grafito, se esperaba un aumento proporcional en el torque y la potencia indicada ya que estos parámetros varían directamente en función de la presión media efectiva. Sin embargo, la Figura 27 y la Figura 29 muestran que la adición de nanopartículas perjudica al desarrollo del motor en comparación a uno que opera únicamente con aceite lubricante. Esto se debe a que el combustible no posee un valor de octanaje (R.O.N) necesario para soportar la compresión elevada que las cámaras de compresión ahora disponen, generando que el combustible se auto encienda antes de que se genere la chispa en el punto muerto superior, provocando “pistoneo” o cascabeleo en la operación del motor.

Evidentemente al no aprovechar el poder calórico del combustible en la condición de presión y temperatura máxima, se desperdicia energía y por el contrario decrece el torque y la potencia entregada.

4.2.3. Consumo específico de combustible

La prueba de combustible se siguió en conformidad al ítem 3.2 (Ciclo IM240) y al protocolo de prueba correspondiente a 3.4.1.2.

A continuación, se presentan los datos medidos en pruebas iniciales en condición estándar SIN nanopartículas.

Tabla 16

Consumo de combustible en cada prueba realizada.

Hora de Inicio	11:00	Hora Final	11:30	COD:	
Altitud Inicial		Altitud Final			
RESULTADOS OBTENIDOS EN PRUEBAS					
TRAMOS	CICLO	INICIO [L]	FINAL [L]	CONSUMO [ml]	DISTANCIA [Km]
1	IM-240	5	4.72	0.28	3.2
2	IM-240	5	4.755	0.245	3.2
3	IM-240	5	4.76	0.24	3.2

Tabla 17

Consumo de combustible total en Km/gal.

Rendimiento TRAMO 1 [Km/gal]	43.26
Rendimiento TRAMO 2 [Km/gal]	49.44
Rendimiento TRAMO 3 [Km/gal]	50.47
Rendimiento TOTAL [Km/gal]	47.73

A continuación, se presentan los datos medidos en pruebas iniciales en condición estándar CON nanopartículas.

Tabla 18

Consumo de combustible en cada prueba realizada.

Hora de Inicio	11:30	Hora Final	12:00	COD:	
Altitud Inicial		Altitud Final			
RESULTADOS OBTENIDOS EN PRUEBAS					
TRAMOS	CICLO	INICIO [L]	FINAL [L]	CONSUMO [ml]	DISTANCIA [Km]
1	IM-240	5	4.79	0.21	3.2
2	IM-240	5	4.76	0.24	3.2
3	IM-240	5	4.77	0.23	3.2

Fuente: CCICEV.

Tabla 19

Consumo de combustible total en Km/gal.

Rendimiento TRAMO 1 [Km/gal]	57.68
Rendimiento TRAMO 2 [Km/gal]	50.47
Rendimiento TRAMO 3 [Km/gal]	52.67
Rendimiento TOTAL [Km/gal]	53.61

La Tabla 20 muestra el promedio de consumo de las etapas de prueba, con y sin nanopartículas, los datos utilizados para el análisis son los correspondientes a las tablas 16 y 17 (condición estándar, sin nanopartículas), y a las tablas 18 y 19 (con nanopartículas).

Tabla 20

Comparación del consumo de combustible en las dos etapas de prueba

Pruebas de consumo de combustible		
IM 240		
Promedio Inicial (km/gal)	Promedio Final (km/gal)	Variación %
47.73	53.61	12.32%

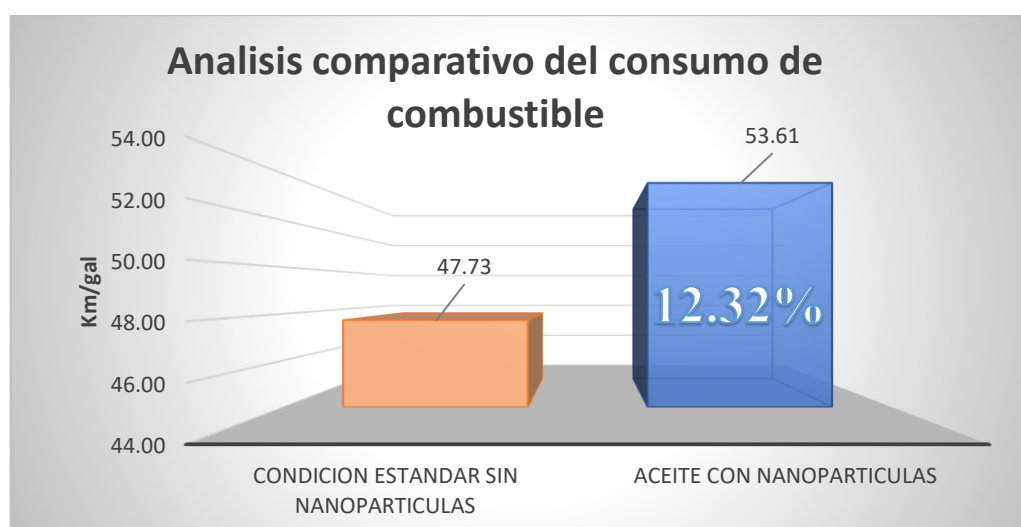


Figura 30. Gráfica comparativa del consumo de combustible

La Figura 30. Gráfica comparativa del consumo de combustible muestra que el aceite con el aditivo nanométrico mejora el rendimiento del combustible en un 12.32%, permitiendo aumentar en 5.88 km la distancia recorrida por cada galón de combustible consumido por el motor. Debido al aumento de la potencia al freno, la energía producida se aprovecha de mejor manera, logrando obtener más potencia a menos rpm, el consumo de combustible mejora ya que no es necesario acelerar a fondo el auto para conducir a una determinada velocidad.

CEC (Consumo Específico de Combustible)

Para el cálculo del CEC se utilizan los valores de potencia indicada y al freno presentes en la Tabla 14 y en la Tabla 15 siguiendo el protocolo de prueba respectivo.

Tabla 21

Cálculo del CEC al freno.

CEC al freno, Sin NP	CEC al freno, Con NP
$cec = \frac{\dot{m}f}{Pf}$ $cec = \frac{c * \rho}{Pf} = \frac{7 \left(\frac{lt}{h}\right) * 0.83 \left(\frac{kg}{lt}\right)}{25.85(Kw)}$ $cec = 0.22476 \left[\frac{kg}{kw.h}\right]$	$cec = \frac{\dot{m}f}{Pf}$ $cec = \frac{c * \rho}{P} = \frac{7 \left(\frac{lt}{h}\right) * 0.83 \left(\frac{kg}{lt}\right)}{26.54(Kw)}$ $cec = 0.21821 \left[\frac{kg}{kw.h}\right]$

Tabla 22

Calculo del CEC Indicada.

CEC indicado, Sin NP	CEC indicado, Con NP
$cec = \frac{\dot{m}f}{Pf}$ $cec = \frac{c * \rho}{Pf} = \frac{7 \left(\frac{lt}{h}\right) * 0.83 \left(\frac{kg}{lt}\right)}{66.47(Kw)}$ $cec = 0.087408 \left[\frac{kg}{kw.h}\right]$	$cec = \frac{\dot{m}f}{Pf}$ $cec = \frac{c * \rho}{P} = \frac{7 \left(\frac{lt}{h}\right) * 0.83 \left(\frac{kg}{lt}\right)}{66.218(Kw)}$ $cec = 0.08774 \left[\frac{kg}{kw.h}\right]$

El consumo específico de combustible al freno (Tabla 21) muestra una respuesta positiva ante las nanopartículas indicando que decrece 2.91%, lo que se traduce en una mejora de 6.55 gramos

para producir los mismos Kw-h. Aunque la diferencia es mínima podemos aseverar que las nanopartículas favorecen en la reducción de pérdidas mecánicas, puesto que es necesario consumir menos combustible para vencer la fricción generada en los cilindros.

Respecto al CEC indicado, obtenido en la Tabla 22 este aumenta en 0.38% al añadir las nanopartículas. Este valor es despreciable puesto que el aumento es de 0.332 g, valor mínimo que no afecta en lo absoluto la producción de Kw-h del motor.

4.3. Análisis comparativo de la composición de los gases de escape.

Los datos utilizados en este análisis corresponden a las Tablas 23 y 24, los cuales se obtuvieron realizando el protocolo de prueba en conformidad a 3.4.1.4.

Datos Obtenidos:

Tabla 23

Valores de los gases de combustión obtenidos Sin Nanopartículas.

Hora de Inicio	09:20	Hora Final	09:30	Cod:				
RESULTADOS DEL ANALIZADOR DE GASES								
Parámetros	PRUEBAS ESTATICAS NTE INEN 2203/2204							
	MEDICIÓN 1		MEDICIÓN 2		MEDICIÓN 3		PROMEDIO	
	Ralentí	rpm alta	Ralentí	rpm alta	Ralentí	rpm alta	Ralentí	rpm alta
CO [%v]	0.19	0.3	0.23	0.53	0.21	0.42	0.21	0.42
CO2 [%v]	14.85	14.78	14.75	14.28	14.21	14.44	14.60	14.50
CO Corregido [%v]	0.19	0.3	0.23	0.53	0.21	0.42	0.21	0.42
HC [ppm]	38	42	139	130	69	88	82.00	86.67
O2 [%v]	0.14	0.23	0.2	0.62	0.14	0.39	0.16	0.41
[Lambda]	0.999	0.999	0.997	1.008	0.997	1.002	1.00	1.00
RPM	720	2590	730	2520	730	2480	727	2530

Fuente: CCICEV

Tabla 24

Valores de los gases de combustión obtenidos Con Nanopartículas.

Hora de Inicio	09:20	Hora Final	09:30	Cod:					
RESULTADOS DEL ANALIZADOR DE GASES									
Parámetros	PRUEBAS ESTATICAS NTE INEN 2203/2204								
	MEDICION 1		MEDICION 2		MEDICION 3		PROMEDIO		
	Ralentí	rpm alta	Ralentí	rpm alta	Ralentí	rpm alta	Ralentí	rpm alta	
CO [%v]	0.2	0.25	0.22	0.24	0.16	0.25	0.19	0.25	
CO2 [%v]	14.68	14.71	14.76	14.76	14.76	14.75	14.73	14.74	
CO Corregido [%v]	0.2	0.25	0.22	0.24	0.16	0.25	0.19	0.25	
HC [ppm]	42	46	77	51	103	60	74.00	52.33	
O2 [%v]	0.15	0.13	0.14	0.17	0.21	0.14	0.17	0.15	
[Lambda]	0.999	0.997	0.997	0.999	1.001	0.996	1.00	1.00	
RPM	700	2480	700	2500	700	2550	700	2510	

Fuente: CCICEV.

La Tabla 25 presenta el resultado de la medición de gases en ralentí y a altas rpm, la tabulación de datos corresponde a las dos condiciones de prueba realizadas.

Tabla 25

Comparación porcentual de los gases de escape medidos con y sin Nanopartículas.

RESULTADOS DEL ANALIZADOR DE GASES									
Parámetros	PRUEBAS ESTATICAS NTE INEN 2203/2204								
	Medición Total inicial		Medición total final		Modificación Porcentual				
	Ralentí	rpm alta	Ralentí	rpm alta	Ralentí	A o D	rpm alta	A o D	
CO [%v]	0.21	0.42	0.19	0.25	7.94%	↓	40.80%	↓	
CO2 [%v]	14.60	14.50	14.73	14.74	0.89%	↑	1.66%	↑	
CO Corregido [%v]	0.21	0.42	0.19	0.25	7.94%	↓	40.80%	↓	
HC [ppm]	82.00	86.67	74.00	52.33	9.76%	↓	39.62%	↓	
O2 [%v]	0.16	0.41	0.17	0.15	4.17%	↑	64.52%	↓	
[Lambda]	0.997	1.003	0.9990	0.9973	0.13%	↑	0.56%	↓	
RPM	727	2530	700	2510	700		2500		

Para el análisis estequiométrico de los gases de combustión se hace referencia a la Figura 31, mostrada a continuación. Esta muestra el comportamiento de los gases dependiendo del porcentaje volumétrico (%v) o las partículas por millón (ppm) emitidas por cada compuesto de la combustión.

Esta grafica permite verificar si los datos obtenidos con el equipo de medición son válidos.

Todos los valores obtenidos en la medición están dentro de lo comparable respecto a la Figura 31, si se tendrían valores fuera de los limites mostrados en esta grafica se debería a averías en el equipo de medición o a un error en el proceso de obtención de datos.

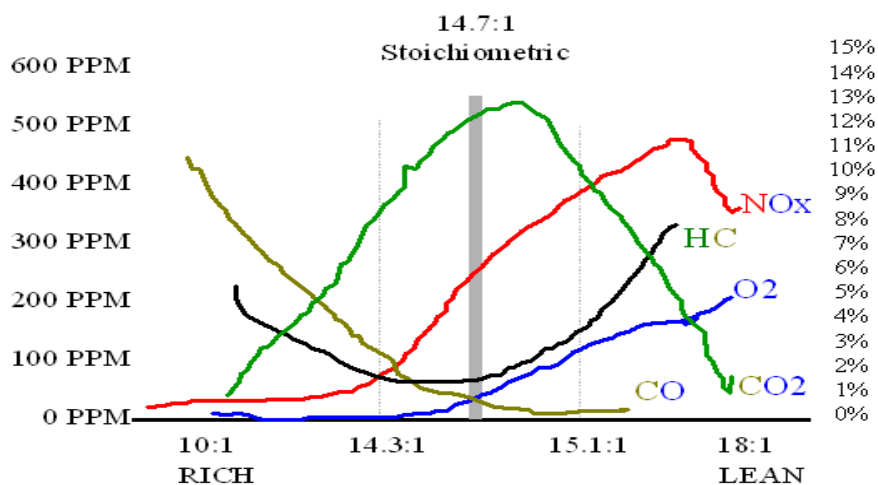


Figura 31. Gráfica de combustión estequiométrica

Fuente: (Ricerca, 2010)

El CO₂ permite saber que tan eficiente es la combustión, como se observa en la Figura 31 el valor ideal de este gas debe ser cercano a 14,7, tras la adición de las nanopartículas los valores pasaron de 14.60 a 14.73 en ralentí y de 14.50 a 14.74 a altas rpm, permitiendo estar más cerca del valor ideal. Este resultado en este gas demostrará a continuación que los demás gases se deben ajustar de mejor manera su emisión ya que existe una correspondencia estequiométrica entre ellos.

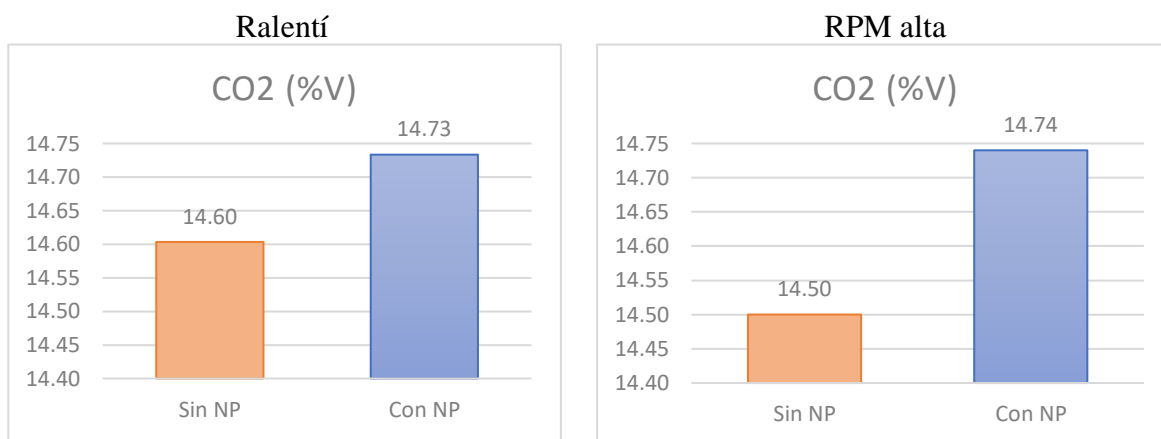


Figura 32. Emisión de CO₂

Los resultados muestran que el SiO₂, el Al₂O₃ y el grafito permiten reducir la emisión de gases de escape tóxicos en las siguientes proporciones; el CO redujo en 7.94% a ralentí y en 40.80% a altas rpm, el HC redujo en 9.76% a ralentí y en 39.62% a altas rpm.

La reducción de estos gases nocivos se obtiene debido al aumento de presión en cámara de combustión lo que permite obtener mayor temperatura en la fase de explosión del motor. La presencia de mayor temperatura promueve la reducción del HC y del CO.

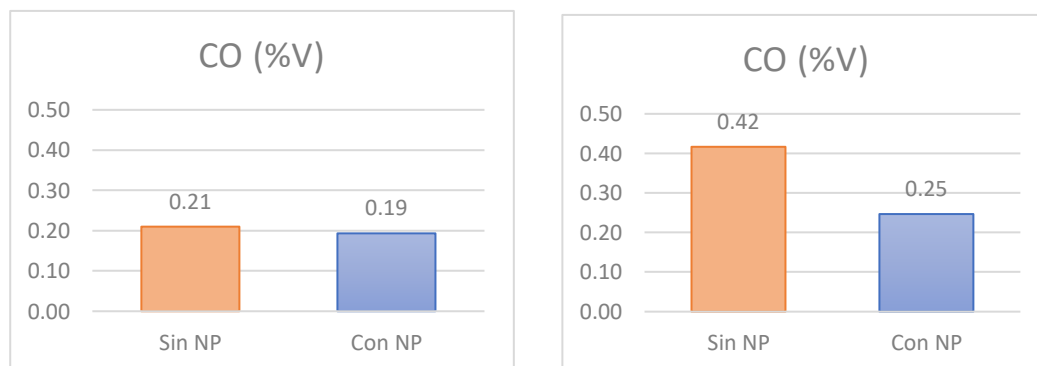


Figura 33. Emisión de CO

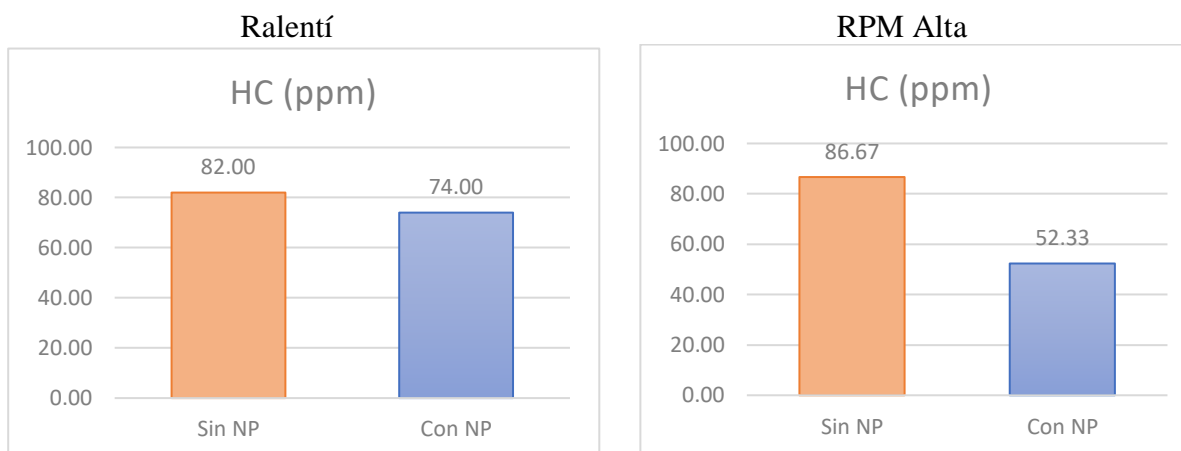


Figura 34 Emisión de Hidrocarburos no combustionados

A bajas revoluciones el O₂ permanece sin cambios mientras que a altas rpm reduce considerablemente en 64.52%, esto se debe a que la mezcla se enriqueció y que la cantidad de O₂ se consumió de mejor manera en la combustión.

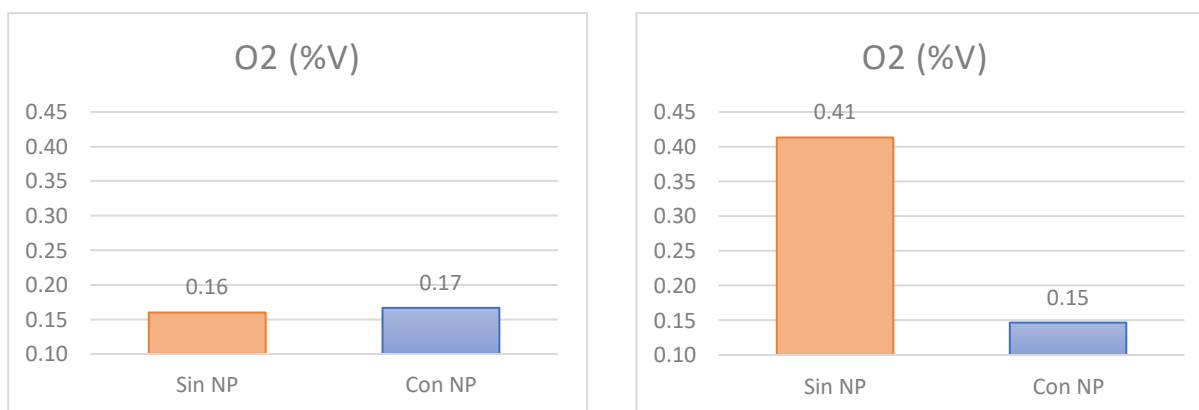


Figura 35. Emisión de O₂

El factor lambda indica que a bajas revoluciones su valor tiende a 1, equilibrando la combustión, y a altas revoluciones tiene un comportamiento con tendencia hacia mezcla rica.

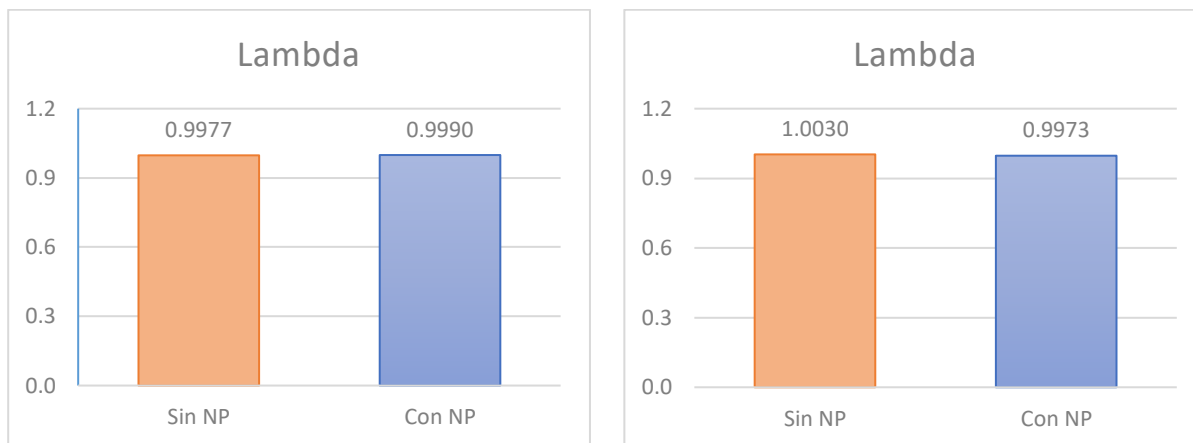


Figura 36 Estado de la mezcla aire combustible

4.4. Determinación de cambios en las propiedades del aceite lubricante.

Los datos utilizados para el análisis del aceite lubricante corresponden a las tablas 30 y 31, prueba sin nanopartículas y a las Tablas 32 y 33 (Anexo C), prueba realizada con el aditivo nanométrico. El proceso de medición se detallado en 3.4.1.3.

Para el análisis se considera un error de medición del reómetro Discovery de $\pm < 1\%$.

Tabla 26

Comparación de la viscosidad del aceite nuevo con y sin nanopartículas a 40 y 100°C

Rampa de temperatura Aceite Nuevo			
Sin Nanopartículas	Con Nanopartículas		
Viscosidad	Viscosidad	Temperatura	Cambio
Pa.s	Pa.s	°C	%
0.24225	0.23551	40	2.78% ↓
0.03497	0.03459	100	1.11% ↓

La Figura 37 mostrada a continuación indica que la viscosidad dinámica (VD) del lubricante nuevo baja 2.78% lo que representa 0.00674 [Pa.s] en comparación a la condición sin

Nanopartículas. Este decremento indica que la adición de SiO₂, Al₂O₃ y grafito modifica mínimamente la viscosidad a temperaturas cercanas a 40°C y en altas temperaturas (alrededor de 100°C) la viscosidad permanece sin variar.

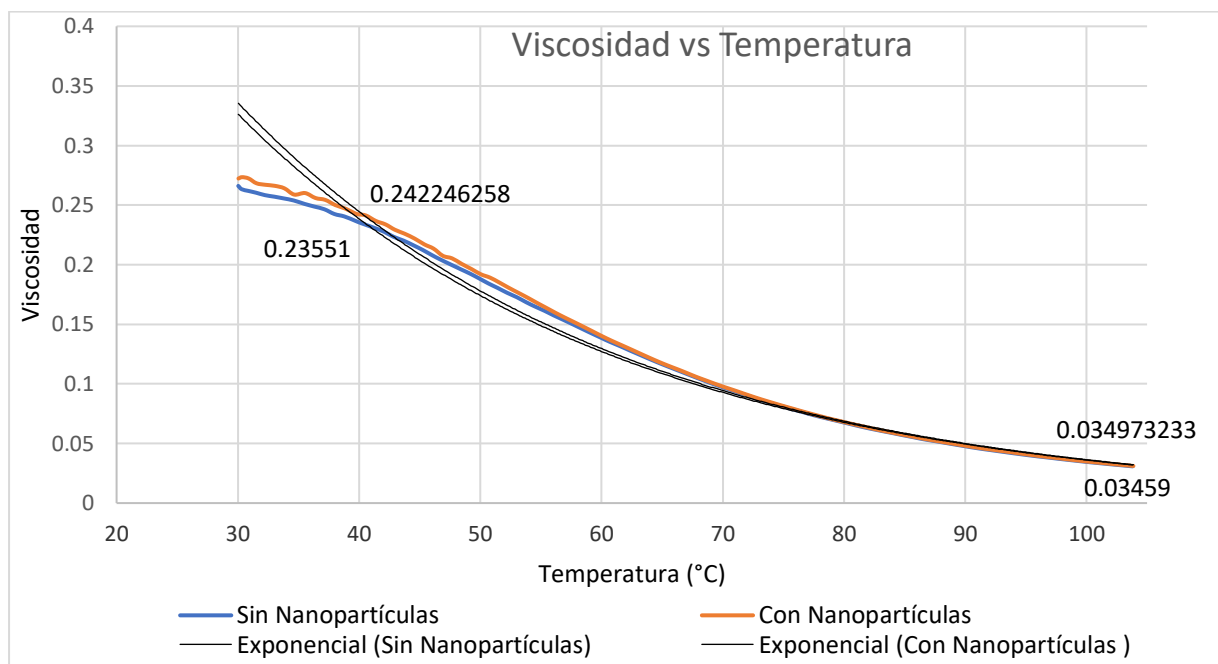


Figura 37. Gráfica representativa de lubricante NUEVO Con y sin Nanopartículas

La Tabla 27 y la Figura 38 muestran cómo se comportó el aceite al trabajar con las nanopartículas como parte del sistema de lubricación, se muestra además la diferencia en cada condición a 40°C y 100°C.

Las líneas de tendencia exponencial mostradas en la Figura 38 demuestran que a 40°C el aceite mejoró en más de dos cifras la viscosidad dinámica lo que representa un 7.45% de incremento en la viscosidad respecto al tiempo de uso. Por su parte el comportamiento a 100°C se verifica que permanece igual, demostrando que a altas temperaturas la adición de nanopartículas no favorece en lo absoluto a la lubricación.

Tabla 27

Comparación de la viscosidad del aceite usado con y sin nanopartículas a 40 y 100°C

Rampa de temperatura Aceite Usado			
Sin Nanopartículas	Con Nanopartículas		
Viscosidad	Viscosidad	Temperatura	Cambio %
Pa.s	Pa.s	°C	%
0.18812	0.20213829	40	7.45%
0.02982	0.02963099	100	0.62% ↓

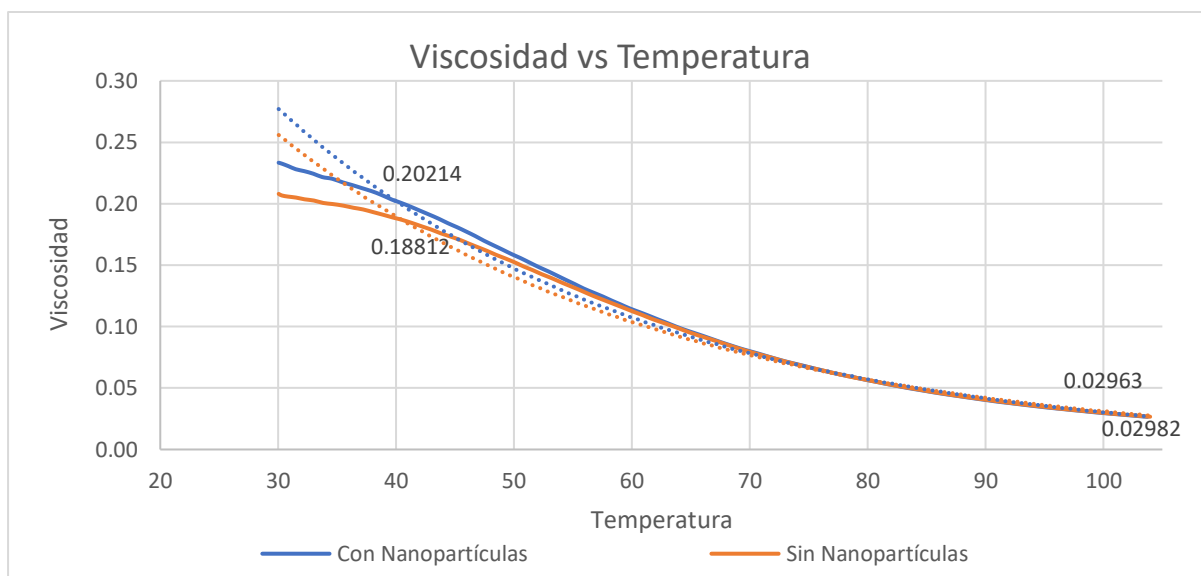


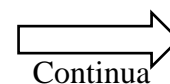
Figura 38. Gráfica representativa de aceite USADO Con y sin Nanopartículas

4.4.1. Determinación del aumento de vida Útil del lubricante.

Tabla 28

Estimación de la vida útil del aceite lubricante

Sin nanopartículas	Con nanopartículas
Viscosidad Inicial => 0.242 [Pa.s]	Viscosidad Inicial => 0.235 [Pa.s]
Viscosidad Final => 0.188 [Pa.s]	Viscosidad Final => 0.202 [Pa.s]
Caída de Viscosidad Din. => 0.054 [Pa.s]	Caída de Viscosidad Din. => 0.033 [Pa.s]



KM	0.242	0.054/5	0.235	0.033/5
600	0.2312	0.0108	0.2284	0.0066
1200	0.2204		0.2218	
1800	0.2096		0.2152	
2400	0.1988		0.2086	
3000	0.188		0.202	
3600	-		0.1954	
4200	-		0.1888	

El aumento de VD en el tiempo es de $0.054 - 0.033 = 0.021$ [Pa.s]

Si a 0.054 [Pa.s] recorro 3000 km, 100%

con 0.033 [Pa.s], aumento de la vida útil es de 1200 km

Con la caída de 0.033 [Pa.s] se pueden recorrer 4200 [km]

Para cuantificar el aumento o decremento de la vida útil se analiza la variación de viscosidad principalmente en la etapa en la que el aceite trabaja con las nanopartículas. Se obtuvo que sin nanopartículas el aceite, después de recorrer 3000 km, presenta una caída en la VD de 0.0054 [Pa.s] y cuando se añade las nanopartículas la caída es de 0.033 . Este aumento demuestra que el motor que trabaja con SiO_2 , Al_2O_3 y grafito permite que el aceite lubricante se someta a menos esfuerzos de corte aumentando en 0.021 [Pa.s] la VD. Cuantitativamente el aumento de vida útil se traduce en 1200 km, por lo que se puede prolongar el recambio del aceite en esa cantidad de kilómetros.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES

- Se concluye que la energía entregada por el combustible se aprovecha de mejor manera al utilizar nanopartículas de dióxido de Silicio-SiO₂, óxido de Aluminio-Al₂O₃ y grafito, puesto que la eficiencia térmica del motor aumenta en más del 80% del régimen de operación.
- Al analizar aceite lubricante nuevo con y sin nanopartículas se pudo establecer que al añadir SiO₂, Al₂O₃ y grafito, inicialmente las propiedades no se modifican ya que la viscosidad dinámica, parámetro determinante del aceite, no varía significativamente presentando un decremento de 2.78% y 1.11% a 40°C y 100°C respectivamente.
- Adicionalmente, al analizar el aceite lubricante usado con y sin nanopartículas (4000 km de recorrido en el motor) se pudo identificar que la viscosidad dinámica en el aceite con nanopartículas aumenta 7.49% a 40°C y permanece igual a 100°C. Esto indica que al trabajar con nanopartículas el aceite aumenta su vida útil 18000 km. Y además, los resultados reflejan que el motor se protege del desgaste en el arranque en frío debido a la mayor viscosidad del aceite disponible después de recorrer esta cantidad de kilómetros.

- Con la adición de nanopartículas al aceite lubricante se determinó que el torque máximo disminuye en 3.13%, lo que influye directamente en el desarrollo de la potencia indicada presentando un aumento mínimo de 0.26%.
- La potencia al freno demostró un incremento de 2.69% a 5400 rpm; sin embargo, el mayor aumento porcentual de PE se da a 4500 rpm con un valor de 5.88%. Por otro lado, el rendimiento del combustible aumenta en 12.32% reflejando una mejora de $2.93 \left[\frac{g}{Kw.h} \right]$ en el C.E.C. Lo que representa una ventaja puesto que se pueden recorrer 5.88 [km] más por galón de combustible consumido.
- En referencia a la composición estequiométrica de los gases de escape, se puede concluir que al utilizar SiO₂, Al₂O₃ y grafito en el aceite del motor; el CO disminuye en 7.94% en ralentí y en 40.8% a altas rpm, los HC disminuyen en 9.76% en ralentí y en 39.62% a altas rpm, el CO₂ aumenta en 0.89% en ralentí y 1.66% a altas rpm, finalmente el O₂ aumenta en ralentí en 4.17% y disminuye a altas rpm en 64.52%.
- Finalmente, al añadir el aditivo nanométrico en el circuito de lubricación de un motor de combustión interna se puede concluir que si presenta ventajas tales como; aumento en la potencia efectiva, en la vida útil del aceite lubricante, en la eficiencia del combustible, en la eficiencia térmica y reducción de emanación de gases de escape.

RECOMENDACIONES

- Realizar pruebas con concentraciones porcentuales de aditivo diferentes para poder medir el efecto que el aditivo tiene en cada uno de los parámetros del motor.
- Analizar el comportamiento del aceite en varias etapas de prueba para obtener un comportamiento exacto de la variación de la viscosidad.
- Utilizar un vehículo con condiciones diferentes a las aquí expuestas. Se recomienda realizar el estudio en un vehículo que no consuma aceite para poder cuantificar exactamente las ventajas o desventajas.
- Se recomienda efectuar la prueba de gases de escape en un motor con los parámetros fuera de especificación para evidenciar las ventajas o desventajas del nanoparticulado de mejor manera.
- Combinar etapas de prueba con y sin nanopartículas con distintos tipos de combustibles para verificar si el bajo octanaje de ciertos combustibles perjudica el desempeño del motor al aumentar la PC.
- Realizar el análisis con cada tipo de nanopartícula por separado para apreciar el efecto que cada una de ellas promueve en el motor.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acosta, D. A. (2 de Abril de 2016). *Presión de compresión* . Obtenido de <http://presiondecompresion1.blogspot.com/>
- Aquae, F. (2016). *Nanotecnología o la revolución de lo más pequeño*. Obtenido de <https://www.fundacionaquae.org/wiki-aquae/innovacion/nanotecnologia-la-revolucion-lo-mas-pequeno/>
- Araque Burjassot, E. (Diciembre de 2014). *La nanotecnología en la industria: tipos y aplicaciones principales de los nanomateriales*. Obtenido de <https://es.slideshare.net/Invassat-GVa/araque-e-2014-la-nanotecnologa-en-la-industria-tipos-y-aplicaciones-principales-de-los-nanomateriales>
- Castillo , J., Rojas, V., & Martínez , J. (2017). Determination of Torque and Power of a Gasoline Internal Combustion Engine by Using Spark with Pressure Sensor Adapted and Application of a Mathematical Model. *Revista Politécnica*.
- Cheelenahally , M. (8 de Diciembre de 2017). *Department of Chemistry R V College of Engineering*. Obtenido de ol Gel method for nano metal oxide synthesis: <https://rvce.edu.in/chem-department-of-chemistry>
- Chen, S., & Liu, W. (2005). *Study of effect of modification agent on the tribological properties of ZnS nanoparticles*.

Choi, S., & Eastman, J. A. (1995). Enhancing Thermal Conductivity Of Fluids With Nanoparticles. *Energy Technology Division and Materials Science Division Argonne National Laboratory.*

CRO. (21 de Octubre de 2014). *Centro de Recambio Original*. Obtenido de La viscosidad en los aceites lubricantes: <http://www.recambiooriginal.com/blog/recambios-originales/lubricantes/la-viscosidad-en-los-aceites-lubricantes/>

DieselNet. (2018). *Emission Test Cycles*. Obtenido de <https://www.dieselnets.com/standards/cycles/im240.php>

Edwards, M. D. (2009). “AddNano” project: introducing innovative nanotechnology into the value chain of the lubricants market. *Add Nano*.

Efficiency Technologies. (2007). *Surface functionalism concerning nano tribological wear protection*. Obtenido de <http://efficiencytechnologies.co.uk/downloads/TriboPresentation.pdf>

Flexicon. (2015). *Negro de Humo*. Obtenido de Flexicon: <http://www.flexicon.es/Materiales-Manejados/Negro-de-Humo.html>

G. G. Reyes-Campana, J. A.-R.-Q. (15 de Noviembre de 2015). Determinación de torque y potencia en un motor de combustión interna utilizando mezclas parciales de biodiésel. Quito , Ecuador.

García , J. A., Reding, A., & López, J. C. (7 de Junio de 2013). *Cálculo del tamaño de la muestra*. Obtenido de Investigación en educación médica: <http://riem.facmed.unam.mx/node/132>

- González, R. P., Rodríguez, Y., García, Y., & Fernández, L. (2010). Consumo de combustible de los motores de combustión interna. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*.
- Gutiérrez Wing, C. E. (s.f.). *Las Nanopartículas pequeñas estructuras con gran potencial*.
Obtenido de Contacto Nuclear:
<http://inin.gob.mx/publicaciones/documentospdf/39%20NANOPARTICULAS.pdf>
- Haynes, W. M. (2014). *Handbook of Chemistry and Physics*. Boca Raton: CRC Press.
- Heywood, J. B. (1998). *Internal Combustion Engine Fundamentals*. McGraw-Hill.
- Jittiarporn, P., & Badilescu, S. (2017). Electrochromic properties of sol-gel prepared hybrid transition metal oxides. *Journal of Science: Advanced Materials and Devices*.
- Kebblinski, P., Eastman, A. J., & Cahill, D. G. (2005). Nanofluids for thermal transport . *Materials Today*, 36-44.
- Ko, E. I., Etrl, G., Knözinger, H., & Weitkamp, J. (1999). Sol-Gel Process. *Preparation of Solid Catalysts* , 85-98.
- Lapuerta, L., Armas, O., Agudelo, J. R., & Sánchez, C. A. (2006). *SCI Elo*. Obtenido de Estudio del Efecto de la Altitud sobre el Comportamiento de Motores de Combustión Interna.:
https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-07642006000500005
- Liu, Li, X., Wang, S., Sun, Y., & Liu, G. (2002). Study on the friction and wear mechanism of nanoparticles and traditional antiwear additives. *Synth. Lubr.*, 29(2), 19–22.
- Liu, M., Li, X., Wang , S., Sun, Y., & Liu, G. (2006). Tribochemistry and antiwear mechanism of organic–inorganic nanoparticles as lubricant additives. *Tribology Letters*, 79-84.

Lynch, M. (January de 2012). *Energy & Emission Solutions* . Obtenido de Slide Player:

<https://slideplayer.com/slide/3762834/>

Matsuda, P. (17 de Diciembre de 2017). *patriciainova.com/teoria-da-inovacao/da-primeira-a-terceira-revolucao-industrial/*. Obtenido de

<https://lamamapachama.wordpress.com/2014/09/29/aplicaciones-de-la-nanotecnologia-en-la-agricultura-e-industria-alimentaria/>

Meganeboy, D. (2014). *Aficionados a la mecánica* . Obtenido de Gases de Escape y Sistemas

Anticontaminación: <http://www.aficionadosalamecanica.net/emision-gases-escape.htm>

Molina, M. (2002). *Nanotecnología, Ciencia De Lo Diminuto*. Obtenido de Departamento de

Física, Facultad de Ciencias Universidad de Chile:

<http://www.uta.cl/charlas/volumen17/Indice/molina.pdf>

Oliveira Santos, A. (23 de Septiembre de 2017). *NANOVA*. Obtenido de Cómo son fabricadas las

nanopartículas : <https://nanova.org/fabricacion-de-nanoparticulas/>

Pohland, K. (2012). *TÜV Thüringen* . Obtenido de

http://www.nanovit.com.ua/dokumenty/sertifikat_tuv.pdf

Rueda, J. (Octubre de 2017). *Mecánica y mantenimiento*. Obtenido de Torque y Potencia:

<http://juanruedaconinternational.com/content/torque-y-potencia>

Sanwaria, A. R., Nagar , M., & Bohra, R. (2014). Sol–gel synthesis of highly pure α -Al₂O₃ nano-rods from a new class of precursors of salicylaldehyde-modified aluminum(III)

isopropoxide. Crystal and molecular structure of $[Al(OC_6H_4CHO)_3]$. *RSC Advances*, 30086-30089.

Scherrer, P. (2016). *Laboratory for Micro and Nanotechnology*. Obtenido de PSI (Paul Scherrer Institute): <https://www.psi.ch/lmn/about-lmn>

Shabanov, A., & Zaitsev, A. (2007). *Influence of additives in lubricating oil of NanoVit on the basic parameters of the gasoline carburetor engine*. Obtenido de St. Petersburg State Polytechnic University Department of Internal combustion engines: <http://www.nanovit.co.uk/linked/universitytest.pdf>

Tipanluisa, L., & Portilla, Á. (2017). Estudio De Las Emisiones Vehiculares En Pruebas Con Dinamómetro y en Ruta. *Research Gate*, 1,2.

Torres Cebada, T. (s.f.). *Universidad Autónoma de Madrid*. Obtenido de Nanoquímica y Nanotecnología: Nuevos Materiales, Polímeros y Máquinas Moleculares: <http://www.encuentros-multidisciplinares.org/Revistanº12/Tomás%20Torres%20Cebada.pdf>

Volvo. (24 de Marzo de 2016). *La eficiencia del motor térmico se dispara en competición*. Obtenido de <https://tecvolucion.com/eficiencia-motor-termico-se-dispara-en-competicion/>

Wang, J. Q., & Chung, Y.-W. (2013). *Encyclopedia of Tribology*. New York: Springer Reference

Xie, H., Jiang, B., He, J., Xia, X., & Pan, F. (2015). Lubrication performance of MoS₂ and SiO₂ nanoparticles as lubricant additives in magnesium alloy-steel contacts. *Tribology International*.

Zarzycki, A. (June de 2014). *Tecno Lógicas*. Obtenido de At source of nanotechnology: http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0123-77992014000100001

Zhang, Z. J., Simionesie, D., & Schascke, C. (2014). Graphite and Hybrid Nanomaterials as Lubricant Additives. *Lubricants*.