ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA

"EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE ÓXIDOS DE NITRÓGENO Y MATERIAL PARTICULADO DE UN MOTOR DE CICLO DIÉSEL CON EL USO DE NANOPARTÍCULAS DE TITANIA EN EL SISTEMA DE REFRIGERACIÓN"

TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIA A LA OBTENCIÓN DEL GRADO DE MAGÍSTER EN SISTEMAS AUTOMOTRICES

ERIKA ESTEFANÍA GUERRERO ESPIN

erikaege@hotmail.com

JORGE LUIS SUNTAXI BELTRÁN

georgelsb@hotmail.com

DIRECTOR: Ing. Ángel Portilla Aguilar, M.Sc.

angel.portilla@epn.edu.ec

CO-DIRECTORA: Ing. Patricia Pontón Bravo, D.Sc.

patricia.ponton@epn.edu.ec

Quito, mayo, 2018

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por los ingenieros Erika Estefanía Guerrero Espin y Jorge Luis Suntaxi Beltrán, bajo mi supervisión.

_____

Ing. Ángel Adalberto Portilla Aguilar M.Sc.

DIRECTOR DE PROYECTO

_____

Ing. Patricia Isabel Pontón Bravo D.Sc.

CO-DIRECTORA DE PROYECTO

DECLARACIÓN

Nosotros, Erika Estefanía Guerrero Espin y Jorge Luis Suntaxi Beltrán, declaramos bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de nuestra autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que hemos consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración cedemos nuestros derechos de propiedad intelectual correspondientes a este trabajo, a la Escuela Politécnica Nacional, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normativa institucional vigente.

Ing. Erika Estefanía Guerrero Espin

Ing. Jorge Luis Suntaxi Beltrán

DEDICATORIA

El presente trabajo quiero dedicar a mi familia y amigos que han estado brindándome su apoyo en todos los sentidos, pero en especial quiero dedicar mi esfuerzo y dedicación a Sebastian, quien con una grata sonrisa siempre esperó con paciencia para estar nuevamente entre mis brazos durante algún tiempo, mientras se materializaba poco a poco este sueño.

Se lo dedico también a Lola María, quien me enseñó a que mi esfuerzo y sacrificio siempre tendrán su recompensa, y tenía razón. Porque en los momentos más duros que atravesé, personas que se convirtieron en amigas, estuvieron apoyándome, aun sin saber que tan duro fue perderla. Donde quiera que te encuentres, recibe mi trabajo como muestra de perseverancia y constancia, simplemente algo que aprendí de tu gran ejemplo, mi ángel.

Erika Estefanía Guerrero Espin

DEDICATORIA

Este logro profesional lo dedico a mi padre Jorge Eduardo, por darme fuerzas para seguir adelante día a día, por ser ejemplo de dedicación y por su apoyo incondicional especialmente es los momentos más adversos. A mi madre Inés por su amor y su empuje para culminar este proyecto de manera favorable.

Gael eres mi fortaleza y mi todo, mil gracias por regalarme tu tiempo ya que en muchos momentos no pudimos compartir juntos; todo mi esfuerzo y sacrificio es por ti.

A mi hermana Andrea que desde siempre estuvo con un consejo sabio y con una palabra justa, que me ayudaron para enfocarme en mis objetivos.

Gracias infinitamente a todos que de una u otra forma pusieron un granito de arena; para conseguir este logro personal y profesional.

Jorge Luis Suntaxi Beltrán

AGRADECIMIENTO

No me alcanzaría una vida para agradecer a Paulina y Germán, mis padres, por todo su apoyo, sacrificio y entereza con la que han estado a mi lado, gracias por su tiempo y esfuerzo, pero en especial gracias por velar de Sebastian mientras me encontraba culminando este proyecto.

Gracias también Jaime, sin tu apoyo, en todos los sentidos, no hubiera podido continuar con este proyecto, eres y serás mi columna para continuar con cada sueño.

No puedo dejar de agradecer a Sebastian, hijito, aunque apenas eres un bebé, has aprendido a regalarme tu valioso tiempo y tu paciencia, simplemente me has demostrado que el amor más puro existe.

Gracias en general a mi familia, hermanos, sobrinos y gracias a esos amigos y amigas que me han dedicado palabras de apoyo para seguir adelante pese a todos los inconvenientes que tuve que atravesar durante la realización de este proyecto.

Finalmente, quiero elevar mi voz de gracias! a todo el personal docente que estuvo detrás de este trabajo con sus consejos, ayuda, apoyo y amistad. Paty, gracias por enseñarme a querer más a la química y convertirte en una gran amiga. Salito, no podría haber culminado mis estudios sin tu ayuda con los análisis de todas las pruebas que se hicieron. Ing. Portilla, gracias por su valioso aporte en cada corrección, siempre han sido para nutrirme de mayor conocimiento con su experiencia. Y gracias a quienes apoyaron de una u otra manera con la ejecución de este trabajo. Gracias colegas profesionales.

Erika Estefanía Guerrero Espin

AGRADECIMIENTO

Un especial agradecimiento al director Ing. Ángel Portilla y codirector Ing. Patricia Pontón; quienes con sus conocimientos supieron guiarme en la elaboración del presente proyecto.

A Salomé Galéas, Diego Lincango, César Barahona mi gratitud por la colaboración tanto en la parte teórica como en la parte experimental; para que los resultados del estudio sean satisfactorios y se vean plasmados en este documento.

A la Escuela Politécnica Nacional, a todo su personal docente y administrativo; por permitirme formar parte de esta prestigiosa institución, dándonos la oportunidad de tener una formación integral.

No me podría olvidar de mi tía Yolanda y su esposo Karsten que han sido como unos segundos padres, quienes, con su apoyo y consejos, me supieron formar como mejor persona.

Jorge Luis Suntaxi Beltrán

ÍNDICE

Certificación……i
Declaración…. ..... ……..ii
Dedicatoria……iii
Agradecimiento..... v
Resumen……. xvii
Abstract…….xviii
INTRODUCCIÓN.....1
Objetivo general.....2
Objetivos específicos.....2
Alcance…… 2
1. MARCO TEÓRICO 2
1.1. Conceptos generales.....2
1.2. Principio de funcionamiento de un motor de encendido por compresión (MEC).....4
1.2.1. Ciclos operativos del motor encendido por compresión (MEC).....5
1.2.1.1. Admisión 5
1.2.1.2. Compresión de la carga.....5
1.2.1.3. Combustión y expansión 6
1.2.1.4. Expulsión o escape de los productos de la combustión 6
1.2.2. Emisiones contaminantes de un MEC.....6
1.2.2.1. Proceso de inyección y formación de la mezcla……...7
1.2.2.2. Proceso de combustión…….8
1.2.2.3. Estructura de la llama y formación de contaminantes……...11
1.3. Descripción de los gases contaminantes 14
1.3.1. Hidrocarburos (HC).....14
1.3.1.1. Hidrocarburos aromáticos policíclicos..……...……14
1.3.1.2. Hidrocarburos carbonílicos..……15
1.3.2. Óxidos de nitrógeno (NO_x).....15
1.3.3. Óxido nítrico (NO).....16
1.3.4. Dióxido de nitrógeno.....20
1.3.5. Óxido nitroso.....20
1.3.6. Partículas (PM) 20
1.3.7. Monóxido de carbono (CO) 21

1.3.8. Óxidos de Azufre (SO_x) 21
1.3.9. Dióxido de carbono (CO_2).....22
1.4. Principio de funcionamiento del sistema de refrigeración.....22
1.4.1. Refrigeración por líquido.....22
1.4.2. Gestión térmica del motor.....24
1.4.3. Influencia de la temperatura sobre las emisiones.....24
1.5. Refrigerantes 26
1.6. Nanofluidos a base de titania (TiO2) 29
1.6.1. Preparación de nanofluidos.....29
1.6.1.1. Método de un solo paso.....29
1.6.1.2. Método de dos pasos.....30
1.6.2. Mecanismos de estabilidad en nanofluidos.....31
1.6.3. Técnicas de dispersión de nanofluidos.....34
1.6.4. Caracterización de los nanofluidos.....35
1.6.4.1. Análisis del Potencial zeta.....35
1.6.4.2. Dispersión dinámica de luz.....37
1.6.5. Estudios relacionados con el proyecto.....37
1.7. Técnicas de medición de emisiones.....40
1.7.1. Métodos estáticos.....41
1.7.1.1. De aceleración libre.....41
1.7.2. Métodos dinámicos.....42
1.7.2.1. Estables.....43
1.7.2.2. Transitorias.....44
2. METODOLOGÍA DE PRUEBAS.....50
2.1. Elaboración del nanorefrigerante.....50
2.1.1. Equipos utilizados en la elaboración del nanorefrigerante de TiO2.....50
2.1.1.1. Balanza de Precisión.....51
2.1.1.2. Medidor de pH.....51
2.1.1.3. Agitador magnético.....51
2.1.1.4. Mezclador ultrasónico.....52
2.2. Caracterización del nanorefrigerante a base de TiO2 54
2.2.1. Técnica de DLS.....54
2.2.1.1. Procedimiento de la caracterización del nanorefrigerante por la técnica de DLS.....55

2.2.2. Técnica de sedimentación……..……..55
2.2.2.1. Procedimiento de la caracterización del nanorefrigerante con técnica de sedimentación……..……..……..……..55
2.3. Selección del vehículo 56
2.4. Desarrollo del protocolo de pruebas para medición de gases contaminantes en el ciclo de conducción IM-240…….57
2.4.1. Cálculo de número de ensayos a ejecutarse…...…….57
2.4.2. Equipos utilizados en la ejecución de pruebas para medición de NOx y material particulado…….....…57
2.4.2.1. Analizador de gases…….58
2.4.2.2. Dinamómetro LPS 3000……..……..58
2.4.2.3. Caja de interfaces……...59
2.4.2.4. Sonda de temperatura de aceite……..59
2.4.2.5. Ventilador de aire refrigerante……..59
2.4.2.6. Extractor de gases……..……..…60
2.4.2.7. Medidor de material particulado fino…….…60
2.4.3. Procedimiento de análisis de emisiones de gases dinámicos con el ciclo IM-240…..……...……..……...61
2.5. Desarrollo del protocolo de pruebas para medición de temperatura durante el ciclo de conducción IM-40…..……..…….63
2.5.1. Equipos utilizados para la medición de datos de temperatura……..……..……62
2.5.1.1. Sensores de temperatura tipo J……..62
2.5.1.2. Sensores de temperatura tipo K.……..……..62
2.5.2. Instrumentación del vehículo de pruebas…….……...……..63
2.5.3. Procedimiento de adquisición de datos de temperatura durante ejecución del ciclo IM-240…….....……....…….....65
3. PRUEBAS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS…….67
3.1. Resultados y discusión del nanorefrigerante.....67
3.1.1. Resultados de la elaboración y caracterización del nanorefrigerante……67
3.1.1.1. Efecto del pH……...68
3.1.1.2. Efecto de la sonda..…….....71
3.1.1.3. Efecto del tiempo de agitación magnética…..…….....72
3.2. Comportamiento de emisiones contaminantes y temperatura durante el ciclo IM-

240……75
3.2.1. Comportamiento de los gases de escape durante el ciclo IM-240…..……..74
3.2.2. Comportamiento de la temperatura durante el ciclo IM-240……..…….78
3.3. Valores de gases contaminantes y temperatura durante las pruebas ejecutadas.....82
3.3.1. Datos de emisiones contaminantes con el uso de refrigerante comercial y nanorefrigerante……..……..……...……..80
3.3.2. Datos de temperatura con el uso del refrigerante comercial y nanorefrigerante…..81
3.4. Análisis de resultados obtenidos para NO_x, material particulado y temperatura 83
3.4.1. Análisis de las emisiones contaminantes durante el ciclo de conducción IM-240…...……..……..……...82
3.4.2. Análisis de la temperatura durante el ciclo de conducción IM-240…...……..…85
3.4.3. Análisis del rendimiento total de consumo de combustible durante el ciclo de conducción IM-240……..……..……..86
4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 88
4.1. CONCLUSIONES 88
4.2. RECOMENDACIONES.....89
Referencia Bibliográfica.....90
Anexos…….....i
Certificado de análisis y propiedades de las nanopartículas de TiO_2 Sigma Aldrich.....i
Ficha técnica refrigerante concentrado Valvoline G12 plus plus..... iii
Características técnicas de equipos utilizados en el presente estudio..... xvi
Oficio AMT para determinación de vehículos contaminantes diésel en el DMQ para el año 2016…….. xx
Ficha Técnica Kia Pregio año 2005..... xxi
Resultados del ensayo de sedimentación de las muestras de nanofluidos preparadas...xxii
Distribución del tamaño de partícula en número para las muestras de nanorefrigerante ensayadas……..……xxv
Informes de resultados de pruebas ejecutadas en el laboratorio del CCICEV……..xxx

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1. Ciclo operativo de un MEC de cuatro tiempos. 5

Figura 1.2. Componentes iniciales y finales de la combustión en un motor MEC. 6

Figura 1.3. Fases de combustión: I= Retraso al autoencendido, II=Combustión premezclada, III=Combustión por difusión. 9

Figura 1.4. Estructura de la llama de un MEC. Donde [NO] corresponde a la concentración 12

Figura 1.5. Curva dosado-temperatura de formación de hollín y NO_x, para una mezcla n-heptano-aire. 13

Figura 1.6. Porcentaje de gases contaminantes que emite un motor diésel. 14

Figura 1.7. Emisión de NO en función de la temperatura y del ángulo de giro del cigüeñal. 16

Figura 1.8. Simulación computacional de llama en MEC. 18

Figura 1.9. Sistema moderno de refrigeración por líquido. 23

Figura 1.10. Influencia de la temperatura del refrigerante sobre la temperatura de los gases de escape. 25

Figura 1.11. Comportamiento de las emisiones contaminantes (gráficas a, b y d) y del consumo de combustible (gráfico c) variando de la temperatura del refrigerante. 25

Figura 1.12. Influencia del tiempo de calentamiento sobre consumo y emisiones de un motor diésel de inyección directa con cuatro estrategias de refrigeración diferentes. 26

Figura 1.13. Diagrama esquemático del método de deposición por vapor. 29

Figura 1.14. Método de dos pasos para la preparación de nanofluidos. 31

Figura 1.15. Doble capa eléctrica que se forma cuando una partícula está en contacto con un fluido y potencial z. 32

Figura 1.16. Tipos de estabilización de nanofluidos: a) estabilización electroestática, b) estabilización estérica. 33

Figura 1.17. Relación entre Potencial zeta vs valor de pH de un nanofluido de TiO_2. 35

Figura 1.18. Potencial zeta de nanopartículas de TiO_2 (P25 y ST21) a diferentes valores de pH. 36

Figura 1.19. Caracterización de nanopartículas de titania mediante DLS. 37

Figura 1.20. Número de publicaciones que contienen "nanofluidos o nanofluidos" en título extraído de “web of science” 38

Figura 1.21. Conductividad térmica a diferentes concentraciones de etilenglicol-agua: 40%:60% y 50%:50% basados en nanofluidos de TiO_2. 38

Figura 1.22. Influencia en la concentración de partículas y tiempo de ultrasonido en la conductividad térmica de nanopartículas de TiO_2 dispersas en agua a 29°C.....39
Figura 1.23. Conductividad térmica de los nanofluidos TiO_2 (cuadrados) y Al_2O_3 (círculos) en función de la concentración volumétrica.....40
Figura 1.24. Revisión Técnica Vehicular -Quito.....41
Figura 1.25. Ciclo ESC. 42
Figura 1.26. CicloECE-15+EUDC. 44
Figura 1.27. Ciclo FTP-75. 45
Figura 1.28. FTP Ciclo transiente. 47
Figura 1.29. Ciclo JC08. 48
Figura 1.30. Ciclo de Prueba US IM-240. 49
Figura 2.1. Balanza analítica de precisión Shimadzu SHI-AUY-220 51
Figura 2.2. Medidor de pH Jenway 3510. 51
Figura 2.3. Agitador magnético Dlab modelo MS7-H550. 52
Figura 2.4. Equipo ultrasónico marca Misonix, modelo S-4000.....52
Figura 2.5. Esquema utilizado para la preparación del nanorefrigerante 54
Figura 2.6. Analizador de partículas Brookhaven modelo 90 Plus 55
Figura 2.7. Probeta graduada 100 ml para prueba de sedimentación.....55
Figura 2.8. Marcas contaminantes de vehículos diésel en el DMQ para el año 2016..57
Figura 2.9. Analizador de gases on board. 59
Figura 2.10. Equipo LPS 3000. 59
Figura 2.11. Caja de interfaces. 60
Figura 2.12. Sonda de temperatura de aceite. 60
Figura 2.13. Ventilador de aire refrigerante. 61
Figura 2.14. Extractor de gases. 61
Figura 2.15. Medidor de partículas MPM-4M. 62
Figura 2.16. Sensores de temperatura tipo J. 64
Figura 2.17. Sensores de temperatura tipo K. 64
Figura 2.18. Ubicación del sensor a la entrada del refrigerante al motor. 65
Figura 2.19. Ubicación del sensor a la salida del refrigerante del motor. 65
Figura 2.20. Ubicación del sensor en el colector de gases de escape del motor. 65
Figura 3.1. Valores de sedimentación de las muestras de nanorefrigerante transcurrido un mes. 70
Figura 3.2. Resultados del pH vs sedimentación. 71

Figura 3.3. Resultados de pH vs. diámetro efectivo. 71

Figura 3.4. Resultados de pH vs. polidispersidad....72

Figura 3.5. Muestra elaborada con fluido base etilenglicol-agua 60%:40% v/v, a) inicio de elaboración, b) dos meses después de la elaboración. 75

Figura 3.6. Comportamiento de CO_2 con el uso de refrigerante comercial vs. nanorefrigerante (NF – 0,5 – 9,12 – 1C") durante el ciclo de conducción IM-240. 76

Figura 3.7. Comportamiento de CO con el uso de refrigerante comercial vs. nanorefrigerante (NF – 0,5 – 9,12 – 1C") durante el ciclo de conducción IM-240. 76

Figura 3.8. Comportamiento de HC con el uso de refrigerante comercial vs. nanorefrigerante (NF – 0,5 – 9,12 – 1C") durante el ciclo de conducción IM-240. 77

Figura 3.9. Comportamiento de O_2 con el uso de refrigerante comercial vs. nanorefrigerante (NF – 0,5 – 9,12 – 1C") durante el ciclo de conducción IM-240. 77

Figura 3.10. Comportamiento de NO_x con el uso de refrigerante comercial vs. nanorefrigerante (NF – 0,5 – 9,12 – 1C") durante el ciclo de conducción IM-240. 78

Figura 3.11. Comportamiento de PM con el uso de refrigerante comercial vs. nanorefrigerante (NF – 0,5 – 9,12 – 1C") durante el ciclo de conducción IM-240. 78

Figura 3.12. Comportamiento de CO, CO_2 y O_2 con el uso de nanorefrigerante (NF – 0,5 – 9,12 – 1C") durante el ciclo de conducción IM-240. 79

Figura 3.13. Comportamiento de NO_x y HC con el uso de nanorefrigerante (NF – 0,5 – 9,12 – 1C") durante el ciclo de conducción IM-240. 79

Figura 3.14. Comportamiento de temperatura del colector de gases de escape con el uso de refrigerante comercial vs. nanorefrigerante (NF – 0,5 – 9,12 – 1C") durante el ciclo de conducción IM-240 80

Figura 3.15. Comportamiento de temperatura del refrigerante a la entrada del motor con el uso con el uso de refrigerante comercial vs. nanorefrigerante (NF – 0,5 – 9,12 – 1C") durante el ciclo de conducción IM-240. 81

Figura 3.16. Comportamiento de temperatura del refrigerante a la salida del motor con el uso de refrigerante comercial vs. nanorefrigerante (NF – 0,5 – 9,12 – 1C") durante el ciclo de conducción IM-240. 81

Figura 3.17. Análisis comparativo de CO_2 con el uso de refrigerante comercial vs. nanorefrigerante (NF – 0,5 – 9,12 – 1C") durante el ciclo de conducción IM-240 84

Figura 3.18. Análisis comparativo de CO con el uso de refrigerante comercial vs. nanorefrigerante (NF – 0,5 – 9,12 – 1C") durante el ciclo de conducción IM-240. 84

Figura 3.19. Análisis comparativo de HC con el uso de refrigerante comercial vs. nanorefrigerante (NF – 0,5 – 9,12 – 1C") durante el ciclo de conducción IM-240. 85

Figura 3.20. Análisis comparativo de O_2 con el uso de refrigerante comercial vs. nanorefrigerante (NF – 0,5 – 9,12 – 1C") durante el ciclo de conducción IM-240 85

Figura 3.21. Análisis comparativo de NO_X con el uso de refrigerante comercial vs. nanorefrigerante (NF – 0,5 – 9,12 – 1C") durante el ciclo de conducción IM-240 86

Figura 3.22. Análisis comparativo de PM con el uso de refrigerante comercial vs. nanorefrigerante (NF – 0,5 – 9,12 – 1C") durante el ciclo de conducción IM-240 86

Figura 3.23. Análisis del comportamiento de temperatura (a) gases de escape, b) salida del refrigerante del motor y c) ingreso del refrigerante al motor) con el uso de refrigerante comercial vs. nanorefrigerante (NF – 0,5 – 9,12 – 1C") durante el ciclo de conducción IM-240. 87

Figura 3.24. Análisis comparativo del rendimiento total de consumo de combustible con el uso de refrigerante comercial vs. nanorefrigerante (NF – 0,5 – 9,12 – 1C") durante el ciclo de conducción IM-240. 87

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1. Tipos de refrigerantes para servicio pesado [29]. 27

Tabla 1.1. Tipos de refrigerantes para servicio pesado [29]. (Continuación). 28

Tabla 1.2. Relación entre el potencial zeta y la estabilidad del nanofluido. 33

Tabla 1.3. Modos de prueba del ciclo ESC. 43

Tabla 1.4. Parámetros característicos de los ciclos ECE 15 y EUDC. 44

Tabla 3.1. Resultados de la preparación de nanofluido utilizando una sonda de 20 mm de diámetro, amplitud de 75 KHz y 1h de agitación magnética y una sonda de 26 mm, 24 KHz, 17 h agitación magnética. 69

Tabla 3.2. Resultados de la elaboración de nanofluido utilizando una sonda de 26 mm de diámetro, amplitud de 24 KHz, 17 horas de agitación magnética. 72

Tabla 3.3. Parámetros óptimos para elaboración del nanorefrigerante. 74

Tabla 3.4. Resultados de gases contaminantes en el ciclo IM-240 utilizando refrigerante comercial. 82

Tabla 3.5. Resultados de gases contaminantes en el ciclo IM-240 utilizando nanorefrigerante. 82

Tabla 3.6. Resultados de la temperatura de gases de escape, salida del refrigerante del motor y de ingreso del refrigerante al motor utilizando el refrigerante comercial. 83

Tabla 3.7. Resultados de la temperatura de gases de escape, salida del refrigerante del motor y de ingreso del refrigerante al motor utilizando el nanorefrigerante. 83

Tabla I.1. Propiedades para P25 Sigma Aldrich ii

Tabla III.1. Características técnicas de la balanza de precisión Shimadzu SHI-AUY-220. xvi

Tabla III.2. Características principales del medidor de pH Jenway 3510. xvi

Tabla III.3. Características técnicas agitador magnético Dlab modelo MS7-H550. xvii

Tabla III.4. Características técnicas del mezclador ultrasónico marca Misonix, modelo S-4000 xvii

Tabla III.5. Características técnicas Analizador de partículas Brookhaven modelo 90 Plus. xvii

Tabla III.5. Características técnicas Analizador de partículas Brookhaven modelo 90 Plus. (Continuación). xviii

Tabla III.6. Características técnicas del equipo Analizador de gases on board. xviii

Tabla III.7. Datos técnicos del equipo LPS 3000. xviii

Tabla III.7. Datos técnicos del equipo LPS 3000 (Continuación). xix

Tabla III.8. Características técnicas del medidor de partículas marca MAHA modelo MPM-4M. xix

Tabla III.9. Especificaciones técnicas de los sensores tipo J de temperatura. Características principales de las termocuplas industriales más utilizadas. xix

Tabla III.10. Especificaciones técnicas de los sensores tipo K de temperatura. Características principales. xix

Tabla VI.1. Resultados del ensayo de sedimentación de las muestras de nanofluidos preparadas. (Cuyos valores se presentan en las tablas 3.1 y 3.2).....xxii

Tabla VI.1. Resultados del ensayo de sedimentación de las muestras de nanofluidos preparadas. (Cuyos valores se presentan en las tablas 3.1 y 3.2). (Continuación) xxiii

Tabla VII.1. Distribución del tamaño de partícula en número para las muestras de nanorefrigerante ensayadas. xxv

Tabla VII.1. Distribución del tamaño de partícula en número para las muestras de nanorefrigerante ensayadas. (Continuación).....xxvi

Tabla VII.1. Distribución del tamaño de partícula en número para las muestras de nanorefrigerante ensayadas. (Continuación).....xxvii

Tabla VII.1. Distribución del tamaño de partícula en número para las muestras de nanorefrigerante ensayadas. (Continuación).....xxviii

Tabla VII.1. Distribución del tamaño de partícula en número para las muestras de nanorefrigerante ensayadas. (Continuación).....xxix

RESUMEN

El presente estudio evalúa el uso de nanopartículas de titania para la preparación de un nanofluido a ser empleado en el sistema de refrigeración de un motor de ciclo diésel como una alternativa para la reducción de emisiones contaminantes de óxidos de nitrógeno y material particulado al medio ambiente. En este contexto, la preparación del nanofluido a base de TiO_2 fue realizada mediante el método de dos pasos, donde las nanopartículas de titania fueron dispersas en el refrigerante comercial marca Valvoline G12++, que cumplen con las normativas estándares ASTM D-3306 y ASTM D-4985, utilizando una sonda de ultrasonido. La concentración en volumen de nanopartículas fue definida en 0,5 % v/v debido a la mejora en la estabilidad del fluido y reducción en el tiempo de sedimentación. Para evaluar el efecto del nanorefrigerante en la reducción de gases de escape se utilizó un vehículo de motor diésel de 4 cilindros en línea, de admisión atmosférica, potencia máxima de 82.02 KW a 4000 rpm, 3000 cm^3 de cilindrada e inyección directa; mediante ciclo IM-240, se determinaron los valores de NO_x, PM y temperatura de gases de escape, al ingreso y a la salida del motor, mismos que fueron comparados con los valores obtenidos para el refrigerante comercial sin adición de nanopartículas. Las pruebas realizadas mostraron una reducción del 1% de NO_x y del 60% de PM, así como una disminución de las temperaturas de los gases de escape del 17% a la entrada del motor del líquido refrigerante de 29% y salida del mismo de 23%, evidenciando que a mayor capacidad de transferencia de calor del sistema de enfriamiento el nanofluido ingresa al motor con una leve reducción de temperatura, manteniendo esta tendencia a la salida del mismo.

Palabras Clave: Material Particulado, MEC, Nanorefrigerante, NOx, Titania.

ABSTRACT

The present study evaluates the use of titania nanoparticles for the preparation of a nanofluid to be employed in the cooling system of a diesel cycle engine as an alternative for the reduction of polluting emissions of nitrogen oxides and particulate matter into the environment. In this context, the preparation of the nanofluido based on TiO_2 was carried out by the two-step method, where titania nanoparticles were dispersed in the Valvoline G12++ branded commercial refrigerant, using an ultrasonic probe. Nanoparticle volume concentration was defined at 0.5 % v/v due to improved fluid stability and reduced settling time. In order to evaluate the effect of nanocoolant on exhaust gas reduction, a 4-cylinder in-line, atmospheric intake, maximum power diesel engine of 82.02 Kw at 4000 rpm, 3000 cm3 displacement and direct injection were used; in addition, by means of IM-240 cycle, the values of NO_x, PM and exhaust gas temperature were determined at the engine inlet and outlet, which were compared with the values obtained for commercial refrigerant without addition of nanoparticles. The tests showed a reduction of 1 per cent of NO_x and 60% of PM, as well as a decrease in the exhaust gas temperatures of 17% at the entrance to the engine coolant fluid of 29% and 23% of the same, demonstrating that greater heat transfer capability of the cooling system, the nanofluid enters to the engine with a slight reduction in temperature, maintaining this tendency at the engine outlet.

Keywords: Particulate Matter, Compression ignition engine, nanocoolant, NO_x, titania.

EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE ÓXIDOS DE NITRÓGENO Y MATERIAL PARTICULADO DE UN MOTOR DE CICLO DIÉSEL CON EL USO DE NANOPARTÍCULAS DE TITANIA EN EL SISTEMA DE REFRIGERACIÓN

INTRODUCCIÓN

El transporte terrestre aporta al desarrollo y crecimiento productivo del país, movilizando cerca de 11,3 millones de personas y transportando alrededor de 423 millones de toneladas al año. De acuerdo con la Asociación de Empresas Automotrices del Ecuador (AEADE) [1] en el 2015, se registró la venta de 81.308 vehículos, los mismos que generaron el 14% de emisiones de gases de efecto invernadero a la atmósfera. Esto permite identificar a los vehículos como uno de los factores de mayor impacto ambiental.

Los automóviles de ciclo diésel (furgonetas escolares, buses y camionetas de alquiler), por el servicio que prestan generan mayor cantidad de gases contaminantes, tales como: óxidos de nitrógeno (NO_x), monóxido de carbono (CO), material particulado (PM) y óxidos de azufre (SO_x); estudios han comprobado que la exposición prolongada a estos contaminantes puede originar: cáncer al pulmón, cáncer de vejiga, asma, bronquitis, pulmonía y enfermedades cardiovasculares.

En un motor de encendido por compresión la temperatura influye en el desarrollo del proceso de combustión y por consiguiente a la formación de contaminantes; actualmente la industria automotriz busca alternativas tecnológicas que ayuden en la gestión térmica del motor, desarrollando fluidos que mejoran la transferencia de calor.

El presente estudio está enfocado en reducir los óxidos de nitrógeno (NO_x) y material particulado (PM) de un motor diésel, analizando el comportamiento de la temperatura de gases de escape, al ingreso y salida de refrigerante del motor; mediante la adición de nanopartículas de titania (TiO_2) a un refrigerante comercial. Este nuevo fluido mejoraría la transferencia de calor sin alterar el proceso de combustión.

De esta forma, el presente trabajo busca fomentar nuevas líneas de investigación para el desarrollo de tecnologías limpias que reduzcan la emisión de contaminantes tóxicos, producto de fuentes móviles en el Distrito Metropolitano de Quito.

Objetivo general

- Evaluar el comportamiento de los óxidos de nitrógeno y material particulado de un vehículo diésel con el uso de nanopartículas de titania en el sistema de refrigeración.

Objetivos específicos

- Establecer el porcentaje de concentración de nanopartículas de titania, para elaborar el refrigerante.
- Determinar la temperatura de trabajo del líquido refrigerante y gases de escape con el nanofluido.
- Comparar emisiones del vehículo al trabajar con refrigerante común y con nanopartículas de titania.
- Determinar ventajas y desventajas del uso de nanopartículas en un vehículo de motor de ciclo diésel.

Alcance

Se preparó un nanofluido a base de nanopartículas de titania al 0,5% en volumen, dispersas en refrigerante comercial marca Valvoline G12++, para ser utilizado en un vehículo de motor encendido por compresión, determinándose ventajas y desventajas de su uso para determinar el efecto del nanorefrigerante en los gases contaminante y material particulado.

1. MARCO TEÓRICO

1.1. Conceptos generales

Autoencendido Inflamación de la mezcla aire-combustible producto de las altas temperaturas en la cámara de combustión, debido al proceso de compresión [2].

Coloide Soluciones de macromoléculas o bien, dispersiones de moléculas pequeñas que forman agregados[3].

Concentración Relación que existe entre la cantidad del soluto y la cantidad del disolvente.

Diámetro efectivo Representa un tamaño medio de las partículas en la muestra [4].

Dosado	Relación entre la masa de combustible y la masa de aire existente en la cámara de combustión [2].
Dosado estequiométrico	Se produce cuando todo el oxígeno y todo el combustible reaccionan sin que quede nada de reactivos, se lo representa como F_e [2].
Dosado pobre	Cuando existe falta de combustible, para la combustión estequiométrica (F_r<1).
Dosado relativo	Relación entre el dosado y el dosado estequiométrico, se lo representa como F_r.
Dosado rico	Cuando existe exceso de combustible, para la combustión estequiométrica (F_r>1).
Emisiones	Conjunto de sustancias nocivas, vertidas a la atmósfera por fuentes móviles.
Material particulado	Emisión conformada por partículas sólidas y líquidas de carácter orgánico e inorgánico, que permanecen suspendidas en los productos gaseosos de escape y en el aire [5].
Nanómetro	Unidad de longitud que equivale a una mil millonésima parte de un metro (1nm = 10^{-9} m).
Nanopartícula	Partícula que cuenta con una o más dimensiones en el rango de 0,1 milésimas de milímetro (100 nanómetros) o menos.
Nanofluido	Suspensiones diluidas con partículas sólidas de tamaño inferior a 100nm, que se emplean para incrementar la capacidad de transferencia de calor del fluido [6].
Potencial zeta	Medida de la fuerza eléctrica de repulsión que existe entre átomos, partículas y células en un líquido[7].
Polidispersidad	Medida de la no uniformidad que existe en la distribución del tamaño de partícula [8].
Punto isoeléctrico	Es aquel pH para el cual una molécula tiene carga neta cero. Puede tener grupos cargados (ionizados), pero la suma de todas las cargas positivas iguala a la de las negativas [9].

Refrigerante Sustancia encargada de absorber y ceder calor en un sistema de refrigeración sin perder sus propiedades [2].

Sedimentación Remoción por efecto gravitacional de las partículas en suspensión presentes en un fluido [10].

Surfactante Sustancias que se emplean para disminuir la tensión superficial entre la fase dispersa y la continua. [9].

1.2. Principio de funcionamiento de un motor de encendido por compresión (MEC)

De acuerdo con Edgar Kates y William Luck [11], un MEC puede ser definido como una máquina destinada a producir energía a partir de la combustión de aceite pesado en una masa de aire, la cual ha sido previamente comprimida hasta alcanzar una temperatura suficientemente elevada. Sin embargo, una descripción más técnica ha sido realizada por Payri [2] ,quien menciona que un motor se puede considerar como un dispositivo que permite transformar cualquier tipo de energía en energía mecánica.

La combustión se inicia mediante un proceso de autoencendido de la mezcla combustible al conseguirse temperaturas suficientemente altas en la cámara de combustión debido al proceso de compresión. Para controlar de modo aproximado el instante de encendido, durante el proceso de admisión se introduce solamente aire y el combustible se inyecta hacia el final de la carrera de compresión, cuando el aire alcanza niveles de temperatura altos para producir el autoencendido.

En estos motores la mezcla aire-combustible es espacialmente heterogénea y la combustión se produce en aquellas zonas en las que las condiciones de la mezcla aire-combustible son las adecuadas, especialmente donde el dosado local es cercano al estequiométrico. No existe una zona claramente definida donde se produce la combustión, sino que aparecen muchos frentes de llama cuya evolución depende del chorro de combustible inyectado y del movimiento del aire en la cámara de combustión. Por lo tanto, el proceso de combustión depende espacial y temporalmente del proceso de inyección, y está controlado por el desarrollo de los procesos físicos que tienen lugar en el centro del chorro de combustible como la penetración, la atomización, la evaporación y la mezcla con el aire [2].

1.2.1. Ciclos operativos del motor encendido por compresión (MEC)

La sucesión de operaciones que se realizan en el interior del cilindro y se repiten con ley periódica se denomina ciclo operativo del motor, cuya duración se mide por el número de carreras del pistón necesarias para realizarlo. El ciclo operativo en un MEC se produce en dos o cuatro tiempos. Las diferencias entre estos dos tipos de motores dependen básicamente del proceso de renovación de la carga, es decir, del escape y admisión. En la figura 1.1 se puede apreciar el ciclo operativo de funcionamiento de un motor diésel de cuatro tiempos.

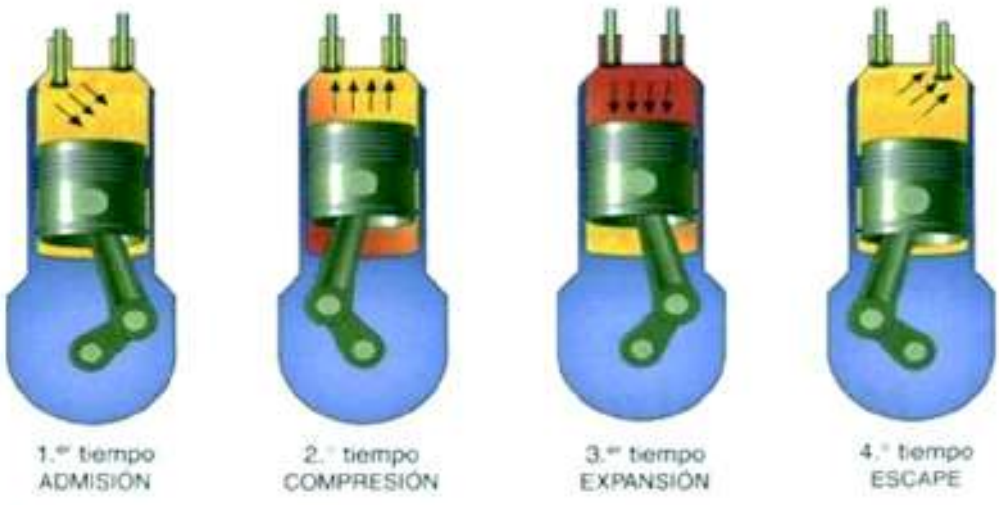


Figura1.1. Ciclo operativo de un MEC de cuatro tiempos.
(Fuente:[12])

1.2.1.1. Admisión

Con las válvulas de admisión abiertas y las de escape cerradas, el pistón se desplaza desde el punto muerto superior (PMS) hacia el punto muerto inferior (PMI). Debido a esto se crea en el interior del cilindro una depresión mínima, suficiente como para inducir la entrada de gases a través del conducto de admisión. Estos gases pueden ser aire o una mezcla de aire y combustible, dependiendo del tipo de motor. Cuando el pistón llega al PMI las válvulas de admisión se cierran y comienza la siguiente fase [13].

1.2.1.2. Compresión de la carga

Con las válvulas de admisión y escape cerradas el pistón se desplaza desde el PMI hacia el PMS comprimiendo el fluido contenido en el cilindro. En las cercanías del PMS se inyecta el combustible, produciéndose la combustión.

1.2.1.3. Combustión y expansión

La combustión, entre otros efectos, produce un aumento de presión de los gases contenidos en el cilindro, empujando al pistón, que se desplaza desde el PMS hacia el PMI. Este desplazamiento es el único del que se obtiene trabajo [13].

1.2.1.4. Expulsión o escape de los productos de la combustión

En el PMI se abre la válvula de escape y el pistón comienza a desplazarse hacia el PMS expulsando los gases quemados hacia el exterior del cilindro. Cuando el pistón llega al PMS se cierra la válvula de escape y se inicia un nuevo ciclo [13].

1.3.1. Emisiones contaminantes de un MEC

Las emisiones contaminantes resultan de la quema de combustibles fósiles que se emiten al medio ambiente por el tubo de escape del vehículo[14]; las mismas se clasifican en móviles y estacionarias.

El transporte terrestre es la principal fuente móvil de contaminación, que comprende todas las emisiones de tráfico vehicular, independientemente del tamaño o la finalidad del vehículo y cuyas emisiones se producen muy cerca de los lugares donde la gente reside o circula. En la figura 1.2 se muestran los componentes iniciales y finales de la combustión de una fuente móvil. Las fuentes estacionarias, se refieren a instalaciones fijas (industrias) que en sus procesos de producción utilizan la quema de diferentes combustibles.

Existen otras fuentes, menos frecuentes o intermitentes, provenientes de procesos naturales como: los incendios forestales, quema de basura, erupciones volcánicas y tormentas de polvo [15].

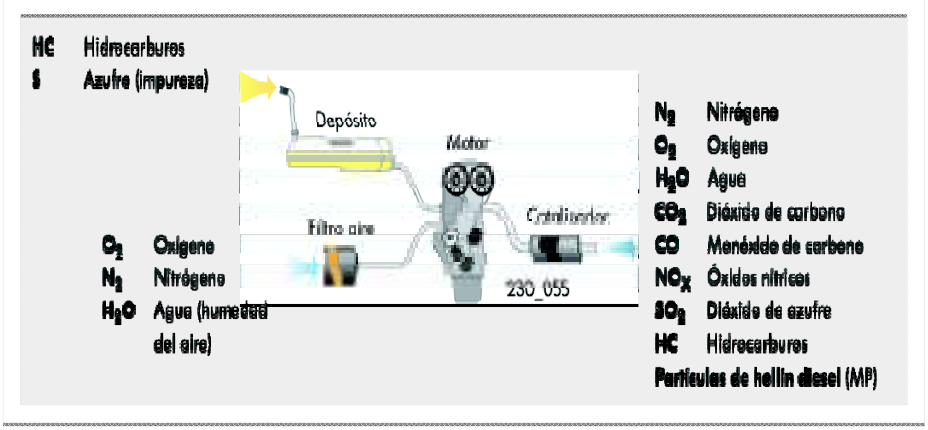


Figura 1.2. Componentes iniciales y finales de la combustión en un motor MEC.
(Fuente: [16])

Para entender el mecanismo de funcionamiento de un MEC es necesario conocer el proceso de inyección, formación de la mezcla y proceso de combustión; y cómo influyen cada uno de estos procesos en la formación de emisiones contaminantes explicado en la sección “Estructura de la llama y formación de contaminantes” que se detalla más adelante. A continuación, se realiza una breve revisión de estos procesos.

1.2.2.1. Proceso de inyección y formación de la mezcla

La formación de la mezcla y la combustión en los motores de encendido por compresión están estrechamente relacionadas, y en parte se producen simultáneamente, por lo que resulta difícil encontrar la frontera que separa los dos procesos.

Desde un punto de vista general, la formación de la mezcla en los MEC se realiza en el interior del cilindro al inyectarse una determinada cantidad de combustible en las proximidades del PMS, después de la carrera de compresión y está caracterizado por los siguientes condicionantes:

- La inyección debe comenzar en un punto perfectamente definido y de forma que el proceso de combustión se desarrolle con las mínimas emisiones contaminantes y un rendimiento elevado, acotándose las variaciones de presión, debidos a dicho fenómeno.
- En este tipo de motores, la cantidad de aire con la que trabaja el motor no cambia sustancialmente al regular la carga, pero sí se varía fuertemente el dosado. A este método de control se lo denomina regulación cualitativa.
- El poco tiempo disponible para formar la mezcla impone limitaciones importantes al motor y exigencias al sistema de inyección. Así, el régimen de giro de los MEC está limitado, entre otras razones, por el tiempo necesario para la inyección, atomización, mezcla con el oxidante y combustión. En consecuencia, el sistema de inyección debe ser capaz de conseguir unas características físicas del combustible que favorezcan el proceso de mezcla y la combustión completa del mismo.

Es necesario destacar que existen dos mecanismos de trabajo en función del tipo de motor diésel: inyección indirecta (IDI) e inyección directa (DI). Si bien en ambos casos el objetivo que pretende el diseño de la cámara de combustión y del sistema de inyección es favorecer la mezcla aire-combustible, la relevancia del sistema de inyección es muy diferente en ambas variantes:

- En los sistemas IDI el aire asume la función de generar los campos difusivos y convectivos necesarios para el proceso de mezcla, siendo secundario el papel del

combustible, y del sistema de inyección. Para ello, el aire es retenido en una precámara adicional al volumen muerto, imprimiéndole un enérgico movimiento de torbellino. En el centro de ese aire con movimiento intenso se inyecta el combustible y sin grandes dificultades se consigue elaborar una buena mezcla. En este sistema el papel que juega la presión de inyección es mínima, con lo que no vale la pena invertir en sistemas de inyección muy sofisticados.

- Al contrario, en los sistemas DI el combustible es el componente responsable de la realización de la mezcla. Para ello, éste debe ser inyectado a elevada presión, finamente atomizado y convenientemente repartido a fin de garantizar una adecuada mezcla con el comburente. En este tipo de motores es de vital importancia disponer de un sistema de inyección de alta calidad.

El hecho de que los motores diésel del tipo DI gocen de mayor rendimiento que los IDI, fruto de sus menores pérdidas de calor debido a la menor relación superficie/volumen, ha generado que los motores IDI sean desplazados del mercado y paulatinamente puestos en desuso.

El proceso de formación de la mezcla en sistemas de inyección directa es caracterizado por la inyección de combustible a muy alta presión, que es liberada en forma de chorro atomizado a la cámara de combustión a través de los orificios de descarga de las toberas de los inyectores y que interaccionan con el aire de la cámara, mezclándose con él, evaporándose y finalmente quemándose, dando lugar a la combustión diésel [2].

1.2.2.2. Proceso de combustión

El cumplimiento de normativas de emisiones contaminantes cada vez más severas ha impulsado el estudio del proceso de combustión en este tipo de motores, con el objetivo de poder controlar y optimizar tanto el rendimiento como la emisión de contaminantes.

Este proceso guarda íntima relación con el de inyección y formación de la mezcla. Cuando la inyección es directa se produce una combustión inicial de dosado rico en la precámara, desde la cual se propaga la mezcla al resto del cilindro para acabar de quemar todo el combustible. El mecanismo fundamental que hace avanzar la combustión es la mezcla turbulenta que se propaga desde la precámara al resto del cilindro.

En la figura 1.3 se describen gráficamente las fases del proceso de combustión, indicando las tasas de inyección de combustible (sección superior de la figura), liberación de calor mediante la derivada de la fracción de calor derivado por sus siglas DFQL (sección central

de la figura) y presión de la cámara (sección inferior de la figura) en función del ángulo de giro del cigüeñal de un motor MEC.

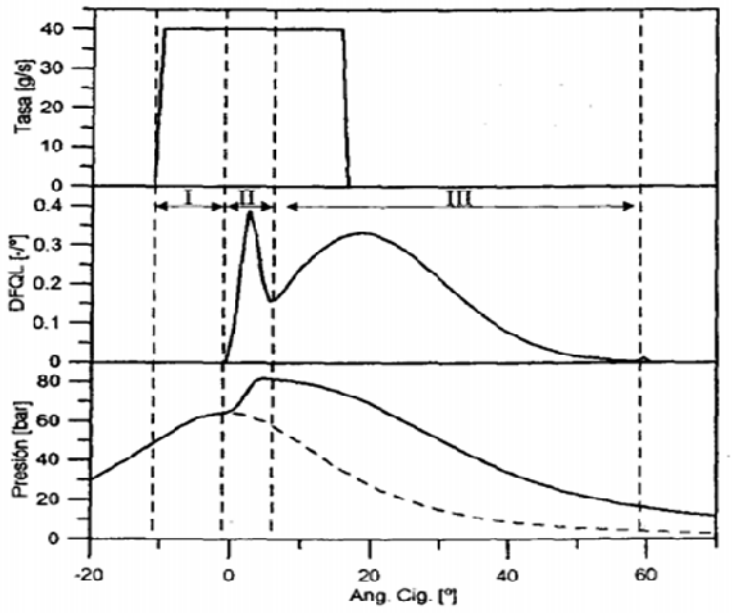


Figura 1.3. Fases de combustión: I= Retraso al autoencendido, II=Combustión premezclada, III=Combustión por difusión.
(Fuente: [2])

A continuación, se detallan las fases del proceso de combustión en un MEC de inyección directa:

Fase de retraso de autoencendido

Esta fase comienza con el proceso de inyección, cuando el chorro líquido es inyectado en el interior de la cámara de combustión, y culmina en el autoencendido espontáneo de la mezcla que marca el final de esta fase y el inicio de la fase de combustión premezclada; en ella influyen tanto procesos físicos como químicos.

- En los procesos físicos, el chorro de combustible se enfrenta a un ambiente de elevada densidad, comenzando a desintegrarse en gotas de pequeño tamaño que aumentan la interfase aire-combustible. Por otra parte, la cantidad de movimiento del chorro inyectado hace que el aire sea arrastrado hacia el interior del mismo, constituyendo otro de los fenómenos claves en el proceso de mezcla. Ambos fenómenos (atomización y englobamiento de aire) hacen que el combustible líquido

aumente de temperatura por el contacto con el aire más caliente y comience a evaporarse. Una vez evaporado, el englobamiento inducido por la cantidad de movimiento del chorro sigue mezclando combustible y aire.

- Los procesos químicos de la etapa de autoencendido, comienzan cuando aparece el combustible evaporado. Para motores diésel la química del autoencendido consta a su vez de dos fases:

1. La primera ocurre a baja temperatura (máximo 477°C), de manera que no suele detectarse liberación de calor a partir de la medida de presión en el cilindro y su análisis se incluye en la presente fase de retraso al autoencendido.
2. La segunda fase es muy exotérmica, y su aparición marca el inicio de la siguiente fase de combustión premezclada, que se describirá más adelante.

Con las reacciones a baja temperatura empieza el proceso de oxidación del combustible mediante la producción de radicales químicos. Este proceso de oxidación depende fundamentalmente de la temperatura en cámara y del tipo de combustible. La influencia de este último se caracteriza mediante el denominado número de cetano, que cuantifica la facilidad para el autoencendido del combustible. Este parámetro es alto si el combustible tiene gran facilidad para autoencenderse [2].

Además de estos fenómenos químicos, el proceso físico de mezcla entre el aire caliente y el combustible sigue durante esta fase (y durante todo el resto del proceso de inyección), contribuyendo todavía de manera importante al calentamiento de la mezcla [2].

Fase de combustión premezclada

Esta etapa está caracterizada por tres fenómenos básicos:

- En primer lugar, la cinética química del autoencendido entra en una fase de alta temperatura, con lo que la tasa de consumo de combustible crece de manera muy elevada, y ello trae como consecuencia una alta tasa de liberación de calor, que ya es detectada mediante la medición de la presión en cilindro.
- Además, a partir del consumo de combustible se forman tanto especies finales (CO_2 y H_2O) como especies intermedias precursoras de hollín. Esto lleva a un segundo fenómeno característico de esta fase, que consiste en la aparición del hollín incandescente en la zona frontal del chorro, dando a la llama su típica coloración

amarilla-anaranjada. La radiación térmica desprendida por el hollín se torna dominante durante el resto del proceso de combustión, incluso tras el final de la inyección.

- En tercer lugar, durante el final de esta fase se produce el establecimiento del frente de llama por difusión que caracterizará el resto de la combustión. Ello acentúa el carácter transitorio de la fase, que es un enlace entre el chorro no reactivo y la llama de difusión.

La denominación fase de combustión premezclada no debe entenderse aquí exactamente en el mismo sentido que en los MEP, donde hay un frente de llama definido que va barriendo la mezcla de reactivos para quemarlos. En el MEC hay una zona de mezcla no homogénea en temperatura y composición, en el seno de la cual se produce el proceso de autoencendido. Dicho proceso culmina más rápidamente en ciertas ubicaciones, propagándose al resto hasta que toda la mezcla evaporada y mezclada del chorro se encienden [2].

Fase de combustión por difusión

Tras el encendido del chorro, el proceso de combustión entra en la fase de difusión, en la cual el frente de llama se consolida. La ley de liberación de calor viene controlada principalmente por la mezcla del combustible evaporado con el aire en el interior de la cámara. Cuanto más rápida sea la mezcla, más intensa es la liberación de calor. Mientras dura la inyección, el proceso de mezcla está controlado por la cantidad de movimiento que introduce el chorro en la cámara. La estructura de la llama alcanza un periodo de estabilidad, que se mantiene hasta el final del proceso de inyección, momento en el cual cesa el aporte de cantidad de movimiento del chorro para el proceso de mezcla. A partir de aquí, la tasa de combustión cae y el fenómeno de oxidación está controlado por la turbulencia que queda en la cámara de combustión, gracias al movimiento del aire o al movimiento residual del chorro, hasta que se consume el combustible presente en la cámara [2].

1.2.2.3. Estructura de la llama y formación de contaminantes

La fase de combustión por difusión ocupa una parte notable del proceso de combustión; debido a ello, la estructura de la llama de difusión diésel ha sido objeto de múltiples estudios. En la figura 1.4 se muestra la estructura de la llama de un motor de encendido por compresión.

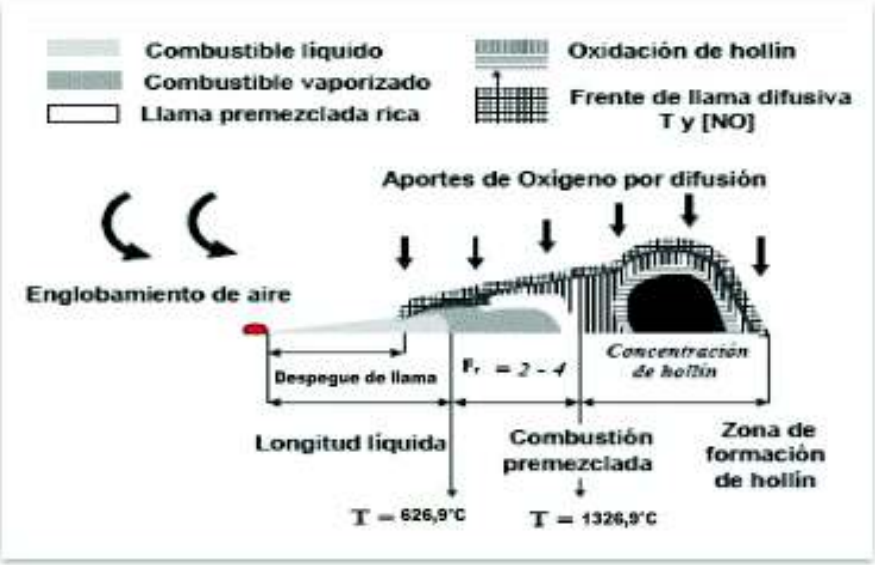


Figura 1.4. Estructura de la llama de un MEC. Donde [NO] corresponde a la concentración (Fuente: Adaptación de la referencia [17])

En la llama se distinguen tres zonas, descritas a continuación:

- La primera zona conocida como lift-off (despegue de llama), corresponde a la zona en contacto inmediato con la tobera de inyección, en la cual el flujo tiene una apariencia de chorro inerte, pues la zona de reacción no llega hasta el inyector debido a las elevadas velocidades en esa zona inicial. De hecho, en esta zona se producen los fenómenos de atomización, englobamiento de aire y evaporación de forma análoga a como se producen en un chorro no reactivo en condiciones evaporativas. La longitud de esta primera zona es lo que se conoce como distancia de despegue de la llama (LOL, por sus siglas en inglés), y controla de manera importante la formación de hollín en la llama.
- A partir de la distancia de despegue de la llama, la llama adquiere una estructura típica de llama por difusión, con una zona interna ocupada por combustible sin quemar y productos parciales de combustión rodeados de la superficie de reacción situada en la zona de dosado estequiométrico. En dicha superficie, el combustible y el hollín se oxidan totalmente a dióxido de carbono y agua al encontrar la proporción de oxígeno necesaria. La parte frontal de la llama presenta un característico ensanchamiento, debido a un vórtice frontal que corresponde a la parte transitoria del chorro durante la penetración en la cámara.

- Entre ambas zonas se establece una tercera región de pequeño espesor en la que se da una zona de reacción premezclada, la cual consume todo el oxígeno englobado por el chorro en la primera zona no reactiva. Este hecho, junto con la existencia de un frente de llama por difusión, hacen que en el interior de la zona de la llama de difusión la concentración de oxígeno sea nula.

En relación a la formación de contaminantes en la llama, la figura 1.5 muestra resultados de simulaciones químicas para una mezcla de n-heptano-aire, para diferentes valores de dosado y temperatura de la mezcla. La figura muestra que la formación de hollín ocurre a dosados ricos y alta temperatura, mientras que la de óxidos de nitrógeno sucede a dosados estequiométricos pobres y alta temperatura.

Además, en la figura 1.5 se observa que en la primera zona, hasta la distancia de despegue de la llama (LOL), no hay formación de contaminantes puesto que la mezcla es inerte. Al atravesar el frente de llama existente en dicha zona, el combustible se calienta y entra en la zona interna de la llama de difusión, donde se dan dosados ricos y alta temperatura. Es importante notar que a medida que el combustible se acerca al dosado estequiométrico atraviesa la zona de formación de hollín, con lo que aparece esta sustancia.

Los productos de reacción de la llama premezclada sirven de base para la formación del hollín en el interior de la llama de difusión. Finalmente, la curva trazada en la figura 1.5 atraviesa la zona de formación de NO_x para dosados cercanos al estequiométrico y pobres. Ello indica que este contaminante se forma en el exterior de la superficie de reacción, donde los dosados son pobres y las temperaturas altas [2].

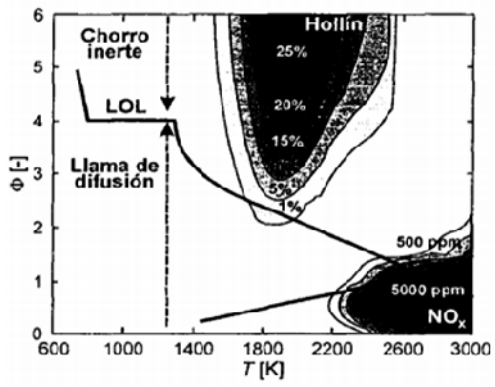


Figura 1.5. Curva dosado-temperatura de formación de hollín y NO_x, para una mezcla n-heptano-aire.
(Fuente: [2])

1.3. Descripción de los gases contaminantes

La figura 1.6 muestra los porcentajes de los gases contaminantes producto de la combustión emanados por el MEC.

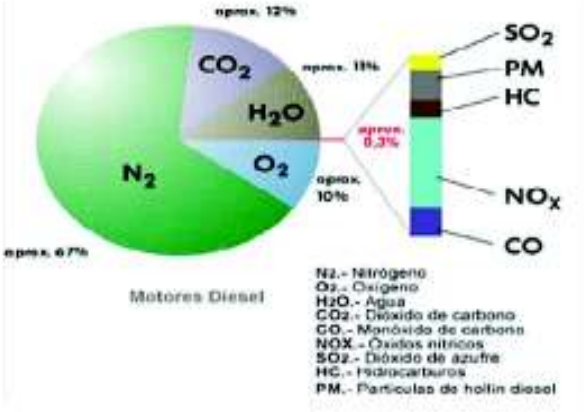


Figura 1.6. Porcentaje de gases contaminantes que emite un motor diésel.
(Fuente: [16])

A continuación, se describen los principales gases contaminantes de los motores diésel:

1.3.1. Hidrocarburos (HC)

Los HC sin quemar se emiten, principalmente, como consecuencia de la combustión incompleta del combustible y, por tanto, su composición resulta extremadamente heterogénea.

Son restos no quemados del combustible, que surgen en los gases de escape después de una combustión incompleta. La mala combustión puede ser debido a la falta de oxígeno durante la combustión (mezcla rica) o también por una baja velocidad de inflamación (mezcla pobre), por lo que es conveniente ajustar la riqueza de la mezcla. Los HC se manifiestan en diferentes combinaciones (C_6H_6, C_8H_{18}). Algunos de ellos irritan los órganos sensoriales, mientras que otros son cancerígenos como, por ejemplo, el benceno. Los principales hidrocarburos presentes en un MEC, son los siguientes:

1.3.1.1. Hidrocarburos aromáticos policíclicos

Los hidrocarburos aromáticos polinucleares (PAH) son hidrocarburos con dos o más anillos de benceno. Muchos compuestos de esta clase son conocidos como cancerígenos humanos. Los PAH en el escape diésel están divididos entre fases gaseosa y particulada. Los compuestos más nocivos de cuatro y cinco anillos están presentes en la porción orgánica del material particulado diésel (FOS) [18].

1.3.1.2. Hidrocarburos carbonílicos

Estos compuestos no están presentes en el combustible, diésel, biodiésel o gasolina, pero aparecen en etapas intermedias de la combustión, no son muy importantes debido a su corta vida en la atmósfera. Sin embargo, su potencial de formación de ozono y otros compuestos altamente oxidantes en capas bajas de la atmósfera, se considera importante [2].

1.3.2. Óxidos de nitrógeno (NO_x)

Los óxidos de nitrógeno, más conocidos como NO_x, se denominan, fundamentalmente, al conjunto de: óxido nítrico (NO) y dióxido de nitrógeno (NO_2). En los motores de combustión interna alternativos (MCIA) se forma principalmente óxido nítrico (NO), aunque en algunos casos, aparecen NO_2 en cantidad apreciable debido a la conversión de NO a NO_2, en zonas de baja temperatura e importante cantidad de oxígeno (O_2). Entre los efectos bioquímicos y fisiológicos de los NO_x más importantes se pueden citar los siguientes:

- Son los principales responsables de la lluvia ácida y potencialmente productores de smog fotoquímico.
- El NO_2 puede irritar los pulmones y reducir su resistencia a enfermedades infecciosas si su nivel excede los 600 mg/m^3.
- El NO participa en la reducción de ozono en la estratósfera, facilitando así el paso de la radiación solar ultravioleta hasta la superficie terrestre [2].

Las concentraciones de equilibrio químico del NO derivado de la combustión son despreciables al enfriarse la mezcla de gases procedentes de la combustión en la carrera de expansión y escape. Sin embrago en la práctica no se logra alcanzar el equilibrio químico y existe una importante diferencia entre las concentraciones de NO que corresponderían al equilibrio químico y las concentraciones reales de NO que se obtienen en el escape de los MCIA.

En la combustión de un MEC se producen reacciones en desequilibrio, debido a que la apertura de la válvula de escape produce un enfriamiento de la reacción derivando en un aumento del NO, como se indica en la figura 1.7.

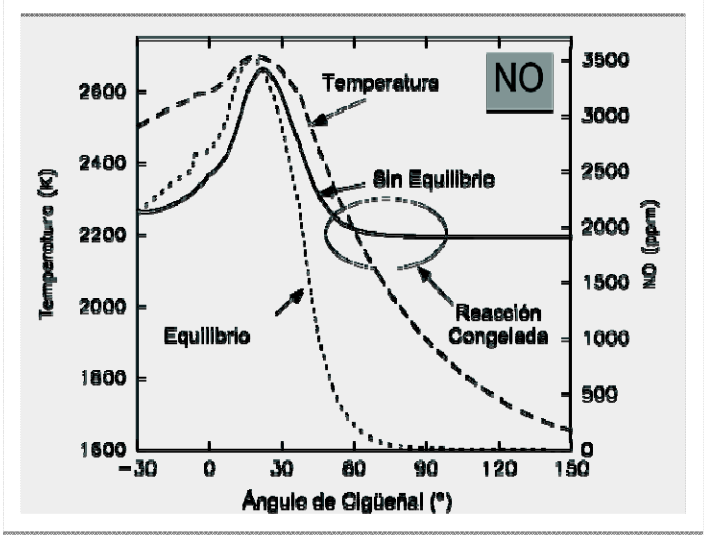


Figura 1.7. Emisión de NO en función de la temperatura y del ángulo de giro del cigüeñal. (Fuente: [19])

Como consecuencia cuanto más corto sea el intervalo de tiempo existente desde el punto de máxima temperatura hasta el punto en el que se abre la válvula de escape más pronto se enfría la reacción y, por lo consiguiente, mayores emisiones [19].

1.3.3. Óxido nítrico (NO)

Los mecanismos principales de formación NO en la combustión de combustibles convencionales se detallan a continuación.

1.3.3.1. Mecanismo térmico

Es el mecanismo más importante a altas temperaturas y se debe a la oxidación del nitrógeno presente en el aire atmosférico, siendo éste el oxidante habitualmente empleado en la mayoría de los sistemas de combustión. La formación de NO partiendo del nitrógeno molecular requiere romper un fuerte enlace triple entre los átomos de nitrógeno de esta molécula. Una molécula de oxígeno no es capaz de romper este enlace bajo condiciones de combustión porque, incluso a altas temperaturas, la reacción directa entre el oxígeno molecular y el nitrógeno molecular (ecuación 1.1) es demasiado lenta [20].

$$N_2 + O_2 \Leftrightarrow 2NO \tag{1.1}$$

Por lo tanto, la formación de NO partiendo de N_2 ocurre a través de un mecanismo de reacción en cadena, propuesto inicialmente por Zeldovich [21]. En la combustión de

mezclas combustible/aire pobres o cercanas a la estequiométrica, como ocurre en los motores diésel, las reacciones principales que rigen la formación de NO son:

$$N_2 + O \Leftrightarrow NO + N \tag{1.2}$$

$$N + O_2 \Leftrightarrow NO + O \tag{1.3}$$

Los átomos de N liberados en la ecuación (1.3) son oxidados a NO principalmente por el radical hidroxilo (OH) a través de la ecuación (1.4):

$$N + OH \Leftrightarrow NO + H \tag{1.4}$$

Esta última ecuación fue propuesta por Lavoie [22] y junto con ecuaciones (1.2) y (1.3); componen el mecanismo extendido de Zeldovich [21], ampliamente empleado en MCIA para estimar la emisión de NO. El modelo cinético de más aceptación para el cálculo del NO térmico se basa en la teoría desarrollada por Lavoie [22]; para este estudio se asume que las ecuaciones que rigen la formación de esta especie son las propuestas por el mecanismo de Zeldovich más las correspondientes a la posible influencia del N_2O intermedio [2].

Para proceder a la resolución del sistema de ecuaciones que se plantea según este modelo se recurre a una serie de simplificaciones:

- La velocidad de formación de las especies no nitrogenadas como el O, H, O_2 y OH, es mucho mayor que la correspondiente a las nitrogenadas. Por lo tanto, se asume que las concentraciones de los primeros cuatro elementos son las del equilibrio químico.
- Debido a que la concentración de N_2 es muy superior a las de NO y N, se puede suponer que ésta no depende del tiempo y, además, que su valor es el correspondiente al del equilibrio.

Tal y como se puede deducir de lo citado anteriormente, los modelos para el cálculo del NO térmico dependen en gran medida de la exactitud con la que se determinan las concentraciones de O, O_2 y OH, como se puede comprobar en la ecuación (1.3). En las tres reacciones del mecanismo térmico están involucrados los radicales O y OH, que también son importantes en la oxidación del combustible, por lo que, en general, es necesario acoplar las reacciones de NO térmico con la secuencia de ecuaciones que describen dicha oxidación. Sin embargo, comparando las velocidades características de ambos procesos, Zeldovich [21] comprobó que las velocidades de formación de NO térmico

eran mucho menores que las del proceso de combustión y que, por lo tanto, la mayor parte del NO emitido se formaba una vez finalizado dicho proceso, es decir, en los gases de postcombustión y no en el centro de la llama [2].

1.3.3.2. Mecanismo súbito, prompt o de Fenimore de formación de NO

Ha sido descrito en la literatura que en las proximidades de la llama las concentraciones de NO son mucho mayores que las anticipadas por el mecanismo térmico e incluso este gas empieza a aparecer antes de que dicho mecanismo pueda ocurrir [2]. En la figura 1.8 se muestra una simulación de la llama de un MEC donde se observa el comportamiento de la temperatura durante el proceso de combustión.

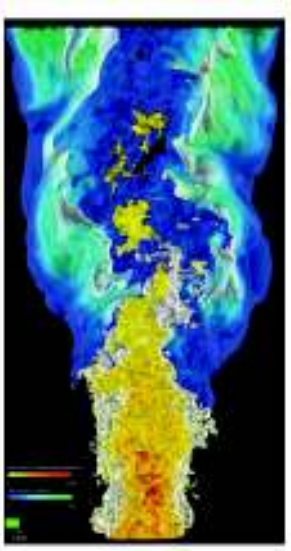


Figura 1.8. Simulación computacional de llama en MEC.
(Fuente: [23])

Algunos investigadores atribuyen este comportamiento a la elevada concentración de radicales O y OH que se produce en el centro de la llama (súper equilibrio de las especies O y OH). Fenimore [24] demostró que el NO formado en llamas que involucran mezclas ricas no puede ser explicado únicamente por la razón anterior ya que las concentraciones requeridas para demostrar las velocidades de formación de NO observadas eran considerablemente mayores que los valores de equilibrio y propuso que en mezclas ricas las reacciones que involucran especies hidrocarbonadas tienen un papel importante en la cinética de formación de NO. El mecanismo se basa en que determinados compuestos hidrocarbonados, procedentes de la descomposición del combustible, reaccionan con N_2 para formar aminas (compuestos químicos orgánicos, derivados del amoníaco) o compuestos ciano (nitrilos que poseen cianuro como grupo principal), que se convierten

rápidamente en especies intermedias que acaban formando NO. Esquemáticamente, el mecanismo se puede describir por las siguientes ecuaciones:

$$CH + N_2 \Leftrightarrow HCN + N \quad (1.5)$$

$$C + N_2 \Leftrightarrow CN + N \quad (1.6)$$

$$CH_2 + N_2 \Leftrightarrow HCN + NH \quad (1.7)$$

$$CH_2 + N_2 \Leftrightarrow H_2 + CN + \mathrm{N} \quad (1.8)$$

La ecuación (1.5) es la dominante del proceso. El NO se forma por el movimiento de los átomos de nitrógeno producidos en las reacciones químicas anteriores con radicales OH a través de la ecuación (1.4) y por interacción de compuestos ciano y aminas con especies oxigenadas. A diferencia del NO térmico, el NO súbito depende sólo ligeramente de la temperatura. En motores diésel, la contribución de este mecanismo a la emisión total de NO se estima por debajo del 5% [20].

A partir de lo explicado anteriormente se puede afirmar que, en llamas pobres o cercanas a la estequiométrica, las elevadas tasas de formación de NO que se generan en la zona de la llama son consecuencia de las concentraciones de súper equilibrio de los radicales O y OH. Las ecuaciones del mecanismo térmico serían suficientes para predecir las emisiones de NO siempre y cuando se usen valores adecuados para estos dos radicales. Sin embargo, en llamas ricas, aunque estas concentraciones en súper equilibrio pueden llevar a un aumento del NO formado en la llama, resultados experimentales han demostrado que las reacciones entre especies hidrocarbonadas intermedias y el nitrógeno molecular también juegan un papel importante en la cinética de formación del NO [2].

1.3.3.3. Mecanismo debido al óxido nitroso N_2O intermedio

Es importante en procesos de formación de NO a bajas temperaturas (T<1227°C) y en la combustión de mezclas pobres (F_r<0,8). Entre los diversos mecanismos propuestos en la literatura uno de los más conocidos es el desarrollado por Lavoie [22], que considera las siguientes ecuaciones:

$$N_2O + O \Leftrightarrow NO + NO \quad (1.9)$$

$$N_2O + O \Leftrightarrow N_2 + O_2 \quad (1.10)$$

$$N_2O + H \Leftrightarrow N_2 + OH \quad (1.11)$$

La consideración del N_2O como especie integrante de los productos de la combustión es importante, por ejemplo, en MEC que emplean nuevas estrategias de reducción de NO_x (combustión premezclada pobre y elevadas tasas de EGR), pues la disminución en la temperatura de combustión provocada por dichas estrategias limita la formación de NO, pero incrementa la de N_2O, teniendo un elevado potencial para producir efecto invernadero [25].

Una mayor presión de inyección provoca un aumento en la emisión de NO como consecuencia de la mejora del proceso de mezcla, produciéndose el englobamiento de aire a temperaturas locales mayores. Un adelanto de la inyección también causa un mayor nivel en la emisión de NO, debido a que la liberación de calor tiene lugar más cerca del punto muerto superior y, por tanto, las temperaturas locales alcanzadas son mayores [2].

1.3.4. Dióxido de nitrógeno

En los motores diésel la cantidad emitida de NO_2 puede alcanzar valores comprendidos entre 10 y 30% de las emisiones totales de NO_x, teniendo además un potencial mayor que el NO para contribuir a la lluvia ácida y al smog fotoquímico. La formación de NO_2 ocurre cuando las moléculas de NO, procedentes de zonas de alta temperatura, se difunden o son transportadas por mezcla hacia regiones más ricas en HO_2 [2].

1.3.5. Óxido nitroso

De acuerdo a Payri [2], la formación de óxido nitroso N_2O se debe principalmente a reacciones que involucran a las especies NH_3 (amoniaco) y HCN (cianuro de hidrógeno), que pueden encontrarse entre los volátiles de cualquier combustible que posea especies nitrogenadas en su estructura molecular. La producción de N_2O sólo es posible en mezclas pobres, debido a la reducción en las temperaturas de combustión y al bajo contenido de átomos de hidrógeno (H) que presentan los gases derivados de una combustión pobre.

1.3.6. Partículas (PM)

Se considera partícula a cualquier materia presente en los gases de salida que se encuentre en estado líquido o sólido en condiciones aproximadamente ambientales. Una característica del aerosol que aparece en el escape de los motores es su capacidad para que se produzcan cambios en las características físicas y químicas del material particulado debido a distintos procesos tales como sedimentación, evaporación, condensación,

crecimiento por colisión, depósitos en la superficie de las partículas y procesos fotoquímicos.

Debido a estos procesos físicos y químicos que pueden ocurrir tanto en la línea de escape como en el momento de dilución en la atmósfera, se considera que una determinación exacta de las emisiones de partículas requiere una simulación de estos procesos de dilución, procesos que obligan a distinguir entre partículas primarias, aquellas que se forman directamente como producto del proceso de combustión y se miden justo a la salida del cilindro, y partículas secundarias, resultantes de alguno de los procesos atmosféricos, tanto en el escape como ya directamente en la atmósfera, y que se recogen usualmente mediante sistemas de dilución situados al final del sistema de escape o en una derivación del mismo. Son precisamente estas partículas secundarias las que son limitadas en las diferentes normativas mundiales [2].

1.3.7. Monóxido de carbono (CO)

El mecanismo de formación de CO es un paso intermedio fundamental en la oxidación de un hidrocarburo y está íntimamente ligado con el dosado. El CO es uno de los gases contaminantes más importantes en procesos de combustión en los cuales, localmente, puedan darse condiciones de mezcla rica (esto puede ocurrir en sistemas de combustión que trabajen con mezclas estequiométricas o ricas, como los motores de gasolina, o bien en sistemas que utilicen mezclas pobres pero las condiciones de mezcla sean bastante heterogéneas, como los motores diésel).

1.3.8. Óxidos de Azufre (SO_x)

Se generan a partir de la oxidación del azufre contenido en el combustible una vez formados los SO_x son capaces de reaccionar con el agua presente en la atmósfera y generar ácido sulfúrico.

En el caso de que estos compuestos se depositen en los catalizadores, se produce la degradación de las propiedades de la pieza debido al taponamiento de los sitios activos de la misma, además de la degradación térmica que conlleva la oxidación de estos compuestos [26].

La oxidación del SO_2 produce trióxido de azufre, precursor del ácido sulfúrico, responsable de las partículas de sulfato en las emisiones diésel. Los óxidos de azufre tienen un profundo impacto en el medio ambiente y constituyen la mayor causa de la lluvia ácida.

Los óxidos de azufre a menudo se presentan junto con el material particulado (PM) y NO_x produciéndose un efecto sinérgico.

1.3.9. Dióxido de carbono (CO_2)

Se produce al quemarse los combustibles que contienen carbono (gasolina, diésel). El carbono se combina durante esa operación con el oxígeno aspirado. Es un gas incoloro y no combustible. A pesar de ser un gas no tóxico, reduce el estrato de la atmósfera terrestre que suele servir de protección contra la penetración de los rayos UV (la tierra se calienta) provocando alteraciones climatológicas [19].

1.4. Principio de funcionamiento del sistema de refrigeración

La transferencia de calor influye directamente sobre las prestaciones, el rendimiento y las emisiones de gases contaminantes, ya que una mayor transferencia de calor implica una menor energía disponible para producir trabajo mecánico.

La manera de conseguir reducir las temperaturas de trabajo es mediante la utilización de un sistema de refrigeración, que será el encargado de disipar la energía en forma de calor, el mismo que podría dañar los componentes internos del motor [2].

La función del sistema de refrigeración de un motor es, básicamente, prevenir el sobre calentamiento de las partes sólidas en todas las condiciones operativas del motor, así como en las condiciones de trabajo para diferentes condiciones geográficas y climáticas. Esta función primordial del sistema de refrigeración debe llevarse a cabo cumpliendo con [2]:

- Consumir la mínima potencia posible, de forma que el funcionamiento del sistema no penalice ni el consumo de combustible ni las prestaciones del motor.
- Ser compacto, ligero, fiable y tener un bajo costo.

En la actualidad el sistema de refrigeración por líquido es el más empleado, especialmente en vehículos como automóviles, tractores, camiones y buses. A continuación se realiza una breve descripción del mismo [2].

1.4.1. Refrigeración por líquido

Los sistemas clásicos de refrigeración por líquido suelen ser de tipo cerrado con circulación forzada del líquido enfriador, por medio de una bomba centrífuga. Asimismo, se suele emplear un sistema de regulación que puede consistir, por un lado, en cambiar la dirección

del flujo del líquido refrigerante durante el calentamiento del motor y, por otro, en variar la cantidad de aire que atraviesa el radiador cuando el sistema supera temperaturas de trabajo determinadas [2].

Sobre la base del sistema clásico se han ido añadiendo nuevos elementos que aumentan la complejidad del sistema y de su control como se muestra en la figura 1.9. Es frecuente encontrar un intercambiador aire-refrigerante que se utiliza para calentar el aire ambiente antes de llevarlo al habitáculo. También es habitual instalar un intercambiador aceite-refrigerante para permitir un calentamiento más rápido del aceite durante el arranque, al tiempo que es posible mantener las temperaturas del aceite limitadas cuando éste ya se ha calentado.

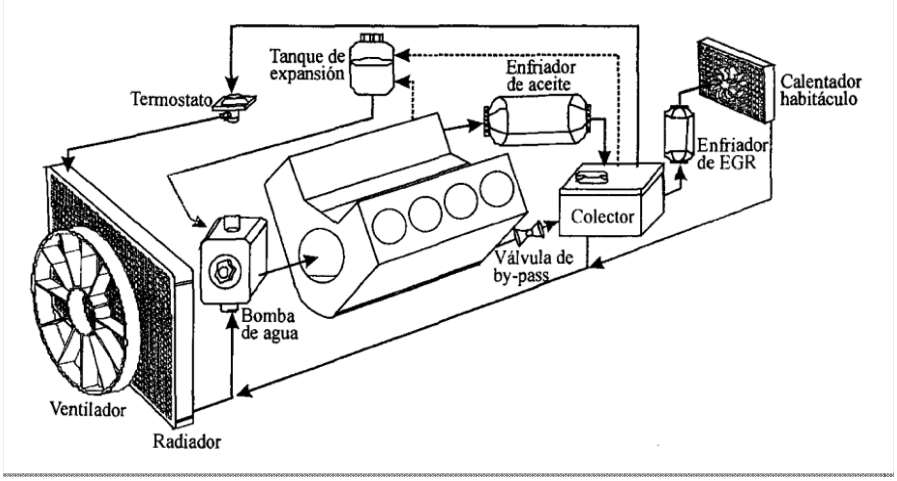


Figura 1.9. Sistema moderno de refrigeración por líquido.
(Fuente: [2])

Como se observa en la figura 1.9, los componentes principales del sistema de refrigeración son los intercambiadores de calor. En el caso del radiador o intercambiadores de flujo cruzado, los flujos del refrigerante y del aire son perpendiculares entre sí. El líquido circula por el interior de unos pequeños tubos y la forma de éstos, puede ser circular o rectangular, e inclusive en ocasiones pueden poseer aletas internas para aumentar la superficie de contacto y la transferencia de calor.

Estos tubos suelen disponerse de forma alternada, aunque dependiendo de la aplicación, pueden encontrarse en línea. Un valor aproximado de caída de temperatura del refrigerante a su paso por el radiador es de 7 a 8 °C. El aire suele ser impulsado por un ventilador y pasa por la parte externa de los tubos de agua, que casi siempre tienen aletas exteriores.

Los materiales utilizados tanto para los tubos como las aletas suelen ser cobre o aluminio, ya que son metales con una alta conductividad, poco peso y resistentes a la oxidación [2].

1.4.2. Gestión térmica de un motor

La gestión térmica del motor es de vital importancia para el correcto control de todos los flujos térmicos. Dentro de éstos los más importantes son los asociados con la refrigeración de las partes metálicas y con la refrigeración del aceite de lubricación para evitar su degradación. Recientemente se ha empezado a intentar explotar el potencial de la gestión térmica también desde el punto de vista del rendimiento y las emisiones del motor. En lo que concierne al rendimiento, las aproximaciones tradicionales al problema se centraban exclusivamente en aquellos flujos térmicos que garantizan la supervivencia del motor, desempeñando cualquier otra consideración un papel marginal. De esta forma, siempre se ha diseñado el sistema y la estrategia de refrigeración pensando en las condiciones más adversas, por lo que en cualquier otra circunstancia las pérdidas de calor son mayores de lo necesario, afectando negativamente al rendimiento [2].

Por otra parte, la temperatura del motor afecta al desarrollo del proceso de combustión y consiguientemente a la formación de contaminantes, con lo que existe la posibilidad de buscar diseños y estrategias óptimas desde ambos puntos de vista [2].

A continuación, se describe la influencia de la temperatura sobre el consumo de combustible y las emisiones.

1.4.3. Influencia de la temperatura sobre las emisiones

La influencia de la temperatura de la pared sobre el consumo de combustible y las emisiones contaminantes es un efecto que depende de que el proceso considerado sea estacionario o transitorio. En el caso estacionario la influencia de las temperaturas sobre estos parámetros depende fundamentalmente del grado de carga. Así, a bajos grados de carga, su influencia suele ser importante mientras que a medios y altos grados de carga dicha influencia llega a ser prácticamente nula. Ello se debe a la influencia que tiene la temperatura sobre el proceso de combustión. De esta forma en un MEC, las bajas temperaturas provocan un aumento del retraso al autoencendido y por lo tanto, de la combustión premezclada, con lo cual la combustión se desarrolla de manera más lenta y las temperaturas de los gases son en promedio más bajas, tal como se muestra en la figura 1.10 [2], donde se observa el comportamiento de la temperatura de funcionamiento del

motor durante el ciclo operativo (admisión, compresión, explosión y escape) determinadas por el ángulo de giro del cigüeñal.

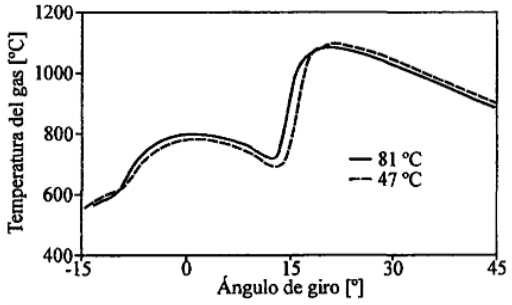


Figura 1.10. Influencia de la temperatura del refrigerante sobre la temperatura de los gases de escape.
(Fuente: [2])

En la figura 1.11 se muestra el porcentaje de variación del consumo de combustible (Δm_f) y las emisiones contaminantes en ensayos realizados en un motor diésel de inyección directa en el que se varió la temperatura del refrigerante a la salida del motor para tres puntos de funcionamiento de baja carga y media carga [27]. Como puede observarse las variaciones (Δ) de consumo, los hidrocarburos sin quemar (HC) y el monóxido de carbono (CO), disminuyen al incrementarse la temperatura del refrigerante, mientras que los óxidos de nitrógeno (NO_x) aumentan en dicho caso. Estos resultados, ilustran las tendencias esperadas al variar las temperaturas de pared.

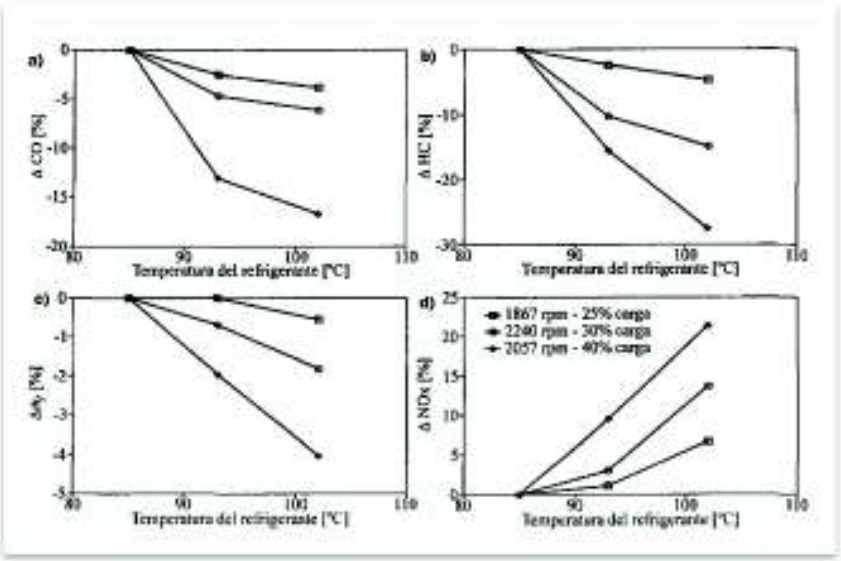


Figura 1.11. Comportamiento de las emisiones contaminantes (gráficas a, b y d) y del consumo de combustible (gráfico c) variando de la temperatura del refrigerante.
(Fuente: Adaptación de la referencia [2])

Observando las curvas del comportamiento del consumo de combustible y emisiones contaminantes, es posible pensar en el aprovechamiento del funcionamiento transitorio del motor, particularmente durante el período de calentamiento. Es por ello que existe una clara tendencia a tratar de disminuir el tiempo requerido por dicho proceso de calentamiento, es decir, a alcanzar la temperatura nominal de trabajo lo más rápidamente posible.

En la figura 1.12 se muestra la influencia sobre el consumo y las emisiones, utilizando 4 estrategias de refrigeración diferentes en el proceso de calentamiento de un motor: la estrategia original tomada como referencia y tres alternativas que proporcionan distintas reducciones en el tiempo de calentamiento [28]. Se puede observar que una reducción de un 20 % en el tiempo de calentamiento se traduce en reducciones del 2% en el consumo, del 20% en las emisiones de HC y un 15% en las emisiones de CO, provocando, por el contrario, un aumento de un 5% en los óxidos de nitrógeno. Se pone así de manifiesto el potencial de estas acciones y la necesidad de definir procedimientos que permitan su realización en la práctica [2].

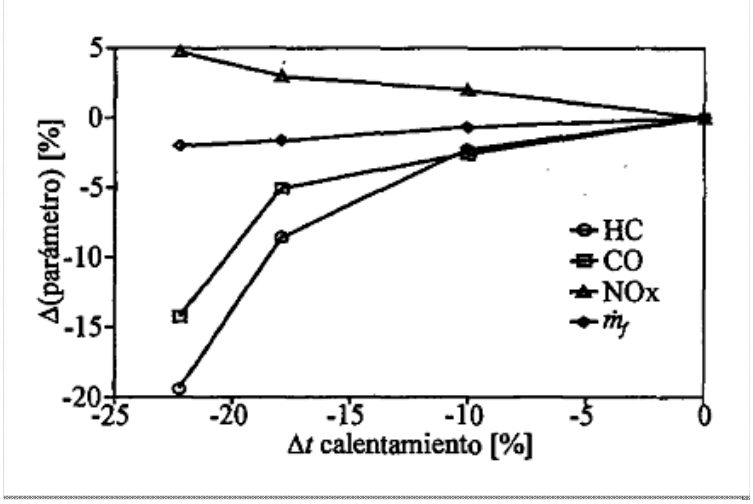


Figura 1.12. Influencia del tiempo de calentamiento sobre consumo y emisiones de un motor diésel de inyección directa con cuatro estrategias de refrigeración diferentes.
(Fuente: [2])

1.5. Refrigerantes

Los avances en la tecnología de motores diésel fueron impulsados por las necesidades de mayor potencia, reducción de emisiones, mejor economía de combustible y confiabilidad. Actualmente los motores diésel modernos incluyen turbocompresores con intercoolers,

regulador electrónico de inyección de combustible, controles de combustión computarizados y equipos de reducción de emisiones, donde las mayores cargas térmicas las soporta el refrigerante. Las condiciones de funcionamiento más severas y los ambientes en los que funcionan los motores diésel de servicio pesado tienen un impacto en las formulaciones y el rendimiento del refrigerante [29].

Los fluidos refrigerantes utilizados suelen ser mezclas de agua y etilenglicol en proporciones que varían entre 50-50%, 40-60% o 60-40%. Mediante el uso de estas mezclas se consigue, por un lado, que aumente el punto de ebullición, permitiendo alcanzar temperaturas de trabajo de (100-105°C) y, por otro, que disminuya la temperatura de congelación, lo que es fundamental para el arranque a temperaturas inferiores a 0°C [2]. Como contrapartida, el etilenglicol reduce el calor específico del refrigerante, lo que obviamente es importante a la hora de diseñar el circuito. También es habitual añadir aditivos para reducir la cavitación e inhibir la formación de ácidos y la corrosión. Se utilizan varios tipos diferentes de refrigerantes de motor, que pueden clasificarse por el tipo de inhibidores de corrosión contenido en la formulación. En los Estados Unidos, los refrigerantes convencionales con la adición de Aditivos de Refrigerante Suplementarios (SCA), refrigerantes tradicionales "totalmente formulados", refrigerantes de intervalo de servicio extendido y los refrigerantes de vida extendida se utilizan en motores diésel [29].

Una descripción de los diversos tipos de refrigerantes utilizados para vehículos diésel se proporciona en la tabla 1.1.

Tabla 1.1. Tipos de refrigerantes para servicio pesado [29].

Tipo de refrigerante	Descripción
Refrigerante convencional	Contiene inhibidores inorgánicos de la corrosión tales como borato, molibdato, nitrato, nitrito, fosfato, silicato. En europa, el fosfato generalmente no se utiliza debido a problemas potenciales de compatibilidad con el agua dura. En asia, los silicatos generalmente no se utilizan debido a la preocupación de abrasión en el sello de la bomba de agua.

Tabla 1.1. Tipos de refrigerantes para servicio pesado [29]. (Continuación).

Refrigerante larga vida	Contiene OAT (Organic Acid Technology) que proporciona una larga vida útil. Estos productos pueden contener nitritos o molibdatos, o ambos, y pueden ser refortificados con un "diluyente" a intervalos de servicio de 480 000 km o más.
Refrigerante de intervalo de servicio prolongado	Proporciona vida útil prolongada. Los SCA* se agregan típicamente a intervalos de 160 000-240 000 Km.
Refrigerante híbrido	Contiene una combinación de inhibidores inorgánicos y orgánicos de la corrosión. En europa no contienen fosfato. Los híbridos de asia no contienen silicato.
Tecnología de aditivos inorgánicos	Cualquier grupo de ácidos carboxílicos incluyendo mono y diácidos alifáticos y ácidos aromáticos aplicables como inhibidores de corrosión en refrigerantes.
Refrigerante tradicional, totalmente formulado	Contiene una dosificación inicial de SCA. Estos refrigerantes requieren la adición periódica de SCA típicamente en intervalos de 32 000 km.

(Fuente: [29])
*Aditivos de refrigerante suplementarios (SCA): Es un aditivo químico que se añade periódicamente para mantener la protección contra la corrosión y el picado del cilindro.

Los refrigerantes de motor usados en aplicaciones de servicio pesado deben proporcionar funcionamiento satisfactorio en estabilidad térmica de oxidación, protección contra corrosión a altas temperaturas, erosión por cavitación, compatibilidad con el elastómero, estabilidad en agua dura y propiedades anti-incrustantes [29].

1.6. Nanofluidos a base de titania (TiO_2)

Al dispersar partículas sólidas en fluidos convencionales utilizados en sistemas de refrigeración se evidencia mejora de las propiedades físicas y químicas. Este nuevo tipo de suspensión diluida se la conoce como nanofluido. Los nanofluidos están compuestos por un fluido base (agua, etilenglicol, propilenglicol, metanol) y partículas cerámicas cuyo tamaño es menor a 100 nanómetros, tales como: óxido de cinc (ZnO), óxido de cobre (CuO), titania (TiO_2), alúmina (Al_2O_3).

De acuerdo con estudios realizados por Jain et al. [30] y Turgut et al. [31] la conductividad térmica de nanofluidos a base de TiO_2 puede ser duplicada en comparación a la de aquellos nanofluidos preparados con el uso de otras nanopartículas, tales como: Al_2O_3, CuO y ZnO, conforme se aumenta la concentración en volumen (0,02-5%) de dichas partículas. Por tal razón, en el presente trabajo fueron seleccionadas nanopartículas de TiO_2.

1.6.1. Preparación de nanofluidos

Las nanopartículas, como aditivos para nanofluidos, desempeñan un papel importante en la mejora de la capacidad antidesgaste y la reducción de la fricción [32]. En la literatura han sido descritos dos métodos de preparación de nanofluidos, que son detallados a continuación.

1.6.1.1. Método de un solo paso

Es un procedimiento que combina la producción *in-situ* de nanopartículas con la síntesis del nanofluido. La deposición por vapor, desarrollada por Choi en 2001[33], es el método de un solo paso más utilizado en la actualidad. Este principio está mostrado en la figura 1.13.

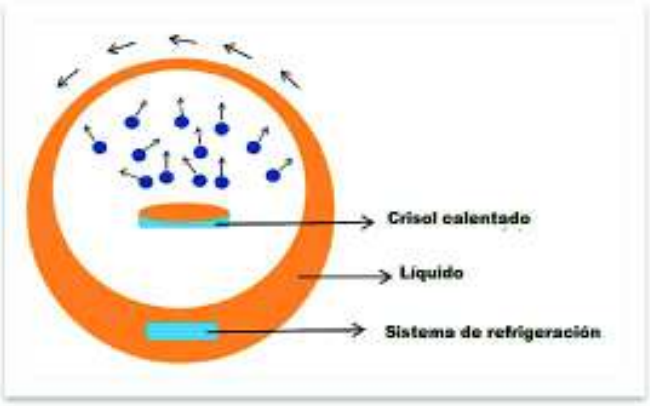


Figura 1.13. Diagrama esquemático del método de deposición por vapor.
(Fuente: Adaptación de la referencia [32])

Este método consta de un disco rotativo, en el que, gracias a la acción de la fuerza centrífuga, permite la formación de una película delgada de líquido en las paredes del recipiente. Por otra parte, el material precursor a partir del cual se formarán las nanopartículas es calentado y evaporado dentro de un crisol. Este vapor es condensado en partículas de tamaño nanométrico cuando entra en contacto con el líquido del fluido base. De esta forma, se obtiene un nanofluido [32].

Akoh et al. [34] desarrolló una variación al método anterior, en que utilizó la evaporación directa de un solo paso, que es similar a la evaporación al vacío en un substrato de aceite en movimiento (Vacuum Evaporation onto a Running Oil Substrate, VERO, por sus siglas en inglés) donde el metal se evapora mediante calentamiento por un haz de electrones en vacío y se deposita sobre un sustrato de aceite en movimiento en un disco giratorio. Las partículas metálicas formadas en el aceite se mueven hacia afuera debido a la fuerza centrífuga con el aceite, las mismas se recogen en un recipiente que rodea el disco para su análisis [35]. En este caso se obtuvieron con este método partículas extremadamente pequeñas de aproximadamente 0,25 nm [34].

Entre las ventajas principales de este método se destacan las siguientes:

- No se necesita un proceso de secado de las nanopartículas, ni de almacenamiento o dispersión de las mismas, ya que son sintetizadas dentro del propio fluido. Esto reduce el costo de producción.
- La baja formación de aglomerados de nanopartículas predominantemente debido a la primera ventaja mencionada anteriormente (eliminación de la etapa de secado), es extremadamente importante para asegurar la estabilidad a largo plazo del nanofluido.

La principal desventaja del método de un solo paso es que solamente puede ser útil para la síntesis *in-situ* de nanopartículas a partir de materiales precursores que poseen una baja presión de vapor [32].De esta forma han sido preparados nanofluidos a base de nanopartículas de cobre, hierro y níquel [34].

1.6.1.2. Método de dos pasos

Este método está esquematizado de forma resumida en la figura 1.14.

En la actualidad, el método de dos pasos es el método más comúnmente utilizado para la preparación de nanofluidos. En este método, la adición de surfactantes, así como el uso de ultrasonido, son factores importantes para mejorar la estabilidad de los nanofluidos resultantes [32].

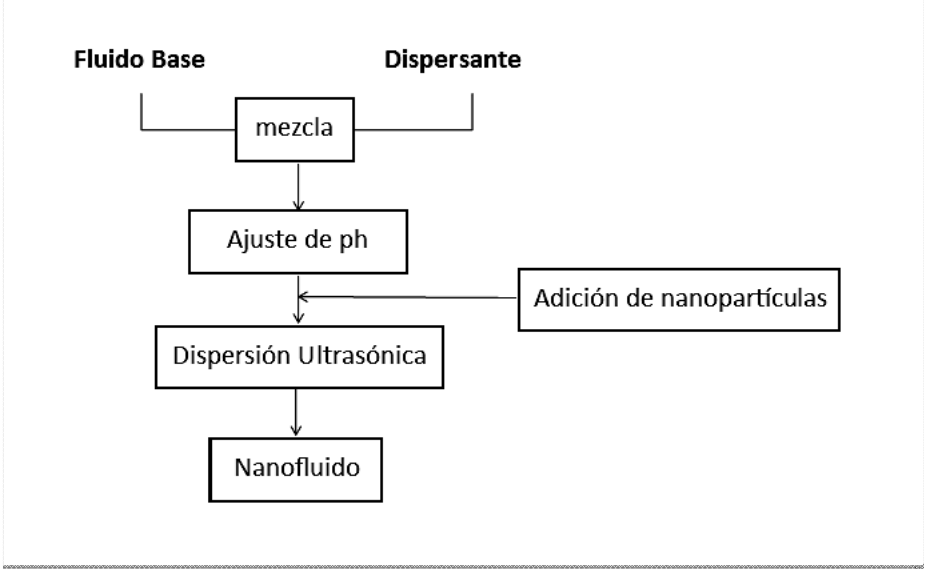


Figura 1.14. Método de dos pasos para la preparación de nanofluidos.
(Fuente: Adaptación de la referencia [36])

Sin embargo, la principal desventaja de este método es la inestabilidad de los nanofluidos resultantes, que debido a la alta energía superficial de las nanopartículas, éstas tienden a aglomerarse para reducir esta energía libre. Además, los métodos de síntesis de nanopartículas cerámicas por sol-gel, co-precipitación o solvotérmico pueden requerir etapas de secado y posterior calcinación de los precursores amorfos para formar las nanopartículas cristalinas, lo que también puede resultar en la formación de aglomerados de nanopartículas. Los mecanismos de dispersión de las nanopartículas también constituyen un desafío para la formación de nanofluidos por este método, en los cuales el pH cumple un papel primordial en la estabilidad de los mismos.

La principal ventaja de este método es que permite preparar nanofluidos a una escala muy grande. Además, puede utilizarse para fabricar diversos tipos de nanofluidos con un sin número de nanopartículas cerámicas [37].

1.6.2. Mecanismos de estabilidad en nanofluidos [32]

La estabilidad de las nanopartículas dentro del fluido base es fundamental para obtener un nanofluido, debido a la tendencia de las partículas de formar aglomerados y por tanto, a sedimentar. Según la teoría DLVO (nombrada así por sus investigadores: Derjaguin, Landau, Verwey y Overbeek), existen dos fuerzas entre las nanopartículas. Una es la fuerza atractiva de Van der Waals, mientras que la otra es la fuerza repulsiva eléctrica de la doble capa. Para entender la relevancia de la doble capa de iones que se forma alrededor

de las nanopartículas cuando están en contacto con un fluido, es importante considerar el esquema de la figura 1.15. Las nanopartículas con una determinada carga superficial están rodeadas por una primera capa, denominada capa de Stern, donde se acumulan iones con carga contraria a la de las nanopartículas. Después de la capa de Stern aparece la doble capa de iones, conocida como capa difusa, la misma que presenta una carga idéntica al la de la superficie de las nanopartículas, de ahí su importancia, ya que es imposible determinar experimentalmente el potencial eléctrico de las nanopartículas en su superficie. Por lo tanto, se utiliza una medida denomina potencial zeta, que es el potencial eléctrico en la interface de la doble capa, conforme a lo ilustrado en la figura 1.15.

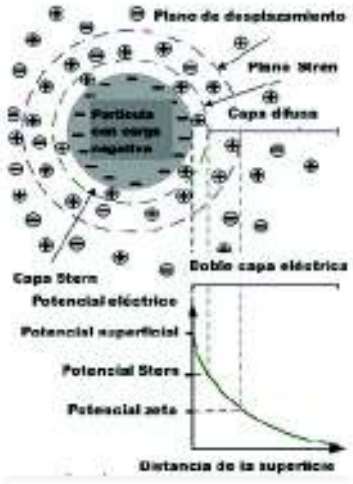


Figura 1.15. Doble capa eléctrica que se forma cuando una partícula está en contacto con un fluido y potencial z.
(Fuente: Adaptación de la fuente [38])

De esta forma, el potencial zeta indica una media indirecta de la carga de las nanopartículas. El potencial zeta depende del pH del medio líquido. Así, si la fuerza repulsiva entre las nanopartículas dada por los iones presentes en la doble capa es mucho mayor que la fuerza de atracción entre ellas, el nanofluido es estable. De lo contrario, ocurrirá una separación de las dos fases. Para que la fuerza repulsiva entre las nanopartículas exceda a la atractiva, la superficie de las mismas debe estar cargada positivamente o negativamente, pero no puede ser neutra, es decir, que el potencial zeta debe ser altamente positivo o muy negativo. En este sentido, resulta importante definir el punto isoeléctrico (IEP, por sus siglas en inglés), el mismo que representa el pH en el cual el potencial zeta es cero. Por lo tanto, para este valor de pH las nanopartículas están aglomeradas y el nanofluido es inestable. En la tabla 1.2 se detalla la relación entre el potencial zeta y la estabilidad del nanofluido.

Tabla 1.2. Relación entre el potencial zeta y la estabilidad del nanofluido.

Potencial zeta (mV)	Estabilidad del nanofluido
±0	Muy poca o ninguna estabilidad
±15	Poca estabilidad con asentamiento
±30	Estabilidad moderada con sedimentación
±45	Buena estabilidad con posible asentamiento
±60	Excelente estabilidad, poco asentamiento

(Fuente: Adaptación de la referencia [32])

En general, se considera que un nanofluido es inestable cuando los valores de potencial zeta son inferiores a 25 mV, mientras que para valores comprendidos entre 40 mV y 60mV la estabilidad de un nanofluido es aceptable. Las mejores condiciones de estabilidad son aquellas obtenidas cuando el potencial zeta es superior a 60 mV [39].

Con base en lo anterior, existen dos mecanismos para estabilizar los nanofluidos. El primero está basado en la repulsión electrostática de nanopartículas que se consigue a través del control del potencial zeta de las mismas, mientras que el segundo mecanismo consiste en la repulsión estérica mediante el uso de surfactantes. Los dos mecanismos están ilustrados en la figura 1.16.

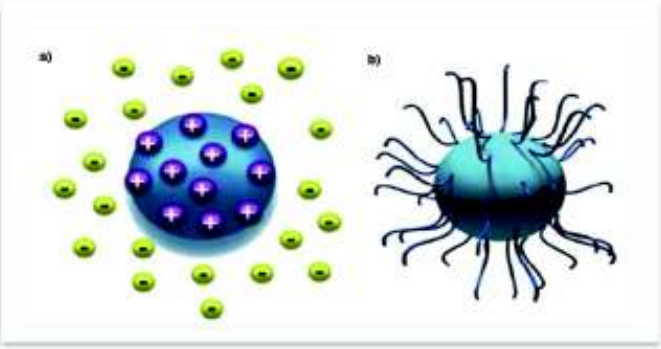


Figura 1.16. Tipos de estabilización de nanofluidos: a) estabilización electroestática, b) estabilización estérica.
(Fuente: Adaptación de la referencia [32])

Según el mecanismo de repulsión estérica, varios surfactantes pueden prevenir la aglomeración de nanopartículas en el nanofluido, tales como: dodecil benceno sulfonato

de sodio (SDBS, por sus siglas en ingles), dodecil sulfato sódico (SDS, por sus siglas en inglés), bromuro de cetil-trimetil amonio (CTAB, por sus siglas en ingles). Las moléculas de los surfactantes están compuestas por dos partes: una cabeza hidrofílica y una cola hidrofóbica. La cabeza hidrófílica posee una carga positiva o negativa y se adsorbe electrostáticamente sobre la superficie de nanopartículas, mientras que la cola hidrofóbica está compuesta por una cadena polimérica que actúa como una barrera alrededor de cada nanopartícula para prevenir la formación de aglomerados (estabilización estérica). Así, la estabilización estérica de los nanofluidos permite que las nanopartículas permanezcan dispersas [32].

1.6.3. Técnicas de dispersión de nanofluidos

El ultrasonido es la técnica física más empleada para dispersar nanopartículas en un fluido base. Sin embargo, puede estar acompañado de tratamiento químico, en lugar de ser únicamente un método de dispersión independiente. Aunque el ultrasonido ha sido aceptado como una etapa en la preparación de nanofluidos a través del método de dos pasos, la frecuencia y el tiempo de este tratamiento no están estandarizados, y dependen del sistema fluido-nanopartículas estudiado [32]. Existen dos tipos de ultrasonido: sonda y baño de ultrasonido. Una de las desventajas del primer método es el calor generado en el proceso, que lleva a un incremento de la temperatura del fluido. El segundo método permite un mejor control de la temperatura. También existe la posibilidad de aplicar el ultrasonido de manera continua o por pulsos. Esta variable también afecta los resultados de la dispersión de las nanopartículas. En el modo pulsante el fluido tiende a calentarse menos que en el modo continuo.

1.6.4. Caracterización de los nanofluidos

Las técnicas de caracterización de los nanofluidos revelan varios detalles tales como distribución del tamaño de partícula de las nanopartículas dentro del fluido y la estabilidad de las mismas en un fluido base. Las técnicas más utilizadas para la caracterización son:

1.6.4.1. Análisis del Potencial zeta

Como ya fue explicado anteriormente, el potencial zeta presenta un análisis inmediato del grado de estabilidad y dispersión de las partículas en un fluido. Se trata de una medida directamente proporcional a la carga de las partículas, de forma que cuanto mayor es su valor, más cargadas están las partículas y mayor es su potencial electroestático. Consecuente, la repulsión entre ellas aumenta y su tendencia a formar aglomerados disminuye [39].

El potencial zeta toma el valor cero en el punto isoeléctrico (ver figura 1.18), en el cual no existen fuerzas electroestáticas. Para el caso de las nanopartículas de TiO_2 el potencial zeta oscila entre -40 mV y 40 mV, dependiendo de la fase cristalina presente. Entre las nanopartículas de TiO_2 comerciales más utilizadas se encuentran las de la marca Sigma Aldrich, conocidas como P25, cuya curva de potencial zeta en una mezcla etilenglicol-agua y propilenglicol-agua 50:50 v/v está presentada en la figura 1.17.

El nanofluido TiO_2 etilenglicol-agua (EG-A) mostrado en la figura 1.17, tiene un potencial zeta cercano a -40 mV, en el rango de pH 6.2 - 7.8, lo que es adecuado para formar una suspensión de alta estabilidad, en los rangos. Sin embargo, para valores de pH más cercanos a los de su punto isoeléctrico (pH 4.7), este nanofluido es inestable [40]. Para el caso del segundo fluido, el punto isoeléctrico se presenta en pH 6.8

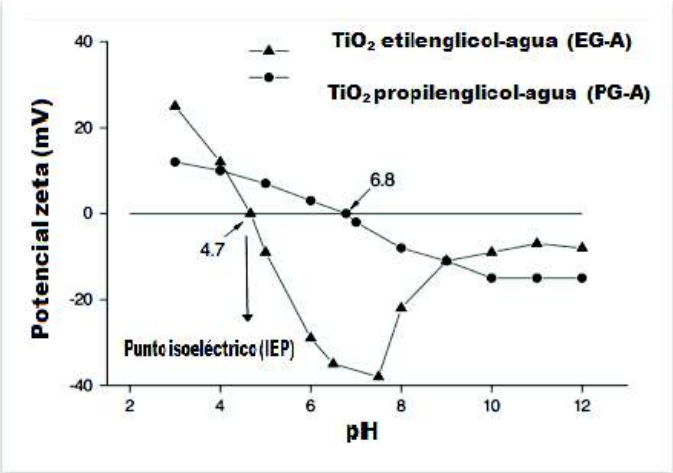


Figura 1.17. Relación entre Potencial zeta vs valor de pH de un nanofluido de TiO_2.
(Fuente: Adaptación de la referencia [40])

Para el caso de la figura 1.18, donde se analizan dos tipos de nanopartículas de TiO_2 (P25 y ST21), el valor cero del punto isoeléctrico de las nanopartículas P25 está alrededor de pH 7, donde existe mayor inestabilidad y la variación del potencial zeta oscila entre 40 mV y -40mV en los valores de pH comprendidos entre 4 – 10, lo que permite determinar que las suspensiones elaboradas con estos nanopolvos serán estables. [41].

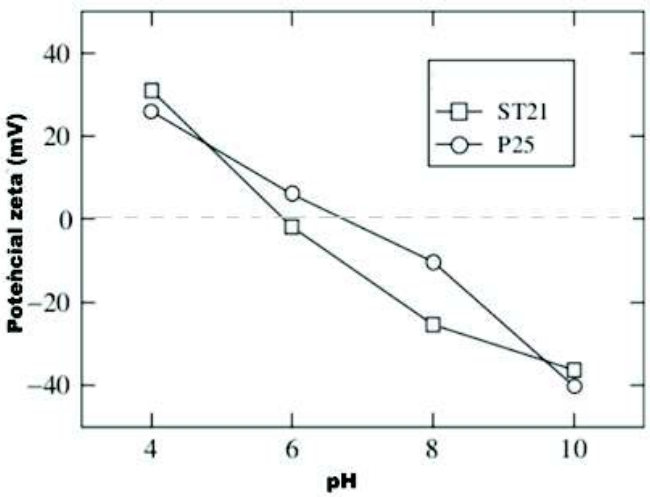


Figura 1.18. Potencial zeta de nanopartículas de TiO_2 (P25 y ST21) a diferentes valores de pH. (**Fuente:** Adaptación de la referencia [41])

1.6.4.2. Método de sedimentación

Se han desarrollado algunos métodos para evaluar la estabilidad de los nanofluidos. La sedimentación es la técnica más utilizada para estudiar la estabilidad de los nanofluidos, debido a su simplicidad de aplicación [42]. El peso del sedimento o el volumen de sedimento de las nanopartículas en un nanofluido bajo un campo de fuerza externo es una indicación de la estabilidad del nanofluido caracterizado [43].

Los nanofluidos se consideran estables cuando la concentración o tamaño de partícula en suspensión se mantiene constante. La técnica de inspección visual (fotografía) de sedimentación de nanofluidos en tubos de ensayo es un método habitual para observar la estabilidad de los nanofluidos El tiempo prolongado de observación es la característica notable del método de sedimentación comparado con otros métodos [44]. Considerando que el valor que se reporta es del volumen no sedimentado (VS).

1.6.4.3. Dispersión dinámica de luz

La dispersión de luz dinámica (DLS, por sus siglas en inglés) es una técnica que se utiliza para determinar la distribución del tamaño de partículas en nanofluidos. Un haz de luz láser incide sobre una suspensión de nanopartículas en un determinado fluido y es disperso por las mismas. La intensidad del haz dispersado por las nanopartículas que fluctúa con el tiempo debido al movimiento aleatorio de las mismas es relacionado con su diámetro [45].

Los datos obtenidos al realizar esta caracterización son: la distribución del tamaño de partículas y su diámetro promedio (diámetro efectivo) para obtener el grado de aglomeración de las nanopartículas, así como el ancho de la distribución (polidispersidad),

que muestra el grado de variación de los pesos moleculares de las partículas en suspensión. En la figura 1.19 se muestra la caracterización de nanopartículas de titania dispersas en agua desmineralizada mediante técnica DLS.

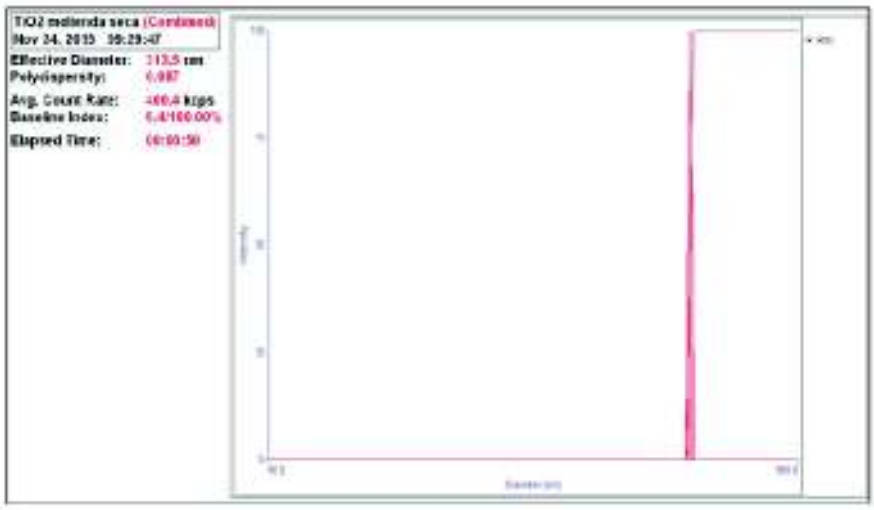


Figura 1.19. Caracterización de nanopartículas de titania mediante DLS.
(Fuente:[46])

1.6.5. Estudios relacionados con el proyecto

Los nanofluidos han atraído considerable atención en los últimos años como fluidos de trabajo en aplicaciones para transferencia de calor, debido a que presentan una conductividad térmica más alta que los fluidos convencionales. En las últimas dos décadas ha existido una tendencia en el crecimiento de investigaciones acerca de nanofluidos (ver figura 1.20). Varios de estos estudios experimentales y teóricos se han realizado considerando aspectos tales como:

- Preparación y caracterización.
- Tipos de nanopartículas (Al_2O_3, TiO_2, CuO, nanotubos de carbono (CNT)).
- Tipos de fluidos base (agua, etilenglicol, propilenglicol, solventes orgánicos).
- Propiedades físicas (conductividad térmica, viscosidad, calor específico).
- Tipos de características (fuerza electrostática, naturaleza, transferencia de calor, caída de presión, migración de partículas).
- Aplicaciones específicas (intercambiador de calor, colectores, refrigeración).

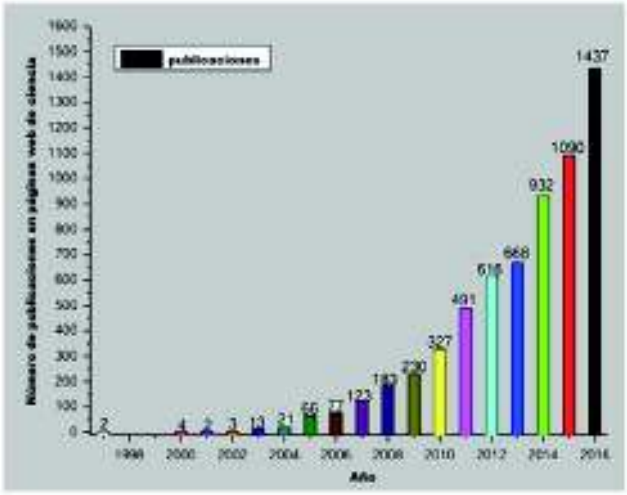


Figura 1.20. Número de publicaciones que contienen "nanofluidos o nanofluidos" en título extraído de “web of science”
(Fuente: Adaptación de la referencia [47])

En estudios referentes a nanofluidos a base de TiO_2, se establece que la conductividad térmica del fluido mejora al aumentar la concentración de las partículas. A continuación, se presentan los estudios de casos más relevantes para el presente trabajo:

- Reddy et al. [48], realizó estudios sobre la conductividad térmica en mezclas de etilenglicol-agua 50:50 v/v con nanopartículas de TiO_2, en intervalos de temperatura entre 30 y 70 °C, rangos en los que las máquinas de transferencia de calor trabajan frecuentemente. En la figura 1.21 se muestra la variación de la conductividad térmica del nanofluido en función de la concentración en volumen, en diferentes porcentajes del fluido base etilenglicol-agua.

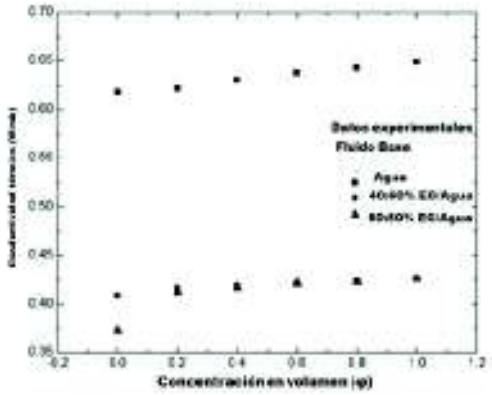


Figura 1.21. Conductividad térmica a diferentes concentraciones de etilenglicol-agua: 40%:60% y 50%:50% basados en nanofluidos de TiO_2.
(Fuente: Adaptación de la referencia [48])

En el estudio se observan mejoras sobre la conductividad térmica de nanofluidos de TiO_2 para concentración en volumen de 0,2 % a 1,0%, que equivalen a un incremento del 10,64% al 14,2% en relación a aquella del fluido base puro.

- Silambarasan et al. [49], llevó a cabo experimentos en dispersiones de nanopartículas de TiO_2 en agua sin ningún agente estabilizante. Fueron analizados los efectos del tiempo de ultrasonido (0-7 horas) en la viscosidad y la temperatura (29-55°C) en la conductividad térmica, para concentraciones volumétricas de TiO_2 de 0,27% a 1,39%. Se notó que, tanto la viscosidad relativa, como la relación de conductividad térmica varían linealmente con la concentración de partículas (ver figura 1.22). Por lo tanto, las nanopartículas de TiO_2 se tornan prometedoras para aplicaciones como refrigerantes en la industria automotriz.

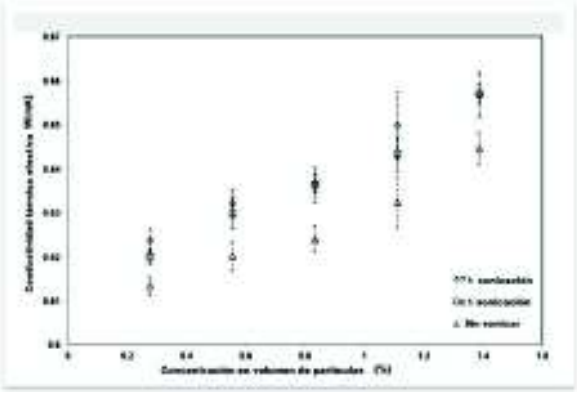


Figura 1.22. Influencia en la concentración de partículas y tiempo de ultrasonido en la conductividad térmica de nanopartículas de TiO_2 dispersas en agua a 29°C.
(Fuente: Adaptación de la referencia [49])

- Yoo et al. [50], analizaron y compararon la conductividad térmica de nanofluidos de nanopartículas de titania y alúmina dispersadas en agua desionizada como fluido base, los cuales fueron realizados mediante el método de dos pasos. Durante el estudio fue observado que las nanopartículas de TiO_2 adicionadas en concentraciones del 1 % v/v incrementaron aproximadamente un 14,4 % la conductividad térmica en comparación a las nanopartículas de Al_2O_3 que únicamente aumentaron un 4% la conductividad del fluido base. Esto fue atribuido principalmente a la mayor relación superficie-volumen entre partículas para el caso de las nanopartículas de TiO_2. En la figura 1.23 se presenta una comparación de la conductividad térmica de los dos nanofluidos. De esta forma, dicho estudio concluye que la concentración ideal de nanopartículas para el mejoramiento de la conductividad térmica se encuentra entre 0,3% y 1% v/v.

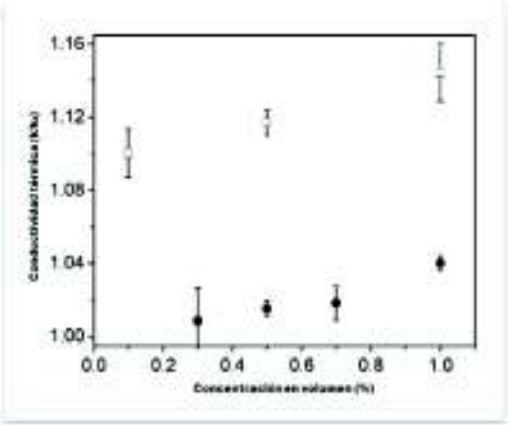


Figura 1.23. Conductividad térmica de los nanofluidos TiO_2 (cuadrados) y Al_2O_3 (círculos) en función de la concentración volumétrica.
(Fuente: Adaptación de la [50])

Es importante resaltar que, a pesar que los nanofluidos a base de TiO_2 hayan sido propuestos en la literatura como candidatos ideales para el uso en sistemas de refrigeración como lo indica Laxman et al. [51] , su aplicación para la evaluación del comportamiento de NO_x y material particulado en un MEC no ha sido reportado todavía. Por lo tanto, este hecho constituye la relevancia del presente estudio.

1.7. Técnicas de medición de emisiones

Para efectuar la medición de las emisiones contaminantes en vehículos diésel, se utilizan los siguientes métodos:

1. Estático
2. Dinámico

1.7.1. Métodos estáticos

Las mediciones se realizan sin la aplicación de carga externa al vehículo, en el Ecuador esta prueba se realiza mediante el método de aceleración libre que es detallado en la norma NTE INEN 2202 “Gestión ambiental. Aire. Vehículos automotores. Determinación de la opacidad de emisiones de escape de motores de diésel mediante la prueba estática. Método de aceleración libre”[52]. En la figura 1.24 se indica el procedimiento de medición de los gases contaminantes para un vehículo con motor diésel en la revisión técnica vehicular.

Figura 1.24. Revisión Técnica Vehicular -Quito.
(Fuente:[53])

1.7.1.1. De aceleración libre

Este método sirve para determinar el porcentaje de opacidad de los vehículos con motor diésel, mediante la determinación del porcentaje de luz visible que refleja, cuando un haz atraviesa la corriente de las emisiones emitidas por el tubo de escape.

Antes de la prueba se debe verificar que el sistema de escape se encuentre sin ninguna fuga que provoque dilución de los gases y que el motor se encuentre en la temperatura normal de funcionamiento [54].

Para la medición, el vehículo debe estar en neutro y se debe realizar el siguiente procedimiento:

1. Realizar 3 aceleraciones consecutivas con el motor en ralentí, para limpiar el tubo de escape.
2. Conectar la sonda a la salida del tubo de escape.
3. Acelerar de mínimas a máximas revoluciones, permitiendo que el motor se estabilice en ralentí.
4. Repetir lo descrito en el numeral 3, mínimo por seis ocasiones consecutivas.
5. Registrar los valores máximos de opacidad.
6. Analizar como mínimo tres lecturas consecutivas que se sitúen dentro de un rango del 10% para el resultado final.

1.7.2. Métodos dinámicos

Este método se realiza aplicando carga externa al vehículo y se clasifican en estables y transitorias.

1.7.2.1. Estables

Estas pruebas se emplean para evaluar el comportamiento de las emisiones en vehículos de trabajo pesado. Se realizan a los vehículos en dinamómetros de banco llevándolos a distintos modos estables de operación. Al final se efectúa el cálculo de los índices de emisión para todo el ciclo empleando un factor de ponderación para cada modo [55].

Ciclo ESC

La prueba European Steady State Cycle (ESC, por sus siglas en inglés). Se realiza en un dinamómetro durante 13 fases (ver figura 1.25), cada una en condiciones de velocidad y carga constante.

Las emisiones se miden en gramos por kilómetro recorrido, de manera continua a lo largo de cada una de las fases y al final de la prueba se promedian los resultados de todas las fases utilizando un factor de ponderación que indica la importancia relativa de cada una, dentro de todo el ciclo de prueba.

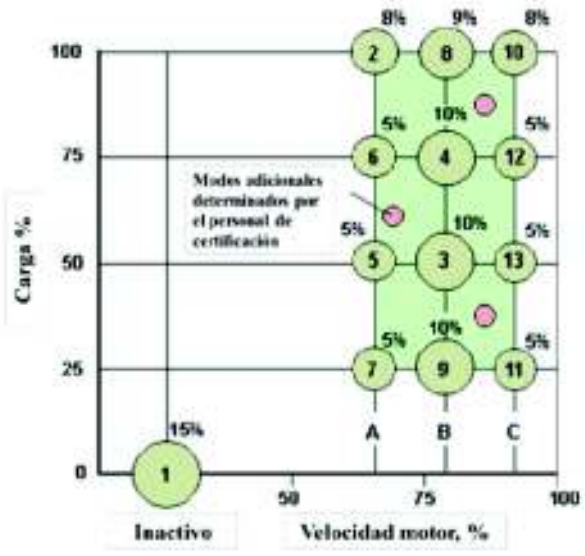


Figura 1.25. Ciclo ESC.
(Fuente:[55])

En la tabla 1.3 se muestran las 13 fases de prueba del ciclo ESC.

Tabla 1.3. Modos de prueba del ciclo ESC.

Modos	Velocidad del motor	Carga (%)	Peso (%)	Duración (min.)
1	Inactividad	0	15	4
2	A	100	8	2
3	B	50	10	2
4	B	75	10	2
5	A	50	5	2
6	A	75	5	2
7	A	25	5	2
8	B	100	9	2
9	B	25	10	2
10	C	100	8	2
11	C	25	5	2
12	C	75	5	2
13	C	50	5	2

(Fuente: [56])

1.7.2.2. Transitorias

Las pruebas dinámicas en estado transitorio son realizadas sobre un dinamómetro siguiendo un ciclo de conducción de donde se aplican cargas y velocidades variables en todo momento con el fin de simular el comportamiento real del vehículo en ruta. Las pruebas transitorias para vehículos diésel se describen a continuación:

Ciclo ECE-15 +EUDC

Es el ciclo de prueba dinámico establecido por la Unión Europea para medir CO, CO_2, HC, NO_x y material particulado (PM) en vehículos livianos y medianos.

La prueba está formada por cinco ciclos definidos, como se muestra en la figura 1.26; cuatro ciclos ECE 15 representan las condiciones de manejo urbanas de una ciudad europea y que se caracteriza por bajas velocidades, bajo nivel de carga en el motor y baja temperatura en los gases de escape. El quinto es el llamado ciclo extra-urbano (EUDC, por

sus siglas en ingles), que representan las condiciones de manejo con una velocidad máxima de 120 km/h [14].

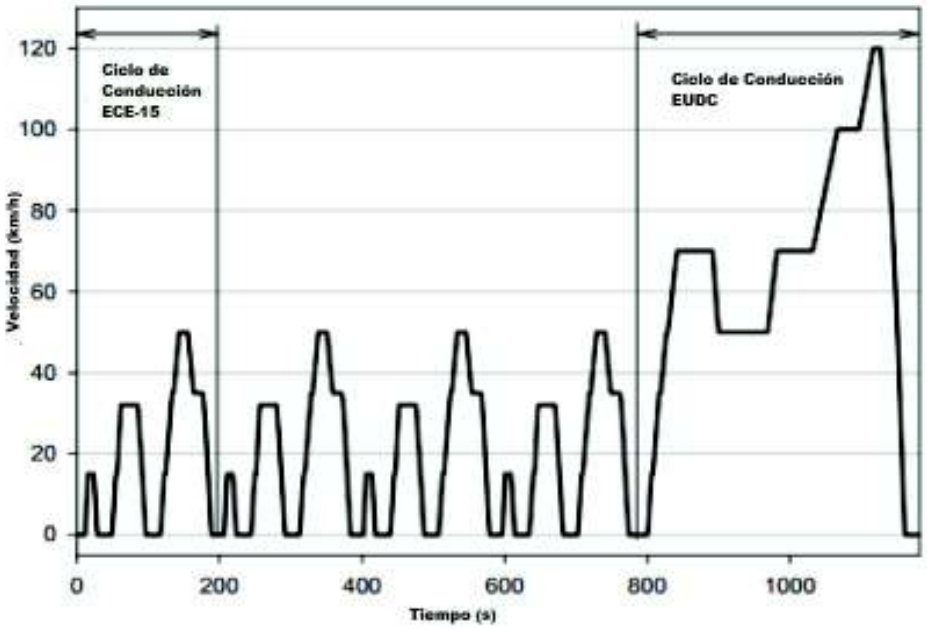


Figura 1.26. CicloECE-15+EUDC.
(Fuente: Adaptación de la referencia [57])

En la tabla 1.4 se muestran los parámetros característicos del ciclo ECE-15 y EUDC.

Tabla 1.4. Parámetros característicos de los ciclos ECE 15 y EUDC.

Características	Unidades	ECE 15	EUDC
Distancia	km	0.9941	6.9549
Tiempo Total	s	195	400
Tiempo muerto	s	57	39
Velocidad Promedio (incluido paradas)	km/h	18.35	62.59
Velocidad promedio de conducción (excluido paradas)	km/h	25.93	69.36
Velocidad máxima	km/h	50	120
Aceleración promedio	m/s^2	0.599	0.354
Aceleración máxima	m/s^2	1.042	0.833

(Fuente: [58])

Ciclo FTP-75 [59]

Es el ciclo de prueba dinámico establecido por la Agencia de Protección del Medio Ambiente de los Estados Unidos (EPA, por sus siglas en inglés) para medir en gramos por kilómetro recorrido la masa de: CO, HC y NO_x emitidos por vehículos livianos de pasajeros. Está compuesto por un ciclo US FTP 72 adicionado 505 segundos del ciclo US FTP 75. La prueba simula una ruta urbana con rangos de velocidad que oscilan entre 0 y 91,25 km/h., una duración de 1.877 segundos y 18,02 km de recorrido total. En el ciclo se pueden distinguir tres fases (ver figura 1.27):

1. Fase transitoria fría

   Se inicia con el vehículo a temperatura ambiente (20-30°C), durante 505 segundos y realiza un recorrido de 5,77 km.

2. Fase estabilizada

   Completa el ciclo de manejo previsto por el ciclo US FTP 72 con un recorrido de 6,3 km., en 867 segundos.

3. Fase transitoria caliente

   Se inicia luego de detener el vehículo detenido por 600 segundos, repitiendo secuencialmente la primera fase (5,77 km.).

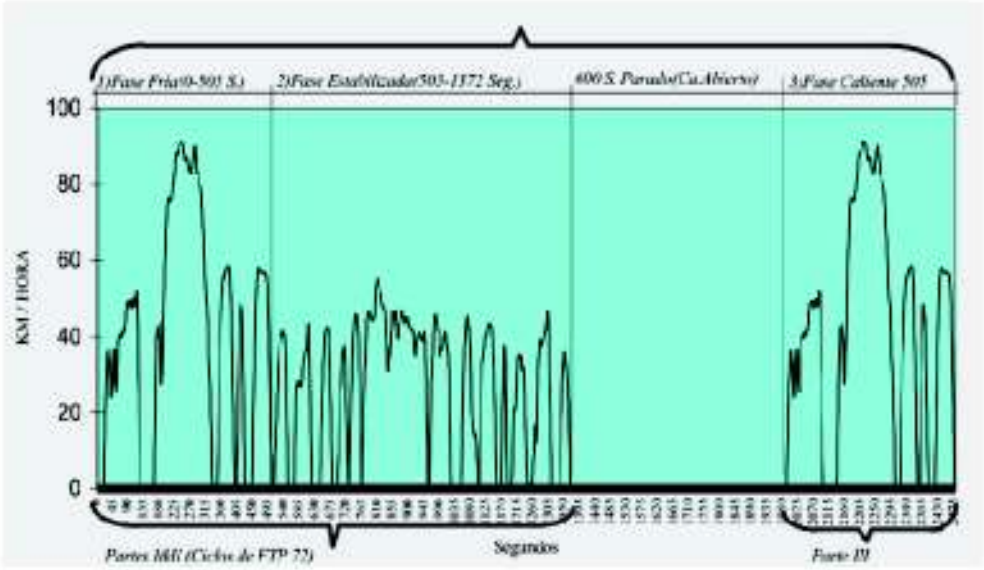


Figura 1.27. Ciclo FTP-75.
(Fuente:[59])

A los valores finales durante los tres ciclos se los promedian de la siguiente manera: la medición de la fase 1 (fase fría) se pondera con la de la fase 3 (fase caliente), mediante coeficientes fraccionarios especificados por el Código de regulaciones federales de los estados unidos (CFR, por sus siglas en inglés), en su título 40 protección del medio ambiente §1066.605 [60], de allí se determina el valor de emisión de los primeros 505 segundos que componen el período transitorio del ciclo; dicho valor se promedia directamente con el resultado de la fase 2 obteniéndose de esta manera el valor de emisiones de escape de cada contaminante que posteriormente se compara con los límites establecidos en cada país, que para el caso del Ecuador se especifican en la NTE INEN 2207 “Gestión Ambiental. Aire. Vehículos automotores. Límites permitidos de emisiones producidas por fuentes móviles terrestres de diésel” [61].

FTP ciclo transiente

Este es el ciclo de prueba empleado en Estados Unidos para la homologación de emisiones de vehículos pesados que circulan en carretera (buses y camiones), simulando un recorrido que incluye todas las etapas por las que podría atravesar un vehículo en cualquier ciudad de dicho país, es decir, tráfico urbano, en la periferia de una ciudad, en las autopistas y en carreteras secundarias. El ciclo está compuesto por cuatro fases diferentes que son:

1. New York Non Freeway (NYNF): simula una situación de tráfico urbano liviano con paradas y arranques frecuentes.
2. Los Ángeles Non Freeway (LANF): representa una situación de tráfico urbano congestionado con pocas paradas.
3. Los Ángeles Freeway (LAF): simula las condiciones de manejo de una autopista congestionada.
4. Es una repetición del NYNF.

El ciclo se inicia arrancando el auto en frío después de haber permanecido apagado desde la noche anterior. Se continua con 25 segundos en ralentí y luego las cuatro fases descritas anteriormente. Posteriormente se apaga el motor y se mantiene así durante 1200 segundos para luego encenderlo y repetir las cuatro fases nuevamente, como se muestra en la figura 1.28.

En total el ciclo dura 3600 segundos, incluido el tiempo con el motor apagado y la repetición del ciclo después del arranque en caliente. El recorrido total es de 20.6 km y la velocidad promedio es de 30 km/h [14].

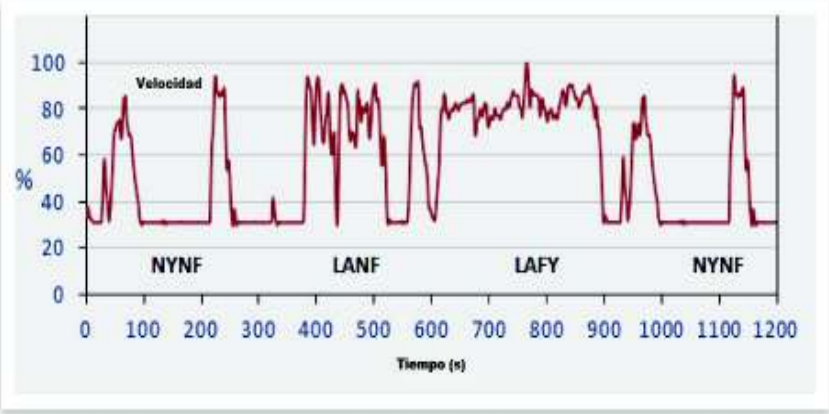


Figura 1.28. FTP Ciclo transiente.
(Fuente: Adaptación de la referencia [62])

Ciclo SFTP

El ciclo de Procedimiento de Prueba Federal Suplementario (SFTP, por sus siglas en inglés) se desarrolló para corregir las deficiencias del ciclo FTP-75. Incluye las emisiones durante una conducción agresiva en autopista (ciclo US06) y en ciudad con el aire acondicionado encendido (ciclo SC03).

Durante el ciclo SFTP-US06, se recorre una distancia de 12.8 km., con una duración de 600 segundos y una velocidad máxima de 129,2 km/h; mientras en el ciclo SFTP-SC03 el recorrido es de 5.8 km, durante 594 segundos, a una velocidad máxima de 88.2 km/h., y una temperatura ambiente de 35°C [14].

Para calcular las emisiones según el ciclo SFTP, se debe utilizar la ecuación 1.12.

$$Emisiones\ SFTP = (0{,}35 * eFTP) + (0{,}28 * eUS06) + (0{,}37 * eSC03) \quad (1.12)$$

Donde:

eFTP: total de emisiones durante el ciclo FTP

eUS06: total de emisiones en el ciclo US06

eSC03: total emisiones durante el ciclo SC03

Ciclo JC08

El ciclo JC08 se implementó completamente en octubre del año 2011 en Japón, para la medición de emisiones y cálculo del consumo de combustible en vehículos a gasolina y diésel, cuyo peso no supera los 3.500 kilogramos. La prueba representa la conducción en tráfico urbano pesado con aceleraciones y desaceleraciones bruscas [63].

La medición de las emisiones se realiza con un arranque en frío y otro en caliente; el tiempo de duración de la prueba es de 1.204 segundos, recorriendo 8,17 Km., a una velocidad máxima de 81,6 Km/h., como se muestra en la figura 1.29.

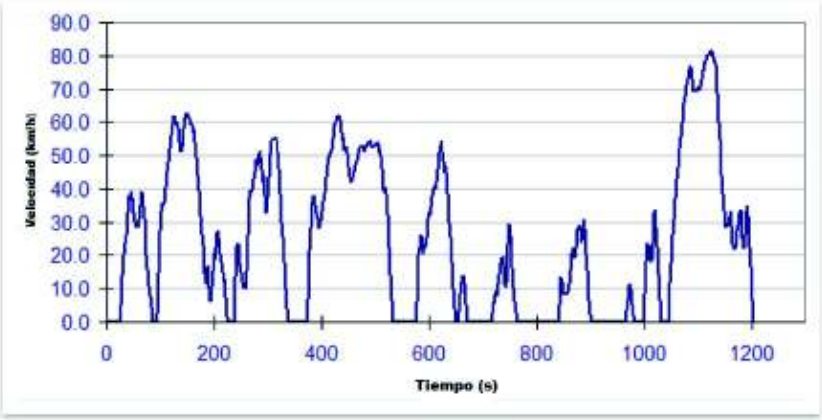


Figura 1.29. Ciclo JC08.
(Fuente: Adaptación de la referencia [63])

Ciclo IM-240

Este ciclo urbano fue diseñado por la EPA, con el objetivo de identificar aquellos vehículos que poseen altas emisiones en condiciones reales de conducción. Ha sido implementado al parque automotor usado de gasolina y diésel, para determinar las emisiones de CO, HC y NO_x, con características y criterios muy similares a los empleados en el ciclo FTP-75.

El ciclo es un condensado de 240 segundos de los primeros 505 segundos del ciclo FTP, es decir, lo que se denomina período transitorio. Para ejecutar la prueba se necesita un dinamómetro de carga variable, muestreador de volumen constante y analizadores de alta precisión.

En figura 1.30 se detalla la ruta ejecutada por el vehículo, simulando un recorrido urbano de 3,2 km, a una velocidad media de 30 km/h y una máxima velocidad de 92 km/h, permaneciendo solamente 11 segundos en ralentí.

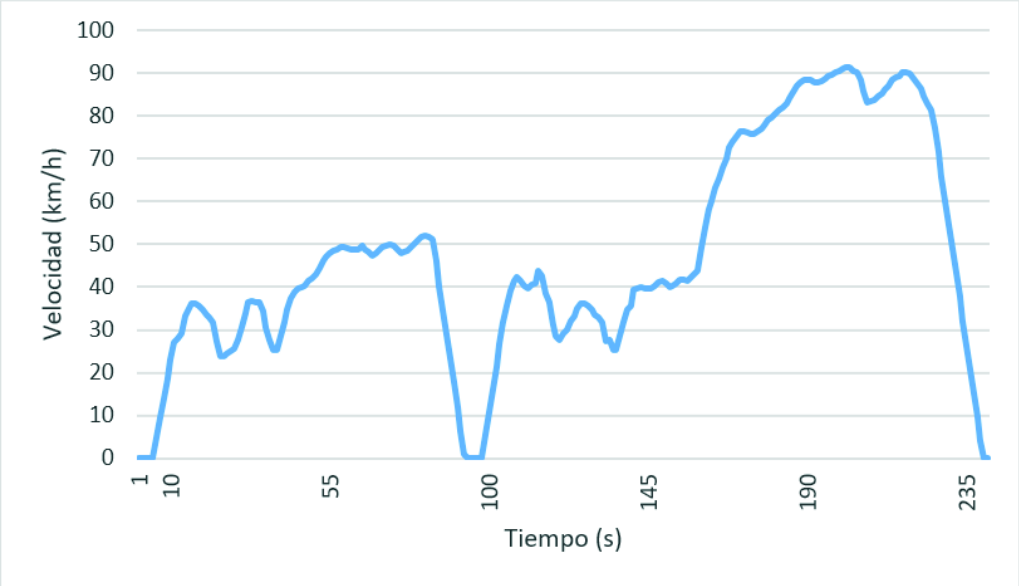


Figura 1.30. Ciclo de Prueba US IM-240.
(Fuente: Adaptación de la referencia [59])

2. METODOLOGÍA DE PRUEBAS

El presente capítulo describe la metodología para la ejecución de las pruebas de medición de gases contaminantes y comportamiento de temperatura del motor en el ciclo de conducción IM-240 con el uso de refrigerante comercial y nanorefrigerante, para lo cual se dividen dos etapas principales: la elaboración del nanorefrigerante, donde se describen los parámetros definidos y variables estudiadas, y el desarrollo del protocolo de pruebas donde se detalla la selección del vehículo, el número de ensayos a ejecutarse, equipos utilizados, instrumentación del vehículo y ejecución de las pruebas dinámicas para medición de gases de escape (NO_x y material particulado) con el ciclo IM-240 con el refrigerante comercial y con el nanorefrigerante.

2.1. Elaboración del nanorefrigerante

Para este estudio fueron utilizadas nanopartículas de titania (TiO_2), marca Sigma Aldrich (ver Anexo I). Estas nanopartículas están compuestas por una mezcla de las siguientes fases cristalinas: anatasa (75%) y rutilo (25%) [64]. En relación al fluido base fue utilizado el refrigerante comercial Valvoline G12++ (TL 774-G1), que consiste en una solución de etilenglicol-agua y aditivos como glicerina, inhibidores de corrosión entre otros, conforme lo indicado en el Anexo II. La proporción etilenglicol-agua en el refrigerante es de 40:60 v/v. Los demás reactivos utilizados en este estudio fueron de grado analítico, tales como hidróxido de sodio (NaOH) y etilenglicol (pureza mayor a 99,5 %) ambos marca Merck. El nanofluido fue preparado por la técnica de dos pasos [32] descrita anteriormente, con una concentración en volumen de nanopartículas de TiO_2 de 0,5 % v/v, definida con base en la literatura [65]–[70].Esta concentración en volumen representa ~1,8 % m/v. Una de las principales consideraciones que se debe tener en cuenta para la preparación del nanofluido es evitar que el pH del mismo esté próximo al punto isoeléctrico de las partículas de TiO_2 en dicho nanofluido, el mismo que se encuentra en el rango de ~ 4,5 a 6,5 como se ha indicado anteriormente [71]–[73] A continuación, se presentan los equipos utilizados y el procedimiento para la elaboración del nanorefrigerante.

2.1. Equipos utilizados en la elaboración del nanorefrigerante de TiO2

Los equipos necesarios para la elaboración del nanorefrigerante de titania se describen a continuación:

2.1.1.1. Balanza de precisión

Al tratarse de un nanofluido, la cantidad de nanopartículas utilizadas es mínima, de acuerdo al porcentaje de concentración requerido, por lo tanto se utiliza una balanza analítica de precisión. En este caso se empleó la balanza marca Shimadzu SHI-AUY-220 (ver figura 2.1). Las características técnicas de la balanza, se encuentran en la tabla III.1 del anexo III.

Figura 2.1. Balanza analítica de precisión Shimadzu SHI-AUY-220
(Fuente: [74])

2.1.1.2. Medidor de pH

Este equipo es utilizado para obtener la medida determinada del pH del nanofluido. En el presente estudio se utilizó el equipo marca Jenway, modelo 3510 que se ilustra en la figura 2.2 y sus características se encuentran detalladas en la tabla III.2 del anexo III.

Figura 2.2. Medidor de pH Jenway 3510.
(Fuente: Propia, 2017)

2.1.1.3. Agitador magnético

Se utiliza para conseguir una suspensión uniforme con el fin de homogenizar inicialmente las partículas [75].

El agitador empleado es de marca DLab modelo MS7-H550 y se presenta en la figura 2.3. Las características técnicas del agitador están detalladas en la tabla III.3 del anexo III.

Figura 2.3. Agitador magnético Dlab modelo MS7-H550.
(Fuente:[76])

2.1.1.4. Mezclador ultrasónico

Su objetivo es dispersar las nanopartículas de TiO_2 en el refrigerante base así como el de mantener la estabilidad del nanofluido [77]. La marca del mezclador utilizado en este trabajo es Misonix modelo S-4000, el cual se puede observar en la figura 2.4.

Figura 2.4. Equipo ultrasónico marca Misonix, modelo S-4000.
(Fuente: Propia, 2017)

Las características del equipo para la sonicación de la suspensión se detallan en la tabla III.4 del anexo III.

2.2. Procedimiento de elaboración del nanorefrigerante

Para la elaboración del nanorefrigerante se sigue el siguiente procedimiento:

1. Pesar los gramos de nanopartículas de titania con ayuda de la balanza. Posteriormente, colocar las nanopartículas de TiO_2 en un vaso de precipitación juntamente con el refrigerante comercial y agitar la suspensión formada con ayuda de una varilla de cristal.

Para el cálculo de la cantidad en masa de TiO_2 requerida, se utiliza la ecuación 2.1. [78]

$$\varphi = \left[\frac{\left(\frac{m}{\rho}\right)TiO_2}{\left(\frac{m}{\rho}\right)TiO_2 + \left(\frac{m}{\rho}\right)Fluido\ base}\right] \quad (2.1)$$

Donde:

φ_i es el porcentaje en volumen (ml),

$\left(\frac{m}{\rho}\right)TiO_2$: es la densidad de las nanopartículas (mg/ml),

$\left(\frac{m}{\rho}\right)Fluido\ base$: es la densidad del fluido de base (mg/ml)

Despejando 2.1, se obtiene:

$$\varphi \frac{m_{TiO_2}}{\rho_{TiO_2}} + \varphi \frac{m_{lFluido\ base}}{\rho_{Fluido\ base}} = \frac{m_{TiO_2}}{\rho_{TiO_2}}$$

$$m_{TiO_2} \frac{(1-\varphi)}{\rho_{TiO_2}} = \varphi \frac{m_{Fluido\ base}}{\rho_{Fluido\ base}}$$

$$m_{TiO_2} = \frac{\varphi\, m_{Fluido\ base}}{\rho_{Fluido\ base}} * \frac{\rho_{TiO_2}}{(1-\varphi)}$$

$$\frac{m_{Fluido\ base}}{\rho_{Fluido\ base}} = V_{Fluido\ base}$$

Por lo tanto, la masa en gramos de TiO_2 se obtiene de la siguiente ecuación:

$$m_{TiO_2} = \frac{\varphi}{(1-\varphi)} * V_{fluido} * \rho_{TiO_2}$$

2. Ajustar el pH con adición de una solución de hidróxido de sodio (NaOH) 1 M.

3. Homogenizar la suspensión nanopartículas de TiO_2-refrigerante comercial, utilizando el agitador magnético a 1500 rpm [79] durante 17 h [49].
4. Sonicar la muestra durante una hora.

El esquema del procedimiento utilizado está presentado en la figura 2.5

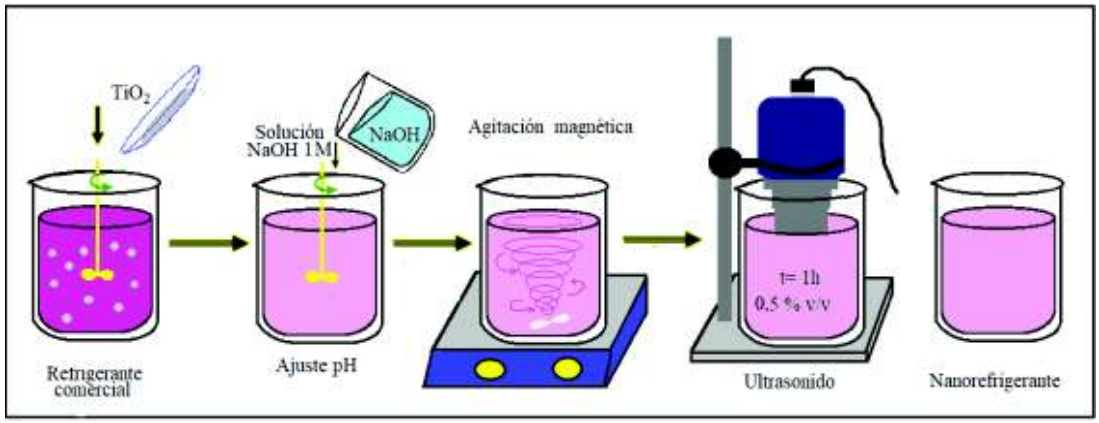


Figura 2.5. Esquema utilizado para la preparación del nanorefrigerante
(Fuente: Propia, 2017)

2.2. Caracterización del nanorefrigerante a base de TiO_2

Para determinar el grado de estabilidad del nanofluido y establecer las condiciones que proporcionan suspensiones estables con características adecuadas para su uso o aplicación [39], el nanofluido preparado fue caracterizado por DLS y prueba de sedimentación.

2.2.1. Técnica de DLS

Esta técnica permite obtener la distribución en número del tamaño de partícula y el diámetro efectivo que corresponde al diámetro medio de la partícula. Estos datos, garantizan que el fluido preparado sea un nanofluido, pues los resultados deberán estar en un rango de tamaño de nanopartícula no mayor a 100 nm y un diámetro efectivo no mayor a la unidad. Se utilizó el equipo analizador de partículas marca Brookhaven BIC modelo 90 Plus (ver figura 2.6). Las características de este equipo se presentan en la tabla III.5 del anexo III.

Figura 2.6. Analizador de partículas Brookhaven modelo 90 Plus
(Fuente:[4])

2.2.1.1. Procedimiento de la caracterización del nanorefrigerante por la técnica de DLS

1. Colocar una muestra del nanofluido en la celda de análisis.
2. Ingresar los parámetros solicitados en el equipo para iniciar el análisis tales como: viscosidad del fluido base (Cp), índice de refracción del fluido base y de las partículas, constante dieléctrica del fluido base.
3. Seleccionar el tipo de análisis gráfico en el que se reportan los resultados (distribución del tamaño de partícula en volumen, intensidad o número) y adquirir los datos.

2.2.2. Técnica de sedimentación

Para realizar la prueba de sedimentación, que consiste en observar la cantidad de nanopartículas que se sedimentan en el fluido base con el paso del tiempo, el instrumento utilizado es una probeta graduada de capacidad 100 ml (ver figura 2.7), en la cual, cada cierto tiempo se observa la cantidad de nanopartículas sedimentadas.

Figura 2.7. Probeta graduada 100 ml para prueba de sedimentación.
(Fuente: Propia, 2018)

2.2.2.1. Procedimiento de la caracterización del nanorefrigerante con técnica de sedimentación

Para realizar la prueba de sedimentación se sigue el siguen los siguientes pasos:

1. Colocar la muestra de nanorefrigerante en una probeta de 100 ml
2. Dejar en reposo durante el periodo de tiempo definido previamente.
3. Tomar los datos de sedimentación por escrito y gráficamente desde 24 h [67] hasta uno y dos meses [81].

2.3. Selección del vehículo

Para seleccionar el vehículo de ciclo diésel en el cual se evaluó el comportamiento de óxidos de nitrógeno y material particulado empleando nanopartículas de titania en el refrigerante, se tomaron como referencia los datos por modelo de vehículo de niveles de contaminación elevados que se registra en el Distrito Metropolitano de Quito - DMQ a través de la revisión técnica vehicular correspondiente al año previo la ejecución del presente estudio.

De acuerdo al informe emitido por la Agencia Metropolitana de Tránsito – AMT, mediante oficio No. AMT – DRAV – 2017 – 1794 [82], tal como se muestra en el Anexo IV, se indicó que para el año 2016, como se ilustra en la figura 2.8, la marca de vehículo con mayor porcentaje de contaminación fue Kia. De la misma manera, con base a dichos resultados el modelo de vehículo que se seleccionó fue Kia Pregio (años entre 2002 y 2010).

Con el modelo seleccionado, se consiguió un vehículo de similares características. En este caso el automotor fue un Kia Pregio año 2005, cuya ficha técnica se encuentran en el Anexo V.

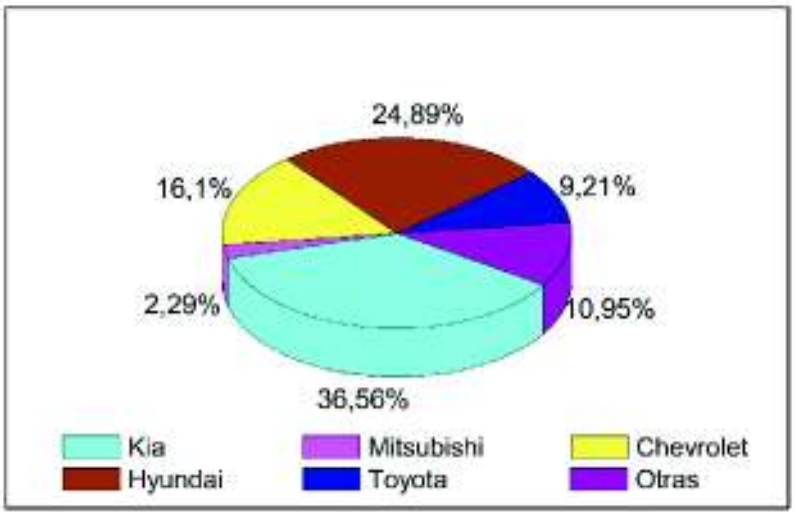


Figura 2.8. Marcas contaminantes de vehículos diésel en el DMQ para el año 2016.
(Fuente: Propia, 2017)

2.4. Desarrollo del protocolo de pruebas para medición de gases contaminantes en el ciclo de conducción IM-240

El presente protocolo de pruebas para la medición de gases contaminantes en el ciclo de conducción IM-240 se desarrolló con la finalidad de evaluar la cantidad de NO_x y material particulado que emite el vehículo Kía Pregio año 2005 con el uso de refrigerante comercial y el uso del nanorefrigerante preparado, para lo cual se ha definido el número de ensayos a realizarse, equipo utilizado y procedimiento de toma de datos.

2.4.1. Cálculo de número de ensayos a ejecutarse

Dado que para la ejecución de pruebas se pueden realizar n número de ensayos, se empleó la ecuación de muestras infinitas (ecuación 2.2); para determinar la cantidad de medidas a ejecutarse, se consideró un porcentaje de confianza y error aceptables del 95% (valor de z: 1,96) y 9% respectivamente de acuerdo a Triola [83], siendo éstos los valores los más utilizados. De la misma manera, se estimó que al no existir antecedentes sobre la presente investigación se empleó una variabilidad de 0,99, evitando incurrir en gastos innecesarios de recursos.

$$n = \frac{z^2 * \rho * (1-\rho)}{\varepsilon^2} \qquad (2.2)$$

Donde:

n: Tamaño de la muestra

z : Porcentaje de confianza (1,96)

ρ : Variabilidad positiva (0,99)

ε: Porcentaje de error (0,09)

Reemplazando los valores en la ecuación 2.1 se obtiene el siguiente cálculo:

$$n = \frac{1{,}96^2 * 0{,}99 * (1 - 0{,}99)}{0{,}09^2} = 4{,}7 \cong 5$$

Así, se realizaron cinco pruebas bajo las condiciones normales de operación del vehículo, es decir con el refrigerante comercial y cinco pruebas utilizando el nanorefrigerante.

2.4.2. Equipos utilizados en la ejecución de pruebas para medición de NO_x y material particulado

Los equipos utilizados para la prueba dinámica del ciclo de conducción IM-240 fueron los que se mencionan a continuación.

Analizador de gases

Dinamómetro LPS 3000

Caja de interfaces

Sonda de temperatura de aceite

Ventilador de aire refrigerante

Extractor de gases

Medidor de material particulado

2.4.2.1. Analizador de gases

Este equipo (ver figura 2.9) permite medir las emisiones de gases de CO, CO_2, O_2, HC y NO_x en tiempo real de funcionamiento del vehículo durante el tiempo de duración del ciclo de conducción. Las características técnicas del equipo se muestran en la tabla III.6 del anexo III.

Figura 2.9. Analizador de gases on board.
(Fuente: Propia, 2017)

2.4.2.2. Dinamómetro LPS 3000

El LPS 3000 permite ejecutar distintas pruebas para simular un perfil de velocidad en función del tiempo como por ejemplo el ciclo IM-240. Ver figura 2.10.

Figura 2.10. Equipo LPS 3000.
(Fuente: Propia, 2017)

Las características técnicas de este equipo se muestran en la tabla III.7 del anexo III.

2.4.2.3. Caja de interfaces

La caja de interfaces que se observa en la figura 2.11, registra el número de revoluciones y temperatura de aceite del motor, este proceso de registro se realiza mediante módulos.

Figura 2.11. Caja de interfaces.
(Fuente: Propia, 2017)

2.4.2.4. Sonda de temperatura de aceite

Esta sonda sirve para determinar y controlar la temperatura del aceite durante la prueba ya que las pruebas de marcha en el LPS 3000 deben efectuarse únicamente cuando el motor haya alcanzado la temperatura de servicio. La sonda se visualiza en la figura 2.12.

Figura 2.12. Sonda de temperatura de aceite.
(Fuente: Propia, 2017)

2.4.2.5. Ventilador de aire refrigerante

La finalidad del equipo es mantener la temperatura de servicio del motor lo más estable posible evitando un recalentamiento del mismo durante la ejecución de las pruebas, de tal forma que se pueda ejecutar el siguiente ensayo con las condiciones iniciales y de manera segura. Ver figura 2.13.

Figura 2.13. Ventilador de aire refrigerante.
(Fuente: Propia, 2017)

2.4.2.6. Extractor de gases

La principal función del equipo (ver figura 2.14) es evacuar los gases de combustión del motor, desde la toma final del tubo de escape hacia el medio exterior, garantizando que el lugar de trabajo no se encuentre contaminado.

Figura 2.14. Extractor de gases.
(Fuente: Propia, 2017)

2.4.2.7. Medidor de material particulado fino

El equipo utilizado para medir el material particulado es marca MAHA modelo MPM-4M (ver figura 2.15), este equipo realiza mediciones incesantes de la concentración del material particulado ($PM_{2,5}$), mismas que se ven reflejadas en forma gráfica en mg/m^3 en función del tiempo mediante una interface al computador. Las características técnicas del equipo se encuentran disponibles en la tabla III.8 del anexo III.

Figura 2.15. Medidor de partículas MPM-4M.
(Fuente: [84])

2.4.3. Procedimiento de análisis de emisiones de gases dinámicos con el ciclo IM-240

Previamente verificando que el vehículo se encuentre en condiciones normales de operación, sin fugas en cañerías de combustibles, líquido refrigerante entre otros, de la misma manera se inspeccionó que el nivel de combustible sea el adecuado, la presión de los neumáticos se encuentre dentro de los niveles permitidos. Verificados todos estos parámetros se aplicó el siguiente procedimiento:

1. Posicionar las ruedas motrices del vehículo sobre los rodillos del dinamómetro de forma recta en dirección de marcha.
2. Fijar el vehículo al dinamómetro por medio de correas de tensión al gancho de remolque o al eje trasero del automotor.
3. Colocar la sonda de temperatura de aceite en el lugar donde se encuentra la varilla del nivel de lubricante del motor.
4. Instalar la sonda de gases al final del tubo de escape, y la sonda de medición de material particulado.
5. Poner el extractor de gases a la salida de las emisiones contaminantes del motor y posicionar el ventilador de aire refrigerante delante del radiador del vehículo.
6. Activar el analizador de gases en el equipo on board, y el analizador de material particulado.
7. Seleccionar y cargar el ciclo de ruta IM-240 en el equipo LPS 3000. Antes de iniciar la medición de gases, llevar el motor a la temperatura normal de funcionamiento.
8. Dar inicio al ciclo IM-240, medición de gases en el equipo on board, medidor de material particulado.

9. Conducir el vehículo siguiendo la ruta preestablecida por el equipo, procurando estar dentro de la zona de tolerancia de la prueba y evitar que esta sea cancelada por el equipo.
10. Parar el ciclo IM-240 conjuntamente con el vehículo y registrar las mediciones de gases contaminantes producidas en el ciclo.
11. Encender el ventilador de aire de refrigerante hasta llegar a la temperatura inicial de trabajo del motor.
12. Repetir 4 veces el procedimiento desde el numeral 6 hasta el 11.
13. Purgar el sistema de refrigeración y reemplazar el refrigerante comercial por el nanorefrigerante.
14. Realizar las cinco pruebas de medición de gases y temperatura desde el numeral 6 hasta el 11.
15. Desinstalar los equipos.

2.5. Desarrollo del protocolo de pruebas para medición de temperatura durante el ciclo de conducción IM-240

Para la medición de temperatura de gases de escape del motor, así como la temperatura de ingreso y de salida del refrigerante al motor, se desarrolló un sistema de adquisición de datos, el cual consiste en receptar mediante sensores de temperatura los valores censados, mostrarlos en tiempo real y migrarlos a una tabla en Excel durante el tiempo de duración del ciclo. El software utilizado es mediante programación en arduino con apoyo de visual estudio. La adquisición de dichos datos servirá para una evaluación más detallada del comportamiento del motor antes y durante el uso del nanorefrigerante.

2.5.1. Equipos utilizados para la medición de datos de temperatura

El equipo utilizado para medir los valores de temperatura se detalla a continuación:

2.5.1.1. Sensores de temperatura tipo J

Los termistores tipo J se los utilizó para la medición de temperatura a la salida y al ingreso del refrigerante al motor, durante el tiempo de duración del ciclo de conducción IM-240. Ver figura 2.16. Las características de los sensores se describen en la tabla III.9 del anexo III.

Figura 2.16. Sensores de temperatura tipo J.
(Fuente: Adaptación de la referencia [85])

2.5.1.2. Sensor de temperatura tipo K

Para el registro de temperatura de salida de gases de escape se optó por el uso del sensor de temperatura tipo K, a diferencia del tipo J, este sensor soporta valores de temperaturas más elevadas. El sensor tipo K se puede observar en la figura 2.17 y sus características técnicas en la tabla III.10 del anexo III.

Figura 2.17. Sensores de temperatura tipo K.
(Fuente: Adaptación de la referencia [86])

2.5.2. Instrumentación del vehículo de pruebas

1. Reemplazar las cañerías de ingreso y salida del refrigerante al motor respectivamente con las cañerías preparadas con los sensores de temperatura tipo J. Ver figuras 2.18 y 2.19.

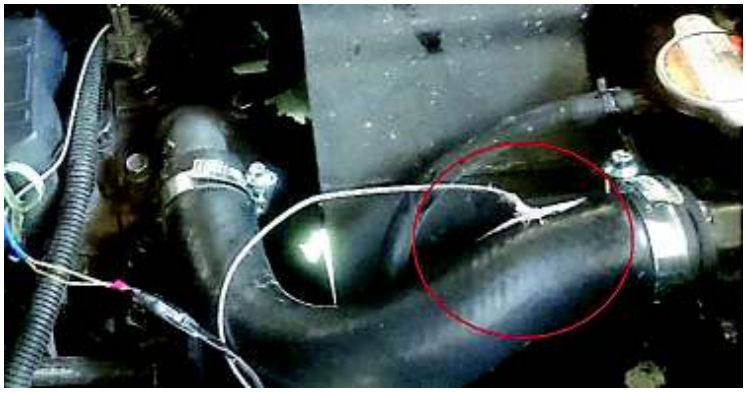


Figura 2.18. Ubicación del sensor a la entrada del refrigerante al motor.
(Fuente: Propia, 2017)

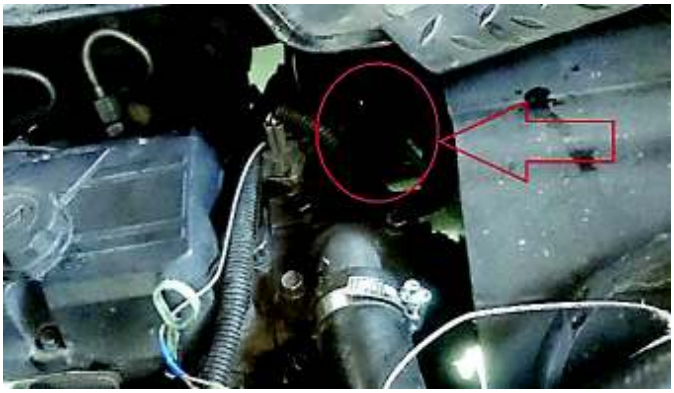


Figura 2.19. Ubicación del sensor a la salida del refrigerante del motor.
(Fuente: Propia, 2017)

2. Colocar el tercer sensor tipo K en el colector de gases de escape, la disposición del sensor en el vehículo se muestra en la figura 2.20.

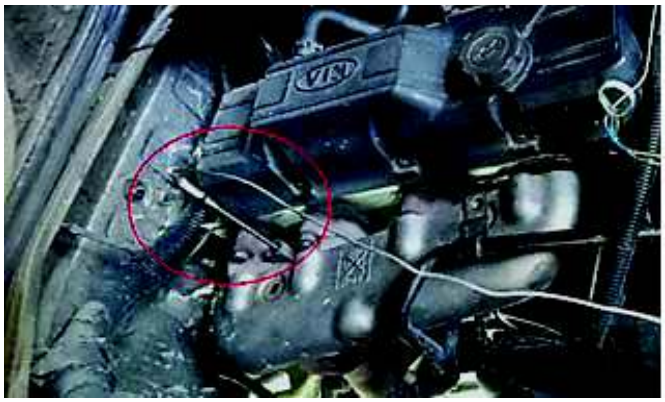


Figura 2.20. Ubicación del sensor en el colector de gases de escape del motor.
(Fuente: Propia, 2017)

2.5.3. Procedimiento de adquisición de datos de temperatura durante ejecución del ciclo IM-240

Para la toma de datos de temperatura de la salida de gases de escape del motor, salida e ingreso del refrigerante al motor, una vez instalados los sensores en los puntos señalados anteriormente, se siguió el siguiente procedimiento:

1. Conectar la caja de interfaces de los sensores al computador.
2. Abrir el software en el programa de visual estudio, verificar el funcionamiento del mismo.
3. El momento en que se inicia el ciclo, simultáneamente se inicia la toma de datos de temperatura.
4. Visualizar los datos de temperatura en el programa, una vez finalizada la prueba,
5. Migrar los datos a Excel mediante la opción de finalizar, los datos obtenidos se guardan automáticamente en una hoja de Excel durante cada medio segundo.
6. Finalizar la toma de datos con la opción cerrar y desconectar la caja de interfaces del computador.

3. PRUEBAS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

En este capítulo se sintetizan los resultados de la elaboración del nanorefrigerante y de la caracterización de cada muestra elaborada hasta obtener el nanofluido adecuado. Se indican los resultados de las pruebas realizadas de medición de gases de escape con uso del refrigerante comercial y con el nanorefrigerante en el ciclo de conducción IM-240, así como el comportamiento de la temperatura a la salida del colector de gases de escape del motor, el ingreso del refrigerante al motor y de la salida del refrigerante del motor. Además se analizan los resultados obtenidos de los gases de escape comparándolos con el estudio de uso de nanopartículas de dióxido de titanio en el sistema de refrigeración ejecutado en un vehículo a gasolina, el resultado obtenido de material particulado en el vehículo a diésel ensayado, así como, las ventajas y desventajas del uso de nanopartículas de titania en el sistema de refrigeración de un motor de ciclo diésel.

3.1. Resultados y discusión del nanorefrigerante

Para la elaboración del nanorefrigerante, se ejecutaron varios ensayos con diferentes valores de pH que oscilan entre ~ 8 y 11 (recomendados por Muthusamy et al [66] y Vakili et al [67] respectivamente en sus estudios), ya que para este rango de pH se garantiza que se está trabajando lejos del punto isoeléctrico de las partículas de TiO_2, como fue indicando anteriormente en la sección 2.1 del presente trabajo. Cada una de las muestras de nanorefrigerante preparadas fue caracterizada por DLS y ensayos de sedimentación.

De acuerdo al procedimiento establecido anteriormente se realizaron los cálculos la masa de TiO_2 necesaria para obtener una concentración de 0,5 % v/v (valor seleccionado con base en la literatura [65]–[70]), los mismos que se detallan a continuación:

Reemplazando los valores de densidad del fluido, etc., en la ecuación 2.1, la cantidad de nanopartículas de TiO_2 para preparar 10 litros de nanorefrigerante es la siguiente:

$$m_{TiO_2} = \frac{0{,}005}{(1 - 0{,}005)} * 10000 \cancel{ml} * 4{,}26 \frac{g}{\cancel{ml}}$$

$$m_{TiO_2} = 214{,}07\ g$$

Para determinar el porcentaje en masa de TiO_2 que corresponde a un porcentaje de 0.5 % v/v, se realizó el siguiente cálculo:

$$m_{fluido} = \rho_{fluido} * V_{fluido}$$

$$m_{Fluido} = 1{,}1493 \frac{g}{\cancel{cm^3}} * 10000 \ \cancel{cm^3}$$

$$m_{Fluido} = 11.493 \ g$$

Por lo tanto $\%m_{Fluido}$ se obtiene del siguiente cálculo:

$$\%m_{Fluido} = \frac{m_{TiO_2}}{\left(m_{TiO_2} + m_{Fluido}\right)} * 100\%$$

Reemplazando los valores se obtiene

$$\%m_{Fluido} = \frac{214{,}07\cancel{g}}{(214{,}07 + 11.493)\cancel{g}} * 100$$

$$\%m_{Fluido} = 1{,}828$$

3.1.1. **Resultados de la elaboración y caracterización del nanorefrigerante**

Para identificar las muestras preparadas de nanorefrigerante con nanopartículas de titania para diferentes valores de pH, fue necesario que, una vez terminada su preparación las muestras sean etiquetadas utilizando la siguiente nomenclatura:

NF – XX – XY – Z (P/C) '/''

Donde:

NF: nanofluido

XX: valor de porcentaje de concentración del nanofluido en volumen (v/v)

XY: valor del pH

Z: tiempo en horas de sonicación

(P/C): tipo de sonicación por pulso "P" o continuo "C"

'/'': referencia el tipo de sonda utilizada y la frecuencia de sonicación (' Sonda utilizada de 20 mm a una amplitud de 75 KHz) y ('' Sonda utilizada de 26 mm a una amplitud de 24 KHz).

Una vez identificadas las muestras, se estudiaron las variables que influyen en la elaboración de un nanofluido, entre las cuales se encuentran el pH, la sonicación (tipo de sonda y tipo de sonicación) y tiempo de agitación magnética inicial.

3.1.1.1. Efecto del pH

Como se había indicado, es importante evitar que el valor del pH se aproxime al punto isoeléctrico para reducir la tendencia de aglomeración de las partículas. Debido a que el punto isoeléctrico de nanopartículas de TiO_2 en fluidos a base de etilenglicol-agua 50:50 v/v es 4,7 [40], se prepararon muestras de nanorefrigerante para los valores de pH indicados en la tabla 3.1, que garantizará la estabilidad de las nanopartículas.

Tabla 3.1. Resultados de la preparación de nanofluido utilizando una sonda de 20 mm de diámetro, amplitud de 75 KHz y 1h de agitación magnética y una sonda de 26 mm, 24 KHz, 17 h agitación magnética.

		pH	Diámetro efectivo (número) [nm]	PD*	Temp. [° C]	V.S. ** 24 h [ml]	V.S.** 1 semana [ml]	V.S. ** 1 mes [ml]	V.S. ** 2 meses [ml]
Muestras ensayadas	1	NF-0,1-7,51-1C’							
		7,51	80,6	0,291	72	98	21	11	7
	2	NF-0,5-8,25-1C’							
		8,25	14,5	0,373	78	98	79	44	37
	3	NF-0,5-10,80-1P’							
		10,80	10,4	0,362	58	98	81	41	30
	4	NF-0,5-11,67-1C”							
		11,67	8,3	0,344	53	91	79	33	29
	5	NF-0,5-8,50-5C”							
		8,50	10,2	0,364	43	97,5	47	39	-
	6	NF-0,5-9,05-1C”							
		9,05	12,3	0,385	43	97,5	41	32	-
	7	NF-0,5-9,12-1C”							
		9,12	13,9	0,344	42	98	49	41	-
	8	NF-0,5-9,26-5C”							
		9,26	10	0,359	42	97	37	28	-

(Fuente: Propia, 2017)
* PD hace referencia al valor de polidispersidad.
** V.S. hace referencia a valor no sedimentado.
’ Sonda utilizada de 20 mm a una amplitud de 75 KHz.
” Sonda utilizada de 26 mm a una amplitud de 24 KHz.

Los resultados de los ensayos de sedimentación de los nanofluidos preparados después de transcurrido un mes se presentan en la figura 3.1.

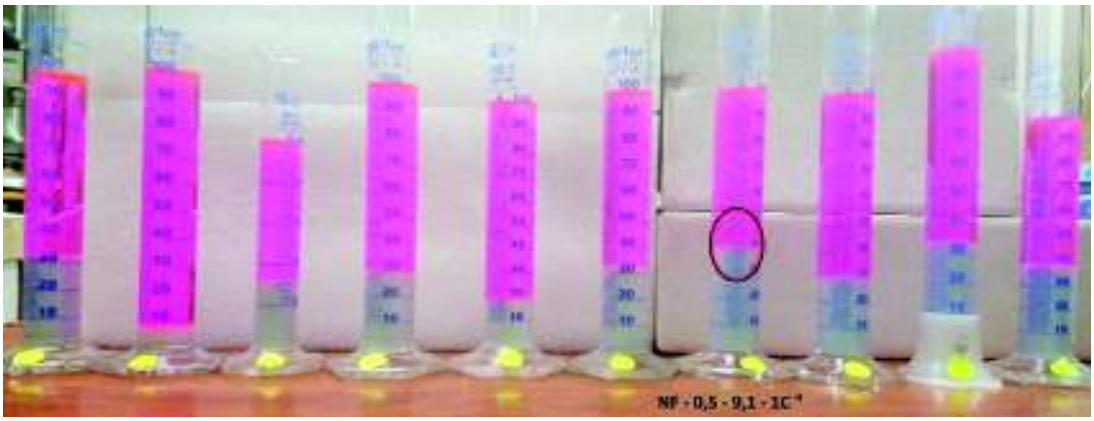


Figura 3.1. Valores de sedimentación de las muestras de nanorefrigerante transcurrido un mes.
(Fuente: Propia, 2017)

Por lo tanto, la muestra que presentó menor sedimentación después de un mes, fue la muestra NF – 0,5 – 9,1 – 1C que se aprecia en la figura 3.1, misma que corresponde a un pH de 9,1. Considerando los resultados del análisis de DLS, el tamaño del diámetro efectivo corresponde a 13,9 nm, garantizando la formación de un nanofluido. Este valor no es el menor de todos los obtenidos y fue medido después de preparar el fluido. Sin embargo, el ensayo de sedimentación refleja la estabilidad del nanofluido a largo plazo. Por esta razón, el nanofluido NF – 0,5 – 9,1 – 1C fue seleccionado como óptimo.

En el Anexo VI, se detallan los valores de sedimentación de todas las muestras ensayadas, el valor de pH y la codificación individual.

Los valores de sedimentación en función de los valores de pH a los que fueron preparadas de las muestras de nanorefrigerante están presentados en la figura 3.2, evidenciando que la muestra con un pH de ~ 9, tiene la menor sedimentación en varios periodos de tiempo: 24 horas, 1 semana y 1 mes.

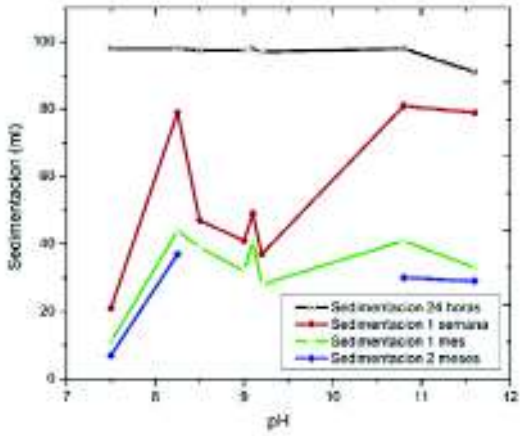


Figura 3.2. Resultados del pH vs sedimentación.
(Fuente: Propia, 2018)

Los valores de diámetro efectivo y polidispersidad que se encuentran en el anexo VII están presentados en las figuras 3.3 y 3.4 en función del pH, respectivamente.

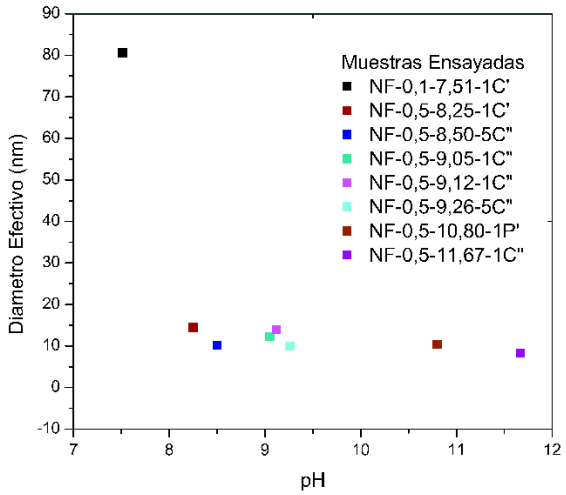


Figura 3.3. Resultados de pH vs. diámetro efectivo.
(Fuente: Propia, 2018)

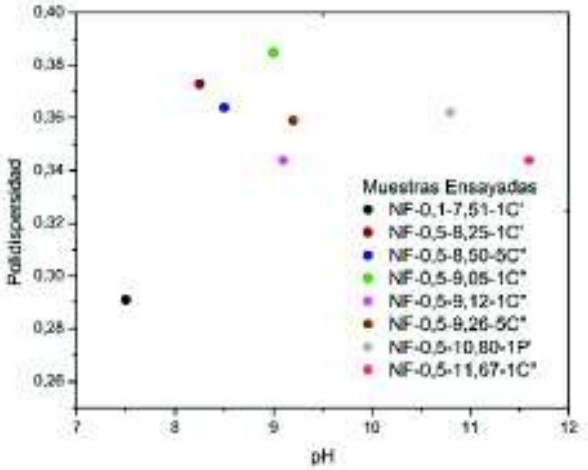


Figura 3.4. Resultados de pH vs. polidispersidad.
(Fuente: Propia, 2018)

De acuerdo a lo estudiado previamente, la estabilidad del nanofluido es mejor cuando mayor sea la diferencia entre el pH del medio y el pH correspondiente al punto isoeléctrico del sistema (IEP 7 [41]). En el caso de las muestras que tienen un valor de pH diferente a 9,1, la estabilidad del fluido es baja por lo que la sedimentación de las nanopartículas de TiO_2 se produce de manera acelerada, diferente a lo que ocurre cuando se ajusta al pH a dicho valor. Un caso crítico es aquel cuando el pH 7,5, en el cual el nanofluido presentó el mayor diámetro efectivo. En relación a la polidispersidad los valores obtenidos se encuentran comprendidos entre 0,291 y 0,385, mediante el índice de polidispersidad (PDI, por sus siglas en inglés) que establece que, la dispersión de las nanopartículas en el fluido base debe estar en el rango medio de (0,08 a 0,7) [87], definiendo que las muestras ensayadas son homogéneas. Para garantizar la elaboración del nanorefrigerante en una mayor cantidad, se reprodujo la mejor muestra (NF – 0,5 – 9,16 – 1C"), obteniéndose los siguientes resultados para el diámetro efectivo y polidispersidad (ver tabla 3.2).

Tabla 3.2. Resultados de la elaboración de nanofluido utilizando una sonda de 26 mm de diámetro, amplitud de 24 KHz, 17 horas de agitación magnética.

		pH	**Diámetro efectivo (número) [nm]**	**PD***	**Temp. [° C]**	**V.S. ** 24 h [ml]**	**V.S.** 1 semana [ml]**	**V.S. ** 1 mes [ml]**
Muestras ensayadas	1	NF-0,5-9,12-1C-1"						
		9,12	12,5	0,350	25	98,5	37	33
	2	NF-0,5-9,15-1C"						
		9,15	8,6	0,324	46	91	35	33

(Fuente: Propia, 2018)

* PD hace referencia al valor de polidispersidad.
** V.S. hace referencia a valor no sedimentado.
” Sonda utilizada de 26 mm a una amplitud de 24 KHz.
Los gráficos del diámetro efectivo para las muestras se encuentran en el Anexo VII.

3.1.1.2. Efecto de la sonda

Inicialmente, las muestras fueron sonicadas con una sonda de 20 mm de diámetro operando a una amplitud de 75 KHz (muestras: NF-0,1-7,51-1C’, NF-0,5-8,25-1C’ y NF-0,5-10,80-1P’). Esto produjo que al finalizar la sonicación la temperatura del nanorefrigerante sea de 78 °C. Posteriormente se realizó el cambio de sonda para evitar aglomeraciones por elevación de temperatura [88] optando por la sonda de 26 mm de diámetro a una amplitud de 24 KHz como menciona L. Yang et al. [89] en su estudio y empleando un baño de agua durante la sonicación, logrando reducir la temperatura en 53 °C, como se indica en la tabla 3.1 (muestras: NF-0,5-11,67-1C”, NF-0,5-8,50-5C”, NF-0,5-9,05-1C”, NF-0,5-9,12-1C”, NF-0,5-9,26-5C” y NF-0,5-9,15-1C”).

Posteriormente se utilizaron tiempos de sonicación de una y cinco horas logrando estabilizar la temperatura ~ 43 °C (como se indica en la tabla 3.1). Syam Sundar et al. [90] establece que mientras mayor es el tiempo de sonicación, las fuerzas repulsivas entre las nanopartículas disminuyen y se reduce la estabilidad de los nanofluidos, por tal motivo el tiempo adecuado para la sonicación de las muestras es de 1h.

El tipo de sonicación continua fue seleccionado debido que los nanofluidos elaborados por esta técnica son más estables en comparación con los elaborados mediante sonicación por pulsos como indica Tajik et al. [91].

3.1.1.3. Efecto del tiempo de agitación magnética

El tiempo de agitación magnética inicialmente fue de una hora (muestras: NF-0,1-7,51-1C’, NF-0,5-8,25-1C’ y NF-0,5-10,8-1P’, NF-0,5-11,67-1C”, NF-0,5-9,05-1C”, NF-0,5-9,12-1C” y NF-0,5-9,15-1C”). Sin embargo, los nanofluidos presentaban una pronta sedimentación, por lo que se decidió incrementar el tiempo de agitación como lo indican Silambrasian et al.[49]. De esta forma, se estableció un tiempo de agitación magnética de 17 h por facilidad y condiciones operacionales (muestras: NF-0,5-10,8-1P’, NF-0,5-11,67-1C”, NF- 0,5-8,50-5C”, NF-0,5-9,05-1C”, NF-0,5-9,12-1C”, NF-0,5-9,26-5C”, NF-0,5-9,12-1C-1” y NF-0,5-9,15-1C”, ver anexo VI donde se detallan las pruebas de sedimentación de estas muestras).También se estableció una velocidad de agitación de 1500 rpm. De esta manera, se disminuyó considerablemente el tiempo de sedimentación del nanorefrigerante al comparar las muestras dentro de las primeras 24 horas, una semana, un mes y en algunos casos dos meses.

Con base en los resultados obtenidos, se determinó que el nanorefrigerante elaborado y estabilizado a un pH de 9,1 (muestra NF-0,5-9,12-1C") es el que reúne las mejores condiciones para reproducir la cantidad necesaria para ejecutar las pruebas de emisiones contaminantes.

En la tabla 3.3 se sintetizan los parámetros óptimos para la elaboración del nanorefrigerante

Tabla 3.3. Parámetros óptimos para elaboración del nanorefrigerante.

Parámetro *	Valor
Fluido base	Refrigerante comercial G12 ++
Concentración de nanopartículas TiO_2	0,5% v/v
Valor de pH	9,12
Tamaño de sonda para ultrasonido	26 mm
Amplitud de sonicación	24 KHz
Tipo de sonicación	Continua
Tiempo de sonicación	1 hora
Tiempo de agitación magnética	17 horas

(Fuente: Propia, 2018)
*Los parámetros descritos, corresponden a una cantidad de 250 ml de nanorefrigerante.

Es importante indicar que la muestra de nanorefrigerante óptima, presentó el mismo tamaño de partícula después de dos meses, ya que la muestra fue nuevamente homogenizada con agitación mecánica (muestra NF-0,5-9,12-1C-1" de la tabla 3.2) y analizada nuevamente por DLS (ver resultado en el anexo VII). Con ello, se demuestra la estabilidad del nanofluido. De hecho, al momento de utilizarlo en el vehículo de prueba se puede garantizar poca sedimentación en el sistema de refrigeración, puesto que dichos automotores no se mantienen activos durante dos días (correspondientes al fin de semana o en casos extremos de reparación) o un día por motivos de mantenimiento preventivo.

Con el objetivo de verificar la influencia de la composición del refrigerante en la estabilidad de las nanopartículas, se utilizó etilenglicol-agua en una proporción de 60%:40% v/v, con los parámetros establecidos en la tabla 3.3, obteniendo como resultado que al transcurrir dos meses, la muestra no se sedimentó, tal como se aprecia en la figura 3.5.

Figura 3.5. Muestra elaborada con fluido base etilenglicol-agua 60%:40% v/v, a) inicio de elaboración, b) dos meses después de la elaboración.
(Fuente: Propia, 2018)

3.2. Comportamiento de emisiones contaminantes y temperatura durante el ciclo IM-240

La ejecución de las pruebas en el vehículo previamente seleccionado se desarrolló con el uso del refrigerante comercial y del nanorefrigerante (NF – 0,5 – 9,12 – 1C"), en el cual durante el ciclo de conducción IM-240 se pudieron evaluar las gráficas del comportamiento de los gases contaminantes y temperatura de gases de escape así como de entrada y salida del refrigerante del motor.

3.2.1. Comportamiento de los gases de escape durante el ciclo IM-240

En la figura 3.6 se muestra como el CO_2 varía durante el ciclo IM-240 con el uso de refrigerante comercial y nanorefrigerante, la conducta del CO se puede observar en la figura 3.7, mientras que el comportamiento de los HC se presenta en la figura 3.8; para el comportamiento del O_2 se grafica la curva como se indica en la figura 3.9. Las curvas características del comportamiento de las muestras obtenidas durante el ciclo IM-240, para las emisiones de NO_X con y sin uso de nanorefrigerante se observan en la figura 3.10. A continuación, la variación del PM se presenta en la figura 3.11 durante el ciclo IM-240.

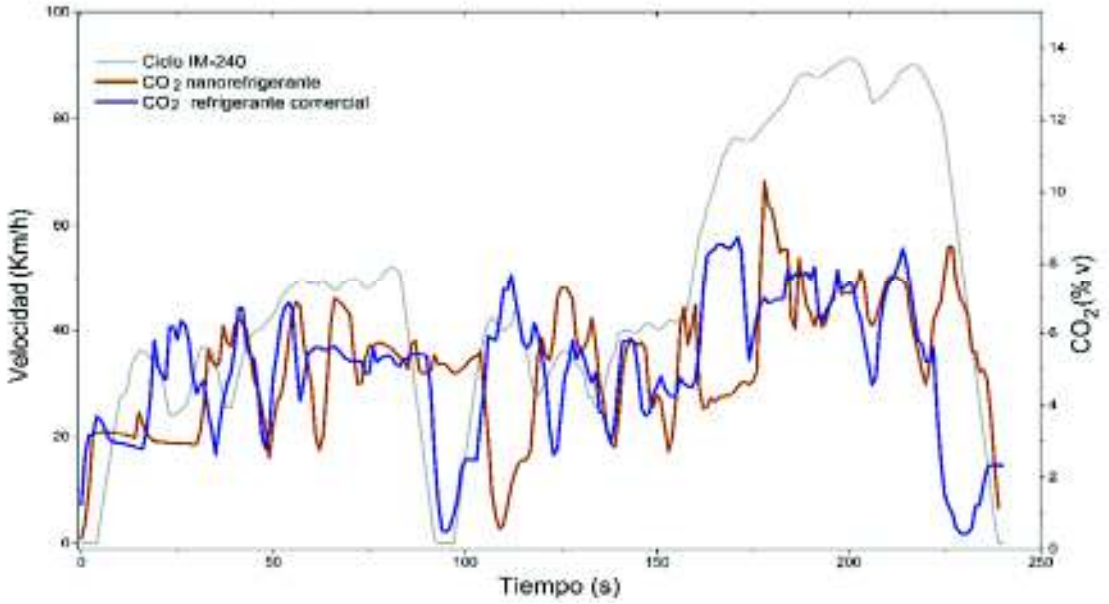


Figura 3.6. Comportamiento de CO_2 con el uso de refrigerante comercial vs. nanorefrigerante (NF – 0,5 – 9,12 – 1C") durante el ciclo de conducción IM-240.
(Fuente: Propia, 2018)

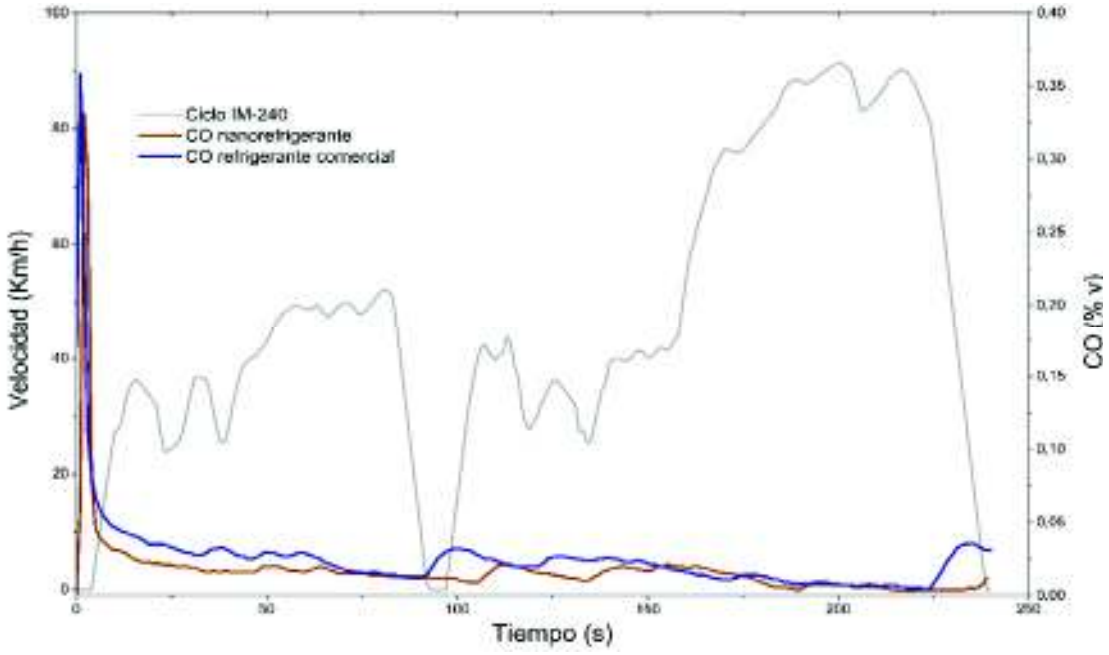


Figura 3.7. Comportamiento de CO con el uso de refrigerante comercial vs. nanorefrigerante (NF – 0,5 – 9,12 – 1C") durante el ciclo de conducción IM-240.
(Fuente: Propia, 2018)

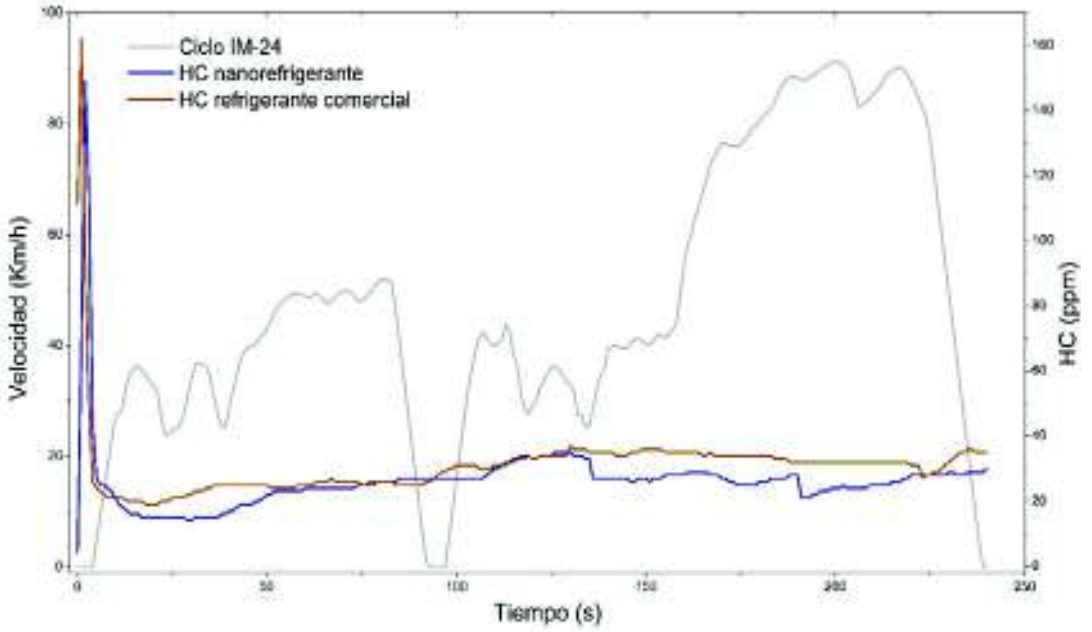


Figura 3.8. Comportamiento de HC con el uso de refrigerante comercial vs. nanorefrigerante (NF – 0,5 – 9,12 – 1C") durante el ciclo de conducción IM-240.
(Fuente: Propia, 2018)

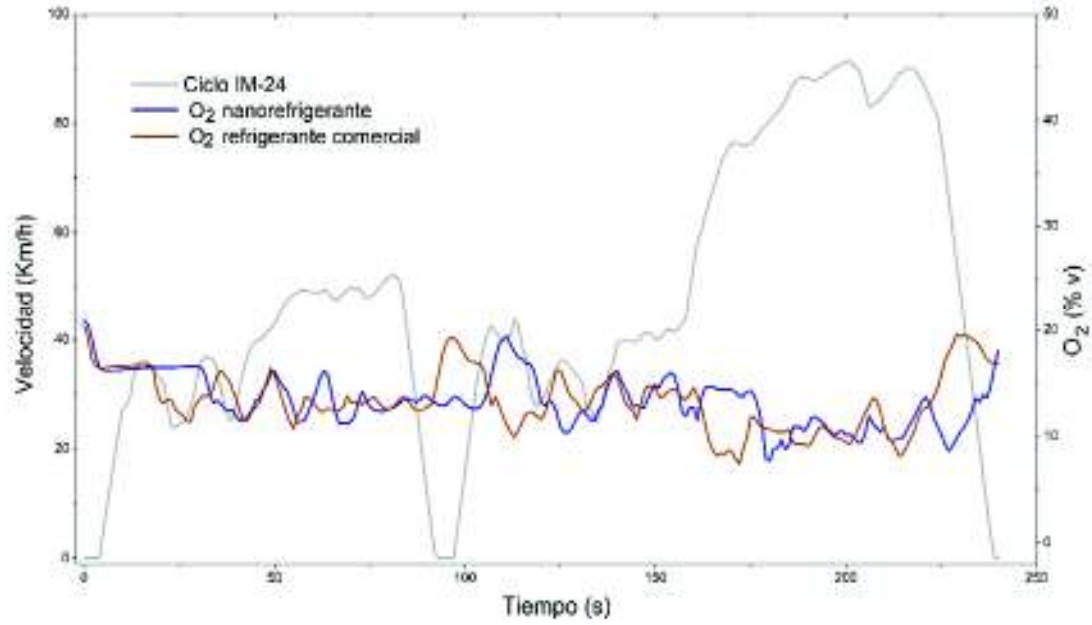


Figura 3.9. Comportamiento de O_2 con el uso de refrigerante comercial vs. nanorefrigerante (NF – 0,5 – 9,12 – 1C") durante el ciclo de conducción IM-240.
(Fuente: Propia, 2018)

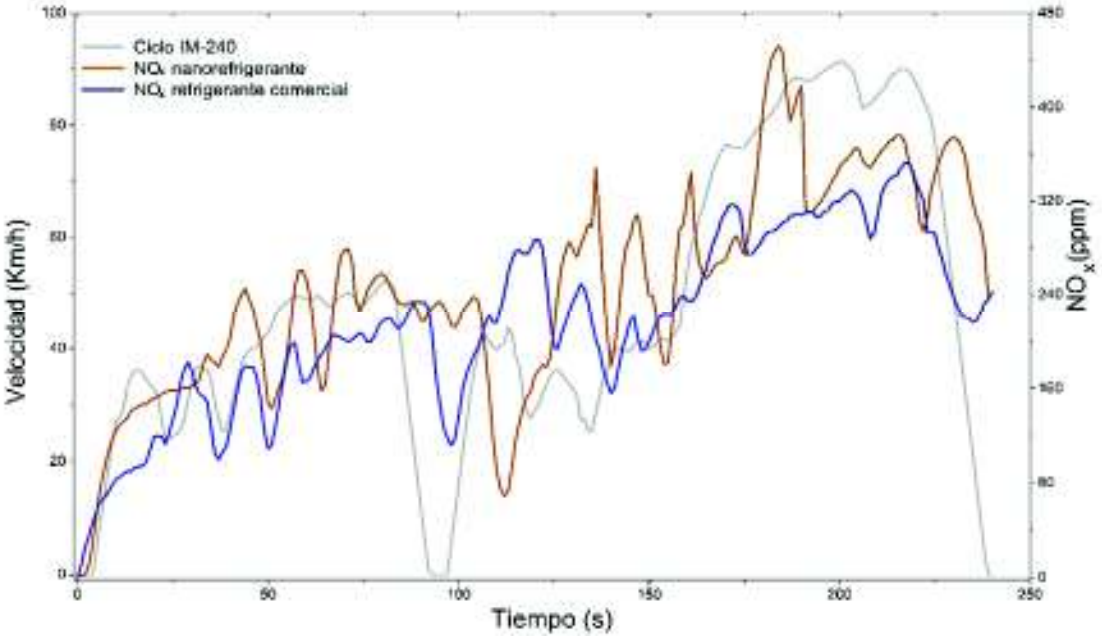


Figura 3.10. Comportamiento de NO_x con el uso de refrigerante comercial vs. nanorefrigerante (NF – 0,5 – 9,12 – 1C") durante el ciclo de conducción IM-240.
(Fuente: Propia, 2018)

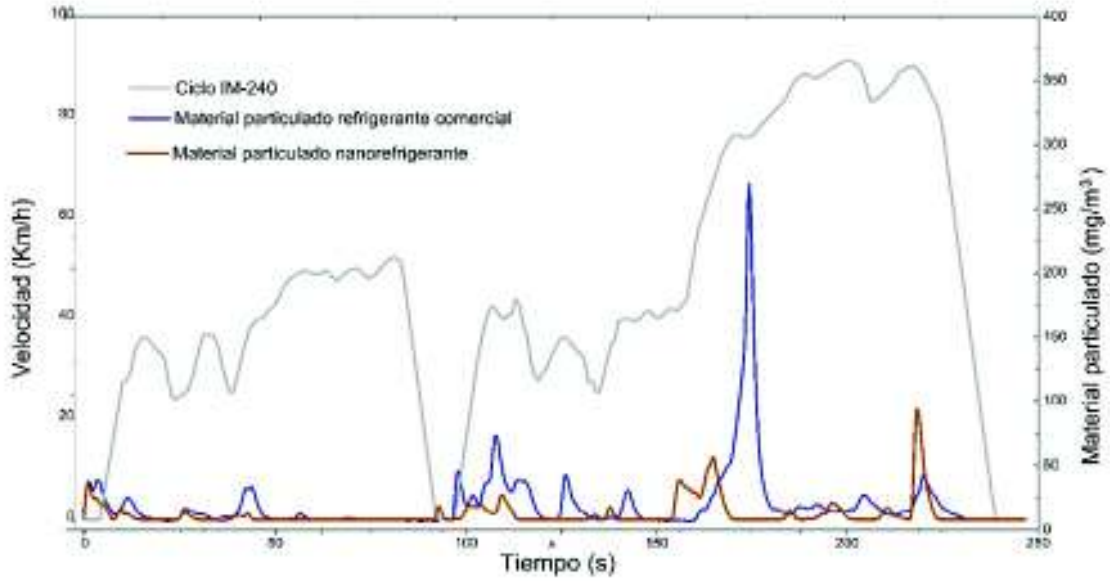


Figura 3.11. Comportamiento de PM con el uso de refrigerante comercial vs. nanorefrigerante (NF – 0,5 – 9,12 – 1C") durante el ciclo de conducción IM-240.
(Fuente: Propia, 2018)

En la figura 3.12 se observa que, el comportamiento del CO después de incrementar mantiene una caída brusca para posteriormente mantenerse constante durante el ciclo IM-240. El CO_2 aumenta los valores pico mientras que el O_2 disminuye y viceversa, sin

embargo los valores de porcentaje en volumen que el O_2 mantiene son más elevados que los de CO y CO_2.

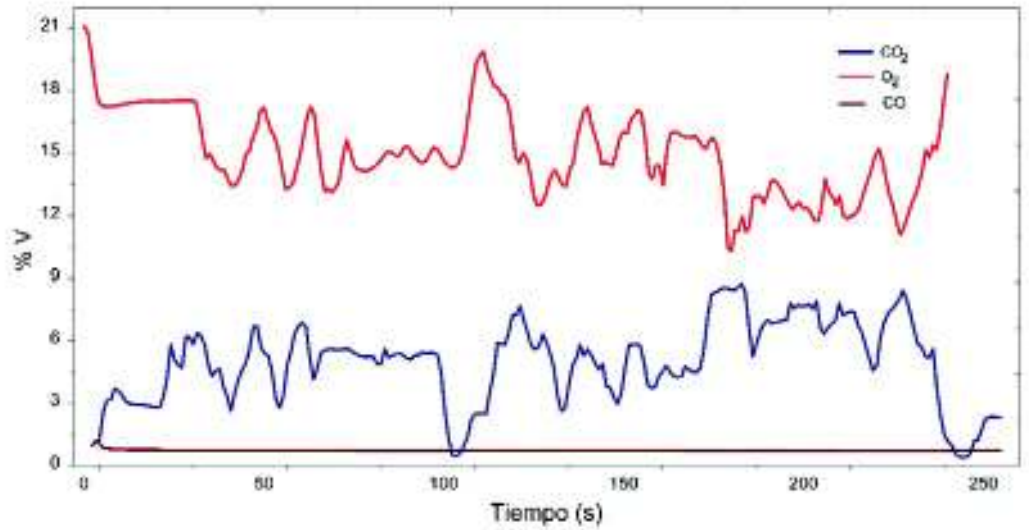


Figura 3.12. Comportamiento de CO, CO_2 y O_2 con el uso de nanorefrigerante (NF – 0,5 – 9,12 – 1C") durante el ciclo de conducción IM-240.
(Fuente: Propia, 2018)

El comportamiento de los NO_x y HC que se indican en la figura 3.13, muestran una tendencia de picos elevados para los NO_x conforme aumenta la carga aplicada durante la prueba de conducción, mientras que para el HC, luego de incrementarse a su valor máximo, decrece rápidamente y mantiene posteriormente una tendencia variable durante todo el ciclo, sin llegar al valor pico.

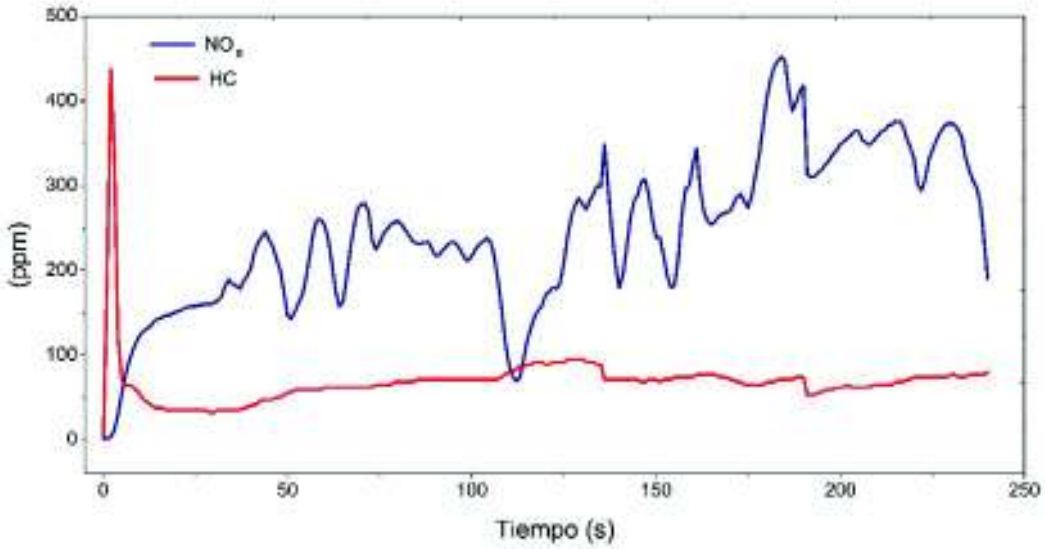


Figura 3.13. Comportamiento de NO_x y HC con el uso de nanorefrigerante (NF – 0,5 – 9,12 – 1C") durante el ciclo de conducción IM-240.
(Fuente: Propia, 2018)

3.2.2. Comportamiento de la temperatura durante el ciclo IM-240

Para el estudio del comportamiento de las emisiones contaminantes, se consideraron los valores de temperatura en el colector de gases de escape, temperatura del refrigerante comercial y nanorefrigerante al ingreso del motor y a la salida del mismo para lo cual se obtuvieron los resultados que se detallan a continuación.

El comportamiento de la temperatura a la salida del colector de gases de escape se muestra en la figura 3.14.

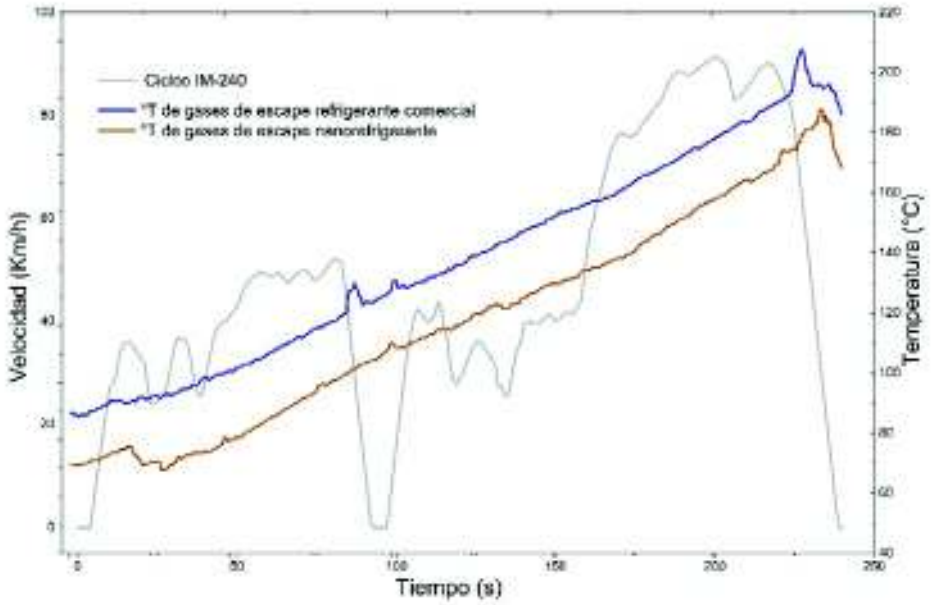


Figura 3.14. Comportamiento de temperatura del colector de gases de escape con el uso de refrigerante comercial vs. nanorefrigerante (NF – 0,5 – 9,12 – 1C") durante el ciclo de conducción IM-240
(Fuente: Propia, 2018)

En la figura 3.15, se observa la variación de la temperatura del refrigerante a la entrada del motor, durante el ciclo de conducción IM-240.

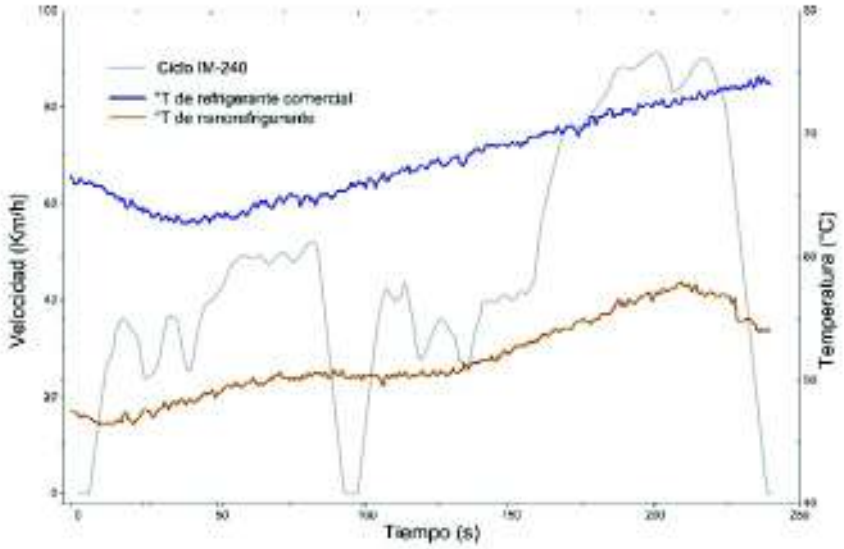


Figura 3.15. Comportamiento de temperatura del refrigerante a la entrada del motor con el uso con el uso de refrigerante comercial vs. nanorefrigerante (NF – 0,5 – 9,12 – 1C") durante el ciclo de conducción IM-240.
(Fuente: Propia, 2018)

El comportamiento de la temperatura del refrigerante a la salida del motor durante el ciclo de conducción IM-240, se aprecia en la figura 3.16.

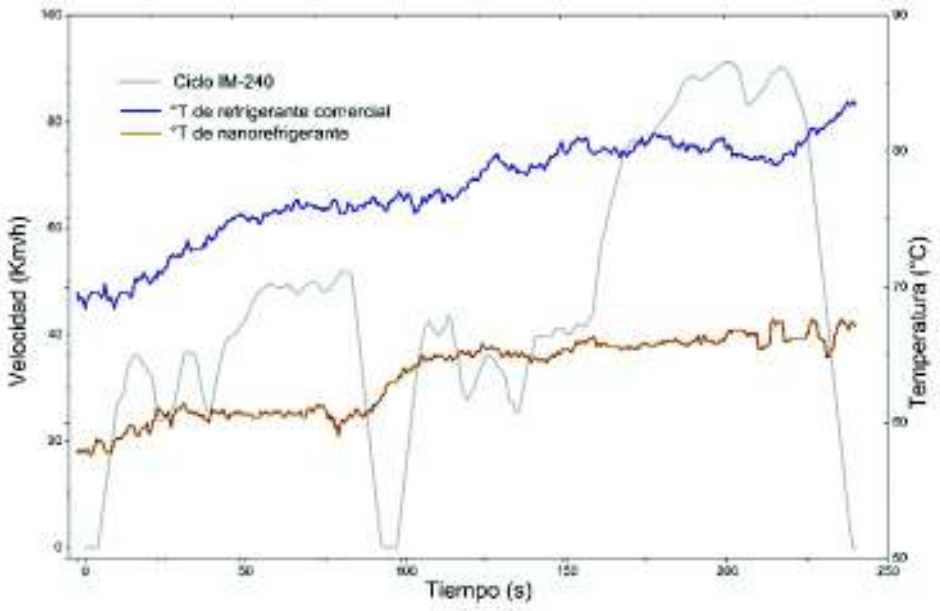


Figura 3.16. Comportamiento de temperatura del refrigerante a la salida del motor con el uso de refrigerante comercial vs. nanorefrigerante (NF – 0,5 – 9,12 – 1C") durante el ciclo de conducción IM-240.
(Fuente: Propia, 2018)

3.3. Valores de gases contaminantes y temperatura durante las pruebas ejecutadas

Los valores de los ensayos ejecutados se presentan a continuación.

3.3.1. Datos de emisiones contaminantes con el uso de refrigerante comercial y nanorefrigerante

Los datos obtenidos para los gases contaminantes y material particulado utilizando el refrigerante comercial se muestran en la tabla 3.4, en la que se puede apreciar los valores para CO, CO_2, HC, O_2, NO_x, PM y el promedio de las pruebas ejecutadas; mientras que en la tabla 3.5 se indican los mismos parámetros con el uso de nanorefrigerante. Estos resultados se encuentran en el Anexo VIII, correspondiente al informe emitido por el CCICEV.

Tabla 3.4. Resultados de gases contaminantes en el ciclo IM-240 utilizando refrigerante comercial.

No. prueba	CO_2 [%v]	CO [%v]	HC [ppm]	O_2 [%v]	NO_X [ppm]	PM [mg/m^3]
prueba 1	5,01	0,021	30,71	13,31	254,03	18,63
prueba 2	5,05	0,022	30,64	13,34	243,59	16,24
prueba 3	5,14	0,024	28,26	13,22	251,09	14,36
prueba 4	5,02	0,020	36,46	13,41	209,20	22,70
prueba 5	4,85	0,025	30,89	13,58	216,39	12,68
promedio	5,01	0,022	31,39	13,37	234,86	16,92

(Fuente: Propia, 2018)

Tabla 3.5. Resultados de gases contaminantes en el ciclo IM-240 utilizando nanorefrigerante.

No. prueba	CO_2 [%v]	CO [%v]	HC [ppm]	O2 [%v]	NO_X [ppm]	PM [mg/m^3]
prueba 1	5,34	0,018	23,64	12,93	245,76	11,52
prueba 2	5,18	0,019	25,79	13,26	221,16	11,78
prueba 3	5,37	0,019	22,97	13,01	245,15	4,32
prueba 4	4,70	0,021	31,09	13,87	228,21	3,30
prueba 5	5,08	0,017	26,28	13,40	228,00	2,78
promedio	5,14	0,019	25,95	13,29	233,66	6,74

(Fuente: Propia, 2018)

3.3.2. Datos de temperatura con el uso del refrigerante comercial y nanorefrigerante

Los valores tabulados para la temperatura del colector de escape, ingreso y salida del motor de refrigerante comercial y nanorefrigerante se presentan en las siguientes tablas. En la tabla 3.6 se indica los valores de los registros de datos de temperatura para los tres puntos de medición y el promedio de los mismos.

Tabla 3.6. Resultados de la temperatura de gases de escape, salida del refrigerante del motor y de ingreso del refrigerante al motor utilizando el refrigerante comercial.

No. de pruebas	T. gases de escape [°C]	T. refrigerante salida del motor [°C]	T. refrigerante ingreso al motor [°C]
prueba 1	151	79	71
prueba 2	137	78	69
prueba 3	137	76	62
prueba 4	150	77	69
prueba 5	140	79	68
promedio	143	78	68

(Fuente: Propia, 2018)

La tabla 3.7 indica los valores de los registros de datos de temperatura para los tres puntos de medición y el promedio de los mismos utilizando el nanorefrigerante.

Tabla 3.7. Resultados de la temperatura de gases de escape, salida del refrigerante del motor y de ingreso del refrigerante al motor utilizando el nanorefrigerante.

No. de pruebas	T. gases de escape [°C]	T. refrigerante salida del motor [°C]	T. refrigerante ingreso al motor [°C]
prueba 1	118	66	51
prueba 2	118	63	54
prueba 3	121	64	49
prueba 4	125	63	56
prueba 5	124	61	49
promedio	121	63	52

(Fuente: Propia, 2018)

3.4. Análisis de resultados obtenidos para NO_x, material particulado y temperatura

Después de realizar las pruebas con refrigerante comercial y nanorefrigerante, se procede a realizar el análisis comparativo de: gases de escape, temperatura y rendimiento total de consumo de combustible durante el ciclo de conducción IM-240.

3.4.1. Análisis de las emisiones contaminantes durante el ciclo de conducción IM-240

El comportamiento del CO_2 durante el ciclo de conducción, aumenta el 2% con el uso del nanorefrigerante, como se indica en la figura 3.17.

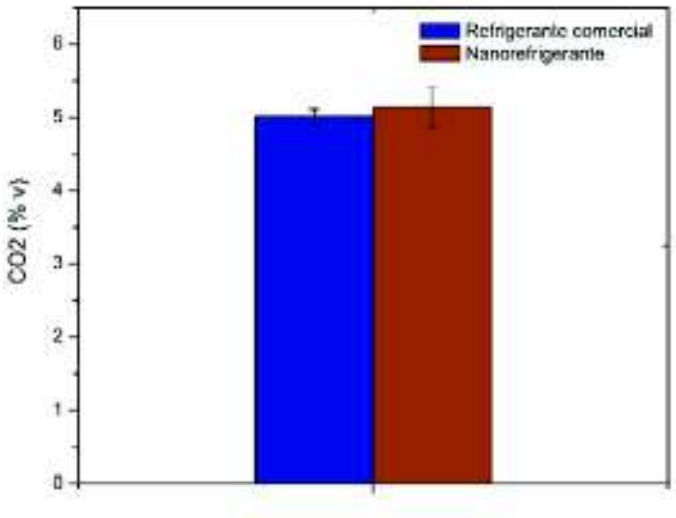


Figura 3.17. Análisis comparativo de CO_2 con el uso de refrigerante comercial vs. nanorefrigerante (NF – 0,5 – 9,12 – 1C") durante el ciclo de conducción IM-240
(Fuente: Propia, 2018)

En la figura 3.18, se determinó que la variación en el comportamiento de CO corresponde al 16% de mejora en relación al uso del refrigerante comercial.

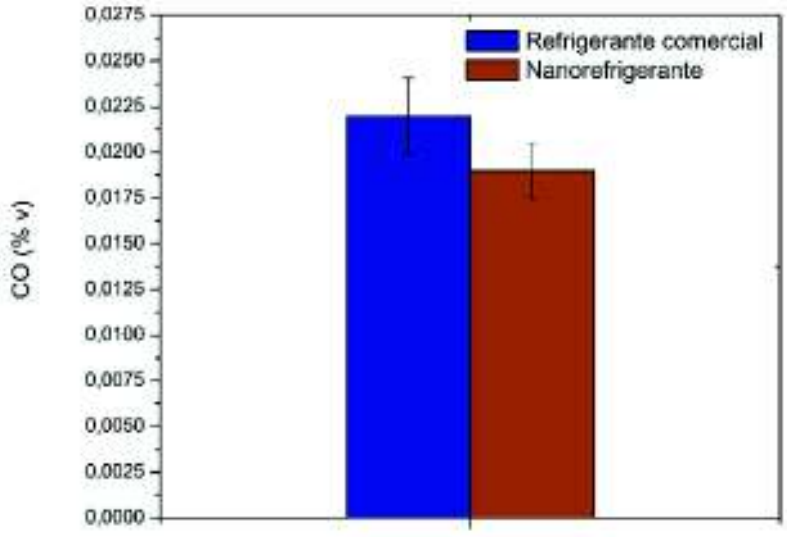


Figura 3.18. Análisis comparativo de CO con el uso de refrigerante comercial vs. nanorefrigerante (NF – 0,5 – 9,12 – 1C") durante el ciclo de conducción IM-240.
(Fuente: Propia, 2018)

El comportamiento del HC, evidencia una reducción del 17% al usar el nanorefrigerante a comparación del refrigerante comercial, este resultado se indica en la figura 3.19.

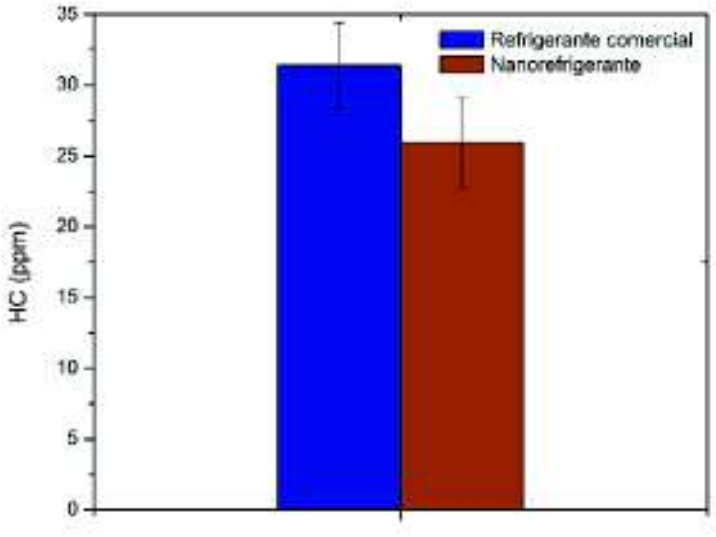


Figura 3.19. Análisis comparativo de HC con el uso de refrigerante comercial vs. nanorefrigerante (NF – 0,5 – 9,12 – 1C") durante el ciclo de conducción IM-240.
(Fuente: Propia, 2018)

En la figura 3.20 se observa, una ligera disminución del 1% en el comportamiento del O_2 al utilizar nanorefrigerante.

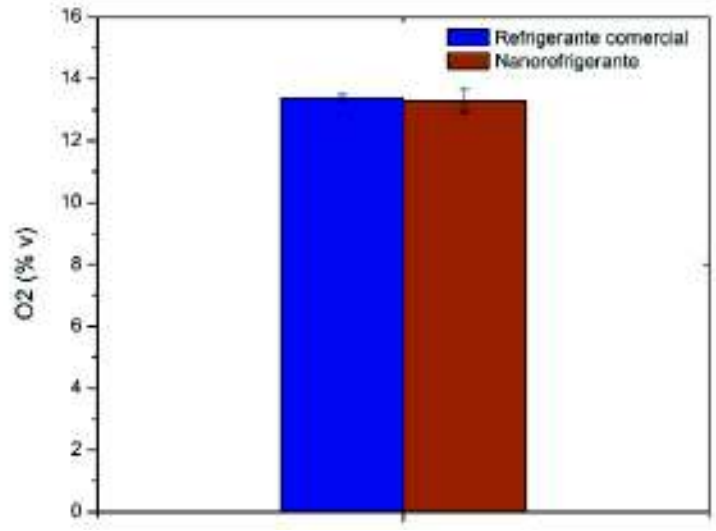


Figura 3.20. Análisis comparativo de O_2 con el uso de refrigerante comercial vs. nanorefrigerante (NF – 0,5 – 9,12 – 1C") durante el ciclo de conducción IM-240
(Fuente: Propia, 2018)

En la figura 3.21 se observa que el porcentaje de NO_x con el uso del nanorefrigerante, no se incrementó en relación al uso del refrigerante comercial.

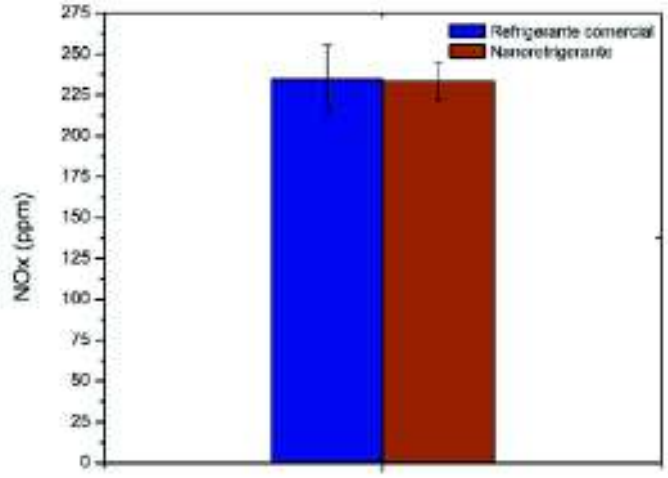


Figura 3.21. Análisis comparativo de NO_X con el uso de refrigerante comercial vs. nanorefrigerante (NF – 0,5 – 9,12 – 1C") durante el ciclo de conducción IM-240
(Fuente: Propia, 2018)

Sin embargo, el comportamiento del material particulado durante el ciclo de conducción (ver figura 3.22), presenta una disminución del 60%, con respecto al obtenido sin el uso del nanorefrigerante. Esto sugiere una mejora en el proceso de combustión porque generalmente una reducción del PM suele estar acompañada de un incremento de los NO_X [2], lo que no sucedió con el uso del nanorefrigerante, y constituye la principal contribución del presente trabajo.

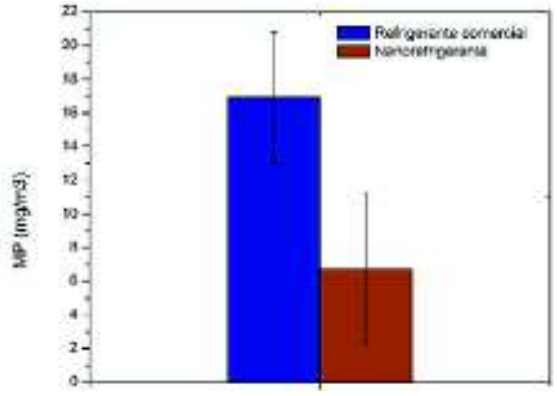


Figura 3.22. Análisis comparativo de PM con el uso de refrigerante comercial vs. nanorefrigerante (NF – 0,5 – 9,12 – 1C") durante el ciclo de conducción IM-240
(Fuente: Propia, 2018)

3.4.2. Análisis de la temperatura durante el ciclo de conducción IM-240

Durante las pruebas, se midió las temperaturas en 3 puntos específicos del motor, en la figura 3.23, se muestran las gráficas comparativas entre gases de escape y salida e ingreso del refrigerante al motor.

Se observa que existe una disminución del 15 % en la temperatura de los gases de escape medida en el colector, del 18% a la salida del refrigerante del motor del 24 % al ingreso del refrigerante al motor.

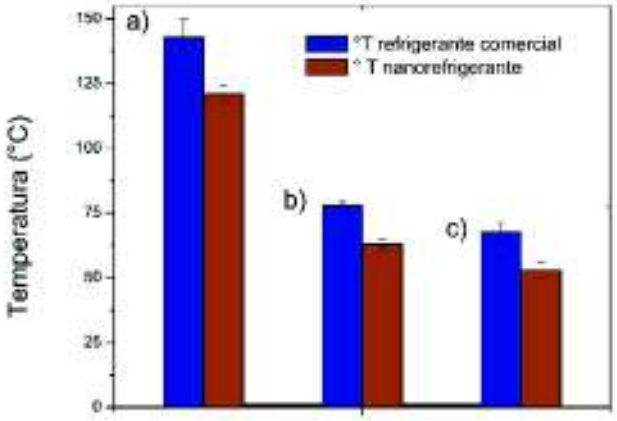


Figura 3.23. Análisis del comportamiento de temperatura (a) gases de escape, b) salida del refrigerante del motor y c) ingreso del refrigerante al motor) con el uso de refrigerante comercial vs. nanorefrigerante (NF – 0,5 – 9,12 – 1C") durante el ciclo de conducción IM-240.
(Fuente: Propia, 2018)

3.4.3. Análisis del rendimiento total de consumo de combustible durante el ciclo de conducción IM-240

Al analizar el rendimiento total de consumo de combustible, en la figura 3.24 se observa que utilizando el nanorefrigerante existe una disminución del 6%.

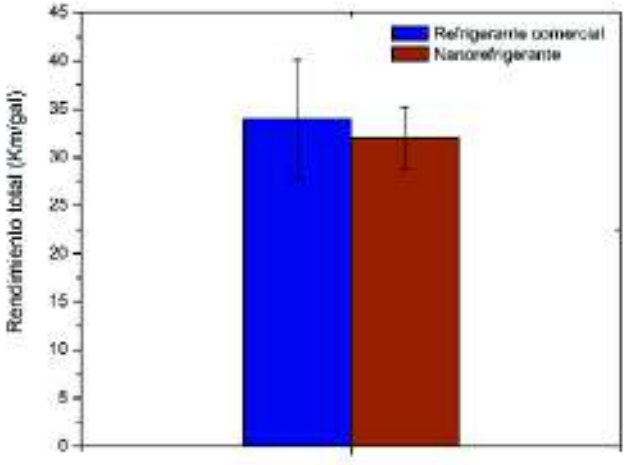


Figura 3.24. Análisis comparativo del rendimiento total de consumo de combustible con el uso de refrigerante comercial vs. nanorefrigerante (NF – 0,5 – 9,12 – 1C") durante el ciclo de conducción IM-240.
(Fuente: Propia, 2018)

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Esta tesis se ha centrado en evaluar el uso de nanopartículas de TiO_2 utilizado en el sistema de refrigeración de un MEC como una solución para la reducción de emisiones contaminantes de NO_x y PM. Por lo que se plantean las conclusiones y recomendaciones relevantes encontradas en el desarrollo del presente estudio. Finalmente se indican las propuestas de las futuras líneas de investigación.

4.1. CONCLUSIONES

Las conclusiones del presente trabajo una vez analizados los resultados obtenidos son las siguientes:

- Las condiciones óptimas para fabricar el nanofluido NF – 0,5 – 9.12 – 1C" a base de un refrigerante comercial Valvoline G12++ (TL 774-G1) fueron: concentración de nanopartículas de titania (P25) de 0.5% v/v, ajuste de pH ~9.12, agitación magnética durante 17 horas a 1500 rpm y ultrasonido con una sonda de 26 mm de espesor, amplitud de 24 KHz durante una hora. Los análisis de DLS demostraron que utilizando estas condiciones el tamaño del diámetro efectivo fue de 13,9 nm, garantizando la formación de un nanofluido, mientras que las pruebas de sedimentación indicaron que el nanofluido obtenido presentó la mayor estabilidad durante un período de 1 mes.
- El uso de nanopartículas de titania en el sistema de refrigeración de un vehículo de encendido por compresión (muestra NF – 0,5 – 9.12 – 1C"), mejoró la transferencia de calor del motor provocando un decrecimiento del 15% en la temperatura de gases de escape, de 18% en la temperatura del ingreso del refrigerante al motor y del 24 % a la salida del refrigerante del motor.
- El contaminante que obtuvo el mayor porcentaje de reducción con el uso del nanorefrigerante (muestra: NF-0,5-9,12-1C"), fue el PM con una disminución del 60% sin provocar un incremento de los NO_x, lo cual constituye el principal aporte de esta investigación. Adicionalmente otros agentes que también presentaron una reducción en sus niveles de emanación fueron: el CO y HC en un 16 y 17%, respectivamente.
- Debido a la disminución de la temperatura de los gases de escape, el ingreso del refrigerante al motor y de salida del refrigerante del motor se tiene un incremento del 2% del CO_2 y una disminución del 1% de O_2 que en la práctica este valor no es significativo.

- Cuando la temperatura del motor disminuye debido a la recirculación del nanorefrigerante (muestra NF – 0,5 – 9.12 – 1C") por el sistema de refrigeración, la temperatura de los gases de escape también disminuyó, consecuentemente el rendimiento de consumo de combustible fue reducido en un 6%. Este aspecto se sustenta en que cuando un MCI funciona a menor temperatura consume mayor combustible por distancia recorrida.

4.2. RECOMENDACIONES

- Validar el estudio del comportamiento de emisiones contaminantes, temperatura del funcionamiento del motor y rendimiento de consumo de combustible utilizando la muestra NF-0,5-9,12-1C", en una flota de vehículos diésel en el Distrito Metropolitano de Quito.
- Desarrollar un análisis previo de la composición del refrigerante comercial, debido a que los aditivos utilizados en la marca Valvoline G12++, afectaron a la estabilidad del nanorefrigerante a corto plazo. En este sentido de acuerdo al estudio efectuado con el etilenglicol y agua (60%:40%) se puede también recomendar elaborar un fluido base a partir de esta composición.
- Caracterizar el nanofluido mediante valor de potencial z, de tal manera que se obtengan datos referenciales para futuros trabajos, evitando demoras en la prueba de sedimentación.
- Formular nuevas muestras de nanorefrigerante con menores concentraciones de nanopartículas con el objetivo de investigar si los resultados obtenidos en emisiones contaminantes, temperatura del funcionamiento del motor y rendimiento de consumo de combustible presentan mejoras representativas.
- Extender la investigación con el uso del nanorefrigerante NF-0,5-9,12-1C", para determinar los parámetros de trabajo en función de las pruebas de rendimiento del motor (torque y potencia).
- Realizar la medición del valor de opacidad con el nanorefrigerante NF-0,5-9,12-1C" en una mayor muestra de vehículos diésel, que cumplan diferentes características al utilizado en el presente trabajo con el objetivo de corroborar los datos obtenidos y afianzar las conclusiones planteadas.

Referencia Bibliográfica

[1] AEADE, “Anuario 70,” p. 55, 2015.

[2] F. Payri, J. M. Desantes, and et al., *Motores de combusitión interna alternativos*. 2011.

[3] J. Viades Trejo, “Coloides,” 2012.

[4] B. I. Corporation, “Brookhaven Instruments Corporation,” *NanoBrook 90Plus Particle Size Analyzer*, 2017. [Online]. Available: https://brookhaveninstruments.com/nanobrook-90plus. [Accessed: 28-Sep-2017].

[5] I. INTERNACIONAL, “NTC_4231.pdf.” p. 46, 2012.

[6] P. Pedraza and J. Pino, “Análisis de los Nanofluidos y su aplicación como Fluido HTF,” Universidad de Sevilla, 2016.

[7] J. Tibaquira, J. Moran, T. Otanicar, and J. Posner, “Mediciones De Potential Zeta De Microspferas De Vidrio en Glicol De Etileno Y En Soluciones Tampon De Fosfato,” *Sci. Tech.*, no. 35, pp. 219–224, 2007.

[8] Brookhaven Instruments Corporation, “4- Instruction Manual for 90Plus/BI-MAS. Multi Angle Particle Sizing Option Operation Manual,” no. 1.0, pp. 1–66, 1995.

[9] Biomodel, “Carga eléctrica de las biomoléculas, en función de su punto isoelétrico y del pH.” .

[10] V. Maldonado, “Sedimentación,” in *Tratamiento de agua para consumo humano Plantas de filtración rápida*, 2004, pp. 2–61.

[11] E. Kates and W. Luck, *Diesel and high compression gas enginees*, 3rd. Chicago: American Technical Society, 1982.

[12] Oposinet, “Tema 47-Máquinas térmicas- funcionamiento, clasificación y aplicaciones,” 2015. .

[13] A. J. Urbina Guzmán, “Comparación De Factores De Emisión Vehicular Al Utilizar Ciclos De Conducción Im240 Y on Board En La Ciudad De Quito,” pp. 1–126, 2016.

[14] P. Castro and L. Escobar, “Estimación de las emisiones contaminantes por fuentes móviles a nivel nacional y formulación de lineamientos técnicos para el ajuste de las normas de emisión,” p. 220, 2006.

[15] C. Ubilla and K. Yohannessen, “Contaminación Atmosférica Efectos En La Salud Respiratoria En El Niño,” *Rev. Médica Clínica Las Condes*, vol. 28, no. 1, pp. 111–118, 2017.

[16] Volkswagen AG, “Emisiones de gases de escape de vehículos,” Wolfsburg, p. 28.

[17] R. P. Zeballos, “INFLUENCIA DE LA PRESIÓN DE INYECCIÓN COMBUSTIBLE Y ESTADO,” vol. 11, pp. 17–21.

[18] A. Guzman and M. Peralvo, “Estudio de las Emisiones de Gases Contaminantes de un Motor de Ciclo Diesel, usando Combustible Microemulsionado con Agua,” Escuela Politécnica Nacional, 2011.

[19] R. Girón and B. Giménez, “Técnicas de Control en la Disminución de NOx en Motores Diesel,” Universidad de Valladolid, 2016.

[20] J. Warnatz, U. Maas, and R. W. Dibble, *Combustion: Physical and Chemical Fundamentals, Modeling and Simulation, Experiments, Pollutant formation*, 3 rd. edit. Springer Netherlands, 2001.

[21] Y. Zeldovich, *Oxidation of Nitrogen in Combustion*. 1947.

[22] G. Lavoie, J. . Heywood, and J. . Keck, “Experimental and theoretical study of nitric oxide formation in internal combustion engines,” *M, I.T.-Dept Mech Eng-Fluid Mech. Lab. Publ 69-10*, pp. 313–326, 1969.

[23] R. Frederick, “A computed Flame,” *SIGMA XI*, p. 206, 2016.

[24] C. P. Fenimore, “Formation of nitric oxide in premixed hydrocarbon flames,” *Symp. Combust.*, vol. 13, no. 1, pp. 373–380, 1971.

[25] J. Miller and C. Bowman, “Mechanism a N D Modeling of Nitrogen Chemistry in Combustion,” Stanford, 1989.

[26] C. Sánches, F. Tinaut, and F. Morante, “Reducción de las emisiones de NOx en motores diesel mediante la tecnología de reducción selectiva catalítica (SCR),” Universidad Valladolid, 2017.

[27] A. J. Torregrosa, P. Olmeda, J. Martín, and B. Degraeuwe, “Experiments on the influence of inlet charge and coolant temperature on performance and emissions of a DI Diesel engine,” *Exp. Therm. Fluid Sci.*, vol. 30, no. 7, pp. 633–641, 2006.

[28] A. J. Torregrosa, A. Broatch, P. Olmeda, and C. Romero, “Assessment of the influence of different cooling system configurations on engine warm-up, emissions and fuel consumption,” *Int. J. Automot. Technol.*, vol. 9, no. 4, pp. 447–458, 2008.

[29] W. Conshohocken, *Engine Coolant Technologies : 5th*. 2013.

[30] A. Jain and I. Hassan, “Analysis of nanofluids as a means of thermal conductivity enhancement in heavy machineries,” vol. 66, no. 2, pp. 10–11, 2014.

[31] A. Turgut, I. Tavman, M. Chirtoc, H. P. Schuchmann, C. Sauter, and S. Tavman, “Thermal conductivity and viscosity measurements of water-based TiO 2 nanofluids,” *Int. J. Thermophys.*, vol. 30, no. 4, pp. 1213–1226, 2009.

[32] L. Kong, J. Sun, and Y. Bao, “Preparation, characterization and tribological

mechanism of nanofluids," *RSC Adv.*, vol. 7, no. 21, pp. 12599–12609, 2017.

[33] J. A. Eastman, S. U. S. Choi, S. Li, W. Yu, and L. J. Thompson, "Anomalously increased effective thermal conductivities of ethylene glycol-based nanofluids containing copper nanoparticles," *Appl. Phys. Lett.*, vol. 78, no. 6, pp. 718–720, 2001.

[34] H. Akoh, Y. Tsukasaki, S. Yatsuya, and A. Tasaki, "Magnetic properties of ferromagnetic ultrafine particles prepared by vacuum evaporation on running oil substrate," *J. Cryst. Growth*, vol. 45, no. C, pp. 495–500, 1978.

[35] S. Yatsuya, Y. Tsukasaki, K. Yamauchi, and K. Mihama, "Ultrafine particles produced by Vacuum Evaporation onto a Running Oil Substrate (VEROS) and the modified method," *J. Cryst. Growth*, vol. 70, no. 1–2, pp. 533–535, 1984.

[36] L. Yang and K. Du, "A comprehensive review on heat transfer characteristics of TiO2 nanofluids," *Int. J. Heat Mass Transf.*, vol. 108, pp. 11–31, 2017.

[37] X. Q. Wang and A. S. Mujumdar, "Heat transfer characteristics of nanofluids: a review," *Int. J. Therm. Sci.*, vol. 46, no. 1, pp. 1–19, 2007.

[38] SubsTech, "Stabilization of colloids," 2013. .

[39] R. Mondragón, J. E. Juliá, A. Barba, and J. C. Jarque, "Preparación y caracterización de nanofluidos: Influencia de variables sobre su estabilidad, estado de aglomeración y propiedades físicas," *Bol. la Soc. Esp. Ceram. y Vidr.*, vol. 53, no. 3, pp. 101–110, 2014.

[40] S. Witharana, I. Palabiyik, Z. Musina, and Y. Ding, "Stability of glycol nanofluids - The theory and experiment," *Powder Technol.*, vol. 239, pp. 72–77, 2013.

[41] K. Sato, J.-G. Li, H. Kamiya, and T. Ishigaki, "Ultrasonic Dispersion of TiO_2 Nanoparticles in Aqueous Suspension," *J. Am. Ceram. Soc.*, vol. 91, no. 8, pp. 2481–2487, 2008.

[42] X.-J. Wang, H. Li, X.-F. Li, Z.-F. Wang, and F. Lin, "Stability of TiO_2 and Al_2O_3 Nanofluids," *Chinese Phys. Lett.*, vol. 28, no. 8, p. 086601, 2011.

[43] W. Yu and H. Xie, "A Review on Nanofluids : Preparation , Stability Mechanisms , and Applications," vol. 2012, 2012.

[44] Y. Li, J. Zhou, S. Tung, E. Schneider, and S. Xi, "A review on development of nanofluid preparation and characterization," *Powder Technol.*, vol. 196, no. 2, pp. 89–101, 2009.

[45] Brookhaven Instrument, "Brookhaven Nanoparticle Size Analyzer."

[46] J. Cueva and D. Nole, "Evaluación del uso de nanopartículas de titanio y silicio para el mejoramiento del sistema de refrigeración de un vehículo," p. 150, 2016.

[47] L. Yang and Y. Hu, “Toward TiO2 Nanofluids—Part 1: Preparation and Properties,” *Nanoscale Res. Lett.*, vol. 12, no. 1, p. 417, 2017.

[48] M. C. S. Reddy and V. V. Rao, “Experimental studies on thermal conductivity of blends of ethylene glycol-water-based TiO 2 nano fl uids ☆,” *Int. Commun. Heat Mass Transf.*, vol. 46, pp. 31–36, 2013.

[49] M. Silambarasan, S. Manikandan, and K. S. Rajan, “Viscosity and thermal conductivity of dispersions of sub-micron TiO 2 particles in water prepared by stirred bead milling and ultrasonication,” *Int. J. Heat Mass Transf.*, vol. 55, no. 25–26, pp. 7991–8002, 2012.

[50] D.-H. Yoo, K. S. Hong, and H.-S. Yang, “Study of thermal conductivity of nanofluids for the application of heat transfer fluids,” *Thermochim. Acta*, vol. 455, no. 1–2, pp. 66–69, 2007.

[51] L. P. Dhale, P. B. Wadhave, D. V Kanade, and Y. S. Sable, “Effect of Nanofluid on Cooling System of Engine,” no. 10, pp. 8–10, 2015.

[52] D. D. E. La, O. D. E. Emisiones, E. Método, and D. E. A. Libre, “NORMA TÉCNICA ECUATORIANA NTE INEN 2202 : 2013 Primera revisión ESCAPE DE MOTORES DE DIESEL MEDIANTE LA PRUEBA Primera edición,” 2013.

[53] P. Terán, “Los buses circulan en el país pese a tener defectos severos,” *El Comercio*, Quito, Dec-2014.

[54] INEN, “Gestión Ambiental, aire, vehículos automotores, determinación de la opacidad de emisiones de escape de motores de diésel mediante la prueba estática, método de aceleración libre.,” p. 8, 2000.

[55] S. Ospina, “Determinación de las emisiones en regímenes de estado estable de un vehículo liviano operando con mezcla de Etanol y Gasolina, E20,” pp. 1–89, 2014.

[56] Dieselnet, “Emission Test Cycles European Stationary Cycle (ESC),” *2014*. .

[57] W. about Cars, “The real world of emissions testing,” 2015. .

[58] DieselNet, “Emission Test Cycles ECE-15-EUDC,” 2014. .

[59] M. Estevez, D. López, and S. del ambiente y desarrollo Sustentable, *Medición De Emisiones En Vehículos Livianos Equipados Con Motores Ciclo Otto*. 2000.

[60] Code of Federal Regulations, *Title 40 Protection of Environment Part 1000 to End*. 2012.

[61] INEN, *GESTIÓN AMBIENTAL. AIRE. VEHÍCULOS AUTOMOTORES. LÍMITES PERMITIDOS DE EMISIONES PRODUCIDAS POR FUENTES MÓVILES TERRESTRES DIESEL*, vol. 1. Ecuador, 2002, pp. 2–7.

[62] DieselNet, “Heavy-Duty FTP Transient Cycle,” 2014. .

[63] DieselNet, “Japanese JC08 Cycle,” 2014. .

[64] X. H. Xue C, Liu W, Yang X, “Chemoprotective effect of N-acetylcysteine (NAC) on cellular oxidative damages and apoptosis induced by nano titanium dioxide under UVA irradiation,” *Toxicol. Vitr.*, vol. 25, no. 1, pp. 110–116, Feb. 2011.

[65] S. M. S. Murshed, K. C. Leong, and C. Yang, “Enhanced thermal conductivity of TiO2 - Water based nanofluids,” *Int. J. Therm. Sci.*, vol. 44, no. 4, pp. 367–373, 2005.

[66] Y. Muthusamy, K. Kadirgama, M. M. Rahman, D. Ramasamy, and K. V. Sharma, “Wear analysis when machining AISI 304 with ethylene glycol/TIO2 nanoparticle-based coolant,” *Int. J. Adv. Manuf. Technol.*, vol. 82, no. 1–4, pp. 327–340, 2016.

[67] M. Vakili, A. Mohebbi, and H. Hashemipour, “Experimental study on convective heat transfer of TiO2 nanofluids,” *Heat Mass Transf. und Stoffuebertragung*, 2013.

[68] H. Setia, R. Gupta, and R. K. Wanchoo, “Thermophysical properties of TiO2-water based nanofluids,” in *AIP Conference Proceedings*, 2011.

[69] R. Saleh, N. Putra, R. E. Wibowo, W. N. Septiadi, and S. P. Prakoso, “Titanium dioxide nanofluids for heat transfer applications,” *Exp. Therm. Fluid Sci.*, 2014.

[70] B. A. Bhanvase, M. R. Sarode, L. A. Putterwar, A. K.A., M. P. Deosarkar, and S. H. Sonawane, “Intensification of convective heat transfer in water/ethylene glycol based nanofluids containing TiO2 nanoparticles,” *Chem. Eng. Process. Process Intensif.*, vol. 82, pp. 123–131, 2014.

[71] S. Sen, V. Govindarajan, C. J. Pelliccione, J. Wang, D. J. Miller, and E. V. Timofeeva, “Surface Modification Approach to TiO_2 Nanofluids with High Particle Concentration, Low Viscosity, and Electrochemical Activity,” *ACS Appl. Mater. Interfaces*, vol. 7, no. 37, pp. 20538–20547, 2015.

[72] C. T. Wamkam, M. K. Opoku, H. Hong, and P. Smith, “Effects of pH on heat transfer nanofluids containing ZrO2 and TiO2 nanoparticles,” *J. Appl. Phys.*, vol. 109, no. 2, p. 024305, 2011.

[73] M. J. L. Ismay, E. Doroodchi, and B. Moghtaderi, “Effects of colloidal properties on sensible heat transfer in water-based titania nanofluids,” *Chem. Eng. Res. Des.*, vol. 91, no. 3, pp. 426–436, 2013.

[74] Tecnal, “Balanza analítica Shimadzu SHI-AUY-220,” 2017. [Online]. Available: http://tecnal.com.br/es/produtos/balanza-analtica-shimadzu-shi-auy-220-shimadzu/. [Accessed: 28-Sep-2017].

[75] M. Soltanimehr and M. Afrand, “Thermal conductivity enhancement of COOH-functionalized MWCNTs / ethylene glycol-water nanofluid for application in heating

and cooling systems," *Appl. Therm. Eng.*, 2016.

[76] OneLab, "Agitador magnético 7" DLab Modelo MS7-H550-S," 2017. [Online]. Available: http://www.onelab.com.ar/agitador-magnetico-7. [Accessed: 28-Sep-2017].

[77] Y. Hwang *et al.*, "Production and dispersion stability of nanoparticles in nanofluids," *Powder Technol.*, vol. 186, no. 2, pp. 145–153, 2008.

[78] L. S. Sundar, M. H. Farooky, S. N. Sarada, and M. K. Singh, "Experimental thermal conductivity of ethylene glycol and water mixture based low volume concentration of Al2O3 and CuO nanofluids," *Int. Commun. Heat Mass Transf.*, vol. 41, pp. 41–46, 2013.

[79] M. Soltanimehr and M. Afrand, "Thermal conductivity enhancement of COOH-functionalized MWCNTs/ethylene glycol-water nanofluid for application in heating and cooling systems," *Appl. Therm. Eng.*, vol. 105, 2015.

[80] Y. Muthusamy, K. Kadirgama, M. M. Rahman, D. Ramasamy, and K. V Sharma, "Wear analysis when machining AISI 304 with ethylene glycol/TIO2 nanoparticle-based coolant," *Int. J. Adv. Manuf. Technol.*, vol. 82, no. 1, pp. 327–340, 2016.

[81] Agencia Metropolitana de Tránsito, *Resultados RTV 2016 opacidad*. Quito: 2017, 2017, p. 1.

[82] M. F. Triola, *Estadística*, Novena. Mexico, 2004.

[83] Maha, "MAHA," *MAHA Maschinenbau Haldenwang GmbH & Co. KG*, 2017. [Online]. Available: http://www.maha.de/productos.htm#automovil-bancosdefuncionesypotencia. [Accessed: 01-Oct-2017].

[84] AliExpress, "J Type M6 Screw Probe Thermocouple Temperature Sensor." [Online]. Available: https://ae01.alicdn.com/kf/HTB1VH2RNFXXXXXnaXXXq6xXFXXXv/J-Type-M6-Screw-Probe-Thermocouple-Temperature-Sensor-with-2M-Cable-for-Industrial-Temperature-Controller.jpg_640x640.jpg. [Accessed: 22-Nov-2017].

[85] T. Industrial, "Tcs Industrial," 2017. [Online]. Available: http://www.tcsindustrial.com/shop/instrumentacion/238-termocupla-tipo-k-probeta-100-a-1000-c-industrial.html. [Accessed: 16-Oct-2017].

[86] SlidePlayer, "Dynamic Light Scattering ZetaPALSw/90Plus particle size analyzer," 2018. [Online]. Available: http://slideplayer.com/slide/5696799/. [Accessed: 22-Mar-2018].

[87] P. E. O. F. N. Multi-walled, M. Rosli, H. Bin, N. Salim, and U. Teknikal, "Imran syakir."

[88] L. Yang and Y. Hu, "Toward TiO2 Nanofluids—Part 1: Preparation and Properties,"

Nanoscale Res. Lett., vol. 12, no. 1, p. 417, 2017.

[89] L. S. Sundar, M. H. Farooky, S. N. Sarada, and M. K. Singh, “Experimental thermal conductivity of ethylene glycol and water mixture based low volume concentration of Al2O3 and CuO nanofluids,” *Int. Commun. Heat Mass Transf.*, vol. 41, pp. 41–46, 2013.

[90] B. Tajik, A. Abbassi, M. Saffar-Avval, and M. A. Najafabadi, “Ultrasonic properties of suspensions of TiO 2 and Al 2O 3 nanoparticles in water,” *Powder Technol.*, vol. 217, pp. 171–176, 2012.

[91] S. Aldrich, “Sigma Aldrich,” 2017. [Online]. Available: http://www.sigmaaldrich.com/catalog/product/aldrich/718467?lang=en&region=EC. [Accessed: 01-Sep-2017].

[92] S. L. I.C.T and S. . INSTRUMENTACIÓN CIENTÍFICA TÉCNICA, “PH-METRO DE SOBREMESA JW-3510 Y JW-3520, JENWAY®,” 2017. [Online]. Available: http://www.ictsl.net/productos/aparatos/phmetrodesobremesajw3510yjw3520jenway.html. [Accessed: 28-Sep-2017].

[93] B. L. Equipment, “Misonix Touch-Screen Sonicator S-4000 con sond,” 2015. [Online]. Available: http://www.bostonlabco.com/misonix-sonicator-s-4000-with-prob.html. [Accessed: 28-Sep-2017].

[94] “Manual de usuario equipo On Board.” Estados Unidos, 2016.

[95] Vidrí, “Vidrí,” 2017. [Online]. Available: https://www.vidri.com.sv/Mobile/product?sku=74424. [Accessed: 16-Oct-2017].

[96] Kía, “Kía Pregio Grand,” 2017. [Online]. Available: http://www.aymesa.ec/templates/aymesa/_pdf/vehiculos/PREGIO.pdf. [Accessed: 15-Sep-2017].

Anexos

Anexo I

Certificado de análisis y propiedades de las nanopartículas de TiO_2 Sigma Aldrich

SIGMA-ALDRICH

sigma-aldrich.com

3050 Spruce Street, Saint Louis, MO 63103, USA
Website: www.sigmaaldrich.com
Email USA: techserv@sial.com
Outside USA: eurtechserv@sial.com

Certificate of Analysis

Product Name:
Titanium(IV) oxide – nanopowder, 21 nm primary particle size (TEM), ≥99.5% trace metals basis

TiO_2

Product Number:	**718467**
Batch Number:	**MKCB6033**
Brand:	ALDRICH
CAS Number:	13463-67-7
Formula:	$O2Ti$
Formula Weight:	79.87 g/mol
Quality Release Date:	19 OCT 2016

Test	Specification	Result
Appearance (Color)	White	White
Appearance (Form)	Powder	Powder
Loss on Drying Specification: Report Only	–	0.95 %
Surface Area	35 - 65 m2/g	50 m2/g
pH	3.5 - 4.5	3.6
HCl Content	≤ 0.30 %	0.06 %
ICP Major Analysis Confirms Ti Component	Confirmed	Conforms
Purity >=99.5% Based On Trace Metals Analysis	Meets Requirements	Meets Requirements
Trace Metal Analysis	≤ 5000.0 ppm	81.9 ppm
Silver (Ag)		5.4 ppm
Beryllium (Be)		0.3 ppm
Cadmium (Cd)		1.7 ppm
Iron (Fe)		1.1 ppm
Potassium (K)		41.6 ppm
Magnesium (Mg)		0.4 ppm
Palladium (Pd)		27.5 ppm
Zinc (Zn)		2.8 ppm
Zirconium (Zr)		1.2 ppm

Michael Grady, Manager

Sigma-Aldrich warrants, that at the time of the quality release or subsequent retest date this product conformed to the information contained in this publication. The current Specification sheet may be available at Sigma-Aldrich.com. For further inquiries, please contact Technical Service. Purchaser must determine the suitability of the product for its particular use. See reverse side of invoice or packing slip for additional terms and conditions of sale.

Version Number: 1 Page 1 of 2

Tabla I.1. Propiedades para P25 Sigma Aldrich

Categorias relacionadas	22: Ti , Energía Alternativa , Ciencia de los Materiales , Ciencia de Metal y Cerámica , Nanomateriales , Más...
Clave InChI	**GWEVSGVZZGPLCZ - UHFFFAOYSA - N**
ensayo	**≥99,5% de metales traza base**
formar	**nanopowder**
tamaño de partícula primario	**21 nm (TEM)**
área de superficie	**35-65 m^2 / g (BET)**
mp	**1850 ° C**
	> 350 ° C (lit.)
densidad	**4,26 g / ml a 25 ° C (lit.)**

(Fuente: [92])

Anexo II

Ficha técnica refrigerante concentrado Valvoline G12 plus plus

VOLKSWAGEN

AKTIENGESELLSCHAFT

Group Standard **TL 774**

Issue 2010-08

Class. No.: 57341

Descriptors: coolant additive, ethylene glycol, glycerin, freezing point depression, boiling point elevation, corrosion protection

Ethylene Glycol-Based Coolant Additive

Material Requirements

5 Types: C, F, G, H, J

Previous issues

TL 774: 1973-05, 1974-07, 1975-10, 1976-06, 1977-06, 1979-09, 1980-12, 1982-04, 1983-12, 1984-03, 1988-11, 1989-11, 1990-08, 1994-09, 1996-11, 1999-07, 2002-02, 2002-10, 2004-06, 2005-10, 2008-06, 2008-11, 2009-10

Changes

The following changes have been made as compared to TL 774: 2009-10:

- Section 8 "Requirements on the glycerin quality" added
- Standard part numbers N 052 774 J1 and J2, coolant additive for CHP plant (combined heat and power plant), added
- Referenced standards updated

1 Scope

This TL (Technical Supply Specification) specifies the material requirements for ethylene glycol-based and ethylene glycol/glycerin-based coolant additives.

2 Description

Example of a violet coolant additive:

Coolant additive acc. to TL 774-G

Check standard for current issue prior to usage.
This electronically generated standard is authentic and valid without signature.
The English translation is believed to be accurate. In case of discrepancies the German version shall govern.
Numerical notation acc. to ISO position.

Technical responsibility			Standards Department	
GOL-LB/2	Jens Strassmann	Tel.: +49-5361-9-25797	EKDV/4 Ute Hager-Groß	EKDV
GOL-LB	Dr. Christian Adhmis		Tel.: +49-5361-9-49035	Manfred Terlinden

Confidential. All rights reserved. No part of this document may be transmitted or reproduced without prior permission of a Standards Department of the Volkswagen Group.
Parties to a contract can only obtain this standard via the B2B e-supplier platform www.vwgroupsupply.com.
© Volkswagen Aktiengesellschaft

3 Requirements

3.1 General requirements

Approval of first supply and changes according to Volkswagen standard VW 01155.

Avoidance of hazardous substances acc. to VW 91101.

The manufacturer must deliver 10 l to the Operating Fluids Laboratory for evaluation.

Diagrams showing the most important physical properties of coolant/coolant additive mixtures are contained in the in-house working folder "Produktive Betriebsstoffe" (Operating Fluids Used in Production). They may be obtained from the Operating Fluids Laboratory.

3.2 Miscibility

The coolant additives of the respective types must be miscible with each other in any ratio with all coolants of the same type without any degradation of the functional characteristics.

3.3 Shelf life

Shelf life in unopened original packaging must be > 1 year at -30 °C to +50 °C.

3.4 Types

3.4.1 TL 774-C

For all engines, including light alloy engines. Blue-green color.

3.4.2 TL 774-F

For all engines, including all-aluminum engines. Violet color.

3.4.3 TL 774-G

For all engines, including all-aluminum engines. Violet color.

3.4.4 TL 774-H

Only for engine run-in test beds. Colorless.

3.4.5 TL 774-J

For all engines, including all-aluminum engines. Violet color.

3.5 Standard part numbers

–	TL 774-C, blue-green	N 052 774 C0
–	TL 774-F, violet	N 052 774 F0
–	TL 774-F, violet	N 052 774 F1 (only for Porsche[1])
–	TL 774-G, violet	N 052 774 G0
–	TL 774-G, violet	N 052 774 G1 (mixture consisting of 40% N 052 774 G0 and 60% water acc. to TL 52541)
–	TL 774-H, colorless	N 052 774 H0
–	TL 774-J, violet	N 052 774 J0
–	TL 774-J, violet	N 052 774 J1 (only for CHP plant[2])
–	TL 774-J, violet	N 052 774 J2 (mixture consisting of 40% N 052 774 J1 and 60% water)

3.6 Technical engineering approval (BMG)

Coolant additives are subject to engineering approval.

Responsible department for Volkswagen AG: GQL-LB/2

4 Release procedure

For a laboratory release within the framework of technical engineering approval, the coolant manufacturer must submit 10 liters of the product manufactured under series production conditions along with the first-sample test report to the Volkswagen Operating Fluids Laboratory. Other tests, such as functional tests and road tests, are required for a production sample test. Approx. 200 liters of coolant concentrate are required for this. In order to receive technical engineering approval, engine bed tests as well as a road test (fleet test) are necessary, in addition to the laboratory release.

Only tested and approved pre-products (glycols, additives, etc.) must be used for blending of the first sample (e.g. re-blend).

The evaluation statement automatically expires 3 years after the release is granted or when the coolant additive formulation is changed.

The release will remain in effect if both regular deliveries and verification of quality control acc. to test plan are ensured. The quality assurance department of the ordering plant will receive a test report (acc. to sample) with each delivery. The test report includes the manufacturing and batch number as well as the test values according to the test schedule in compliance with Table 1. In addition, the Volkswagen Operating Fluids Laboratory must be provided with a test report acc. to Table 1 each year.

1) Must not be used in Volkswagen Group vehicles due to different antifoam components.
2) Must not be used in Volkswagen Group vehicles due to higher amounts of dye.

Table 1 – Test plan

Tests	Each delivery batch (certificate of analysis)	Delivery batch every 3 years
Laboratory tests	Table 2, no. 4, no. 5; Table 3, no. 1, no. 3, no. 5, no. 6	All tests acc. to the first-sample test report.

The supplier is obliged to ensure that each delivery batch meets the requirements specified in this Technical Supply Specification. Each pre-product must be tested prior to use for blending of the end product. If the supplier of the coolant additive removes one or more separate partial quantities from the total quantity of a manufacturing batch at different times and delivers them to the ordering party or stores them, each partial quantity must be designated as its own fill batch and given a batch number, in addition to the manufacturing report number.

For delivery in drums, clean drums must always be used. For container deliveries, the containers must be cleaned appropriately prior to being filled. Corresponding cleaning certificates must be submitted upon request.

If there are changes to the formulation, the manufacturing method, the production location, or with the pre-supplier, the Volkswagen Operating Fluids Laboratory and the responsible engineering department must be notified; these changes necessitate new sampling checks and a new written release. If the release is revoked, the supplier is responsible for forwarding this information to the concerned parts suppliers of the Volkswagen Group as well as any re-brand users of the product released by the technical engineering approval process.

5 Composition and color

See Table 2.

Table 2

No.	Property	Unit	Requirement				
			TL 774-C	TL 774-F	TL 774-G	TL 774-H	TL 774-J
1	Ethylene glycol (1,2-ethanediol)	Weight %	Balance				
2	Glycerin (1,2,3-propanetriol)	Weight %	Not permitted				20
3	Corrosion inhibitors total	Weight %	≥ 5	3,5 to 5			
			The use of borax as the sole corrosion inhibitor is not permitted.				
			Heavy metals (such as molybdates or vanadates) are also not permitted as inhibitors.				
4	Free water (not including water produced by crystallization and reaction) See Section 9.1		≤ 3				≤ 5

No.	Property	Unit	Requirement				
			TL 774-C	TL 774-F	TL 774-G	TL 774-H	TL 774-J
5	Silicates Determination by ICP-OES and/or AAS	mg/l	500 to 680 calculated as SiO_2, including a stabilizer containing = 10% Si	Not permitted	400 to 500		400 to 500
6	Borax		-	Not permitted			
7	Amines		Not permitted				
8	Imidazol		-	Not permitted			
9	Phosphates		Not permitted				
10	Nitrite [a]		Not permitted				
11	Bitter substance "Bitrex®"		25			without	25
12	Color		Blue-green	Violet	Violet	Colorless	Violet
13	Dye [b]		Optional	Remazol brilliant violet 5R (10 ± 1) ppm + Rhodamine 5/(2 to 3) ppm	Remazol brilliant violet 5R (10 ± 1) ppm + Rhodamine 5/(2 to 3) ppm	-	Remazol brilliant violet 5R (10 ± 1) ppm + Rhodamine 5/(2 to 3) ppm
14	Vapor phase inhibitor		-	-	-	Additive required	-

a) Nitro aromatics are also not permitted.

b) The dye used must be stable with regard to temperature and must not degrade the corrosion protection.

6 Further properties

See Table 3.

Table 3

No.	Property	Unit	Requirement				
			TL 774-C	TL 774-F	TL 774-G	TL 774-H	TL 774-J
1	Density d_{20} acc. to DIN 51757	kg/m³	1,11 to 1,14				1,11 to 1,16
2	Flash point acc. to DIN EN ISO 2719	°C	≥ 110				

No.	Property	Unit	Requirement				
			TL 774-C	TL 774-F	TL 774-G	TL 774-H	TL 774-J
3	Refractive index n_D acc. to DIN 51423-1		1,425 to 1,438				1,425 to 1,445
4	Boiling point acc. to ASTM D 1120 , undiluted	°C	170 to 185				
5	Reserve alkalinity (ml HCL, 0,1 mol/l)		≥ 11	≥ 5,0			
6	pH value						
6.1	33 volume percent in distilled water		7,7 to 8,5				
6.2	50 volume percent in distilled water		≥ 7,5	-			
7	Corrosion protection acc. to ASTM D 1384 and Section 9.2						
7.1	Heavy metals						
7.1.1	Weight loss	g/m²	≤ 4	≤ 3			
7.1.2	Weight increase after cleaning with water	g/m²	Omitted	≤ 1			
7.2	For aluminum alloys, see Section 9.3						
7.2.1	Weight loss	g/m²	≤ 2				
7.2.2	Weight increase after cleaning with water	g/m²	Omitted	≤ 2			
8	Protection against crevice corrosion acc. to PV 1432		Maximum characteristic value 2				
8.1	Ground test surface		Beginning discoloration permissible				
8.2	Milled test surface		Discoloration and beginning blackening permissible.				
9	For foam formation, see Section 9.4						
10	Paint compatibility acc. to ASTM D 1882		No formation of spots				
11	Silicate stability acc. to ASTM D 4340 (also see Section 9.5) and acc. to PV 1426		No flocculation	Test omitted	No flocculation		
12	Inhibitor stability acc. to ASTM D 4340 (also see Section 9.5)		Omitted	No flocculation			

No.	Property	Unit	Requirement				
			TL 774-C	TL 774-F	TL 774-G	TL 774-H	TL 774-J
13	Long-term stability acc. to ASTM D 4340 (see Section 9.5)		Omitted				No significant changes in the physical properties
14	Hard water stability acc. to PV 1426		No flocculation				
15	Degree of corrosion acc. to DIN 51360-2 Concentration:						
15.1	20 volume percent	Code number	max. 3	max. 4			
15.2	40 volume percent	Code number	max. 1	max. 2			
16	Temperature pattern for 30 h See Section 9.6 Max. increase	°C	-	≤ 10			

6.1 Corrosion behavior and cavitation behavior

Acc. to the guidelines set by the Internal Combustion Engines Research Association, hereinafter referred to as FVV (German abbreviation), and acc. to Section 9.7.

6.1.1 Behavior in the oscillation test

Concentrations are 20 and 40 volume percent of the coolant additive. See Table 4.

Table 4

Metal	Medium	Standardized weight loss				
		TL 774-C	TL 774-F	TL 774-G	TL 774-H	TL 774-J
Aluminum	Fresh	≤ 1,2	≤ 2,0			
Gray cast iron	Fresh	≤ 0,10	≤ 0,15			
Standardized weight loss:		$\frac{\text{Weight loss in the test medium}}{\text{Weight loss in water with 10°dH}}$				

6.1.2 Behavior in the dynamic corrosion test (Volkswagen elevated-temperature test system) as well as visual findings according to FVV guidelines, Vol. R 443 (1986 edition)

6.1.2.1 Type C

For concentration, see Table 5.

Table 5

Volume percent of coolant additive:		20 %	40 %
Metal	Medium	Weight loss in mg	
Aluminum	Deionized water, fresh	≤ 50	≤ 20
	Water, 10°dH, fresh	≤ 50	≤ 20
Gray cast iron	Deionized water, fresh	≤ 40	≤ 20
	Water, 10°dH, fresh	≤ 40	≤ 20

Only surface corrosion permissible, no pitting corrosion.

6.1.2.2 Types F, G, H, and J

For concentration, see Table 6.

Table 6

Volume percent of coolant additive:		20 %	40 %
Metal	Medium	Weight loss in mg	
Aluminum	Deionized water, fresh	≤ 100	≤ 40
	Water, 10°dH, fresh	≤ 80	≤ 30
Gray cast iron	Deionized water, fresh	≤ 80	≤ 40
	Water, 10°dH, fresh	≤ 60	≤ 30

Only surface corrosion permissible, no pitting corrosion.

6.1.3 Behavior in the dynamic corrosion test (Volkswagen elevated-temperature test system) after cleaning with water

6.1.3.1 Types F, G, H, and J

For concentration, see Table 7.

Table 7

Volume percent of coolant additive:		20 %	40 %
Metal	Medium	Weight loss in mg	
Aluminum	Deionized water, fresh	≤ 20	≤ 5
	Water, 10°dH, fresh	≤ 25	≤ 10
Gray cast iron	Deionized water, fresh	≤ 20	≤ 5
	Water, 10°dH, fresh	≤ 20	≤ 10

Only surface corrosion permissible, no pitting corrosion.

6.1.4 Residual silicate content after repeat dynamic corrosion test (Volkswagen elevated-temperature test system), types C, G, H, and J only

The concentration is 40 volume percent of the coolant additive.

The FVV elevated-temperature test is repeated with the same liquid but with a new Al specimen. After the second test, it is not the corroded amount of the Al specimen that is measured. In this case, the residual silicate content in the liquid is decisive.

Residual silicate content: Acc. to sample

6.1.5 Behavior in the cavitation chamber (knock chamber) acc. to FVV guidelines, Vol. R 530 (2005 edition)

See Table 8.

Table 8

Metal	Concentration	Weight loss, mg/specimen				
		TL 774-C	TL 774-F	TL 774-G	TL 774-H	TL 774-J
Cavitation chamber specimens	20 volume percent	Acc. to sample				
Specimen package specimens						
Cavitation chamber specimens	40 volume percent	Acc. to sample				
Specimen package specimens						

6.1.6 Behavior in the corrosion test with heat phase (FVV elevated-temperature test, MHTA) acc. to FVV guidelines, Vol. R 530 (2005 edition)

6.1.6.1 Test with ion-exchanged water acc. to FVV guidelines, Vol. R 530 (2005 edition), Appendix A 1.1

See Table 9.

Table 9

Metal	Concentration	Weight loss, mg/specimen				
		TL 774-C	TL 774-F	TL 774-G	TL 774-H	TL 774-J
Hot chamber specimens	40 volume percent	Acc. to sample				
Specimen package specimens						

6.1.6.2 Test with synthetically hard water acc. to FVV guidelines, Vol. R 530 (2005 edition), Appendix A 1.2

See Table 10.

Table 10

Metal	Concentration	Weight loss, mg/specimen				
		TL 774-C	TL 774-F	TL 774-G	TL 774-H	TL 774-J
Hot chamber specimens	40 volume percent	Acc. to sample				
Specimen package specimens						

7 Requirements on the water used to prepare the factory fill coolant

The water to be mixed with coolant additives must exhibit drinking water quality (water intended to be used as an ailment for human consumption or water intended for other applications requiring special sanitary care), see Table 11. The exclusive use of deionized water is not permissible.

Table 11

No.	Property	Unit	Requirement
1	pH value	pH units	6,5 to 7,5
2	Water hardness	°dH	< 20
3	Conductivity	µS	100 to 500
4	Calcium	mg/l	< 100
5	Copper	mg/l	< 0,1
6	Sulfate	mg/l	< 100
7	Chloride	mg/l	< 80
8	Iron	mg/l	< 0,2
9	Fluoride	mg/l	< 50
10	Purity class acc. to ISO 4406	Purity class	≤ 15 / 14 / 9

A mixture of drinking water and deionized water may be used to ensure compliance with the values set forth in Table 11. See also TL 52541, Water Used As Mixing Water for Factory Filling.

8 Requirements on the glycerin quality

The glycerin used in coolants must always be pre-cleaned by distillation and come from the following sources: Recycling (e.g., edible fat preparation), animal cadaver utilization, or biodiesel extraction (use of renewable resources). The requirements on the glycerin used are represented in Table 12 and must be complied with and regularly documented by the coolant supplier.

Table 12

No.	Property	Unit	Requirement
1	Glycerin content acc. to DIN 51405 (GC)	Weight %	> 99,5
2	Density d_{20} acc. to DIN 51757	kg/m³	> 1,26
3	Water content acc. to DIN 51777-1	%	< 0,5

No.	Property	Unit	Requirement
4	pH value acc. to ASTM D 1287		
4.1	50 volume percent in distilled water		6 to 8
5	Aldehydes	ppm	< 10
6	Organic halogens	ppm	< 30
7	Copper	ppm	< 0,1
8	Chlorides	ppm	< 10
9	Iron	ppm	< 0,2
10	Heavy metals	ppm	< 5

9 Notes on testing

9.1 Free water

Determination acc. to Karl Fischer.

9.2 Corrosion protection

The organic corrosion protection inhibitors (mono/dicarboxylic acids) form molecular protective layers on the metal surface which are completely destroyed by chemical cleaning. Therefore, the metal surface must be cleaned with water prior to chemical cleaning.

The metal is then rinsed off with acetone and dried in a drying oven for 1 h at 100 °C.

It is subsequently weighed (after cooling).

After this so-called water cleaning treatment, the procedure is as usual (chemical cleaning and weight determination).

9.3 Aluminum alloys

AlSi6Cu4 according to TL 023 will replace the SAE 329 Al alloy used according to ASTM D 1384.

The ASTM chain is being expanded to include the following aluminum alloys on the steel/aluminum side: AlSi12; AlMn.

For use in Audi engines, the Al alloy according to TL 023 is being replaced by AlSi10Mg (Cu).

Discoloration is permissible, provided it does not represent corrosion products.

Pitting is not permissible.

9.4 Foam formation

50 ml of a 33 volume percent coolant additive in distilled water is shaken for 1 minute in a 100 ml shaking flask.

Using the same solution, this test is subsequently repeated at 20 °C, 80 °C, and again at 20 °C.

The amount of foam is determined immediately after testing and after 1 minute.

9.5 Stability

Deviating from ASTM D 4340, synthetically hard water according to FVV guidelines, Vol. R 530 (2005 edition), Appendix A 1.2, is used.

The concentration is 40 volume percent.

Deviating from the aforementioned ASTM standard, the testing time is increased to 1 000 h for the test of long-term stability (type J only).

9.6 Temperature pattern over 30 h

Temperature increase must not exceed 10 °C over a testing period of 30 h, with the measurement 30 min after the testing start.

Example:

After 30 min	147 °C
After 30 h	≤ 157 °C

9.7 Corrosion behavior and cavitation behavior

Test procedure acc. to FVV guidelines (Vol. R 443, 1986).

In the case of sample supplies and first supplies, the complete test report acc. to the FVV must be submitted; however, this is not necessary for monthly test certificates.

10 Referenced documents

The following documents cited in this standard are necessary for application.

In this Section terminological inconsistencies may occur as the original titles are used.

Standards with the titles given in German are either only available in German or may be procured in other languages from the institution issuing the standard.

PV 1426	Coolant Additives/Glass Cleaners; Testing of Silicate and Hard Water Stability
PV 1432	Coolant Additives; Testing of Protective Effect against Crevice Corrosion
TL 023	Aluminum Cast Alloy; Material Requirements
TL 52541	Water Used As Mixing Water for Factory Filling; Material Requirements
VW 01155	Vehicle Supply Parts; Approval of First Supply and Changes
VW 91101	Environmental Standard for Vehicles; Vehicle Parts, Materials, Operating Fluids; Avoidance of Hazardous Substances
ASTM D 1120	Standard Test Method for Boiling Point of Engine Coolants
ASTM D 1287	Standard Test Method for pH of Engine Coolants and Antirusts
ASTM D 1384	Standard Test Method for Corrosion Test for Engine Coolants in Glassware
ASTM D 1882	Standard Test Method for Effect of Cooling System Chemical Solutions on Organic Finish for Automotive Vehicles

ASTM D 4340	Standard Test Method for Corrosion of Cast Aluminum Alloys in Engine Coolants Under Heat-Rejecting Conditions
DIN 51360-2	Testing of cooling lubricants; determination of corrosion preventing characteristics of cooling lubricants mixed with water; chip/filter paper method
DIN 51405	Testing of mineral oil hydrocarbons, similar liquids and solvents for paints and varnishes - Analysis by gas chromatography - General working principles
DIN 51423-1	Testing of mineral oils - Part 1: Measurement of the relative refractive index with the precision refractometer
DIN 51757	Testing of mineral oils and related materials; determination of density
DIN 51777-1	Testing of mineraloil hydrocarbons and solvents; determination of water content according to Karl Fischer; direct method
DIN EN ISO 2719	Determination of flash point - Pensky-Martens closed cup method
ISO 4406	Hydraulic fluid power - Fluids - Method for coding the level of contamination by solid particles

Anexo III

Características técnicas de equipos utilizados en el presente estudio

Equipos utilizados para la elaboración del nanorefrigerante:

Balanza de precisión Shimadzu SHI-AUY-220

Tabla III.1. Características técnicas de la balanza de precisión Shimadzu SHI-AUY-220.

Capacidad	220g
Capacidad mínima	indicado en el visor: 0,1mg (0,0001g)
Repetitividad	(desvío padrón): < 0,1 mg (escala mayor)< 0,05 mg (escala menor)
Linealidad	+-0,2 mg (escala mayor), +-0,1mg (escala menor)
Tiempo de respuesta	(estabilización) menor que 3 s escala mayor, menor que 15 s escala menor
Temperatura ambiente	5 a 40 °C
Coeficiente de sensibilidad temperatura	(10 a 30 °C): +- 2 ppm/°C
Diámetro de la bandeja de pesaje	80 mm
Unidades de masa disponible	g, mg, quilate, mom(monme), Lb, Oz, Ozt, tael de Hong Kong, Singapur, Taiwán, Malasia e China, Dwt, GN, m(mesghal), b(baht), t(tola), o (partes de libra)

(Fuente: [74])

Medidor de pH Jenway 3510

Tabla III.2. Características principales del medidor de pH Jenway 3510.

Resolución (mv)	+ 1.999,9 mV 0,1 mV
Exactitud	+ 0,01 mV
Impedancia entrada	> 1012 ohm
pH Resolución	0 a 14 0,1 / 0,01 / 0,001 pH
Exactitud	+ 0,003 pH.
Temperatura Resolución	-10 a 105ºC 0,1ºC
Exactitud	+ 0,05ºC
Compensación automática y manual de temperatura	0 a 100ºC
Calibración	1, 2 o 3 puntos

(Fuente: [93])

Agitador magnético

Tabla III.3. Características técnicas agitador magnético Dlab modelo MS7-H550.

Modelo	MS7-H550-S
Resolución	+/- 1 rpm
Rango de temperatura (ºC)	Ambiente hasta 550, con incrementos de 1ºC
Tipo de agitación	Magnético
RPM	100 - 1.500 rpm
Capacidad de agitación	Hasta 20 L
Alimentación	220V - 50/60Hz
Potencia calentamiento (W)	1050
Medida de la placa calefactora (mm)	184 x 184
Peso (kg)	5,3
Dimensiones (mm)	215 x 360 x 112

(Fuente: [76])

Mezclador Ultrasónico

Tabla III.4. Características técnicas del mezclador ultrasónico marca Misonix, modelo S-4000

Programación	10 memorias más secuenciación
Temporizador programable	1 segundo a 72 horas
Pulso ajustable On / Off	1 segundo a 24 horas
Potencia	600 W
Dimensiones	19 x 8.5 x 10.5 pulgadas
Frecuencia	50/60 Hz
Tamaño máximo de la muestra	40000 ml

(Fuente: [94])

Analizador de partículas

Tabla III.5. Características técnicas Analizador de partículas Brookhaven modelo 90 Plus.

Tipo de muestra	La mayoría de las nanopartículas y materiales de tamaño coloidal, en cualquier líquido no absorbente
Rango de tamaño	0,3 nm a 10 µm, dependiendo del índice de refracción y de la concentración
Celdas de muestra	1 a 3 ml de plástico desechable, 50 µl desechable, 40 µl de célula de flujo de cuarzo, 10 µl de cuarzo mínimo
Rango de Concentración	2 ppm a 50 mg / ml, dependiendo del índice de refracción y la concentración
Procesamiento de la señal	Dispersión dinámica de la luz, DLS
Precisión	± 1% normalmente
Control de temperatura	-5 ° C a 110 ° C, ± 0,1 ° C, control activo. No se requiere un circulador externo.
Láser estándar	Láser de diodo rojo de 35 mW, longitud de onda nominal de 640 nm

Tabla III.5. Características técnicas Analizador de partículas Brookhaven modelo 90 Plus. (Continuación).

Ángulo de dispersión	90 °
Conformidad	Resultados conformes ISO 13321 e ISO 22412
Requerimientos de energía	100/115/220/240 VAC, 50/60 Hz, 150 vatios
Dimensiones	23,3 x 42,7 x 48,1 (HWD)
Peso	15 kg
Características ambientales	Temperatura 10 ° C a 75 ° C Humedad 0% a 95%, sin condensación
Certificado CE	Producto láser clase I, EN 60825-1: 2001 CDRH

(Fuente:[4])

Equipos utilizados en la ejecución de pruebas dinámicas para medición de gases contaminantes con el ciclo de conducción IM-240

Analizador de gases

Tabla III.6. Características técnicas del equipo Analizador de gases on board.

TIPO	RANGO DE MEDICIÓN	PRECISIÓN	RESOLUCIÓN
Medición de O_2 (Sensor)	Mayor o igual de (0.01 a 25% Vol.)	Mayor o igual a ±0.1% abs.	Mayor o igual a 0.01% Vol.
Medición de CO (NDIR)	Mayor o igual de (0.001 a 10% Vol.)	Mayor o igual a ±0.02% abs.	Mayor o igual a 0.001% Vol.
Medición de NO_X (Sensor)	Mayor o igual de (0 a 4000 ppm)	Mayor o igual a ±25 ppm abs.	Mayor o igual a 1 ppm
Medición de CO_2 (NDIR)	Mayor o igual de (0.01- 16% Vol.)	Mayor o igual a ±0.30% abs.	Mayor o igual a 0.01% Vol.
Medición de HC (NDIR)	Mayor o igual de (1 a 15000 ppm)	Mayor o igual a ±4 ppm abs.	Mayor o igual a 1 ppm

(Fuente: [95])

LPS 3000

Tabla III.7. Datos técnicos del equipo LPS 3000.

GASES	CO	CO2	HC	O2	NOx
Rango de Medición	0 - 15 Vol. %	0- 20 Vol. %	0 - 2000 ppm (hexano)	0 - 25 Vol. %	0 - 5000 (Ppm Vol.)
Precisión de medida	0.06 Vol. %	0.5 Vol. %	12 ppm	0.1 Vol. %	32-120 ppm
Principio de medida	Infrarrojo	infrarrojo	infrarrojo	electroquímico	Electroquímico

Tabla III.7. Datos técnicos del equipo LPS 3000 (Continuación).

Alimentación	85 V - 280 V 50 Hz 65 W
Presión de servicio	750 -1100 mbar
Temperatura de servicio	desde + 5 °C hasta + 45 °C
Termómetro de aceite	desde 0 °C hasta + 150 °C Resolución 1

(Fuente: [84])

Medidor de material particulado

Tabla III.8. Características técnicas del medidor de partículas marca MAHA modelo MPM-4M.

Especificaciones del medidor de partículas		
Detalle	**Unidad**	**Valor**
Modelo	-	MPM-4M
Principio de medición	-	Dispersión de luz laser
Dimensiones	mm	550x245x240
Alimentación	V	12 DC
Potencia media absorbida	W	25
Tiempo de calentamiento	min.	10
Rango de medición	mg/m^3	0.1-400
Software	-	MPM View

(Fuente: Maha, 2010)

Sensores de temperatura

Tabla III.9. Especificaciones técnicas de los sensores tipo J de temperatura. Características principales de las termocuplas industriales más utilizadas.

Termocuplas metálicas				
Tipo ANSIISA	Combinación de metales	Sensibilidad	Composición química	Rangos de temperatura
J	Hierro/ constantan	5,6 mV/100 ° C	Fe 44 Ni:55 Cu	-40 a + 750
K	Cromel/ Alumel	3,6 mV/100 ° C	90 Ni:9 Cr94 Ni:Al:Mn:Fe	-40 a +1200

(Fuente: [96])

Tabla III.10. Especificaciones técnicas de los sensores tipo K de temperatura. Características principales.

Termocuplas tipo	Rango de temperatura, ºC	Límite de error	
		Estándar (cualquier superior)	Especial (cualquier superior)
J	0-750	+/- 2,2ºC or +/ - 0,75%	+/- 1,1ºC or 0,4%
K	0-1250	+/- 2,2ºC or +/ - 0,75%	+/- 1,1ºC or +/- 0,4%

(Fuente: [86])

Anexo IV

Oficio AMT para determinación de vehículos contaminantes diésel en el DMQ para el año 2016

AGENCIA METROPOLITANA DE TRÁNSITO

Quito DM, 06 de abril de 2017
Oficio No. AMT-DRAV-2017-1794
DRAV-1192-2017

Señorita
Erika Guerrero

Presente

De mi consideración:

En respuesta al oficio S/N, ingresado el 24 de marzo de 2017 a la Dirección de Registro y Administración Vehicular de la Agencia Metropolitana de Tránsito, donde solicita *"(. .) datos referentes a la revisión vehicular en el DMQ correspondientes al año 2016 con respecto a "los gases medidos para opacidad en RTV de vehículos de carga liviana (. .)"*

Al respecto le informo que nuestra dependencia cuenta con los siguientes datos estadísticos de los vehículos que se presentan a realizar la Revisión Técnica Vehicular que los puede encontrar en el CD adjunto; cabe indicar que se debe considerar la existencia de evasión al cumplimiento de la Revisión Técnica Vehicular del Distrito Metropolitano de Quito.

Sin otro particular, me suscribo.

Atentamente,

Ing. Marcela Veloz S.
Directora de Registro y Administración Vehicular
Agencia Metropolitana de Tránsito

Adjunto CD con la información estadística de Revisión Técnica Vehicular

ACCIÓN	FUNCIONARIO	CARGO	SUMILLA
Elaborado por:	Daniel Manjarrés	Servidor Municipal Grado 30	
Revisado por:	Edgar Muñoz	Coordinador de Revisión Técnica Vehicular	

Página 1 de 1

Anexo V

Ficha Técnica Kia Pregio año 2005

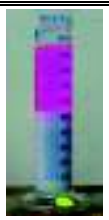
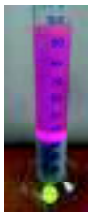
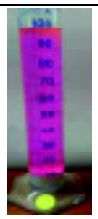
(Fuente: [97])

Anexo VI

Resultados del ensayo de sedimentación de las muestras de nanofluidos preparadas

Tabla VI.1. Resultados del ensayo de sedimentación de las muestras de nanofluidos preparadas. (Cuyos valores se presentan en las tablas 3.1 y 3.2).

Pruebas iniciales

Código	Ø Ef.* (nm)	Pd**	Elaboración	Sedimentación (ml) 24 horas	Sedimentación (ml) 1 semana	Sedimentación (ml) 1 mes	Sedimentación (ml) 2 meses
NF-0,5-8,25-1C'	14,5	0,373					
			22-jun	98	79	44	37
NF-0,1-7,51-1C'	80,6	0,291					
			23-jun	98	21	11	7
NF-0,5-10,80-1P'	10,4	0,362					
			29-jun	98	81	41	30
NF-0,5-11,67-1C"	8,3	0,344					
			19-jul	91	79	33	29

Pruebas subsecuentes

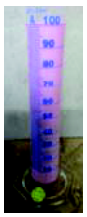
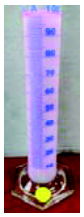
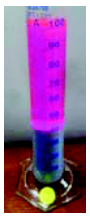
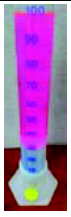
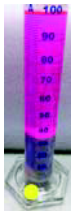
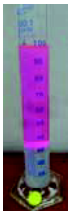
Código	Ø Ef.* (nm)	Pd**	Elaboración	Sedimentación (ml) 24 horas	Sedimentación (ml) 1 semana	Sedimentación (ml) 1 mes
NF-0,5-9,12-1C"	13,9	0,344				
			21-jul	98	49	41

Tabla VI.1. Resultados del ensayo de sedimentación de las muestras de nanofluidos preparadas. (Cuyos valores se presentan en las tablas 3.1 y 3.2). (Continuación)

Código	Ø Ef.* (nm)	Pd**	Elaboración	Sedimentación (ml) 24 horas	Sedimentación (ml) 1 semana	Sedimentación (ml) 1 mes
Pruebas subsecuentes						
NF-0,5-9,26-5C”	10	0,359	21-jul	97	37	28
NF-0,5-9,05-1C”	12,3	0,385	21-jul	97,5	41	 32
NF-0,5-8,50-5C”	10,2	0,364	21-jul	97,5	47	39
Pruebas finales						
NF-0,5-9,15-1C”	8,6	0,324	29-ago	91	35	33
NF-0,5-9,12-1C-1” (re agitada)	12,5	0,350	29-ago	98,5	 37	 33

(Fuente: Propia, 2018)
* Ø Ef. Hace referencia al diámetro efectivo medido en número.
** Pd, hace referencia a la polidispersidad.

La nomenclatura utilizada para las muestras se representa de la siguiente manera:

NF – XX – XY – Z (P/C)

Donde:

NF: Nanofluido

XX: valor de porcentaje de concentración del nanofluido en volumen (v/v)

XY: valor del pH

Z: tiempo en horas de sonicación

(P/C): tipo de sonicación por pulso “P” o continuo “C”

’/’’: referencia el tipo de sonda utilizada y la frecuencia de sonicación (’ Sonda utilizada de 20 mm a una amplitud de 75 KHz) y (’’ Sonda utilizada de 26 mm a una amplitud de 24 KHz).

Anexo VII

Distribución del tamaño de partícula en número para todas las muestras de nanorefrigerante ensayadas

Tabla VII.1. Distribución del tamaño de partícula en número para las muestras de nanorefrigerante ensayadas.

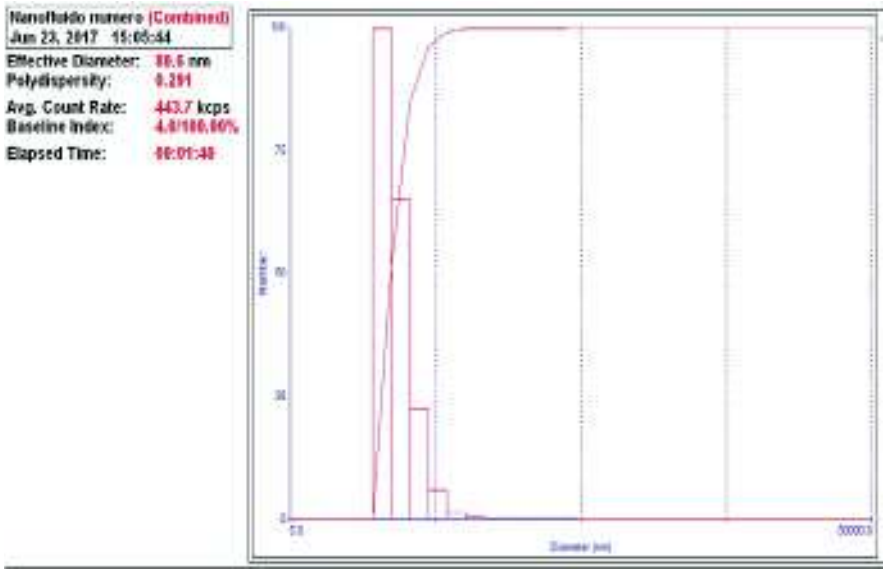
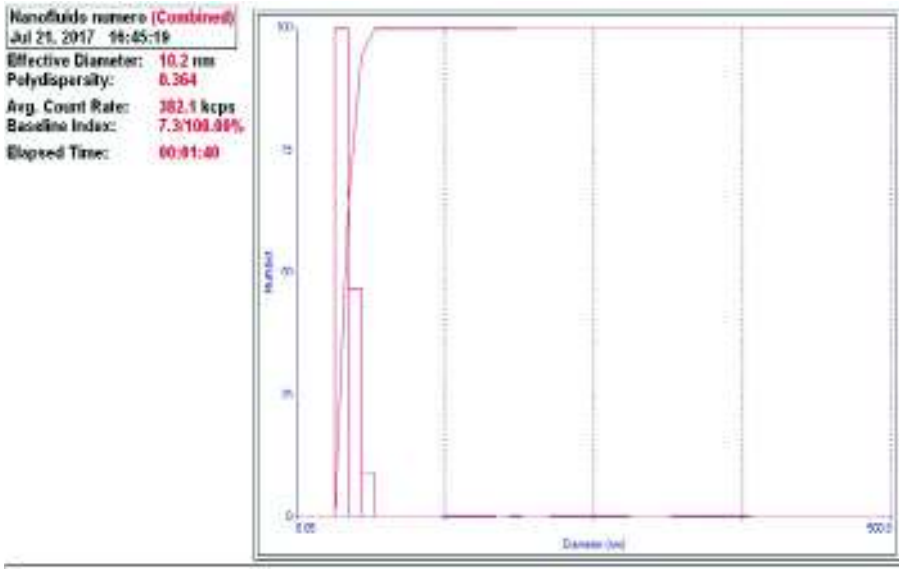
<table>
<tr><th>Código</th><th colspan="2">Gráfico</th></tr>
<tr><td rowspan="3">NF-0,1-7,51-1C’</td><td colspan="2"> 
</td></tr>
<tr><td>Ø efectivo (nm)</td><td>Polidispersidad</td></tr>
<tr><td>80,6</td><td>0,291</td></tr>
<tr><td rowspan="3">NF-0,5-8,50-5C’’</td><td colspan="2"> 
</td></tr>
<tr><td>Ø efectivo (nm)</td><td>Polidispersidad</td></tr>
<tr><td>10,2</td><td>0,364</td></tr>
</table>

Tabla VII.1. Distribución del tamaño de partícula en número para las muestras de nanorefrigerante ensayadas. (Continuación).

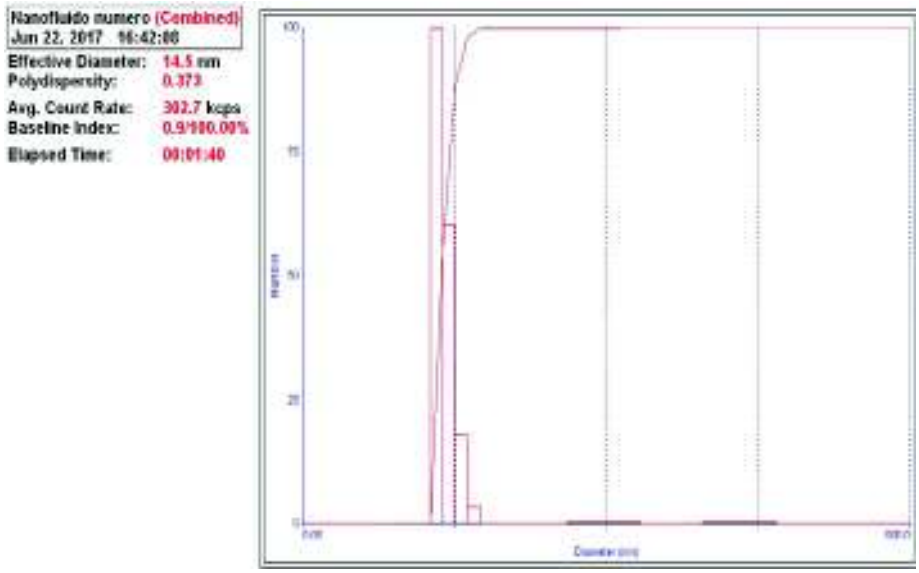
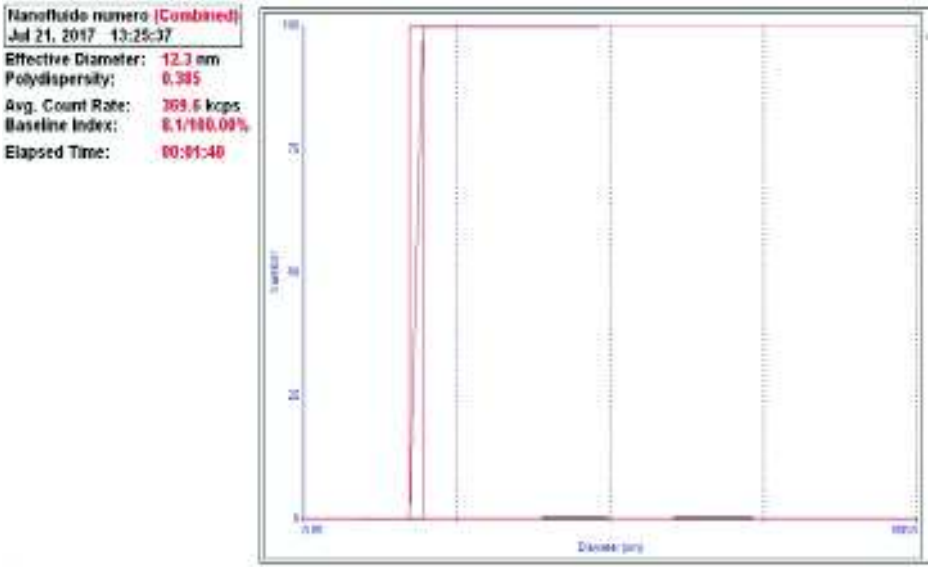
<table>
<tr><th>Código</th><th colspan="2">Gráfico</th></tr>
<tr><td rowspan="3">NF-0,5-8,25-1C’</td><td colspan="2"> 
</td></tr>
<tr><td>Ø efectivo (nm)</td><td>Polidispersidad</td></tr>
<tr><td>14,5</td><td>0,373</td></tr>
<tr><td rowspan="3">NF-0,5-9,05-1C’’</td><td colspan="2"> 
</td></tr>
<tr><td>Ø efectivo (nm)</td><td>Polidispersidad</td></tr>
<tr><td>12,3</td><td>0,385</td></tr>
</table>

Tabla VII.1. Distribución del tamaño de partícula en número para las muestras de nanorefrigerante ensayadas. (Continuación).

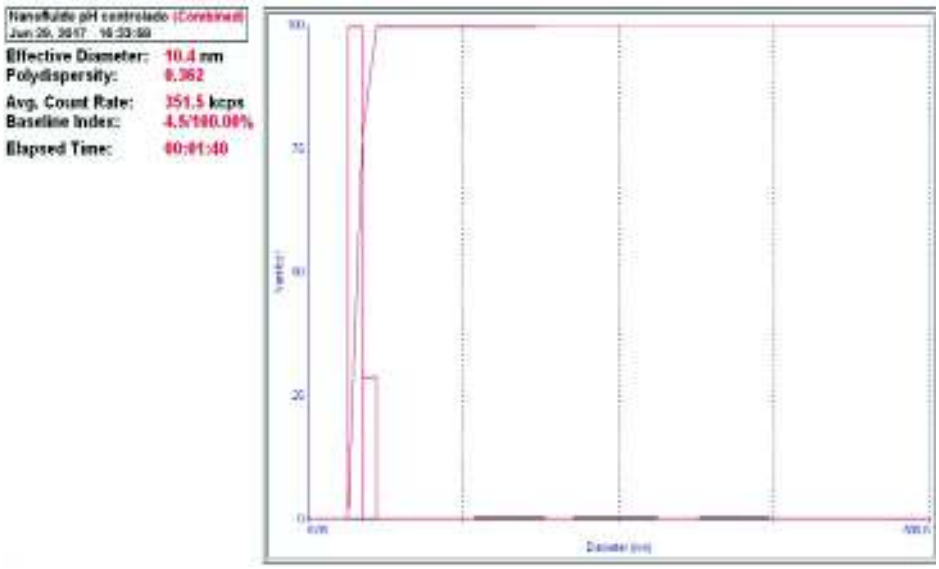
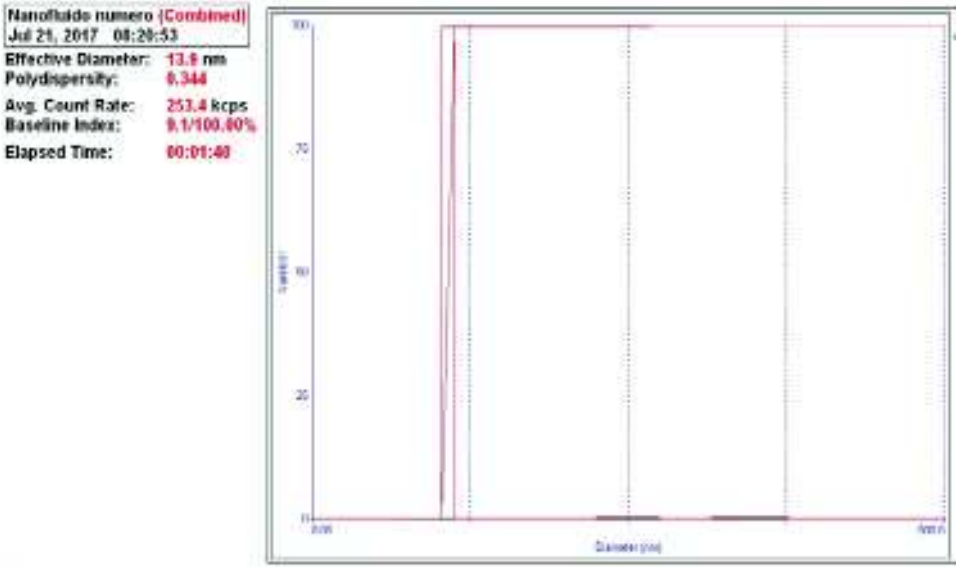
<table>
<tr><th>Código</th><th colspan="2">Gráfico</th></tr>
<tr><td rowspan="3">NF-0,5-10,80-1P’</td><td colspan="2"> 
</td></tr>
<tr><td>Ø efectivo (nm)</td><td>Polidispersidad</td></tr>
<tr><td>10,4</td><td>0,362</td></tr>
<tr><td rowspan="3">NF-0,5-9,12-1C’’</td><td colspan="2"> 
</td></tr>
<tr><td>Ø efectivo (nm)</td><td>Polidispersidad</td></tr>
<tr><td>13,9</td><td>0,344</td></tr>
</table>

Tabla VII.1. Distribución del tamaño de partícula en número para las muestras de nanorefrigerante ensayadas. (Continuación).

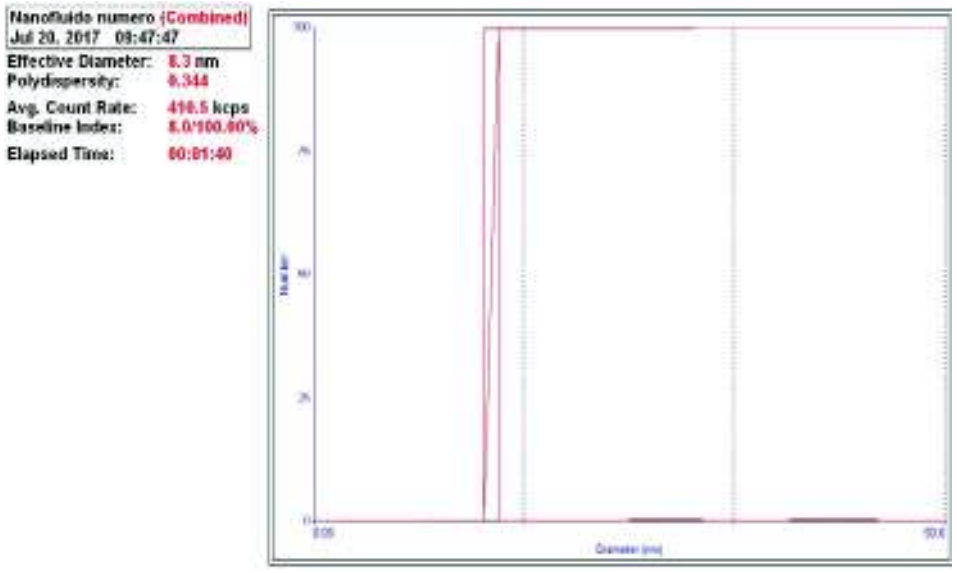
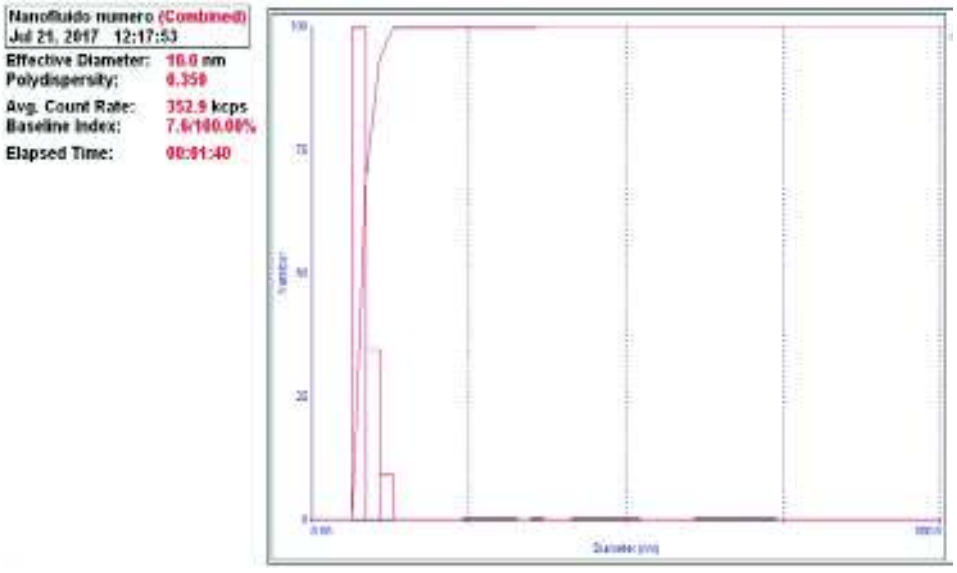
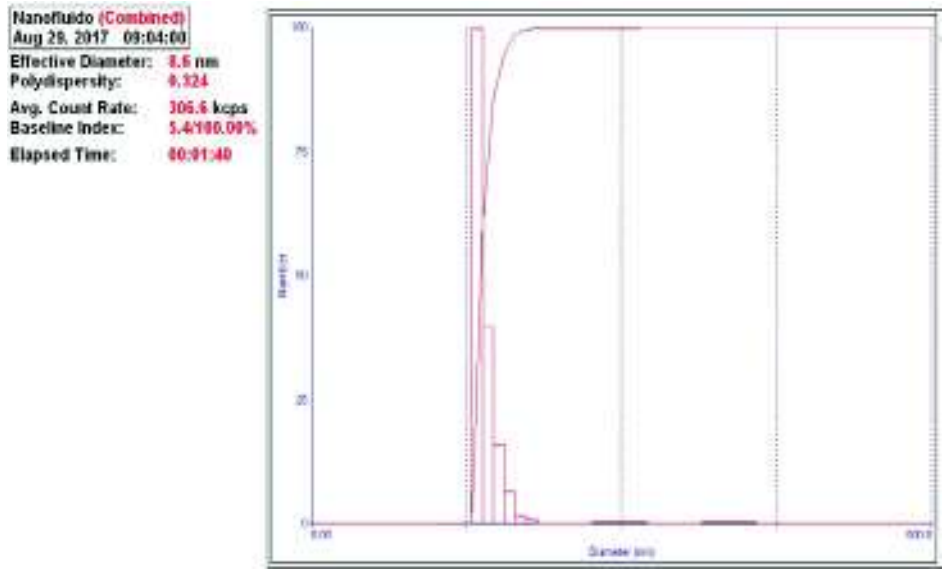
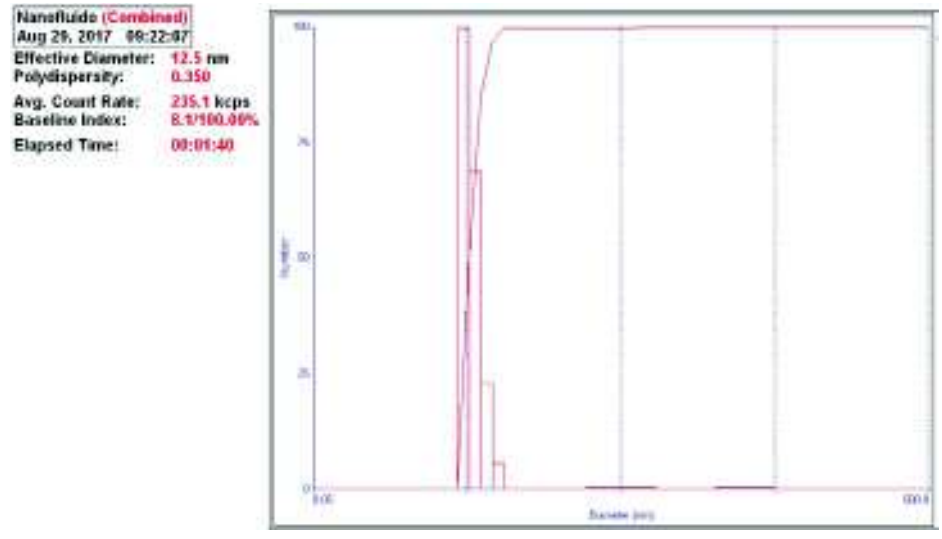
<table>
<tr><th>Código</th><th>Gráfico</th></tr>
<tr><td rowspan="3">NF-0,5-11,67-1C”</td><td> 
</td></tr>
<tr><td><table>
<tr><th>Ø efectivo (nm)</th><th>Polidispersidad</th></tr>
<tr><td>8,3</td><td>0,334</td></tr>
</table></td></tr>
<tr><td></td></tr>
<tr><td rowspan="3">NF-0,5-9,26-5C”</td><td> 
</td></tr>
<tr><td><table>
<tr><th>Ø efectivo (nm)</th><th>Polidispersidad</th></tr>
<tr><td>10</td><td>0,359</td></tr>
</table></td></tr>
<tr><td></td></tr>
</table>

Tabla VII.1. Distribución del tamaño de partícula en número para las muestras de nanorefrigerante ensayadas. (Continuación).

<table>
<tr><th>Código</th><th colspan="2">Gráfico</th></tr>
<tr><td rowspan="3">NF-0,5-9,15-1C”</td><td colspan="2"> 
</td></tr>
<tr><td>Ø efectivo (nm)</td><td>Polidispersidad</td></tr>
<tr><td>8,6</td><td>0,324</td></tr>
<tr><td rowspan="3">NF-0,5-9,12-1C-1” (re agitado)</td><td colspan="2"> 
</td></tr>
<tr><td>Ø efectivo (nm)</td><td>Polidispersidad</td></tr>
<tr><td>12,5</td><td>0,350</td></tr>
</table>

(Fuente: Propia, 2018)

Anexo VIII

Informes de resultados de pruebas ejecutadas en el laboratorio del CCICEV

CCICEV
Centro de Transferencia Tecnológica para la Capacitación e Investigación en Control de Emisiones Vehiculares

Quito, 27 de octubre de 2017
CCICEV-CER-TESIS17 - 020

CERTIFICADO

El Centro de Transferencia Tecnológica para la Capacitación e Investigación en Control de Emisiones Vehiculares – CCICEV, mediante solicitud de ensayos 0113 por parte de la Ing. ERIKA ESTEFANIA GUERRERO ESPIN certifica que el vehículo detallado a continuación fue evaluado en los ensayos de:

- EMISIONES DE GASES DE ESCAPE DINAMICOS ON BOARD
- EMISIONES DE GASES DE ESCAPE DINAMICOS – MATERIAL PARTICULADO
- CONSUMO DE COMBUSTIBLE EN LABORATORIO

DATOS GENERALES DEL VEHÍCULO			
Marca	KIA	VIN Chasis / Placa	KNHT87322572824073
Modelo	PREGIO 17 PASAJEROS	Kilometraje	N/A
MOTOR (Datos del fabricante)**			
Posición de motor	DELANTERO LONGITUDINAL	No. Motor	JT553332
No. de cilindros y disposición	4 LINEA	Versión	N/A
Máxima Potencia (kw/rpm)	82,02 kw a 4000 rpm	Máximo Torque (N/m/rpm)	224,26 Nm A 2300 rpm
Sistema de enfriamiento	REFRIGERANTE COMERCIAL	Tipo de aspiración	ATMOSFÉRICO
Cilindrada [cm3]	3000	Transmisión (manual/automática)	MANUAL
Combustible / Fuente de energía	DIESEL	Categoría-Subcategoría-Clase	VAN / FURGONETA DE PASAJEROS
Tipo	M_2	Año modelo vehículo	2005
Tonelaje	3,5	País de origen	COREA DEL SUR

Fecha de ejecución del ensayo: 14 Y 15 DE OCTUBRE DE 2017

Los informes técnicos de resultados de evaluación de los ensayos han sido remitidos al solicitante, pudiendo este utilizarlos dentro de su investigación.

El CCICEV no se hace responsable por el mal uso de la documentación entregada y que motivo de esto ocasione repercusiones en el ámbito en que se dé uso.

Es todo cuanto se puede indicar en honor a la verdad.

Atentamente,

Ing. Diego Lincango
RESPONSABLE TÉCNICO DE LA UNIDAD DE LABORATORIO DE INVESTIGACIÓN
CCICEV

Av. Toledo s/n y Madrid (Campus Politécnico) Telf.: 02 2976 300 Ext. 6751 www.ccicev.com

CCICEV

Centro de Transferencia Tecnológica para la Capacitación e Investigación en Control de Emisiones Vehiculares

REGISTRO DE DATOS DE PRUEBA DE CONSUMO DE COMBUSTIBLE EN LABORATORIO

CODIGO: CCICEV-LI-CCL	Revisión: 0	N°	113-C1
	Página: 1 / 1	FECHA:	14/10/2017 y 15/10/2017
TÉCNICOS RESPONSABLES	Diego Lincango		

OBJETIVO DE LA EVALUACIÓN		TIPO DE EVALUACIÓN			
Evaluación Inicial	X	Evaluación Regular		Prechequeo RTV*	
Reevaluación		Evaluación RTV* 4to rev		Evaluación Tesis	X
No. Visita		Otros			

*RTV: Revisión Técnica Vehicular

DATOS GENERALES DEL VEHÍCULO

Marca	KIA	VIN Chasis / Placa:	KNHTS7320S7203473
Modelo	PRECIO 17 PASAJEROS	Kilometraje:	N/A

MOTOR (Datos del fabricante)**

Posición de motor	DELANTERO LONGITUDINAL	No. Motor	JT553332
No. de cilindros y disposición	4 LINEA	Version	N/A
Maxima Potencia (kw/rpm)	82,02 kw a 4000 rpm	Maximo Torque (Nm/rpm)	224,26 Nm A 2200 rpm
Sistema de enfriamiento	REFRIGERANTE COMERCIAL	Tipo de aspiración	ATMOSFÉRICO
Cilindrada (cm3)	3000	Transmisión (manual/automatica)	MANUAL
Combustible / Fuente de energía	DIESEL	Categoria-Subcategoria Clase	VAN / FURGONETA DE PASAJEROS
Tipo	M_2	Año modelo vehículo	2005
Tonelaje	3,5	País de origen	COREA DEL SUR

**Opcional en RTV

Hora de inicio	8:00	Hora final	16:00	Código equipo	
Altitud inicial	2800 m		Altitud final	2800 m	

RESULTADOS OBTENIDOS EN LA PRUEBA

TRAMOS	CICLO	INICIO [L/I]	FINAL [L/I]	DISTANCIA [km]
1	09429	5	4,64	3,2
2	09348	5	4,84	3,2
3	09429	5	4,72	3,2
4	09348	5	4,66	3,2
5	09350	5	4,82	3,2

Rendimiento Tramo 1 [km/gal]	33,85
Rendimiento Tramo 2 [km/gal]	36,33
Rendimiento Tramo 3 [km/gal]	33,78
Rendimiento Tramo 4 [km/gal]	34,91
Rendimiento Tramo 5 [km/gal]	31,88

Rendimiento total [km/gal]
33,85

OBSERVACIONES: El combustible fue proporcionado por el solicitante

Técnico No 1 | Técnico No 2

Firma Responsables:

Nombres: Diego Lincango

Firma Responsable de Unidad:

Nombre: Ing. Diego Lincango

Formato de registro primario para pruebas de consumo de combustible en laboratorio

CCICEV

Centro de Transferencia Tecnológica para la Capacitación e Investigación en Control de Emisiones Vehiculares

REGISTRO DE DATOS DE PRUEBAS DE EMISIONES DE MATERIAL PARTICULADO

CODIGO: CCICEV-LI-ENP	Revisión 0	N°	113-C1
	Página 1 / 1	FECHA	14/10/2017 y 15/10/2017
TÉCNICOS RESPONSABLES	Diego Lescano		

OBJETIVO DE LA EVALUACION		TIPO DE EVALUACION			
Evaluación Inicial	X	Evaluación Regular		Prechequeo RTV*	
Reevaluación		Evaluación RTV*4, rev		Evaluación Tesis	X
No. Visita		Otros			

*RTV: Revisión Técnica Vehicular

DATOS GENERALES DEL VEHÍCULO

Marca	KIA	VIN Chasis / Placa	KNHTS73225T202473
Modelo	PREGIO 17 PASAJEROS	Kilometraje	NA

MOTOR (Datos del fabricante)**

Posición de motor	DELANTERO LONGITUDINAL	No. Motor	JT933332
No. de cilindros y disposición	4 LINEA	Versión	NA
Máxima Potencia (kw/rpm)	82,02 kw a 4000 rpm	Máximo Torque (Nm/rpm)	224,26 Nm A 2200 rpm
Sistema de enfriamiento	REFRIGERANTE COMERCIAL	Tipo de aspiración	ATMOSFÉRICO
Cilindrada [cm3]	3000	Transmisión (manual/automática)	MANUAL
Combustible / Fuente de energía	DIESEL	Categoría-subcategoría-Clase	VAN / FURGONETA DE PASAJEROS
Tipo	M_2	Año modelo vehículo	2005
Tonelaje	3,5	País de origen	COREA DEL SUR

**Opcional en RTV

Hora de inicio	8:00	Hora final	16:00	Código equipo	

RESULTADOS DEL MEDIDOR DE PARTÍCULAS

ENSAYO EJECUTADO	PRUEBAS DE MATERIAL PARTICULADO					
	CICLO	MP 1 [mg/m$_3$]	MP 2 [mg/m$_3$]	MP 3 [mg/m$_3$]	MP 4 [mg/m$_3$]	MP 5 [mg/m$_3$]
	IM240	18,53	16,24	14,36	22,7	12,88

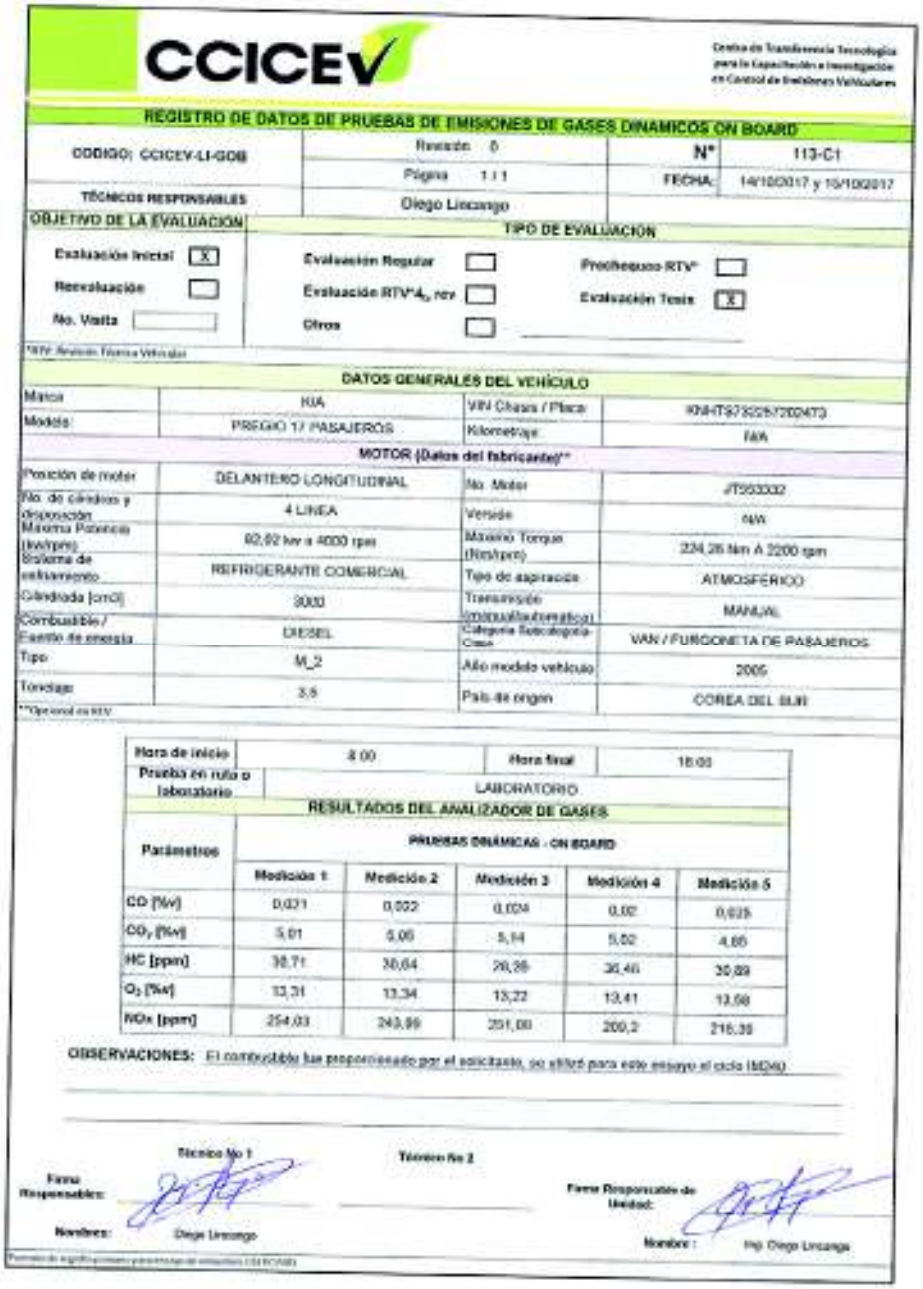
OBSERVACIONES: El combustible fue proporcionado por el solicitante

Técnico No 1 | Técnico No 2

Firma Responsable: | Firma Responsable de Unidad:

Nombres: Diego Lescano | Nombre: Ing. Diego Lescano

Formato de registro personal para pruebas de material particulado



CCICEV

Centro de Transferencia Tecnológica para la Capacitación e Investigación en Control de Emisiones Vehiculares

REGISTRO DE DATOS DE PRUEBAS DE EMISIONES DE GASES DINAMICOS ON BOARD

CODIGO: CCICEV-LI-GOB	Revisión 0	N°	113-C1
	Página 1 / 1	FECHA:	14/10/2017 y 15/10/2017
TÉCNICOS RESPONSABLES	Diego Lincango		

OBJETIVO DE LA EVALUACIÓN

- Evaluación Inicial [X]
- Reevaluación [ ]
- No. Visita [ ]

TIPO DE EVALUACIÓN

- Evaluación Regular [ ]
- Evaluación RTV*4, rev [ ]
- Otros [ ]
- Prechequeo RTV* [ ]
- Evaluación Tesis [X]

*RTV: Revisión Técnica Vehicular

DATOS GENERALES DEL VEHÍCULO

Marca	KIA	VIN Chasis / Placa	KNHT973225/202473
Modelo	PREGIO 17 PASAJEROS	Kilometraje	N/A

MOTOR (Datos del fabricante)**

Posición de motor	DELANTERO LONGITUDINAL	No. Motor	JT553332
No. de cilindros y disposición	4 LINEA	Versión	N/A
Máxima Potencia (kw/rpm)	92,92 kw a 4000 rpm	Máximo Torque (Nm/rpm)	224,26 Nm A 2200 rpm
Sistema de enfriamiento	REFRIGERANTE COMERCIAL	Tipo de aspiración	ATMOSFÉRICO
Cilindrada [cm3]	3000	Transmisión (manual/automática)	MANUAL
Combustible / Fuente de energía	DIESEL	Categoría Subcategoría-Clase	VAN / FURGONETA DE PASAJEROS
Tipo	M_2	Año modelo vehículo	2005
Tonelaje	3,5	País de origen	COREA DEL SUR

**Opcional en RTV

Hora de inicio	8:00	Hora final	18:00
Prueba en ruta o laboratorio	LABORATORIO		

RESULTADOS DEL ANALIZADOR DE GASES

Parámetros	PRUEBAS DINÁMICAS - ON BOARD				
	Medición 1	Medición 2	Medición 3	Medición 4	Medición 5
CO [%v]	0,021	0,022	0,024	0,02	0,025
CO_2 [%v]	5,01	5,06	5,14	5,02	4,85
HC [ppm]	38,71	38,64	28,38	36,46	30,89
O_2 [%v]	13,31	13,34	13,22	13,41	13,58
NOx [ppm]	254,03	243,99	251,00	209,2	216,39

OBSERVACIONES: El combustible fue proporcionado por el solicitante, se utilizó para este ensayo el ciclo (M24)

Técnico No 1 — Firma Responsable: [signature] — Nombres: Diego Lincango

Técnico No 2 — Firma Responsable de Unidad: [signature] — Nombre: Ing. Diego Lincango

Formato de registro para pruebas de emisiones (CCICEV-LI)

CCICEV
Centro de Transferencia Tecnológica para la Capacitación e Investigación en Control de Emisiones Vehiculares

Quito, 27 de octubre de 2017
CCICEV-CER-TESIS17 - 021

CERTIFICADO

El Centro de Transferencia Tecnológica para la Capacitación e Investigación en Control de Emisiones Vehiculares – CCICEV, mediante solicitud de ensayos 0113 por parte de la Ing. ERIKA ESTEFANIA GUERRERO ESPIN certifica que el vehículo detallado a continuación fue evaluado en los ensayos de:

- EMISIONES DE GASES DE ESCAPE DINAMICOS ON BOARD
- EMISIONES DE GASES DE ESCAPE DINAMICOS – MATERIAL PARTICULADO
- CONSUMO DE COMBUSTIBLE EN LABORATORIO

DATOS GENERALES DEL VEHICULO			
Marca	KIA	VIN Chasis / Placar	KNHTS7322572202473
Modelo	PREGIO 17 PASAJEROS	Kilometraje	N/A
MOTOR (Datos del fabricante)**			
Posición de motor	DELANTERO LONGITUDINAL	No. Motor	JT553332
No. de cilindros y disposición	4 LINEA	Versión	N/A
Máxima Potencia (kw/rpm)	82,02 kw a 4000 rpm	Máximo Torque (Nm/rpm)	224,26 Nm A 2200 rpm
Sistema de enfriamiento	NANO REFRIGERANTE	Tipo de aspiración	ATMOSFÉRICO
Cilindrada (cm3)	3800	Transmisión (manual/automática)	MANUAL
Combustible / Fuente de energía	DIESEL	Categoría Subcategoría-Clase	VAN / FURGONETA DE PASAJEROS
Tipo	M_2	Año modelo vehículo	2005
Tonelaje	3.5	País de origen	COREA DEL SUR

Fecha de ejecución del ensayo: 21 Y 22 DE OCTUBRE DE 2017

Los informes técnicos de resultados de evaluación de los ensayos han sido remitidos al solicitante, pudiendo este utilizarlos dentro de su investigación.

El CCICEV no se hace responsable por el mal uso de la documentación entregada y que motivo de esto ocasione repercusiones en el ámbito en que se dé uso.

Es todo cuanto se puede indicar en honor a la verdad.

Atentamente,

Ing. Diego Lincango
RESPONSABLE TÉCNICO DE LA UNIDAD DE LABORATORIO DE INVESTIGACIÓN
CCICEV

Av. Toledo s/n y Madrid (Campus Politécnico) Telf.: 02 2976 300 Ext. 5751 www.ccicev.com

CCICEV

Centro de Transferencia Tecnológica para la Capacitación e Investigación en Control de Emisiones Vehiculares

REGISTRO DE DATOS DE PRUEBAS DE EMISIONES DE MATERIAL PARTICULADO

CODIGO: CCICEV-LI-EMP	Revisión 0	Nº	113-C2
	Página 1 / 1	FECHA:	21/10/2017 y 22/10/2017
TÉCNICOS RESPONSABLES	Diego Lincango		

OBJETIVO DE LA EVALUACIÓN		TIPO DE EVALUACIÓN			
Evaluación Inicial	X	Evaluación Regular		Prechequeo RTV*	
Reevaluación		Evaluación RTV* 4to rev		Evaluación Tesis	X
No. Visita		Otros			

*RTV: Revisión Técnica Vehicular

DATOS GENERALES DEL VEHÍCULO

Marca	KIA	VIN Chasis / Placa	KNHT8732267202473
Modelo:	PREGIO 17 PASAJEROS	Kilometraje	N/A

MOTOR (Datos del fabricante)**

Posición de motor	DELANTERO LONGITUDINAL	No. Motor	JT553332
No. de cilindros y disposición	4 LINEA	Versión	N/A
Máxima Potencia (kw/rpm)	82.02 kw a 4000 rpm	Máximo Torque (Nm/rpm)	224.26 Nm A 2200 rpm
Sistema de enfriamiento	NANO REFRIGERANTE	Tipo de aspiración	ATMOSFÉRICO
Cilindrada [cm3]	3000	Transmisión (manual/automatica)	MANUAL
Combustible / Fuente de energía	DIESEL	Categoría-Subcategoría-Clase	VAN / FURGONETA DE PASAJEROS
Tipo	M_2	Año modelo vehículo	2005
Tonelaje	3,5	País de origen	COREA DEL SUR

**Opcional en RTV

Hora de inicio	8:00	Hora final	17:00	Código equipo	

RESULTADOS DEL MEDIDOR DE PARTÍCULAS

ENSAYO EJECUTADO	PRUEBAS DE MATERIAL PARTICULADO					
	CICLO	MP 1 [mg/m$_3$]	MP 2 [mg/m$_3$]	MP 3 [mg/m$_3$]	MP 4 [mg/m$_3$]	MP 5 [mg/m$_3$]
	IM240	11,52	11,78	4,32	3,3	2,78

OBSERVACIONES: El combustible fue proporcionado por el solicitante

Técnico No 1 | Técnico No 2

Firma Responsables:

Nombres: Diego Lincango

Firma Responsable de Unidad:

Nombre : Ing. Diego Lincango

Formato de registro primario para pruebas de material particulado

CCICEV

Centro de Transferencia Tecnológica para la Capacitación e Investigación en Control de Emisiones Vehiculares

REGISTRO DE DATOS DE PRUEBAS DE EMISIONES DE GASES DINAMICOS ON BOARD

CODIGO: CCICEV-LI-GOB	Revisión 0	N°	113-C2
	Página 1 / 1	FECHA:	21/10/2017 y 22/10/2017
TECNICOS RESPONSABLES	Diego Lincango		

OBJETIVO DE LA EVALUACIÓN		TIPO DE EVALUACIÓN			
Evaluación Inicial	X	Evaluación Regular		Prechequeo RTV*	
Reevaluación		Evaluación RTV*4ta rev		Evaluación Taxis	X
No. Visita		Otros			

*RTV: Revisión Técnica Vehicular

DATOS GENERALES DEL VEHÍCULO

Marca	KIA	VIN Chasis / Placa	KNHTS732257202473
Modelo	PREGIO 17 PASAJEROS	Kilometraje:	N/A

MOTOR (Datos del fabricante)**

Posición de motor	DELANTERO LONGITUDINAL	No. Motor	JT553332
No. de cilindros y disposición	4 LINEA	Versión	N/A
Máxima Potencia (kw/rpm)	82,02 kw a 4000 rpm	Máximo Torque (Nm/rpm)	224,28 Nm A 2200 rpm
Sistema de enfriamiento	NANO REFRIGERANTE	Tipo de aspiración	ATMOSFÉRICO
Cilindrada [cm3]	3000	Transmisión (manual/automática)	MANUAL
Combustible / Fuente de energía	DIESEL	Categoría-Subcategoría-Clase	VAN / FURGONETA DE PASAJEROS
Tipo	M_2	Año modelo vehículo	2006
Tonelaje	3,5	País de origen	COREA DEL SUR

**Opcional en RTV

Hora de inicio	8:00	Hora final	17:00
Prueba en ruta o laboratorio	LABORATORIO		

RESULTADOS DEL ANALIZADOR DE GASES

Parámetros	PRUEBAS DINÁMICAS - ON BOARD				
	Medición 1	Medición 2	Medición 3	Medición 4	Medición 5
CO [%v]	0,018	0,019	0,019	0,021	0,017
CO_2 [%v]	5,34	5,18	5,37	4,7	5,06
HC [ppm]	23,64	25,79	22,97	31,09	26,26
O_2 [%v]	12,93	13,26	13,01	13,87	13,4
NOx [ppm]	245,78	221,16	228,21	228	245,15

OBSERVACIONES: El combustible fue proporcionado por el solicitante, se utilizó para este ensayo el ciclo IM240

	Técnico No 1	Técnico No 2	
Firma Responsables:			Firma Responsable de Unidad:
Nombres:	Diego Lincango		Nombre: Ing. Diego Lincango

Formato de registro primario para ensayo de emisiones ON BOARD

CCICEV

Centro de Transferencia Tecnológica para la Capacitación e Investigación en Control de Emisiones Vehiculares

REGISTRO DE DATOS DE PRUEBA DE CONSUMO DE COMBUSTIBLE EN LABORATORIO

CODIGO: CCICEV-LI-CCL	Revisión 0	N°	113-C2
	Página 1 / 1	FECHA:	21/10/2017 y 22/10/2017
TÉCNICOS RESPONSABLES	Diego Lincango		

OBJETIVO DE LA EVALUACIÓN

Evaluación Inicial	X	Evaluación Regular		Prechequeo RTV*	
Reevaluación		Evaluación RTV* 4to rev		Evaluación Tesis	X
No. Visita		Otros			

*RTV: Revisión Técnica Vehicular

DATOS GENERALES DEL VEHÍCULO

Marca	KIA	VIN Chasis / Placa:	KNHT5732257202473
Modelo:	PREGIO 17 PASAJEROS	Kilometraje	N/A

MOTOR (Datos del fabricante)**

Posición de motor	DELANTERO LONGITUDINAL	No. Motor	JT553332
No. de cilindros y disposición	4 LINEA	Versión	N/A
Máxima Potencia (kw/rpm)	82.02 kw a 4000 rpm	Máximo Torque (Nm/rpm)	224,26 Nm A 2200 rpm
Sistema de enfriamiento	NANO REFRIGERANTE	Tipo de aspiración	ATMOSFÉRICO
Cilindrada [cm3]	3000	Transmisión (manual/automatica)	MANUAL
Combustible / Fuente de energía	DIESEL	Categoría-Subcategoría-Clase	VAN / FURGONETA DE PASAJEROS
Tipo	M_2	Año modelo vehículo	2005
Tonelaje	3,5	País de origen	COREA DEL SUR

**Opcional en RTV

Hora de inicio	8:00	Hora final	16:00	Código equipo	
Altitud inicial	2800 m		Altitud final	2800 m	

RESULTADOS OBTENIDOS EN LA PRUEBA

TRAMOS	CICLO	INICIO [Lt]	FINAL [Lt]	DISTANCIA [km]
1	IM420	5	4,98	3,2
2	IM240	5	4,88	3,2
3	IM420	5	4,87	3,2
4	IM240	5	4,86	3,2
5	IM420	5	4,84	3,2

Rendimiento Tramo 1 [km/gal]	35,84
Rendimiento Tramo 2 [km/gal]	34,81
Rendimiento Tramo 3 [km/gal]	35,17
Rendimiento Tramo 4 [km/gal]	34,81
Rendimiento Tramo 5 [km/gal]	33,95

Rendimiento total [km/gal]
01,00

OBSERVACIONES: El combustible fue proporcionado por el solicitante

Técnico No 1 | Técnico No 2

Firma Responsables:

Nombres: Diego Lincango

Firma Responsable de Unidad:

Nombres: Ing. Diego Lincango

Formato de registro primario para pruebas de consumo de combustible en laboratorio