UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

SEDE CUENCA

CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA AUTOMOTRIZ

ANÁLISIS DE LA INFLUENCIA QUE TIENE LA CALIDAD DEL FILTRO DE ACEITE EN LA CONTAMINACIÓN DEL LUBRICANTE DE UN MOTOR A COMBUSTIÓN INTERNA POR MATERIAL PARTICULADO

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

AUTORES: MARIO DANILO ESCOBAR MORA
LUIS ANDRÉS DOMÍNGUEZ AUQUILLA
TUTOR: ING. MILTON OSWALDO GARCÍA TOBAR

Cuenca - Ecuador

2022

CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Nosotros, Mario Danilo Escobar Mora con documento de identificación N° 09221549066 y Luis Andrés Domínguez Auquilla con documento de identificación N° 0106853047; manifestamos que:

Somos los autores y responsables del presente trabajo; y, autorizamos a que sin fines de lucro la Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de manera total o parcial el presente trabajo de titulación.

Cuenca, 07 de abril del 2022

Atentamente,

Mario Danilo Escobar Mora	Luis Andrés Domínguez Auquilla
0922159066	0106853047

CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

Nosotros, Mario Danilo Escobar Mora con documento de identificación N° 09221549066 y Luis Andrés Domínguez Auquilla con documento de identificación N° 0106853047, expresamos nuestra voluntad y por medio del presente documento cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del Proyecto Técnico: "Análisis de la influencia que tiene la calidad del filtro de aceite en la contaminación del lubricante de un motor a combustión interna por material particulado", el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero Mecánico Automotriz, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En concordancia con lo manifestado, suscribimos este documento en el momento que hacemos la entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, 07 de abril del 2022

Atentamente,

Mario Danilo Escobar Mora	Luis Andrés Domínguez Auquilla
0922159066	0106853047

CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Milton Oswaldo García Tobar con documento de identificación N° 0104282181, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: ANÁLISIS DE LA INFLUENCIA QUE TIENE LA CALIDAD DEL FILTRO DE ACEITE EN LA CONTAMINACIÓN DEL LUBRICANTE DE UN MOTOR A COMBUSTIÓN INTERNA POR MATERIAL PARTICULADO, realizado por Mario Danilo Escobar Mora con documento de identificación N° 0922159066 y por Luis Andrés Domínguez Auquilla con documento de identificación N° 0106853047, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción Proyecto Técnico que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, 07 de abril del 2022

Atentamente,

Ing. Milton Oswaldo García Tobar
0104282181

AGRADECIMIENTO

Agradezco a los docentes de la Carrea de Ingeniera Mecánica Automotriz quienes aportaron con sus conocimientos para construir con mi formación, especialmente a mi tutor de tesis el Ing. Milton García, quien desde el primer día se hizo parte de la investigación, quien me ha guiado con paciencia y dedicación convirtiéndose en una ayuda para el desarrollo y finalización de esta.

Andrés Domínguez

AGRADECIMIENTO

Agradezco primeramente a Dios, por haberme dado la vida y haberme permitido estudiar lo que amo, a mis padres Fabián y Anita, quienes me brindaron su amor, apoyo y consejo en cada paso de mi vida. A mis segundos padres Jorge, Margarita, Susana y Rodrigo los cuales me dieron su cariño y apoyo a través de buenos y malos tiempos sin esperar recibir nada a cambio.

A mis hermanos Gabriel, Fernando y Cristina por darme ánimos a seguir adelante y a mis grandes amigos Pablito, Kevin, Jenner, Tunti, Ricky e incontables personas más por brindarme su amistad y apoyo incondicional.

Finalmente, a mi tutor el Ing. Milton García y a mi compañero Andrés, quienes me brindaron su confianza plena para poder llevar a cabo este proyecto.

Mario Escobar

DEDICATORIA

El presente proyecto lo dedico principalmente a Dios por darme las fuerzas para continuar en este proceso de obtener uno de los anhelos más deseados.

A mis padres Vicente y Blanca, por su amor, trabajo y sacrificio en todos estos años, gracias a ustedes he logrado llegar hasta aquí y convertirme en lo que soy. Ha sido un orgullo y un privilegio ser su hijo, son los mejores padres. A mi hermana Silvia y hermano Alex por estar siempre presentes, acompañándome y por el apoyo moral, que me brindaron a lo largo de esta etapa de mi vida.

Dedico este proyecto a mi pareja de vida por brindarme su cariño y apoyo en los buenos y malos momentos, para dar lo mejor de mí. Y, por último, a mi hijo Emiliano, eres mi mayor tesoro y mi fuente más pura de mi inspiración, por eso quiero agradecerte cada momento de felicidad, alegría y más puro amor con el que colmas mi vida.

Andrés Domínguez

DEDICATORIA

Dedico este proyecto a mis padres Fabián y Anita, por ser mis consejeros y formarme como una persona que intenta ser íntegra y honesta, a mi familia y amigos ya que sin ellos no hubiese podido atravesar esta complicada y linda etapa de mi vida. Lo logramos.

Mario Escobar

RESUMEN

Este proyecto de investigación busca determinar la influencia que tiene el filtro de aceite en la contaminación del aceite lubricante de un motor de combustión interna a gasolina. Según las características del papel filtrante y de su composición, se busca señalar la degradación del aceite lubricante en un vehículo de transporte modelo Hyundai Accent 1.6 del año 2012 a gasolina.

Se caracterizaron tres filtros de aceite lubricante, para así según sus propiedades y mediante una tabla cualitativa definir el tipo de gama del filtro ya sea alta, media o baja. Se programó para hacer el cambio de aceite cada 3000 km, o aproximadamente cada dos semanas, recogiendo muestras para análisis cada 500 km y a partir de los 2000 km, cada 250 km para poder así experimentar con cada uno de los filtros dentro del cronograma establecido. Se utilizaron varios métodos para el análisis de lubricantes y de papel filtrante como el conteo de partículas, análisis de viscosidad y microscopía dando como resultado así los valores promedio de contaminación del aceite.

Finalmente, se analizaron los resultados de las muestras recogidas, ratificando de este modo que la calidad del filtro de gama media es el que beneficia de mejor manera al vehículo de la cooperativa “HUANCAVILCA” en una relación costo-calidad.

Palabras Clave: *Filtro de aceite, caracterización, conteo de partículas, contaminación.*

ABSTRACT

This project seeks to determine the influence of the oil filter on the contamination of the lubricating oil of a gasoline internal combustion engine. According to the characteristics of the filter paper and its composition, it is sought to point out the degradation of the lubricating oil in a Hyundai Accent 1.6 2012 model.

Three lubricating oil filters were characterized, to define the type of filter whether high, medium, or low range, according to their properties and through a qualitative table. It was scheduled to change the oil every 3,000 km, or approximately every two weeks, collecting samples for analysis every 500 km and after 2,000 km, every 250 km to be able to experiment with each of the filters within the established schedule. Several methods were used for the lubricant analysis and filter paper, such as particle counting, viscosity analysis and microscopy, thus resulting in the average values of oil contamination.

Finally, the results of the collected samples were analyzed, confirming in this way that the quality of the mid-range filter is the one that best benefits the vehicle of the "HUANCAVILCA" cooperative in a cost-quality relationship.

Keywords: *Oil filter, characterization, particle count, contamination.*

TABLA DE CONTENIDOS

1. INTRODUCCIÓN i
2. PROBLEMA DE ESTUDIO ii
3. OBJETIVOS iii
Objetivo general iii
Objetivos específicos iii
4. Estado del Arte 1
4.1. Motor de combustión interna a gasolina 1
4.1.1. Ciclo Otto 2
4.2. Lubricantes 3
4.2.1. Propiedades de los aceites lubricantes 4
4.2.2. Aditivos 8
4.2.3. Degradación del Aceite Lubricante 9
4.2.4. Parámetros para la determinación de la degradación del lubricante 11
4.2.5. Contaminantes del lubricante 16
4.3. Filtro de aceite 19
4.3.1. Papel filtrante 21
4.3.2. Resina Fenólica 23
4.4. Microscopía óptica 23
4.5. Análisis de lubricantes 24
4.5.1. Metodología SACODE 24
4.5.2. Normativa ISO 4406:2017 para el conteo de partículas 25
4.5.3. Método de conteo de partículas 27
4.5.4. Tipos de contadores de partículas 27
4.6. Normativa SAE J300 para estándares de viscosidad 29
5. Marco Metodológico 31
5.1. Características del vehículo, insumos y equipos a emplear para el muestreo y análisis de lubricantes 31
5.1.1. Características del vehículo 31
5.1.2. Características de insumos a utilizar 32
5.1.3. Analizador rápido de aceite Yateks YTO 36
5.1.4. Contador de partículas Yateks YJS-150 38
5.2. Caracterización de filtros de baja, media y alta gama 40
5.2.1. Selección de filtros de aceite 40
5.2.2. Costos 41

5.2.3. Disponibilidad 42
5.2.4. Análisis microscópico de filtros de aceite 43
5.2.5. Porosidad 47
5.2.6. Diámetro de hebras 48
5.3. Método cualitativo de calificación por puntos 50
6. Análisis de Resultados 51
6.1. Método de dispersión de puntos 51
6.1.1. Dispersión de puntos a 20 µm 52
6.1.2. Dispersión de puntos a 30 µm 60
6.1.3. Dispersión de puntos a 50 µm 67
6.2. Curvas de tendencia 75
6.2.1. Curva de tendencia de 20 µm 75
6.2.2. Curva de tendencia de 30 µm 76
6.2.3. Curva de tendencia de 50 µm 77
6.3. Curvas de tendencia de viscosidad 77
6.4 Análisis Final 82
7. Conclusiones y Recomendaciones 83
7.1. Conclusiones 83
7.2. Recomendaciones 84
8. BIBLIOGRAFÍA 85
ANEXOS 89

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Esquema de combustión en los MEP 1
Figura 2. Sección de un motor de combustión interna. 2
Figura 3. Esquema del funcionamiento del motor de cuatro tiempos. 3
Figura 4. Propiedad de refrigeración 6
Figura 5. Propiedad de limpieza y protección 6
Figura 6. Propiedad de estanqueidad. 7
Figura 7. Propiedad de limpieza y protección. 7
Figura 8. Propiedad antioxidante. 8
Figura 9. Modificadores de viscosidad a altas y bajas temperaturas (a y b respectivamente).. 9
Figura 10. Aceite degradado. 10
Figura 11. Tipos de viscosidad en aceites lubricantes. 12
Figura 12. Curva de Stribeck. 13
Figura 13. Concepto de demulsibilidad. 15
Figura 14. Aceite contaminado por agua. 16
Figura 15. Componentes de filtro de aceite tipo monoblock. 20
Figura 16. Filtro de aceite tipo monoblock. 21
Figura 17. Disposición de filtros automotrices de celulosa (plisado o en espiral). 21
Figura 18. Fibra de celulosa. 22
Figura 19. Tamaño de referencias para unidades de micrones. 22
Figura 20. Partes del microscopio óptico. 24
Figura 21. Metodología SACODE en aplicación para un esquema de trabajo. 25
Figura 22. Tabla de referencia de código ISO 4406. 27
Figura 23. Método del bloqueo de poros. 28
Figura 24. Método de LNF. 28
Figura 25. Proceso de contador de partículas de bloqueo de luz. 29
Figura 26. Hyundai Accent 1.6 2012 32
Figura 27. Neumático Barum Bravuris 185/70R14 33
Figura 28. Filtro combustible HERT+BUSS J1330334. 34
Figura 29. Bujías Hyundai 18858 10090 34
Figura 30. Filtro de Aire ULTRA TIGER SQ-6443 35
Figura 31. Aceite lubricante Havoline SAE 20W-50 36
Figura 32. Analizador de lubricantes YTO 37
Figura 33. Contador YJS-150. 39
Figura 34. Filtro ADVANCE 3593 40
Figura 35. Filtro CHAMP PH2808 41
Figura 36. Filtro Hyundai 26300 – 35504. 41
Figura 37. Gráfica comparativa de precio de filtros de aceite 42
Figura 38. Gráfica comparativa de la disponibilidad de los filtros en la ciudad 43
Figura 39. Microscopía de Filtro A. 44
Figura 40. Microscopía de Filtro B. 45
Figura 41. Microscopía de Filtro C. 46
Figura 42. Gráfica comparativa de porosidad entre los filtros A, B y C. 48
Figura 43. Gráfica comparativa del diámetro de las hebras de los filtros A, B y C. 49
Figura 44. Dispersión de puntos con partículas de 20 µm a los 500 km de recorrido. 52
Figura 45. Promedio de conteo de partículas a 500 km (20 µm). 52

Figura 46. Dispersión de puntos con partículas de 20 µm a los 1000 km de recorrido. 53
Figura 47. Promedio de conteo de partículas a 1000 km (20 µm). 53
Figura 48. Dispersión de puntos con partículas de 20 µm a los 1500 km de recorrido. 54
Figura 49. Promedio de conteo de partículas a 1500 km (20 µm). 54
Figura 50. Dispersión de puntos con partículas de 20 µm a los 2000 km de recorrido. 55
Figura 51. Promedio de conteo de partículas a 2000 Km (20 µm). 55
Figura 52. Dispersión de puntos con partículas de 20 µm a los 2250 km de recorrido. 56
Figura 53. Promedio de conteo de partículas a 2250 km (20 µm). 56
Figura 54. Dispersión de puntos con partículas de 20 µm a los 2500 km de recorrido. 57
Figura 55. Promedio de conteo de partículas a 2500 km (20 µm). 57
Figura 56. Dispersión de puntos con partículas de 20 µm a los 2750 km de recorrido. 58
Figura 57. Promedio de conteo de partículas a 2750 km (20 µm). 58
Figura 58. Dispersión de puntos con partículas de 20 µm a los 3000 km de recorrido. 59
Figura 59. Promedio de conteo de partículas a 3000 km (20 µm). 59
Figura 60. Dispersión de puntos con partículas de 30 µm a los 500 km de recorrido. 60
Figura 61. Promedio de conteo de partículas a 500 km (30 µm). 60
Figura 62. Dispersión de puntos con partículas de 30 µm a los 1000 km de recorrido. 61
Figura 63. Promedio de conteo de partículas a 1000 km (30 µm). 61
Figura 64. Dispersión de puntos con partículas de 30 µm a los 1500 km de recorrido. 62
Figura 65. Promedio de conteo de partículas a 1500 km (30 µm). 62
Figura 66. Dispersión de puntos con partículas de 30 µm a los 2000 km de recorrido. 63
Figura 67. Promedio de conteo de partículas a 2000 km (30 µm). 63
Figura 68. Dispersión de puntos con partículas de 30 µm a los 2500 km de recorrido. 64
Figura 69. Promedio de conteo de partículas a 2500 km (30 µm). 64
Figura 70. Dispersión de puntos con partículas de 30 µm a los 2750 km de recorrido. 65
Figura 71. Promedio de conteo de partículas a 2750 km (30 µm). 65
Figura 72. Dispersión de puntos con partículas de 30 µm a los 3000 km de recorrido. 66
Figura 73. Promedio de conteo de partículas a 3000 km (30 µm). 66
Figura 74. Dispersión de puntos con partículas de 50 µm a los 500 km de recorrido. 67
Figura 75. Promedio de conteo de partículas a 500 km (50 µm). 67
Figura 76. Dispersión de puntos con partículas de 50 µm a los 1000 km de recorrido. 68
Figura 77. Promedio de conteo de partículas a 1000 km (50 µm). 68
Figura 78. Dispersión de puntos con partículas de 50 µm a los 1500 km de recorrido. 69
Figura 79. Promedio de conteo de partículas a 1500 km (50 µm). 69
Figura 80. Dispersión de puntos con partículas de 50 µm a los 2000 km de recorrido. 70
Figura 81. Promedio de conteo de partículas a 2000 km (50 µm). 70
Figura 82. Dispersión de puntos con partículas de 50 µm a los 2250 km de recorrido. 71
Figura 83. Promedio de conteo de partículas a 2250 km (50 µm). 71
Figura 84. Dispersión de puntos con partículas de 50 µm a los 2500 km de recorrido 72
Figura 85. Promedio de conteo de partículas a 2500 km (50 µm). 72
Figura 86. Dispersión de puntos con partículas de 50 µm a los 2750 km de recorrido. 73
Figura 87. Promedio de conteo de partículas a 2750 km (50 µm). 73
Figura 88. Dispersión de puntos con partículas de 50 µm a los 3000 km de recorrido. 74
Figura 89. Promedio de conteo de partículas a 3000 km (50 µm). 74
Figura 90. Tendencia de partículas de 20 µm. 75
Figura 91. Tendencia de partículas de 30 µm. 76

Figura 92. Tendencia de partículas a 50 µm. 77
Figura 93. Viscosidad a 500 Km. 78
Figura 94. Viscosidad a 1000 Km. 78
Figura 95. Viscosidad a 1500 Km. 79
Figura 96. Viscosidad a 2000 Km. 79
Figura 97. Viscosidad a 2250 Km. 80
Figura 98. Viscosidad a 2500 Km. 80
Figura 99. Viscosidad a 2750 Km. 81
Figura 100. Viscosidad a 3000 Km. 82
Figura 101. Microscopía de Filtro A. 89
Figura 102. Microscopía de Filtro B. 91
Figura 103. Microscopía de Filtro C. 93

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Intervalos de viscosidad permisibles para las clasificaciones de lubricantes de las SAE 5
Tabla 2. Parámetros que alteran los valores de viscosidad 13
Tabla 3. Factores que influyen en el punto de inflamación 14
Tabla 4. Rangos de códigos de contaminación 26
Tabla 5. Rangos de códigos de contaminación 30
Tabla 6. Características del motor de automóvil Hyundai Accent 1.6 2012 32
Tabla 7. Ficha técnica de combustible ECO-PAÍS 33
Tabla 8. Ficha técnica del neumático Barum Bravuris 185/70R14 33
Tabla 9. Ficha técnica del filtro de combustible HERT+BUSS J1330334 34
Tabla 10. Ficha técnica de bujía Hyundai 18858 - 10090 34
Tabla 11. Ficha técnica de filtro de aire ULTRA TIGER SQ-6443 35
Tabla 12. Ficha técnica de lubricante Havoline SAE 20W-50 36
Tabla 13. Ficha técnica del analizador de lubricantes YTO 37
Tabla 14. Ficha técnica del contador de partículas Yateks YJS-150 39
Tabla 15. Tabla comparativa de filtros A, B, C 41
Tabla 16. Tabla comparativa de precios para los filtros A, B, C 42
Tabla 17. Tabla comparativa de proveedores de filtros A, B, C 43
Tabla 18. Promedio del diámetro de hebras para Filtro A 44
Tabla 19. Promedio de porosidad de papel filtrante de Filtro A 45
Tabla 20. Promedio del diámetro de hebras para Filtro B 45
Tabla 21. Promedio de porosidad de papel filtrante de Filtro B 46
Tabla 22. Promedio del diámetro de hebras para FILTRO C 46
Tabla 23. Promedio de porosidad de papel filtrante de Filtro B 47
Tabla 24. Promedio de porosidad de filtros A, B y C 47
Tabla 25. Promedio de diámetro de hebras de filtros A, B y C 48
Tabla 26. Método cualitativo de calificación por puntos 50
Tabla 27. Promedio del diámetro de hebras para FILTRO A 89
Tabla 28. Promedio de porosidad de papel filtrante de FILTRO A 90
Tabla 29. Promedio del diámetro de hebras para FILTRO B 91
Tabla 30. Promedio de porosidad de papel filtrante de FILTRO B 92
Tabla 31. Promedio del diámetro de hebras para FILTRO C 93
Tabla 32. Promedio de porosidad de papel filtrante de FILTRO B 94

1. INTRODUCCIÓN

El aceite lubricante es el recurso principal del motor en cuanto a refrigeración y reducción de fricción se refiere. Al estar en funcionamiento, se mezcla con partículas contaminantes y si no son filtrados apropiadamente llegarán a tener efectos contraproducentes en el motor. Es por esta razón que se produce el requerimiento de un elemento que pueda filtrar estas mencionadas partículas.

El filtro de aceite es un elemento que no permite el paso de partículas de cierto tamaño, ayudando a que el motor sea protegido de agentes que afectarán su rendimiento. Los primeros motores no utilizaban filtros de aceite, hasta que en el año 1923 Sweetland y Greenhalgh patentaron su primer prototipo llamado “Porulator” pero su uso no sería normalizado hasta los años 40. A partir de ese momento, no se han dejado de utilizar gracias a la protección que ofrecen.

Hoy en día se utiliza el mismo concepto de filtración, pero con estándares mejorados ya sea por medio de papel de celulosa o sintéticos. Utilizan una carcasa de acero con su papel filtrante dentro de este. Es uno de los componentes más importantes cuando de mantenimiento preventivo se refiere, protegiendo al motor la rápida degradación del lubricante y prolongando la utilidad del mismo, reduciendo así costos de mantenimiento y mejorando su rendimiento.

2. PROBLEMA DE ESTUDIO

En la mayoría de las ocasiones, dependiendo del valor de adquisición y la cultura de los usuarios en cuanto al mantenimiento, no presentan interés en la calidad del filtro de aceite que se coloca en el vehículo y optan por reducir el costo inmediato de mantenimiento preventivo. Esto se deriva en que, a futuro, la pérdida económica sea mayor, pues una correcta filtración puede llegar a reducir el desgaste hasta un 50%. (Cartés, 2015).

La finalidad e importancia de este proyecto se fundamente en la necesidad de determinar como la calidad y diferentes gamas de los filtros de aceite disponibles en el mercado afectan al lubricante de quien lo utiliza, ya que uno de los principales objetivos de la lubricación de un motor de combustión interna radica en el código de limpieza (Donaldson, 2021). Este código, establece la cantidad y tamaño de partículas permisibles, con relación a los conductos de la máquina a lubricar. La filtración del lubricante juega un papel muy importante en la salud de este, pues es el encargado de retener las partículas que se originan como subproductos de la combustión del motor, así como del desgate de la máquina (Payri, 2011). En virtud de lo mencionado, aparece la principal problemática entorno al uso correcto de un apropiado elemento filtrante. El aceite lubricante es el principal recurso del motor para reducir la fricción, por lo que un filtro de aceite en estado óptimo evita el paso de entre un 95% y un 97% de las partículas del aceite filtrado (Barrera, 2015).

El proyecto fue llevado a cabo desde el año 2021 e inicios del 2022 en la ciudad de Cuenca, Azuay, Ecuador, y va dirigido a la ciudadanía en general y al Grupo de Investigación en Ingeniería de Transporte (GIIT) en la línea de investigación de Ingeniería de Mantenimiento Automotriz.

3. OBJETIVOS

Objetivo general

- Analizar la influencia que tiene la calidad del filtro de aceite en la contaminación del lubricante de un motor a combustión interna por material particulado.

Objetivos específicos

- Analizar del estado del arte sobre la influencia el filtro de aceite en la contaminación del aceite lubricante en un motor a combustión interna.
- Caracterizar tres diferentes tipos de filtro en base a su calidad-costo mediante la Norma Internacional ISO 4406:2017.
- Aplicar la técnica de análisis de aceite mediante el conteo de partículas para estimar la contaminación del aceite por material particulado por medio de protocolos para la obtención de muestras.
- Analizar la calidad del filtro de aceite mediante los resultados obtenidos de los lubricantes.

4. Estado del Arte

4.1. Motor de combustión interna a gasolina

Los motores de combustión interna tienen como objetivo generar trabajo mecánico utilizando el proceso de combustión. Este proceso usa la deflagración (frente de llama que corre dentro de la cámara e inflama la mezcla fresca) de una premezcla homogénea de aire y combustible en estado gaseoso (Muñoz, 2016). La combustión de un diminuto volumen de mezcla cercano a la bujía forma un frente de llama que se propaga por el espacio de combustión, limpiando a su paso la mezcla homogénea y ocasionando un encendido y formando la combustión (Planells, Flores, & Agramunt, 2015)

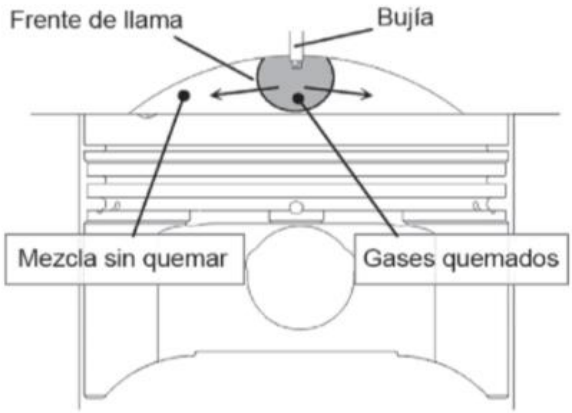

Figura 1. *Esquema de combustión en los MEP*

Fuente: *(Antonio & Domínguez, 2016)*

Nikolaus Otto en 1876 presenta una mejora al motor de combustión interna, obteniendo el primer MCI con ciclo de cuatro tiempos que trabajaba todavía con gas; que

luego dio origen a la mayor parte del concepto de un MCI moderno (Ford, 2017). En estos, la mezcla de aire-combustible se realiza dentro del cilindro durante el primer ciclo (Desantes, 2011) y el proceso nombrado Ciclo Otto es explicado a continuación.

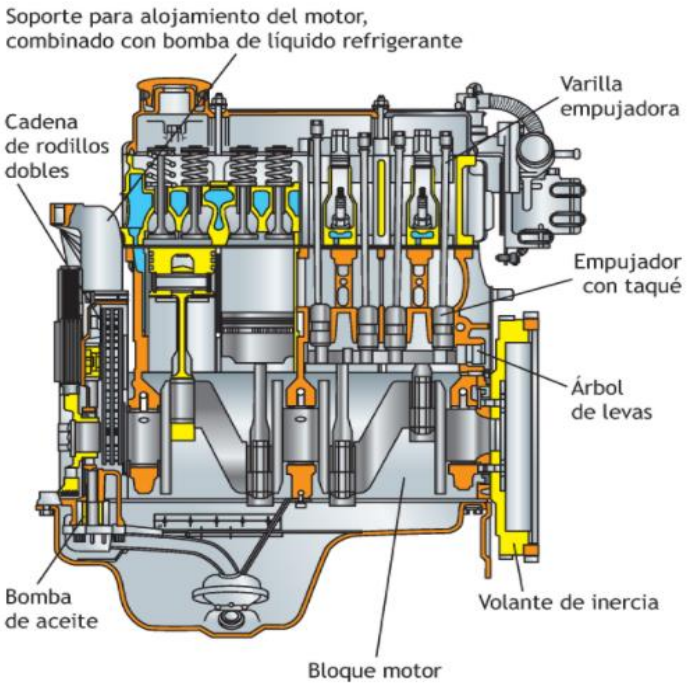

Figura 2. *Sección de un motor de combustión interna.*

Fuente: *(Secundino, 2011)*

4.1.1. Ciclo Otto

El ciclo Otto es el que se asocia al motor de encendido provocado por chispa, que sirve para representar en forma general los 4 tiempos en los que trabaja los MCI (Antonio & Domínguez, 2016), a continuación, se describen sus fases:

- **Fase de admisión:** el motor obtiene gases frescos.
- **Fase de compresión:** los gases son presionados y se tornan inflamables.
- **Fase de expansión:** se genera la combustión y por ello el trabajo mecánico.

- **Fase de escape:** se evacuan los gases producto de la combustión, para volver a admitir gases frescos y comenzar un nuevo ciclo.

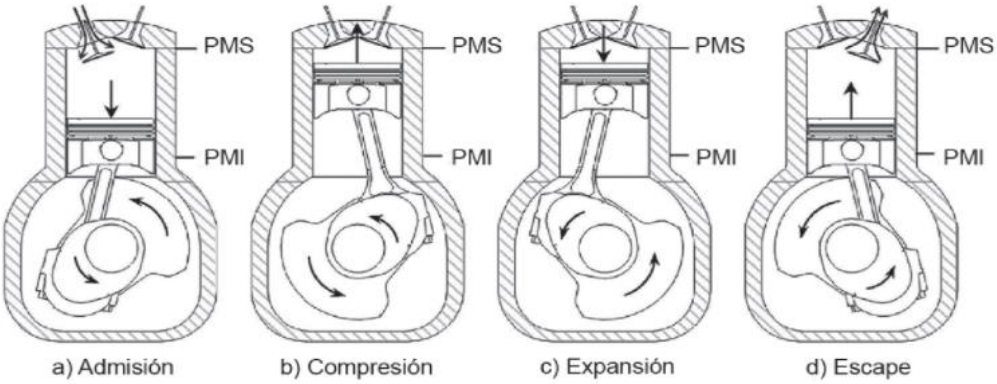

Figura 3. *Esquema del funcionamiento del motor de cuatro tiempos.*

Fuente: *(Gaybor, 2009)*

4.2. Lubricantes

Los lubricantes son materia prima que se colocan a lo largo de piezas que se encuentran en rozamiento directo con movimiento relativo, con el objetivo de ayudar al enfriamiento (transferencia de calor), minimizar el contacto entre dos piezas, limpiar elementos que se encuentran en roce, contrastar el espacio entre los elementos, aislar contaminantes y mejorar la eficacia de operación (Gaybor, 2009). Los lubricantes que se utilizan en los motores se encuentran en estado líquido.

Referente a las características del aceite lubricante, estas al pasar del tiempo han llegado a mejorar con la utilización de aditivos específicos (Antonio & Domínguez, 2016). Consiguiendo así, las siguientes características:

- Variación de la viscosidad que tiene el lubricante con la temperatura debe estar por debajo, evitando el calentamiento de las piezas que están en movimiento.

- Virtud para contrarrestar los ácidos que se dan en el proceso de combustión en los motores.
- Gran aporte detergente, esto se da con la ayuda de aditivos que consiguen que la materia carbonosa se encuentre dispersa.
- Posibilidad dispersante, con los aditivos que admiten tener disperso el poco de agua presente.
- Reducen el desgate.
- Capacidad de mantener limpias las piezas que se encuentran en el motor.

4.2.1. Propiedades de los aceites lubricantes

Entre las propiedades que deben tener los lubricantes utilizados en los motores de combustión (Ordóñez M. , 2012), se describen las siguientes:

- Viscosidad
- Refrigeración
- Limpieza y protección
- Estanqueidad
- Reducción del frotamiento
- Protección del aceite contra la oxidación
- Disolución

- **Viscosidad**

Es una propiedad importante para la creación de películas lubricantes, también afecta a la aparición de calor y la refrigeración de engranes, cilindros, etc. Además, rige el efecto sellante como el consumo de aceite y establece la facilidad con que el motor se enciende en circunstancias de frío (Builes, 2007). El sistema métrico centistokes es

la unidad de medida de esta propiedad, en la tabla 1 se muestra los intervalos de viscosidad permisibles en los lubricantes de las SAE.

Tabla 1. *Intervalos de viscosidad permisibles para las clasificaciones de lubricantes de las SAE*

		Intervalos de Viscosidades (centistokes)			
		A 0° F		A 210° F	
Tipo de lubricante	Número de Viscosidad SAE	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo
Carter del cigüeñal	5W		1300	3.9	
	10W	1300	2600	3.9	
	20W	2600	10500	3.9	
	20			5.7	9.6
	30			9.6	12.9
	40			12.9	16.8
	50			16.8	22.7
Transmisión y eje	75		15000		
	80	15000	100000		
	90			75	120
	140			120	200
	250			200	
Fluido de la transmisión automática	Tipo A	39[b]	43[b]	7	8.5

Fuente: *(Gaybor, 2009)*

- **Refrigeración**

En el proceso de combustión; el calor que hay en los pistones se transfiere a las camisas del cilindro que están en contacto con el sistema de refrigeración, formando una capa el aceite entre los dos elementos. El aceite debe resistir elevadas temperaturas (Ordóñez M. , 2012).

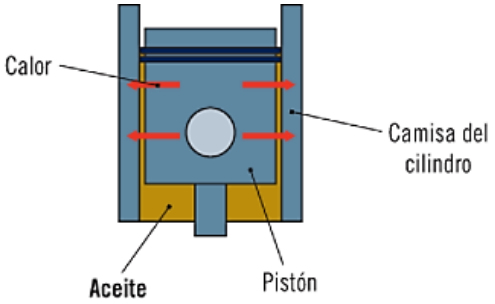

Figura 4. *Propiedad de refrigeración*

Fuente: *(Ordóñez M. , 2012)*

- **Limpieza y protección**

Después de la combustión, quedan residuos; el aceite limpia el motor empujando todos estos depósitos hasta el filtro donde se depositan (Ordóñez M. , 2012).

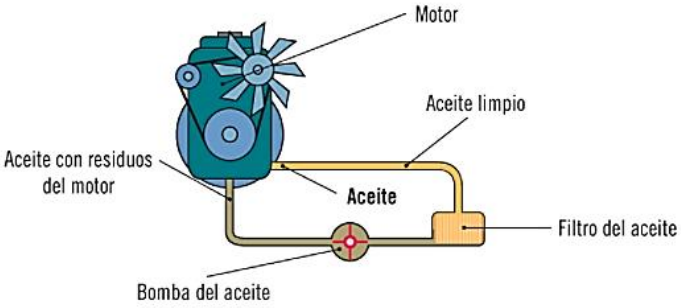

Figura 5. *Propiedad de limpieza y protección*

Fuente: *(Ordóñez M. , 2012).*

- **Estanqueidad**

Su tarea es cerrar la cámara de combustión, puesto que, aun cuando los segmentos son los encargados de esta propiedad, no son suficientes si tanto el pistón y los segmentos no permanecen convenientemente lubricados, sellando espacios entre pistón y la camisa.

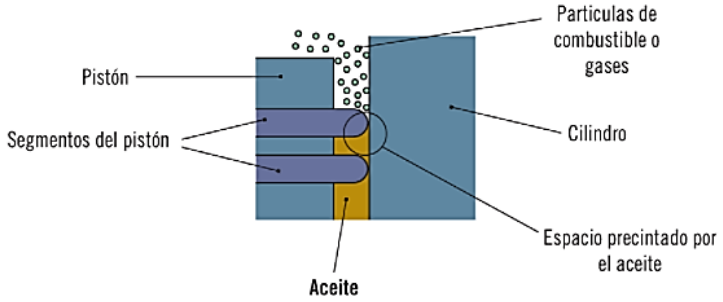

Figura 6. *Propiedad de estanqueidad.*

Fuente: *(Ordóñez M. , 2012).*

- **Reducción del frotamiento**

Al tener fricción, el contacto continuo entre dos partes metálicas móviles crea calor y causa el desgaste de estas. Presentándose aquí un problema, lo tanto, se crearon aditivos compuestos que al diluirse con el aceite ayudan a robustecer la capa lubricante, manteniendo lejos las asperezadas de las piezas que están en movimiento (Ordóñez M. , 2012).

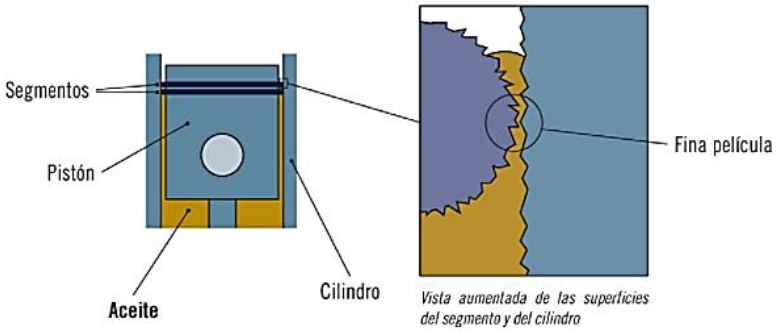

Figura 7. *Propiedad de limpieza y protección.*

Fuente: *(Ordóñez M. , 2012).*

- **Protección del aceite contra la oxidación**

Esta propiedad del aceite es ayudar a que el motor no sufra corrosión, protegiendo las partes móviles metálicas. Al tener altas temperaturas en el motor, lleva a la aparición de la corrosión en las partes metálicas (las moléculas de aceite se oxidan al tener altas temperaturas), además el uso de aditivos antioxidantes ayuda al comienzo de la corrosión (Ordóñez M. , 2012).

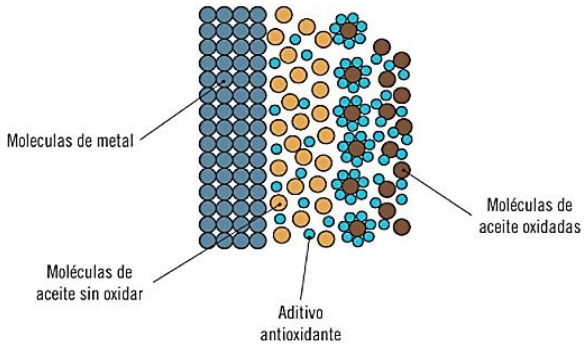

Figura 8. *Propiedad antioxidante.*

Fuente: *(Ordóñez M. , 2012).*

- **Disolución**

Al utilizar el automóvil en trayectos cortos y temperaturas bajas tiene como consecuencia la condensación de combustible. Si llega a bajar al cárter puede ocasionar daños al motor. Siendo la gasolina un solvente, si se llega a mezclar con el aceite, lo diluirá (Ordóñez M. , 2012).

4.2.2. Aditivos

Son químicos que son añadidos a "aceites base", mejorando así las propiedades y son seleccionados con el uso afín del lubricante, es decir, para un uso específico (Moreno, 2005). Los principales aditivos se describen a continuación:

Modificador de viscosidad: Aumentan la capacidad de mantenerla acorde con el crecimiento de su temperatura. Son moléculas que son sensibles a la temperatura. La viscosidad del fluido no es afectada por las temperaturas bajas debido a que las cadenas se contraen. Al contrario, en temperaturas altas las cadenas causan un incremento ya que estas cadenas se relajan. Son utilizados para aceites de motor, transmisiones y grasas. (Wright, 2008)

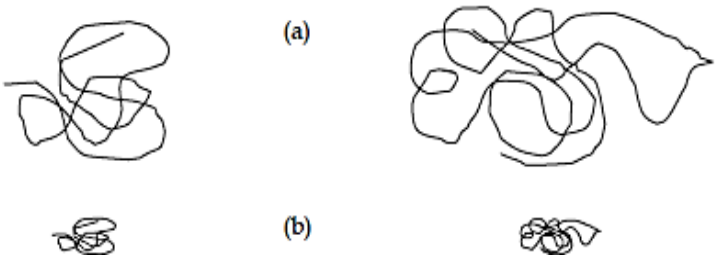

Figura 9. *Modificadores de viscosidad a altas y bajas temperaturas (a y b respectivamente).*

Fuente: (Wright, 2008)

Regulador de punto de congelación: Reducen el punto de congelación del aceite. Se conforma por poli metacrilatos y cadenas de poliacrilatos.

Dispersantes/Detergentes: Componente de los aceites de motor el cual controla los depósitos que se acumulan en la zona de anillos. Se combinan y previenen aparte de los depósitos, la formación de lodo (Aselube, 2013).

Antioxidantes: Estos evitan que el aceite se oxide cuando se encuentra en contacto con temperaturas altas.

Anti-desgaste: "Protegen del desgaste por abrasión a los cojinetes sujetos a grandes cargas" (Wright, 2008). Estos se encuentran compuestos que los protegen de la corrosión. Crea una película la cual cubre a elementos que están en contacto.

Inhibidores (corrosión y herrumbe): Se conoce a la corrosión como el ataque a metales por medio de reacciones químicas y para los metales ferrosos es la herrumbre, la cual es resultado del contacto con el agua y aire con él. El aditivo funciona con una película hidrófoba (rechazo a líquidos), que es adherida al metal y evita el contacto con el agua (Vita, 1995).

4.2.3. Degradación del Aceite Lubricante

Existe un proceso para que se genere la degradación de un aceite lubricante, en donde se asocia el trabajo que realiza el fluido junto con factores externos (entorno).

Las causas más comunes para que se de este proceso suele ser la oxidación, que lo hace de manera progresiva aumentando la acidez del aceite lubricante por medio del surgimiento de ácidos carboxílicos (Technologies, 2017).

Figura 10. *Aceite degradado.*

Fuente: *(LUFILSUR, 2021)*

Aparte de la oxidación, otras de las causas frecuentes y más importantes a tomar en cuenta son la descomposición térmica, contaminación y agotamiento de aditivos. A continuación, se detallan estas fuentes de degradación:

- **Temperatura**

En el caso de los lubricantes, la temperatura elevada durante el trabajo en su entorno por largos períodos de tiempo hace que la degradación se apresure, por lo que mantener la temperatura correcta durante su vida útil hace que se pueda prolongar su uso y así poder disminuir la velocidad de degradación (SWISSOIL, 2013).

- **Oxígeno**

Como su nombre lo procede, es el causante de la oxidación de la base lubricante mediante su reacción con este. Se nota un incremento en la viscosidad, aparición de barnices y sedimento. En casos extremos llega a producir corrosión (Technologies, 2017).

- **Contaminación**

Partículas del polvo, agua u otros agentes externos catalizan la degradación del lubricante, produciendo una aceleración en reacciones químicas. Otro que se debe de tomar muy en cuenta son las partículas metálicas las cuales son generadas por el rozamiento de piezas generado por movimientos mecánicos.

- **Proceso de cadena**

Una reacción en cadena se puede referir a una causa que genera un efecto. En el caso de la degradación del lubricante, apunta a que la combinación de contaminantes, oxígeno y aumento de temperatura hacen que la oxidación de lugar a la aparición de ácidos que afectan al rendimiento de aditivos que el aceite lubricante lleva en su composición (Noria, 2014).

4.2.4. Parámetros para la determinación de la degradación del lubricante

Existen varios parámetros que determinan la degradación de un lubricante. Para determinar características fue necesario utilizar estudios anteriores que muestren una referencia clara en cuanto a los datos que determinen estas características específicas y son las siguientes: (J. Delgado, 2014)

- **Viscosidad**

Se determina como la resistencia al frotamiento entre superficies. Fluidos newtonianos como el aceite mineral y mezclas, donde el esfuerzo constante es proporcional al gradiente de velocidad, así dando como resultado la viscosidad absoluta μ (Quesada, 2008). Matemáticamente, los principios de la viscosidad son representados por la siguiente ecuación:

$$\sigma = \mu \frac{dy}{dt} \tag{1}$$

- $\sigma\ es\ el\ esfuerzo\ por\ unidad\ de\ área$
- $\frac{dy}{dt}\ es\ la\ velocidad\ de\ deformación$
- $\mu\ es\ la\ viscosidad\ absoluta$

La viscosidad absoluta tiene como medida el Poise (P), pero ya aplicada se establece mediante la viscosidad cinemática y la densidad las cuales experimentalmente hablando son fáciles de probar.

Esta propiedad es la más importante al definir un aceite lubricante, que determina la fundación de la capa lubricante. Si la viscosidad es excesiva para el trabajo requerido, la pérdida mecánica tendrá una mayor incidencia por el mayor rozamiento. Al contrario, si la viscosidad es muy baja da lugar a desgaste debido a la fina capa de lubricación existente.

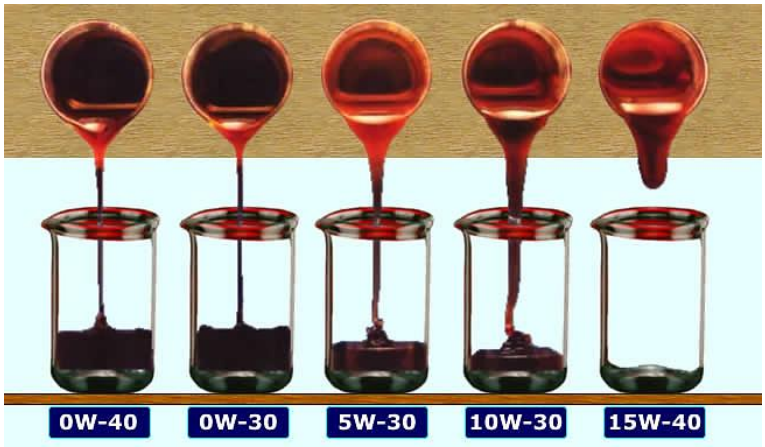

Figura 11. *Tipos de viscosidad en aceites lubricantes.*

Fuente: (Toyocosta, 2021)

Los lubricantes se seleccionan basando el criterio según la curva de Stribeck, en donde N (velocidad), viscosidad (μ) y la carga (P) son considerados. La zona de trabajo tiene que estar en la de frotamiento mínimo C previendo holguras y sobrecargas a pesar de que la real es del segmento CD.

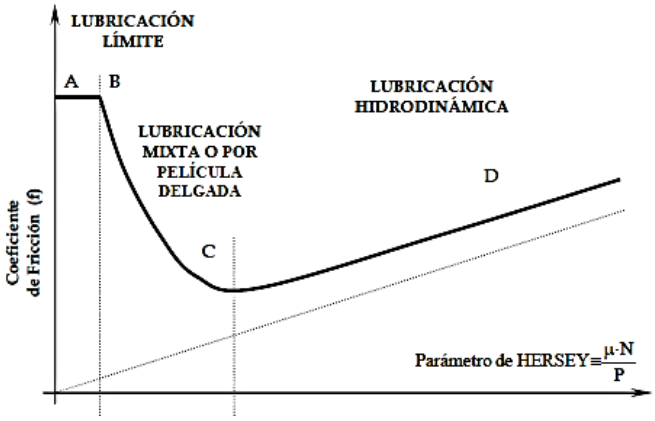

Figura 12. *Curva de Stribeck.*

Fuente: (Wright, 2008)

Para medir la viscosidad se debe tener temperatura conocida y constante a lo largo de la prueba, ya que si no la viscosidad cambia con el cambio de temperatura. Para ensayos y pruebas, entre 100 y 40 grados centígrados son los utilizados para calcular el índice de viscosidad. Los parámetros que la alteran son los siguientes:

Tabla 2. *Parámetros que alteran los valores de viscosidad*

	Descenso de Viscosidad	**Aumento de viscosidad**
Cambios en la estructura del lubricante	Ruptura de las moléculas. Degradación de los aditivos modificadores del IV	Polimerizaciones. Oxidación. Pérdidas por evaporación. Formación de lodos y lacas
Contaminación	Combustible. Disolventes. Mezcla de aceite (de viscosidad inferior)	Agua (emulsiones). Espumas. Insolubles. Mezcla con aceite de viscosidad superior.

Fuente: (Wright, 2008)

- **Densidad**

La densidad es la relación entre el volumen que se ocupa y la masa del lubricante a temperatura constante. La variación de densidad en el lubricante viene dada por la degradación en donde la pérdida de compuestos que son volátiles da lugar a un aumento en ella, así como en la entrada de contaminación que disminuyen el valor de la densidad (Moreno, 2005).

- **Punto de inflamación**

El punto de inflamación de un lubricante es el cual la evaporación del aceite lubricante forma una mezcla de aire con vapores que la hace inflamable. La DIN 53661 es la que determina el punto en donde cierta cantidad de vapor se inflama en contacto con una chispa. Generalmente el punto de inflamación de los lubricantes se encuentra alrededor de los 100°C (Lloret, 2012).

Tabla 3. *Factores que influyen en el punto de inflamación*

	Disminución del punto de inflamación	**Aumento del punto de inflamación**
Cambios en la estructura del lubricante	Craqueo térmico.	Polimerizaciones.
Contaminación	Combustibles. Añadido de aceite de distintas propiedades.	Agua. Residuos carbonosos. Glicoles. Mezcla con aceite de distintas propiedades.
Pérdidas del lubricante	———	Evaporación térmica. Deshidratación por vacío.

Fuente: (Wright, 2008)

- **Detergencia**

La detergencia utiliza compuestos métalo-orgánicos como fenolatos, fosfatos y jabones de alto peso molecular como el magnesio, bario y estaño. Estos limpian las superficies del motor y evitan los depósitos de todo tipo de material. La reacción química funciona de tal manera que evitan la oxidación y sean depositados en diferentes partes del motor (Texaco, 1960).

Disminuye sus propiedades a medida que se da el uso, pero una degradación rápida puede darse por los siguientes aspectos:

- Contaminación por combustible/agua.
- Temperaturas superiores a las recomendadas.
- Exceso de material en el aceite.

Espumación

La espumación es otro aspecto para tomar en cuenta al analizar la degradación del lubricante, debido a que si las propiedades antiespumantes son bajas puede llegar a producir problemas serios en mecanismos que son supeditados a condiciones de movimiento de fluido alto como lo son los engranajes de velocidad, bombas o lubricación por salpicadura (Wright, 2008).

Desemulsibilidad

La desemulsibilidad es la característica de los lubricantes que permite separarse del agua y resistir la emulsión que es la propiedad de poder mezclarse fácilmente con el agua (Villafuerte, 2020).

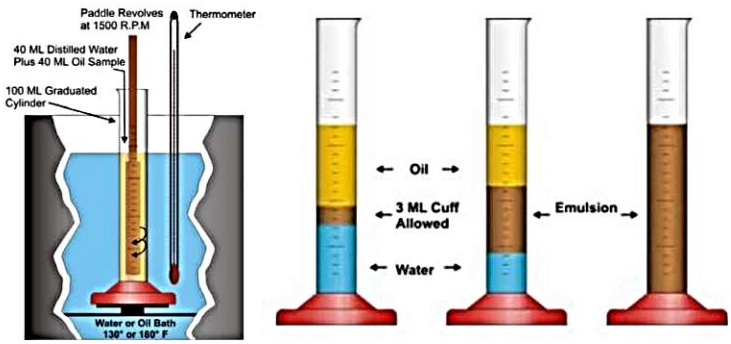

Figura 13. *Concepto de demulsibilidad.*

Fuente: (Villafuerte, 2020)

El parámetro de desemulsibilidad determina que tan rápido es el lubricante capaz de separar el agua que entro en el sistema. La importancia de que el agua y el aceite no emulsione es grande, aparte de que pueda diferenciar las dos fases y permita que el agua sea sedimentada en el fondo del cárter.

4.2.5. Contaminantes del lubricante

La contaminación en el aceite acelera la degradación de forma inminente, provocando fallos y posibles roturas en el sistema. Para evitarlas, se necesita primero saber cuáles son los factores que influyen en su contaminación:

Agua

Cuando el agua es mezclada con el lubricante, la película que protege los materiales del motor no será formada y por tanto provocará una oxidación prematura de los metales que se encuentran en contacto con ella. Este factor es el de mayor incidencia con respecto a su vida útil. Otra de las formas de que se produzca líquido es mediante la humedad. Es por esto por lo que la cantidad permisible para un aceite mineral debe ser menor a 100ppm o 0.01% de humedad (Tecnoil, 2021).

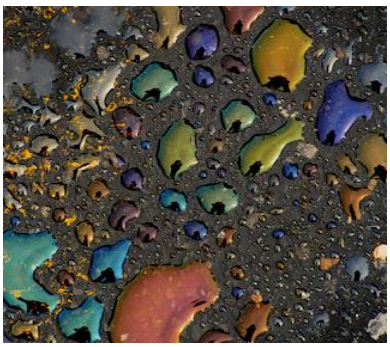

Figura 14. *Aceite contaminado por agua.*

Fuente: *(Tecnoil, 2021)*

La humedad produce la degradación de los aditivos a ácidos y la oxidación del aceite en especial a metales como el cobre o el hierro. Puede encontrarse en estado disuelto, libre o emulsificada, pero la cantidad que pueda disolver el aceite depende de la base, aditivos, temperatura e incluso la presión.

Los principales efectos del agua sobre el sistema de lubricación son:

a) Propiedades viscosas perdidas, generando lodo y despumación, saturando así los filtros y obstrucción de canales de lubricación

b) Corrosión de los elementos metálicos al interactuar con el agua.

c) Los fenómenos oxidativos son acelerados debido al oxígeno que el agua lleva en su composición.

Dilución por combustible

Cuando se encuentre gasóleo en el aceite, se da la disminución de viscosidad que genera la merma de la capa lubricante y agarre de los elementos metálicos. Esto se debe en la mayoría de los casos al ingreso de combustible que fugan de inyectores defectuosos que gotean continuamente (Moreno, 2005).

Para identificar la presencia de combustible en el lubricante se utilizan las siguientes técnicas:

- Cromatografía de gases
- Espectrometría infrarroja
- Punto de inflamación
- Viscosidad cinemática

Insoluble y Materia

La materia insoluble está relacionada directamente con la eficacia de los filtros, el estado de degradación del aceite, el estado de los elementos mecánicos y el hollín procedente de la combustión (Moreno, 2005).

Niveles de oxidación

La oxidación de los aceites limita su vida útil ya que los metales desgastados y contaminantes varios se filtran junto con el agua y pueden ser removidos con métodos

varios, pero contrario a esto, la oxidación es un cambio químico que afecta a la base. El proceso sucede de la siguiente manera:

1) Formación de radicales

$$R - R \rightarrow R + R$$

El proceso de oxidación empieza con una fuente de energía como el esfuerzo mecánico y es acelerado por los iones metálicos.

2) Propagación en cadena

$$R + O_2 \rightarrow ROO$$

$$ROO + RH \rightarrow ROOH + R$$

El radical formado en la etapa anterior reacciona con el oxígeno, que al contacto forman un alquil peroxi. La molécula ROOH formada es un ácido carboxílico que es la causa de un valor mayor de TAN (Total Acid Number) del aceite oxidado (Echeverría, 2011).

3) Ramificación

$$ROOH \rightarrow RO + HO$$

$$RR'HCO \rightarrow RCHO + R'$$

Los materiales poliméricos formados son convertidos en lodos/barnices, pero estas reacciones son solo válidas a partir de los 150˚C, que dan como resultado final cadenas de hidrocarburos ordenadas, alcoholes y agua.

4) Terminación

$$R + R \rightarrow R - R$$

Ocurre cuando se combinan dos radicales que forman una molécula estable de hidrocarburos.

Mezcla de lubricantes

Para la detección de mezcla de lubricantes se utiliza la espectrometría infrarroja, que obtiene un espectro de diferentes enlaces orgánicos que se encuentren en el aceite. Se debe de evitar el contacto con otros lubricantes para que ninguna mezcla entre al sistema de lubricación, ya que al suceder los efectos del lubricante podrían inhibirse entre ellos y generar efectos negativos en el motor como los vistos anteriormente como la oxidación y falta de detergencia (Moreno, 2005).

4.3. Filtro de aceite

La función del filtro de aceite es proteger tanto el sistema de inyección como los componentes del motor contra partículas de suciedad como polvo, óxido, agua y otros residuos presentes en el tanque. Hoy los componentes de los modernos sistemas de inyección son proyectados con alta precisión del orden de micras, y por eso, su protección es fundamental para asegurar el perfecto desempeño del motor en toda su larga vida útil. (Bosch, 2011)

Consta de varios elementos que se describen a continuación:

- ***Carcasa:*** Cubre el filtro de aceite y sus elementos internos, protegiéndolo de contaminación exterior y conteniendo el lubricante filtrado.
- ***Juntas de sellado:*** Estas juntas aseguran la estanqueidad del filtro para que el lubricante no escape de la carcasa.
- ***Válvula de bypass:*** Es una válvula de emergencia, la cual llegada cierta presión, ya sea por taponamiento o daño del elemento filtrante, abrirá su paso mediante un muelle tarado para que el fluido pueda hacer su recorrido natural.
- ***Papel filtrante:*** Es la parte principal del filtro, que elimina las impurezas mediante el paso del aceite por su fibra ya sea celulosa o sintética.

- ***Válvula antirretorno:*** No se encuentra en todos los filtros de tipo monoblock y esto depende de la calidad del filtro. Esta válvula permite que el aceite pueda seguir en el motor cuando se encuentra apagado, para evitar el desgaste sin lubricación de los elementos al arrancar el vehículo.

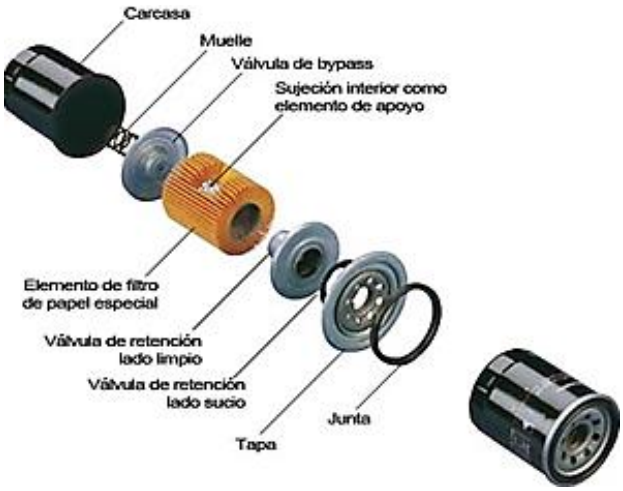

Figura 15. *Componentes de filtro de aceite tipo monoblock.*

Fuente: *(RO-DES, 2015)*

Todos estos elementos forman un solo componente llamado filtro de aceite. Su función explicada anteriormente forma una parte fundamental del mantenimiento del motor de combustión interna el cual necesita limpieza constante de impurezas para una larga duración.

El filtro de aceite utilizado en el vehículo a probar es de tipo monoblock. Y está compuesto de un solo conjunto conformado por el cuerpo del filtro y el cartucho (López, 2021). Tienen válvula de paso a determinada presión. Cuando esta presión supera un cierto valor, la válvula se abre regresando el aceite además de ciertos filtros que tienen válvula antirretorno que se ocupa de que el filtro se vacíe cuando se apaga el motor.

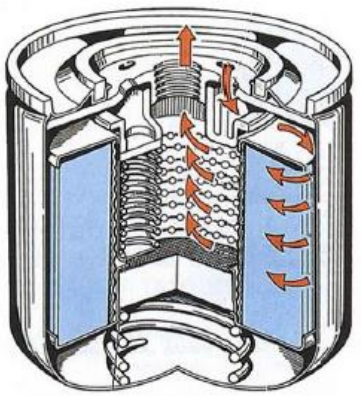

Figura 16. *Filtro de aceite tipo monoblock.*

Fuente: *(Cedillo & Jaramillo, 2014)*

Tiene un muelle tarado que se encuentra en la parte inferior del elemento filtrante y la carcasa, lo cual lo sostiene a la cara superior de la carcasa. Va roscado al block del motor en donde se encuentran los orificios de entrada y salida de aceite entre la tapa y el block con un anillo de caucho que debe de sellar durante el montaje para prevenir fugas y evitar daños (Cedillo & Jaramillo, 2014).

4.3.1. Papel filtrante

El papel filtrante mide su calidad mediante el plisado y el tamaño de materia que pasa por él mediante las unidades medidas en micrones. Se pueden fabricar para vehículos automotrices de material de celulosa o sintético. El área de filtración del papel también es muy importante ya que se encuentra en relación directa con la vida útil y esto determinará la cantidad de tiempo que el fluido se encontrará en filtración.

Figura 17. *Disposición de filtros automotrices de celulosa (plisado o en espiral).*

Fuente: *(Bavaresco, 2021)*

Las características más importantes que debe de tener un material filtrante deben de ser el micronaje específico para la maquinaria a utilizar (principalmente los datos del lubricante), pero generalmente se utiliza papel filtrante de celulosa de 20µ a 30µ para lubricante de motores (Bavaresco, 2021).

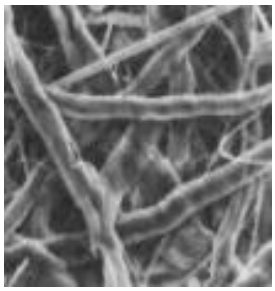

Figura 18. *Fibra de celulosa.*

Fuente: *(Bavaresco, 2021)*

Los micrones son una unidad igual a una millonésima de metro y su "*rating*" es indicado por el tamaño de las partículas que pasan por el papel de filtro. A pesar de esto, para filtros de motores de combustión interna, es fundamental que exista cierta tolerancia (mínimo 10 µ) para que los aditivos puedan atravesar por él (Baldwin, 2021).

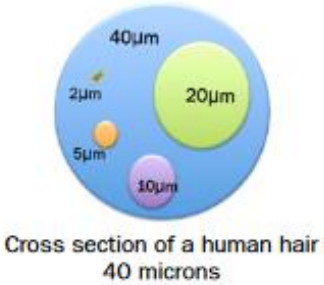

Figura 19. *Tamaño de referencias para unidades de micrones.*

Fuente: *(Baldwin, 2021)*

Una buena resistencia mecánica también es un punto importante para tener en cuenta, dado que el papel filtrante será sometido a grandes esfuerzos (presión de fluido) y es necesario que tenga rigidez elástica (resistencia sin ser quebradizo).

Debido a las altas temperaturas, el medio filtrante no puede quemarse y esto se logra con resinas como la fenólica, que son impregnadas en el papel de filtro antes de ser sellados dentro de la carcasa.

4.3.2. Resina Fenólica

La resina fenólica es un polímero sintético que como propiedad principal tiene la de resistencia a altas temperaturas como el fuego, abrasión, corrosión y humedad. Dada la reacción del fenol (C_6H_6O) con el formaldehído (CH_2O), se crean materiales hidrófugos y rígidos (Labsom, 2021).

Tienen las características de ser materiales antisépticos y antibacterianos debido a su porosidad mínima y, además, en cuestiones térmicas puede llegar a soportar de 200°C a 230°C y no presentan rupturas por su red tridimensional. Químicamente resisten disolventes y ácidos leves y gracias a esto, tienden a envejecer a menor rapidez necesitando muy poco cuidado.

4.4. Microscopía óptica

La microscopía óptica es usada para poder magnificar estructuras a una imagen ampliada mientras interactúa con la luz visible. Este microscopio utiliza 2 sistemas internos: sistema de iluminación para la muestra y el software de imagenología la cual magnífica la imagen para poder ver estas pequeñas estructuras a simple vista (Montalvo, 2010).

Las partes más importantes del microscopio refieren al foco y la lámpara del equipo ya que tiene como finalidad llevar a la luz artificial o natural hacia la muestra que se desea magnificar para que proporcione la adecuada iluminación.

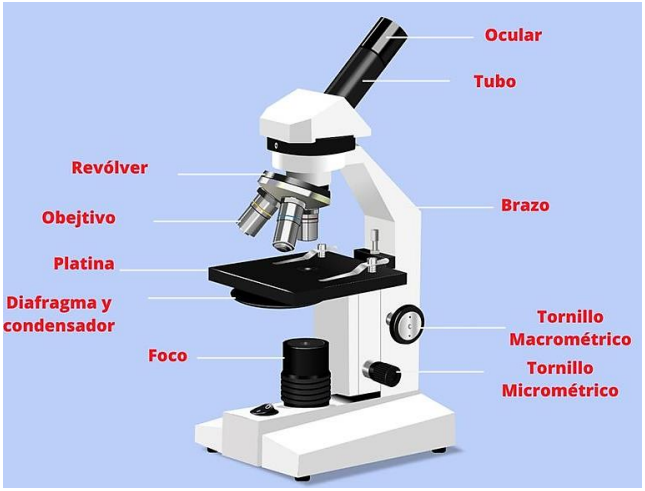

Figura 20. *Partes del microscopio óptico*

Fuente: (MicroscopioÓptico.org, 2021)

En el sector automotriz, puede ser utilizado mayoritariamente para la determinación de distancias y porosidades de varios tipos de filtros como los son el filtro de aire, el filtro de aceite, el filtro de combustible y hasta incluso para ciertos tipos de fluidos utilizados en el funcionamiento del vehículo.

4.5. Análisis de lubricantes

El análisis de lubricantes y sus respectivas técnicas son la piedra angular para la determinación del estado y una gran herramienta para el uso del mantenimiento preventivo y predictivo de los lubricantes. Existen varios equipos especiales para su análisis que permiten entre varias cosas, determinar: Contaminación de agua y partículas no férricas, viscosidad, constante dieléctrica, junto con ellas el deterioro por razones específicas del lubricante. A continuación, se refieren los tipos de análisis a utilizar en el presente estudio de caso.

4.5.1. Metodología SACODE

Sus siglas significan SA: “Salud”, CO para “Contaminación” y DE para “Desgaste” y es una técnica utilizada para realizar la más acertada interpretación de los análisis de lubricantes de motor.

Es muy importante el contexto y los datos para referenciar una vez que se haga la recolección de muestras, dado al hecho de que se necesita saber si la máquina se encuentra en uso al tomarlas y en qué condiciones se realizaron las pruebas y con qué herramientas (Arévalo, 2015).

Se muestra a continuación la secuencia de pasos utilizados para la realización y aplicación correcta del Método:

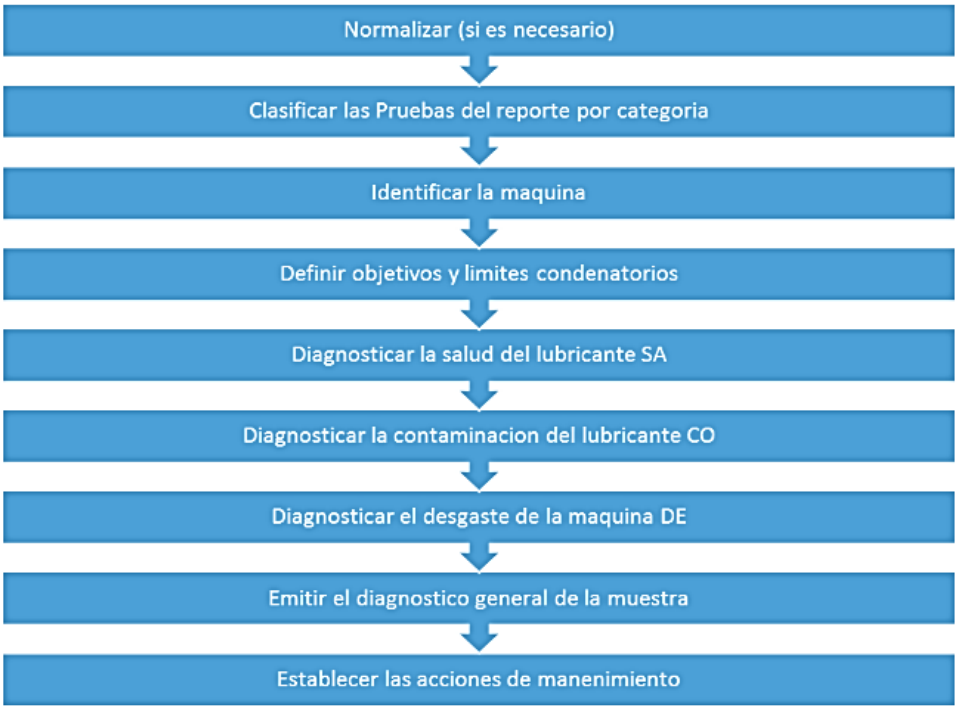

Figura 21. *Metodología SACODE en aplicación para un esquema de trabajo.*

Fuente: (Arévalo, 2015)

4.5.2. Normativa ISO 4406:2017 para el conteo de partículas

La norma fue creada que los niveles de contaminación puedan ser cuantificados y es expresada en grupos de 3: xx/xx/xx. El número representan los niveles correspondientes a su partícula contaminante. Con cada aumento de numero en el código, el rango de la cantidad de partículas es duplicado. (PFP, 2018)

Los códigos de limpieza para lubricantes vienen de la Norma Internacional ISO 4406:2017. Tal y como lo especifica la empresa manufacturera de filtros Donaldson:

"Tienen 3 conjuntos de números separados que se refieren a rangos que indican la cantidad de partículas de un tamaño mayor a 4 micrones, 6 micrones y 14 micrones por 1 mL, respectivamente. Obviamente, dado que las partículas de 6 micrones y 14 micrones son más grandes que las de 4 micrones, ellas también están presentes en el primer número. El segundo número solo indica partículas de un tamaño superior a 6 micrones. El último número solo indica partículas de un tamaño superior a 14 micrones." (Donaldson, 2021).

Estos son los códigos de contaminación por cada 100 mL:

Tabla 4. *Rangos de códigos de contaminación*

Código de rango	Más de	Hasta o incluso
24	8 000 000	16 000 000
23	4 000 000	8 000 000
22	2 000 000	4 000 000
21	1 000 000	2 000 000
20	500 000	1 000 000
19	250 000	500 000
18	130 000	250 000
17	64 000	130 000
16	32 000	64 000
15	16 000	32 000
14	8 000	16 000
13	4 000	8 000
12	2 000	4 000
11	1 000	2 000
10	500	1 000
9	250	500
8	130	250
7	64	130
6	32	64
5	16	32
4	8	16
3	4	8
2	2	4
1	1	2

Fuente: (ISO4406, 2017)

Esta norma no solamente expresa el nivel de contaminación, ya que también tiene un propósito de especificación de nivel de limpieza que se necesita para los componentes a utilizar.

4.5.3. Método de conteo de partículas

La implementación del monitoreo de condición de un lubricante suele ser principalmente el control de la contaminación de este. El método de conteo de partículas se utiliza para el monitoreo de la condición ante los lubricantes para la contaminación. se sabe que la contaminación del aceite suele incluir óxidos sólidos originarios del mismo motor, así como partículas del medio ambiente y cierto deterioro de los filtros.

Este conteo mide las partículas sin importar la composición ni forma de la partícula (MTB, 2021). Los datos que el proceso da son una distribución de tamaños, el conteo de partículas en sí y el código ISO. La ISO 4406 antes mencionada suele ser la estándar para estos estudios a pesar de que otros códigos también se encuentran en uso.

TABLA ISO 4406

RANGO DEL CÓDIGO	PARTÍCULAS POR MILILITRO	
	MÁS DE	HASTA/ INCLUYENDO
24	80000	160000
23	40000	80000
22	20000	40000
21	10000	20000
20	5000	10000
19	2500	5000
18	1300	2500

TAMAÑO DE LA PARTÍCULA	PARTÍCULAS POR ML*	RANGO DEL CÓDIGO ISO 4406	CÓDIGO ISO
4μ(c)	151773	80000-160000	24
6μ(c)	38363	20000-40000	22
10μ(c)	8229		
14μ(c)	3339	2500-5000	19
21μ(c)	1048		
38μ(c)	112		

Recuento de partículas, tamaño, distribución y salida de código ISO del contador de partículas.

Figura 22. *Tabla de referencia de código ISO 4406.*

Fuente: *(Caldwell, 2014)*

4.5.4. Tipos de contadores de partículas

Existen 3 tipos de contadores de partículas:

- **Bloqueo de poros**

Son utilizados para aceites de maquinarias que se encuentran en servicio activo. Las partículas se acumulan en una malla fina y su diseño utiliza un flujo constante de presión. Estos miden la caída de presión sobre la malla y miden los cambios en la velocidad del flujo. En este caso, la distribución de conteo de las partículas es estimado mediante la extrapolación y produce uno o dos códigos ISO. Genera limitados datos y es por esta razón que los laboratorios comerciales no suelen utilizar este método (Caldwell, 2014).

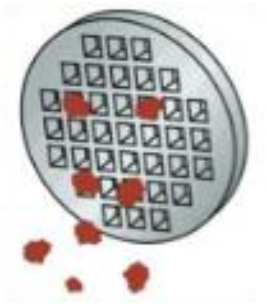

Figura 23. *Método del bloqueo de poros.*

Fuente: *(Caldwell, 2014)*

- **Contador de partículas de imágenes directas LaserNet Fines (LNF)**

Este contador de partículas refleja imágenes directas e incorpora una CCD junto con un láser de estado sólido juntamente configurados. El lente óptico magnifica la luz mientras el láser ilumina el lubricante. Todos estos datos se dan generalmente con relación al código ISO 4406.

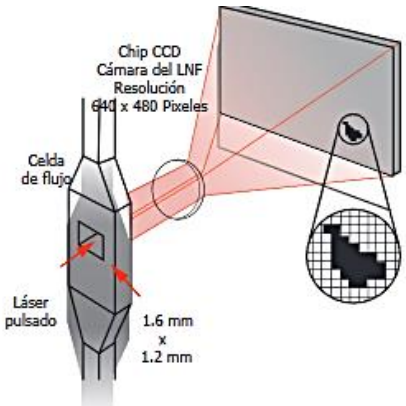

Figura 24. *Método de LNF.*

Fuente: *(Caldwell, 2014)*

- **Contador de partículas de Bloqueo de Luz**

En este sistema, un láser atraviesa a la muestra, que se encuentra parcialmente bloqueada a causa de las partículas, provocando así un voltaje proporcional al tamaño y área de las partículas de la luz de láser que llega al fotodetector. Suelen ser utilizados, así como los contadores de bloqueo de poros, para los aceites en servicio (Caldwell, 2014).

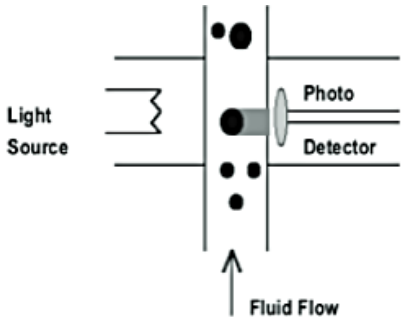

Figura 25. *Proceso de contador de partículas de bloqueo de luz.*

Fuente: *(Caldwell, 2014)*

4.6. Normativa SAE J300 para estándares de viscosidad

Existen dos entidades que regulan la viscosidad para aceites de motor: La ISO (International Standarization Organization) y la SAE (Society of Automotive Engineers)

La SAE J300 es el estándar para los aceites automotrices, y se analizan en 3 estados: W para Winter, temperatura elevada y multigrado. Su principal proceso de verificación se lo realiza desde los SAE 0W hasta 20W, así como los de alta temperatura de 20 a 60 y se mide la viscosidad mínima en centiStokes a 100° C (Noria, 2014).

La viscosidad del aceite se mide en una escala de 0 a 60. Estos valores, sobre todo los de la viscosidad cinemática, son los referentes para tener en cuenta cuando se analice un aceite.

Tabla 5. *Rangos de códigos de contaminación*

Viscosidad SAE	Arranque en frío (cP)	Bombeabilidad en frío (cP)	Mínima cinemática (cSt)	Máxima cinemática (cSt)	Cizallamiento en alta temperatura (cP)
0W	6,200 a -35°C	60,000 a -40°C	3.8	-	-
5W	6,600 a -30°C	60,000 a -35°C	3.8	-	-
10W	7,000 a -25°C	60,000 a -30°C	4.1	-	-
15W	7,000 a -15°C	60,000 a -25°C	5.6	-	-
20W	9,500 a -15°C	60,000 a -20°C	5.6	-	-
25W	13,000 a -10°C	60,000 a -15°C	9.3	-	-
8	-	-	4	6.1	1.7
12	-	-	5	7.1	2.0
16	-	-	6.1	8.2	2.3
20	-	-	6.9	9.3	2.6
30	-	-	9.3	12.5	2.9
40	-	-	12.5	16.3	3.5 (0W-40, 5W-40, 10W-40)
40	-	-	12.5	16.3	3.7 (15W-40, 20W-40, 25W40, 40 Monogrado)
50	-	-	16.3	21.9	3.7
60	-	-	21.9	26.1	3.7

Fuente: (Widman, 2015)

Ej.: Un aceite SAE 20 debe mantener su viscosidad entre los 6.9 y 9.3 a 100°C para que mantenga un estado saludable.

5. Marco Metodológico

La elaboración de un marco metodológico permite la evaluación de datos a partir de un estado del arte que generalmente se encuentran ya normalizados. Detalla todos los aspectos del desarrollo de la investigación, los cuales ya se encuentran respaldados por la previa información usada como base para su explicación frente a una crítica. El investigador recopila, selecciona y analiza resultados coherentes a consecuencia de su anterior búsqueda (Azuero, 2018).

5.1. Características del vehículo, insumos y equipos a emplear para el muestreo y análisis de lubricantes

5.1.1. Características del vehículo

Debido a la ventaja del constante uso de un medio de transporte público como el taxi, permitirá la rápida recolección de muestras, para esta investigación se utilizaron los servicios del vehículo de la cooperativa “HUANCAVILCA”, donde el recorrido diario se efectúa en la ciudad de Cuenca, Azuay, Ecuador.

En la Figura 26 se muestra el vehículo Hyundai Accent 1.6 año 2012 y sus especificaciones se recogen en la Tabla 6.

Figura 26. *Hyundai Accent 1.6 2012*

Fuente: *Autores*

Tabla 6. *Características del motor de automóvil Hyundai Accent 1.6 2012*

Motor	1599 CC.
Numero de cilindros	4
Distribución	DOHC
Numero de válvulas	16
Torque	82 @ 4500 rpm
Potencia	112 CV @ 6000 rpm
Relación de compresión	10.0

Fuente: (Hyundai, 2012)

5.1.2. Características de insumos a utilizar

Para asegurar la severidad de la muestra a recoger y almacenar, se requiere que las condiciones del vehículo sean las mismas al iniciar un nuevo ciclo de recorridos.

Visto el sistema de un MCI y del automóvil en general, se determinan que los siguientes insumos son los que hay que renovar al iniciar un nuevo ciclo de filtrado una vez recorridos 3000 km, junto con el respectivo cambio de lubricante, para así mantener las condiciones de muestreo iguales:

- Combustible: ECO-PAÍS

Tabla 7. *Ficha técnica de combustible ECO-PAÍS*

Propiedades	Cantidad
Fórmula	C_2H_6O, CH_3CH_2OH
Estado de agregación	Líquido
Punto de ebullición	78.3°C
Temperatura de ignición	363°C
Densidad	0.7893 a 20°C
Presión de vapor	59mm de Hg a 20°C
Octanaje	87

Fuente: *Autores*

- Neumático: Barum Bravuris 185/70R14

Figura 27. *Neumático Barum Bravuris 185/70R14*

Fuente: *(Barum, 2021)*

Información sobre el producto:

Tabla 8. *Ficha técnica del neumático Barum Bravuris 185/70R14*

Medida	185/70R14
Ancho	185
Alto	70
Rin	14
Índice de carga	88
Índice de velocidad	T
Presión	28psi
Precio unitario	$57.94

Fuente: *(Barum, 2021)*

- Filtro de combustible: Filtro HERT+BUSS J1330334

Figura 28. *Filtro combustible HERT+BUSS J1330334.*

Fuente: *(Tecnifiltro, 2021)*

Información del producto:

Tabla 9. *Ficha técnica del filtro de combustible HERT+BUSS J1330334*

N de artículo	HERT+BUSS J13330334
Tipo de filtro	Filtro de larga duración
Longitud	104 mm
Estado	Nuevo
Precio unitario	$23.71

Fuente: *(Tecnifiltro, 2021)*

- Bujías: Hyundai Spark Plug 18858 10090

Figura 29. *Bujías Hyundai 18858 10090*

Fuente: (Tecnifiltro, 2021)

Información sobre el producto:

Tabla 10. *Ficha técnica de bujía Hyundai 18858 - 10090*

Ancho de llave [mm]	16
Long. de rosca [mm]	26.5
Posición chispa [mm]	5

Bujía de encendido	Electrodo de masa, con asiento de estanqueidad plano, electrodo central de cobre
Medida de rosca	M12x1.25
Distancia entre electrodos [mm]	0,9
Técnica conexión	SAE
Calidad / Clase	Ni125 GE
Par de apriete de [Nm]	20
Par de apriete hasta [Nm]	25
Longitud [cm]	20
Ancho [cm]	2.45
Resistencia desde [kΩ]	7
Resistencia hasta [kΩ]	16
Número de artículo	Bujía accent12+/elantra 12+(ORI)
Precio	$4.08

Fuente: (Autodoc, 2021)

- Filtro de Aire: ULTRA TIGER SQ-6443

Figura 30. *Filtro de Aire ULTRA TIGER SQ-6443*

Fuente: (Tecnifiltro, 2021)

Información del producto:

Tabla 11. *Ficha técnica de filtro de aire ULTRA TIGER SQ-6443*

Marca comercial	ULTRA TIGER
Razón social del fabricante	Jack (Hong Kong) Automotive Parts Co. Ltd.
Nombre del producto	ULTRA TIGER SQ-6443
Modelo o Código	SQ-6443
Pais de origen	China
Noma INEN	RTE-INEN 129
Tamaño	256*163*51mm
Precio	$3.13

Fuente: (Tecnifiltro, 2021)

- Lubricante: Havoline MINERAL SAE 20W-50

Figura 31. *Aceite lubricante Havoline SAE 20W-50*

Fuente: (Tecnifiltro, 2021)

Información del producto:

Tabla 12. *Ficha técnica de lubricante Havoline SAE 20W-50*

Número de Producto	223412
Gravedad API	29.0
Viscosidad, Cinemática **cSt a 40°C** **cSt a 100°C**	 157.8 17.3
Viscosidad, Arranque en Frío, °C/Poise	-15/75
Índice de Viscosidad	119
Punto de Inflamación, °C(°F)	>205(401)
Punto de Escurrimiento, °C(°F)	-24(-11)
Ceniza Sulfatada, wt %	0.9
Número Base, ASTM D2896	8.5
Fósforo, wt %	0.077
Zinc, wt %	0.088
Magnesio, wt %	0.004
Precio	$20.25

Fuente: (Tecnifiltro, 2021)

5.1.3. Analizador rápido de aceite Yateks YTO

El analizador de aceite Yateks es una máquina la cual brinda datos sobre el estado del aceite a cierta temperatura y brinda la siguiente información: viscosidad, constante dieléctrica, temperatura y densidad.

Sus características son:

- LCD Display de 4.3”
- Termostato
- Sensor de características de flujo
- Procesador ARM de alto rendimiento

Figura 32. *Analizador de lubricantes YTO*

Fuente: *Autores*

El analizador demuestra los siguientes parámetros:

Tabla 13. *Ficha técnica del analizador de lubricantes YTO*

Parámetro	Valor mínimo	Valor típico	Valor máximo	Unidad
Cinemática viscosidad	0.5	15	50	mm²/s
Precisión de viscosidad cinemática (>10mm²/s)	-5	±2	+5	%
Precisión de viscosidad cinemática (<10mm²/s)	-	±0.2	-	mm²/s
Densidad	0.65	0.85	1.50	g/cm³
Precisión de densidad	-3	±1	+3	%
Constante dieléctrica	1.0	2.0	6.0	-
Precisión de constante dieléctrica	-3	±1	+3	%
Temperatura	-40	-	150	℃
Precisión de temperatura	-	0.1	-	º ℃

Fuente: (Yateks, Manual de Usuario Yateks YTO, 2021)

Se adquieren los datos de la siguiente manera:

Para el muestreo del análisis de lubricante (Yateks YTO):

- Utilizar el correspondiente equipo de protección de acuerdo con el reglamento de la Universidad Politécnica Salesiana para el laboratorio de análisis de lubricantes y son: gafas, mandil, guantes, mascarilla.
- Colocar las muestras de lubricantes con su respectiva etiqueta en la mesa de trabajo.
- Encender el analizador de aceite Yateks YTO, conectando el sensor y su respectivo dispositivo de calentamiento con la muestra a analizar.
- Tomar los datos subiendo la temperatura del dispositivo desde los 25°C hasta los 100°C de la viscosidad, constante dieléctrica y densidad.

5.1.4. Contador de partículas Yateks YJS-150

El contador de partículas YJS-150 utiliza el principio de bloqueo de luz para realizarlo. Visto anteriormente, el proceso detecta la cantidad y el tamaño de las partículas sólidas en el lubricante.

Sus características son:

- Utilización de sistema de bloqueo de luz.
- Sensor de alta precisión
- Utiliza las normas NAS1638, ISO 4406-99, ISO 4406-87, AS4059D, etc. basado en las especificaciones del usuario.
- Display LED & Touch Screen
- Impresora para datos recopilados.

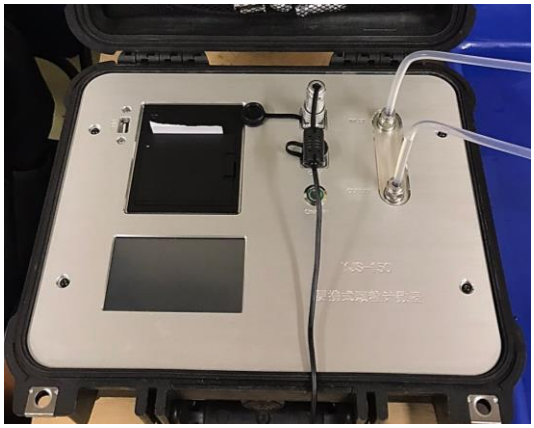

Figura 33. *Contador YJS-150.*

Fuente: *Autores*

El índice técnico muestra los siguientes parámetros:

Tabla 14. *Ficha técnica del contador de partículas Yateks YJS-150*

Rango de medición	1-400µm
Sensitividad	1 µm o 4 µm
Velocidad detección	20mL/min
Tasa de limpieza	5-35mL/min
Precisión de conteo	±10%
Límite de error coincidente	12 000 part/mL
Viscosidad máxima de muestra	400 cSt

Fuente: (Yateks, Manual de Usuario YJS-150, 2021)

Se adquieren los datos de la siguiente manera:

Para el conteo de partículas (Yateks YJS-150):

- Utilizar el correspondiente equipo de protección de acuerdo con el reglamento de la Universidad Politécnica Salesiana para el laboratorio de análisis de lubricantes y son: gafas, mandil, guantes, mascarilla.
- Colocar las muestras de lubricantes con su respectiva etiqueta en la mesa de trabajo.
- Encender el contador de partículas Yateks YJS-150 y realizar un lavado con un disolvente como el éter de petróleo o heptano antes de cada prueba con los vasos de precipitación.

- Utilizar la muestra respectiva y tomar los datos mostrados en el display.

5.2. Caracterización de filtros de baja, media y alta gama

Para hacer una correcta caracterización, se deben de tomar en cuenta muchos factores como los son el precio, calidad y disponibilidad del producto. Una vez revisadas las variables, se determina la calidad general del filtro mediante un método cualitativo (Ordóñez & Salamea, 2020).

A continuación, se muestran las variables necesarias para ingresar al método cualitativo las cuales son:

- Costo
- Disponibilidad
- Porosidad
- Diámetro de fibras

5.2.1. Selección de filtros de aceite

Para la selección de filtro de aceite, se ha consultado a los proveedores de los insumos debido a la accesibilidad a fichas técnicas y años de experiencia en el mercado. Se los ha clasificado como baja, media y alta gama, que depende del fabricante y el costo del filtro y son listados a continuación:

- **Filtro A:** ADVANCE 3593

Figura 34. *Filtro ADVANCE 3593*

Fuente: *Autores*

- **Filtro B:** CHAMP 2808

Figura 35. *Filtro CHAMP PH2808*

Fuente: *Autores*

- **Filtro C:** Hyundai 26300 - 35504

Figura 36. *Filtro Hyundai 26300 – 35504.*

Fuente: *Autores*

A continuación, se muestra una tabla comparativa de los filtros a utilizar:

Tabla 15. *Tabla comparativa de filtros A, B, C*

Marca	ADVANCE	CHAMP	Hyundai
Serie	A0-3593	PH2808	26300 - 35504
Clase	Liviano	Liviano	Liviano
Alto [mm]	87	81.4	78.4
Diámetro exterior [mm]	69	83.8	78.4
Rosca	M20x1.5	M20x1.5	M20x1.5
Disposición de papel filt.	Plisado	Plisado	Plisado

Fuente: *Autores*

5.2.2. Costos

Se dará una calificación del 1 al 5, donde 1 es la puntuación más baja y 5 la más alta refiriéndose al costo. La puntuación mayor será para el filtro de menor costo, esto significa un beneficio para el dueño del vehículo, reduciendo costos para un mayor margen de ganancia.

Tabla 16. *Tabla comparativa de precios para los filtros A, B, C*

PRECIO PROMEDIO DE FILTROS	
Filtro A	$3.03
Filtro B	$3.75
Filtro C	$14.00

Fuente: *Autores*

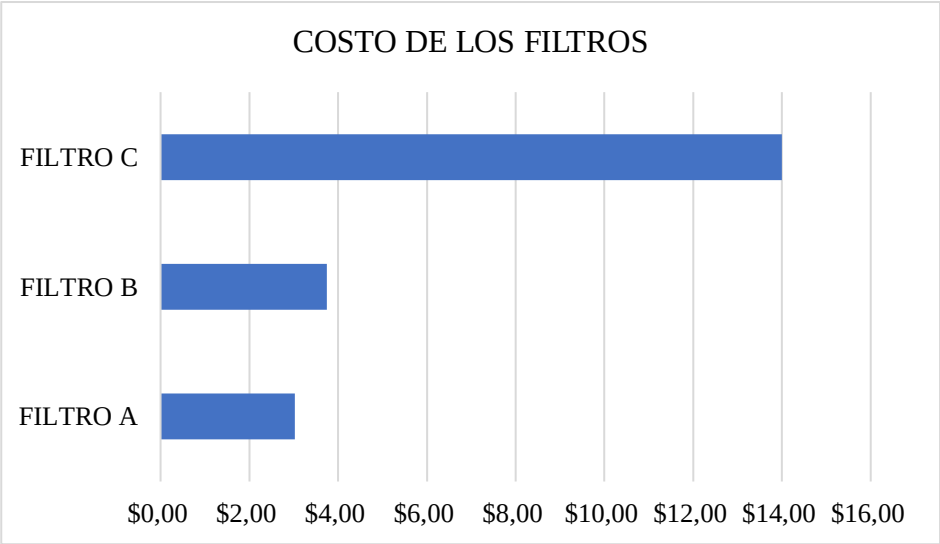

Figura 37. *Gráfica comparativa de precio de filtros de aceite*

Fuente: *Autores*

5.2.3. Disponibilidad

Se realizó la correspondiente búsqueda de los filtros en los proveedores de insumos de lubricantes en la ciudad de Cuenca, donde el vehículo realiza su recorrido diario. Se visitaron 8 locales para poder encontrarlos y saber que tan comunes son en el entorno. El rango de calificación va de 1 a 5, siendo 5 la mejor puntuación con respecto a que tan común es conseguir el filtro.

Se describe por la facilidad de adquisición del filtro por la cantidad de locales de repuestos automotrices que tienen el producto disponible. Por un pequeño sondeo, se determinó en la tabla 17:

Tabla 17. *Tabla comparativa de proveedores de filtros A, B, C*

FILTRO	NÚMERO DE PROVEEDORES
Filtro A	3
Filtro B	6
Filtro C	2

Fuente: *Autores*

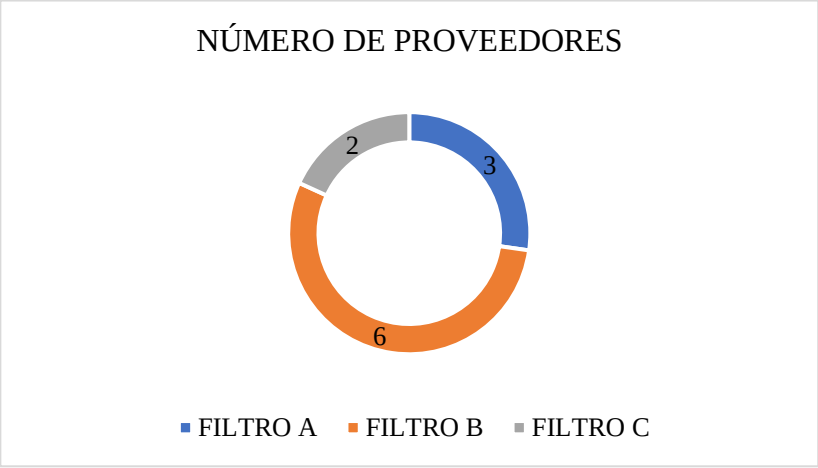

Figura 38. *Gráfica comparativa de la disponibilidad de los filtros en la ciudad*

Fuente: *Autores*

5.2.4. Análisis microscópico de filtros de aceite

Con este análisis se busca determinar la porosidad de cada papel filtrante y el promedio de diámetro de ellas, eso determinará la cantidad de partículas que podrán pasar entre los orificios del papel filtrante, mientras menor el tamaño de las partículas, mejor la calidad del papel filtrante.

Se necesita un análisis morfológico de los filtros para comparar y encontrar diferencias entre los diferentes tipos de filtros. La técnica más adecuada para ese tipo de análisis es la microscopía. Las opciones son la microscopía óptica (usada en este caso de investigación) o electrónica, sin embargo, para el rango de dimensiones requerido la microscopía óptica es ideal.

Además, por la tipología de las muestras es necesario usar microscopía de luz reflejada donde las muestras permiten el paso de luz y esa configuración ofrece un mejor contraste.

Se utilizó el programa llamado STREAM Essentials de Olympus con un módulo para análisis de porosidad mediante procesamiento digital de imágenes lo que permite automatizar la identificación y caracterización de la porosidad.

Una vez realizada la microscopía, se obtienen las siguientes características:

- **Filtro A**

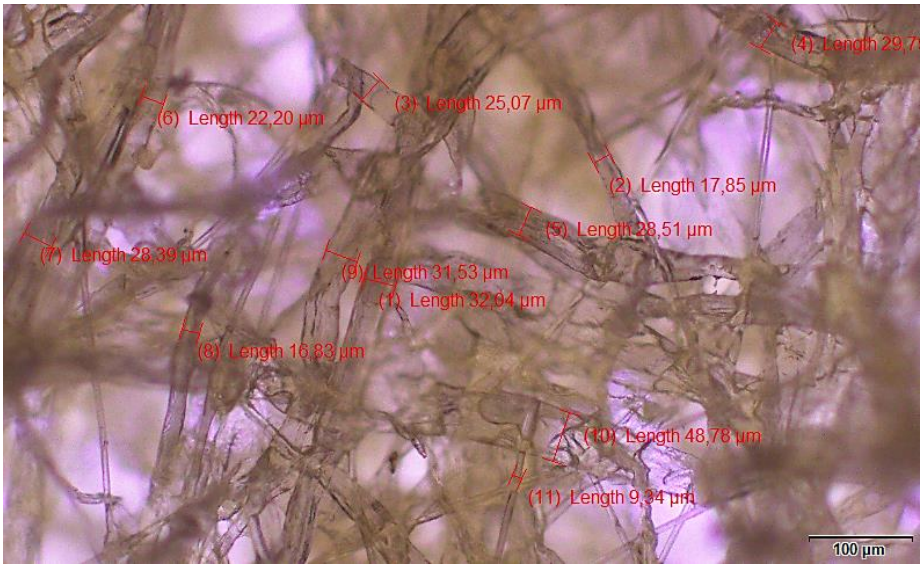

Figura 39. *Microscopía de Filtro A.*

Fuente: *Autores*

- Para el diámetro de Filtro A:

Tabla 18. *Promedio del diámetro de hebras para Filtro A*

Diámetros de hebras para Filtro A		
Número de medida	**Diámetro (µm)**	**Promedio (µm)**
1	32.04	26.25
2	17.85	
3	25.07	
4	29.70	
5	28.51	
6	22.20	

7	28.39	

Fuente: *Autores*

- Para la porosidad del Filtro A:

Tabla 19. *Promedio de porosidad de papel filtrante de Filtro A*

Porosidad [%]	17,39
Conteo de poros	22702
Densidad de poro [1/mm²]	344,6
Tamaño de poro máximo [µm]	706,76

Fuente: *Autores*

- **Filtro B**

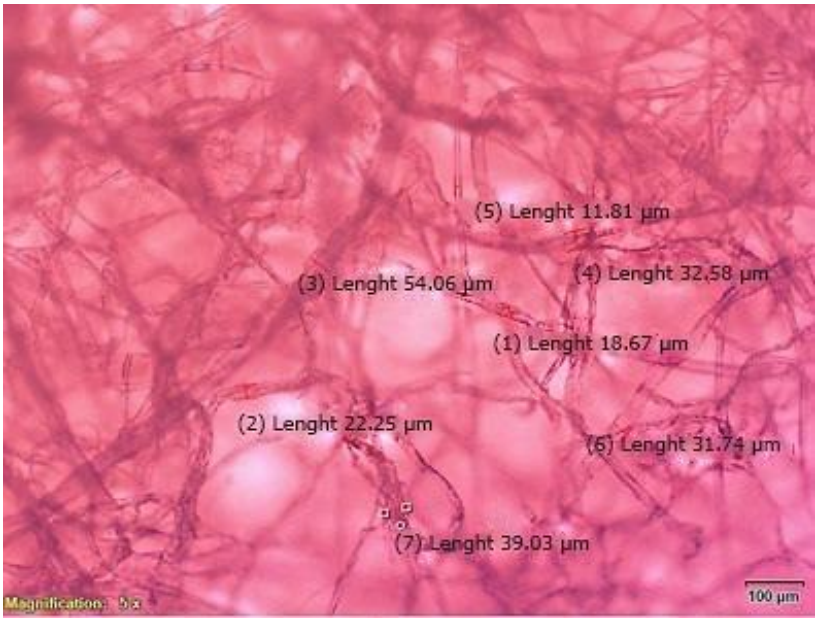

Figura 40. *Microscopía de Filtro B.*

Fuente: *Autores*

- Para el diámetro de Filtro B:

Tabla 20. *Promedio del diámetro de hebras para Filtro B*

Diámetros de hebras para Filtro B		
Número de medida	**Diámetro (µm)**	**Promedio (µm)**
1	18.67	30.02
2	22.25	
3	54.06	
4	32.58	
5	11.81	

6	31.74	
7	39.03	

Fuente: *Autores*

- Para la porosidad del Filtro B:

Tabla 21. *Promedio de porosidad de papel filtrante de Filtro B*

Porosidad [%]	17,5
Conteo de poros	4802
Densidad de poro [1/mm²]	255,11
Tamaño de poro máximo [µm]	522,62

Fuente: *Autores*

- **Filtro C**

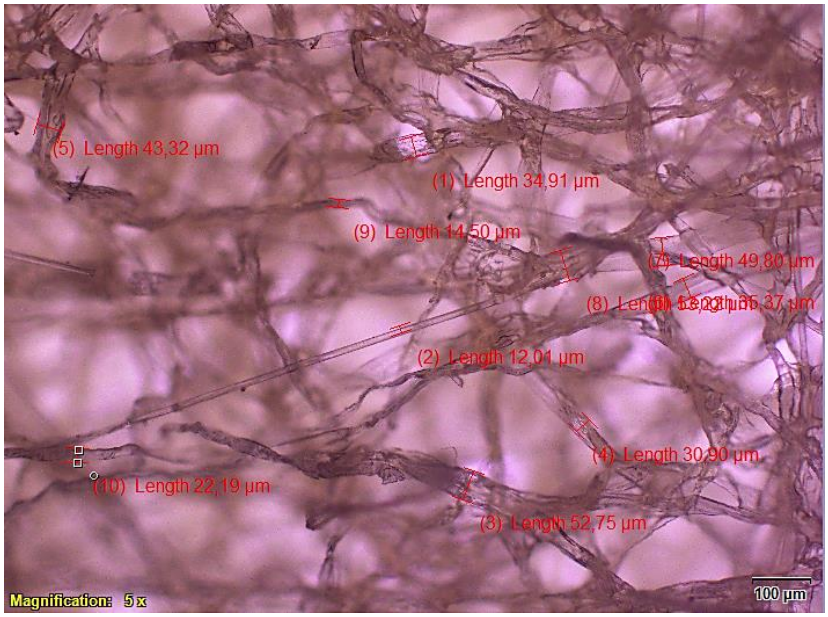

Figura 41. *Microscopía de Filtro C.*

Fuente: *Autores*

- Para el diámetro de Filtro C:

Tabla 22. *Promedio del diámetro de hebras para FILTRO C*

Diámetros de hebras para Filtro C		
Número de medida	**Diámetro (µm)**	**Promedio (µm)**
1	34.91	37.001
2	12.01	
3	52.75	
4	30.90	

5	43.32	
6	35.37	
7	49.80	

Fuente: *Autores*

- Para la porosidad del Filtro C:

Tabla 23. *Promedio de porosidad de papel filtrante de Filtro B*

Porosidad [%]	16,84
Conteo de poros	15812
Densidad de poro [1/mm²]	280,01
Tamaño de poro máximo [µm]	525,7

Fuente: *Autores*

5.2.5. Porosidad

La porosidad se refiere al tamaño de partículas máximo que pueden pasar a través del papel filtrante y retiene las cuales sean de mayor medida para así tener una buena filtración. Mediante el software STREAM Essentials se obtienen las medidas promedio que este arrojó.

Se calificará del 1 al 5, siendo 1 la puntuación más baja (debido a que pasan partículas de mayor tamaño) y 5 la más alta.

Tabla 24. *Promedio de porosidad de filtros A, B y C*

POROSIDAD	
FILTRO	**POROSIDAD (%)**
Filtro A	17.39
Filtro B	17.50
Filtro C	16.84

Fuente: *Autores*

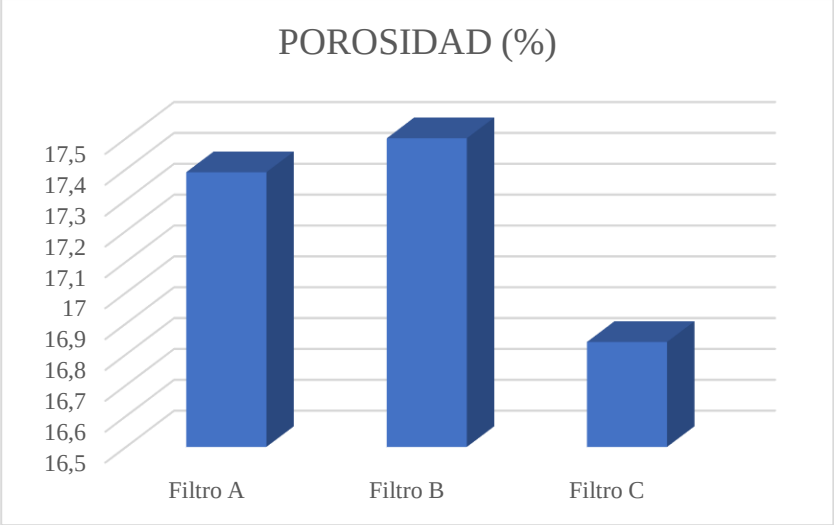

Figura 42. *Gráfica comparativa de porosidad entre los filtros A, B y C.*

Fuente: *Autores*

5.2.6. Diámetro de hebras

El diámetro de hebras o fibras da a conocer el tamaño promedio de estas por cada filtro. Mediante el software STREAM Essentials se obtienen las medidas promedio que este arrojó.

Se calificará del 1 al 5, siendo 1 la puntuación más baja (debido a las fibras de menor diámetro) y 5 la más alta.

Tabla 25. *Promedio de diámetro de hebras de filtros A, B y C*

DIÁMETRO DE HEBRAS	
FILTRO	**DIÁMETRO (µm)**
Filtro A	26.25
Filtro B	30.02
Filtro C	37.00

Fuente: *Autores*

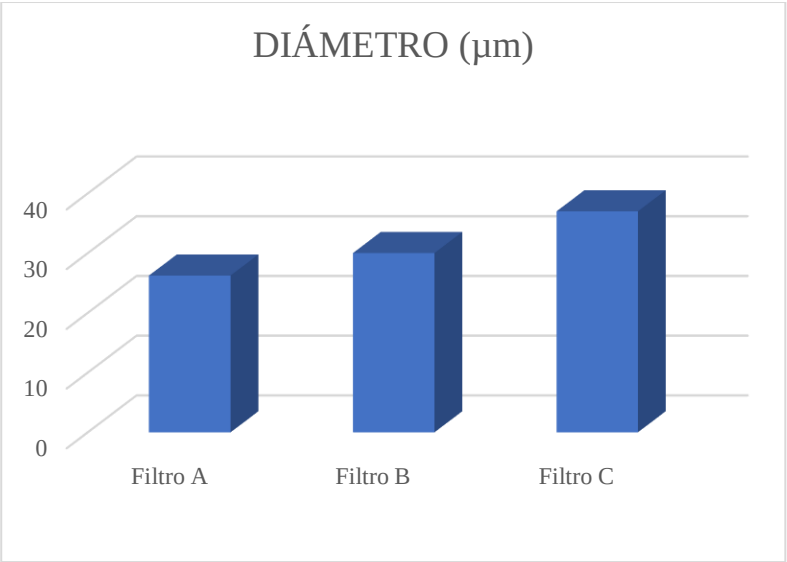

Figura 43. *Gráfica comparativa del diámetro de las hebras de los filtros A, B y C.*

Fuente: *Autores*

5.3. Método cualitativo de calificación por puntos

Tabla 26. *Método cualitativo de calificación por puntos*

CALIFICACIÓN FINAL			
	Filtro A	**Filtro B**	**Filtro C**
COSTO	4	3	2
DISPONIBILIDAD	3	5	2
POROSIDAD	4	3	5
DIÁMETRO DE HEBRAS	2	4	5
TOTAL	13	16	14

Fuente: *Autores*

Por medio de este método se determina que el Filtro B, pertenece a una gama alta, el filtro C, es de una gama media y el filtro A, corresponde una gama baja.

6. Análisis de Resultados

Para cada filtro se realizó un recorrido de 3000 km, recolectando una muestra del lubricante cada 500 km, y a partir de los 2000 km, cada 250 km para así poder tener muestras y datos más exactos que reflejen una mayor veracidad al ser analizados por los equipos de análisis de viscosidad y conteo de partículas.

Se seleccionan los datos de 20 a 50 µm siendo el estándar para el tamaño de partículas promedio que pasan por el papel filtrante de celulosa para motores de combustión interna a gasolina (Bavaresco, 2021).

6.1. Método de dispersión de puntos

Es el método de representación que mejor describe el comportamiento de varias variables. Llamado nube de puntos o también diagrama de dispersión, es representado por varias variables como $X_1, Y_1\ y\ Z_1$, que en este caso serán referenciados para los datos de los filtros A, B, y C. Así se permite estudiar los problemas relacionados con calidad y rendimiento del lubricante. Además de la información recopilada, se calculará la desviación estándar y sus correspondientes límites (superior e inferior), que determinarán el rango saludable de paso de partículas que atraviesan el papel de celulosa.

A	*Baja*
B	*Media*
C	*Alta*

Los puntos de los filtros A, B, y C serán representados por el cuadro anterior en sus respectivas gráficas.

6.1.1. Dispersión de puntos a 20 µm

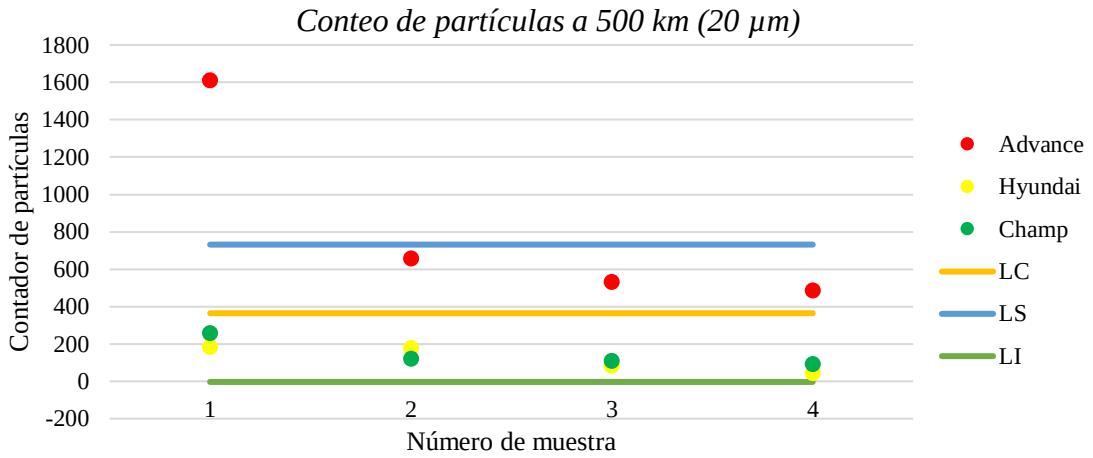

Figura 44. *Dispersión de puntos con partículas de 20 µm a los 500 km de recorrido.*

Fuente: *Autores*

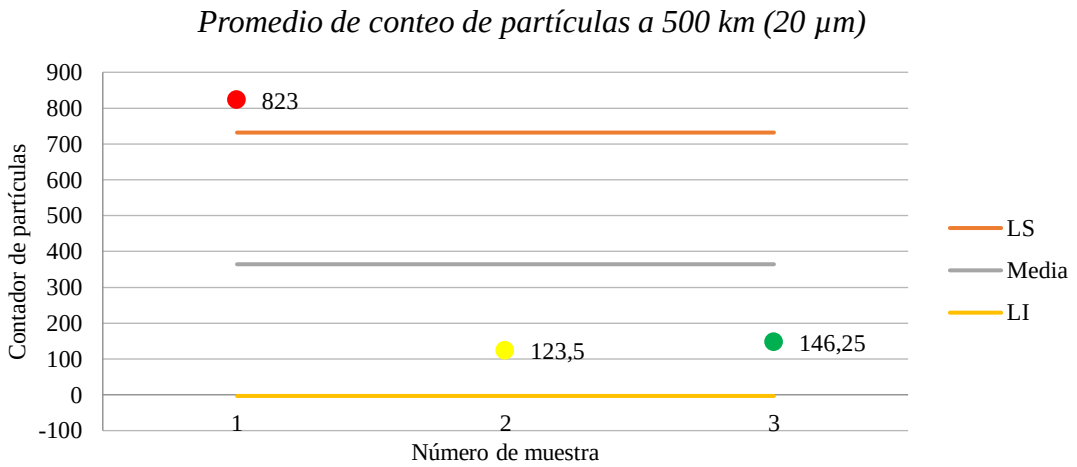

Figura 45. *Promedio de conteo de partículas a 500 km (20 µm).*

Fuente: *Autores*

Mediante observación en la figura 45, se realiza un promedio del análisis de contaminación por partículas de 20 µm, se determina que el filtro A, presenta un paso anormal de partículas, mientras que los filtros B y C se encuentran dentro del rango adecuado.

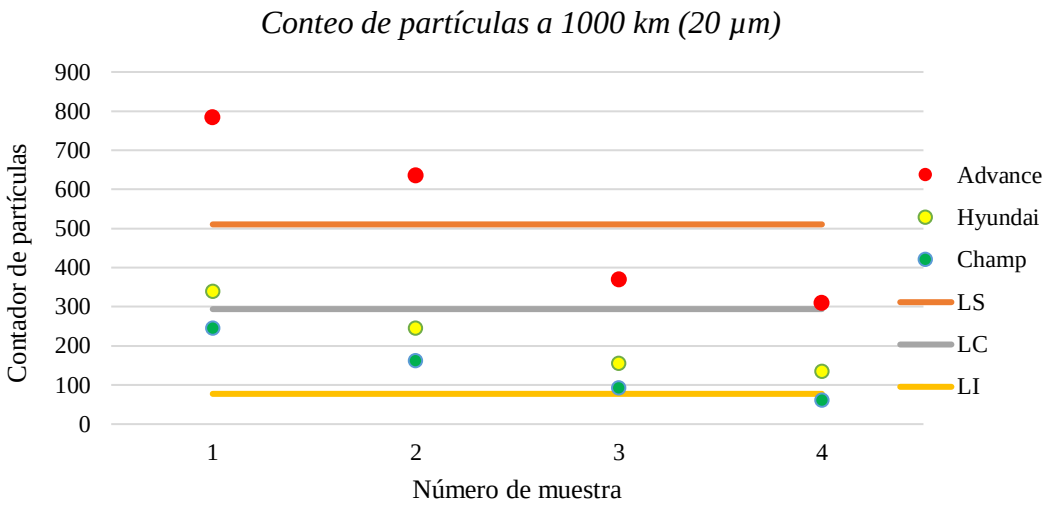

Figura 46. *Dispersión de puntos con partículas de 20 µm a los 1000 km de recorrido.*

Fuente: *Autores*

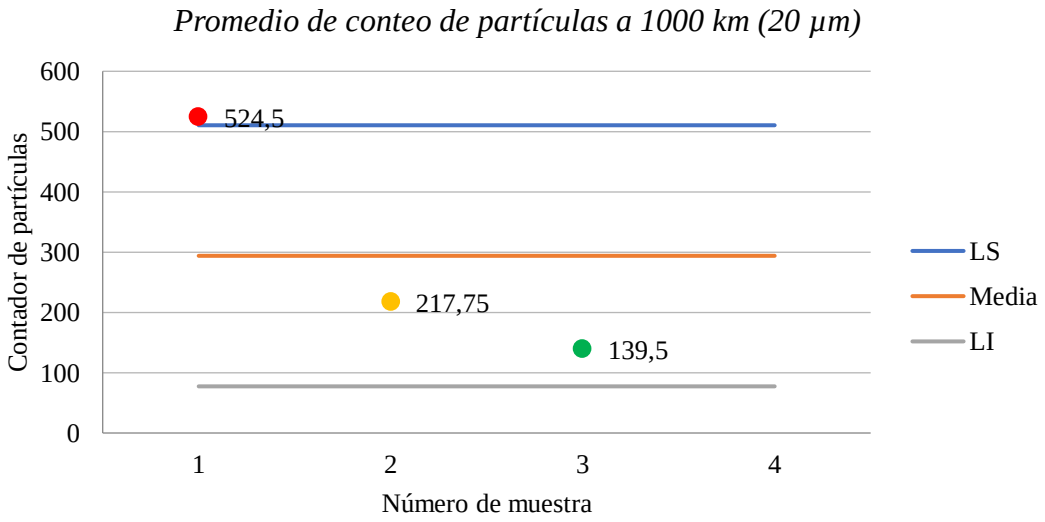

Figura 47. *Promedio de conteo de partículas a 1000 km (20 µm).*

Fuente: *Autores*

Como se aprecia en la figura 47, se realiza un promedio del análisis de contaminación por partículas de 20 µm, se determina que el filtro A, presenta un paso anormal de partículas, mientras que los filtros B y C se encuentran dentro del rango adecuado.

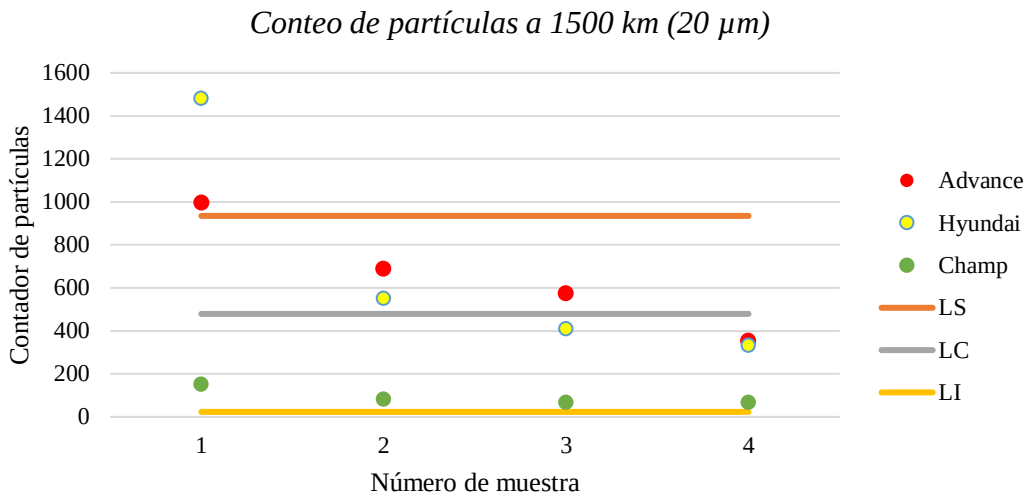

Figura 48. *Dispersión de puntos con partículas de 20 µm a los 1500 km de recorrido.*

Fuente: *Autores*

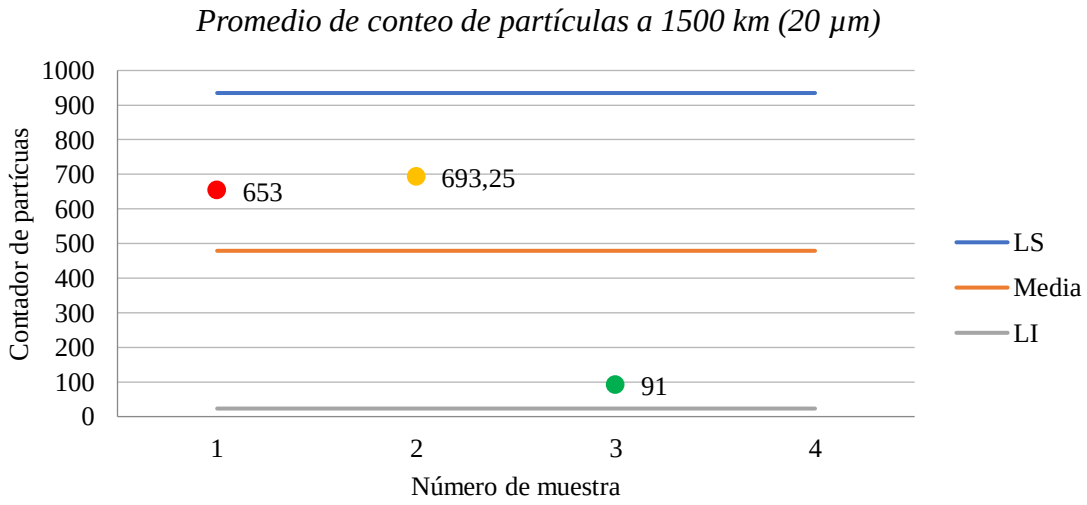

Figura 49. *Promedio de conteo de partículas a 1500 km (20 µm).*

Fuente: *Autores*

Como se detalla en la figura 49, se realiza un promedio del análisis de contaminación por partículas de 20 µm, que los filtros A, B y C se encuentran dentro del rango adecuado.

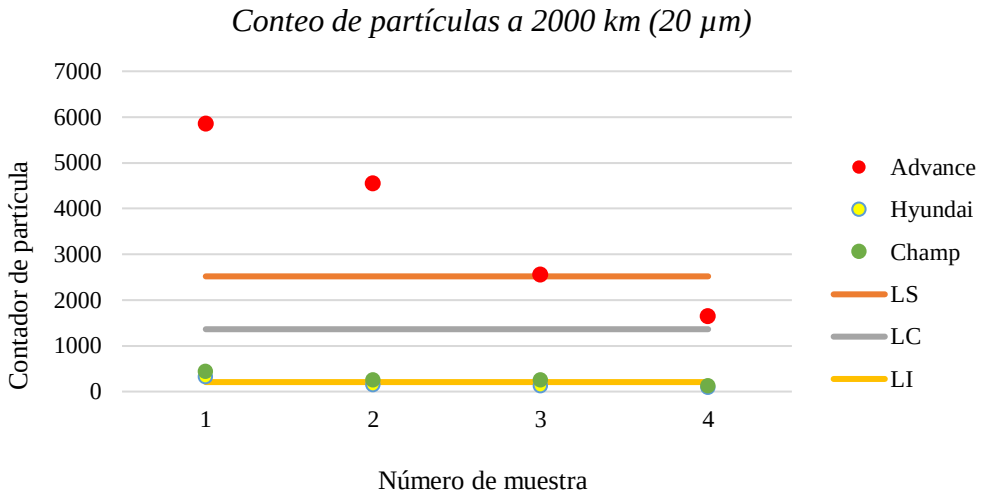

Figura 50. *Dispersión de puntos con partículas de 20 µm a los 2000 km de recorrido.*

Fuente: *Autores*

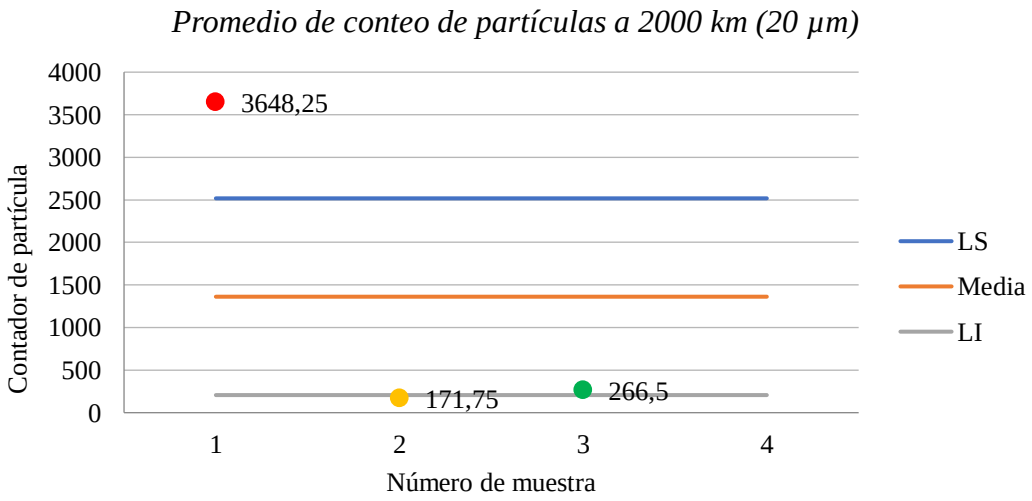

Figura 51. *Promedio de conteo de partículas a 2000 Km (20 µm).*

Fuente: *Autores*

Como se observa en la figura 51, se realiza un promedio del análisis de contaminación por partículas de 20 µm, se determina que el filtro A, presenta un paso

anormal de partículas, mientras que los filtros B y C se encuentran dentro del rango adecuado.

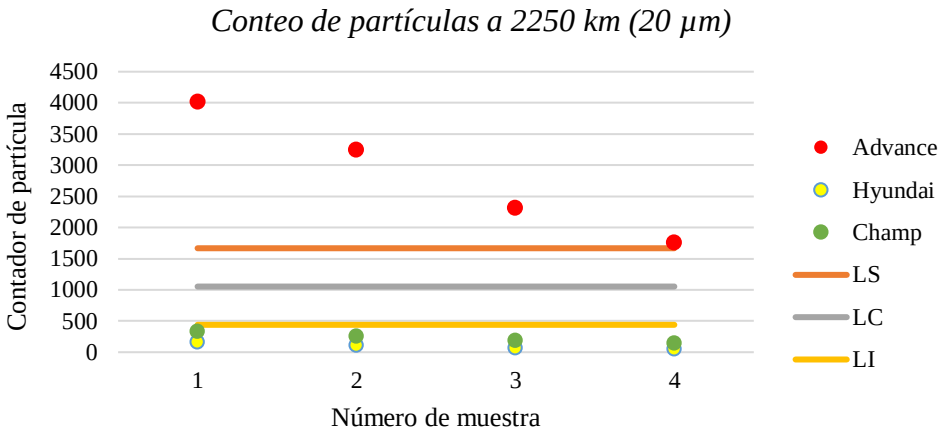

Figura 52. *Dispersión de puntos con partículas de 20 µm a los 2250 km de recorrido.*

Fuente: *Autores*

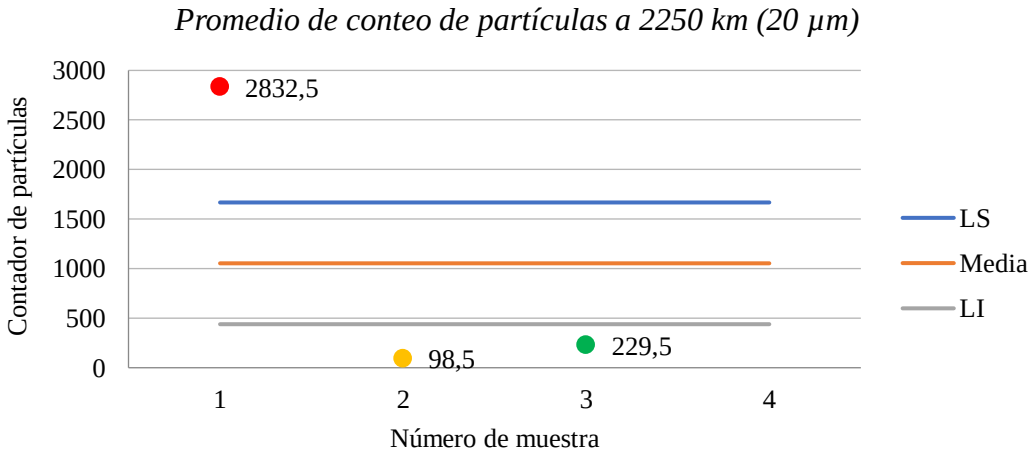

Figura 53. *Promedio de conteo de partículas a 2250 km (20 µm).*

Fuente: *Autores*

En la figura 53, se realiza un promedio del análisis de contaminación por partículas de 20 µm, se determina que los filtros A presenta un paso anormal de partículas, junto con los filtros B y C, los cuales son afectados debido al valor tan alto del filtro A.

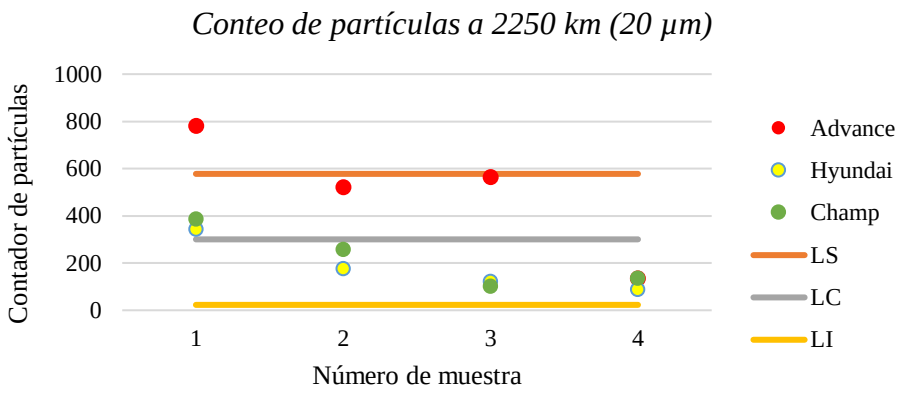

Figura 54. *Dispersión de puntos con partículas de 20 µm a los 2500 km de recorrido.*

Fuente: *Autores*

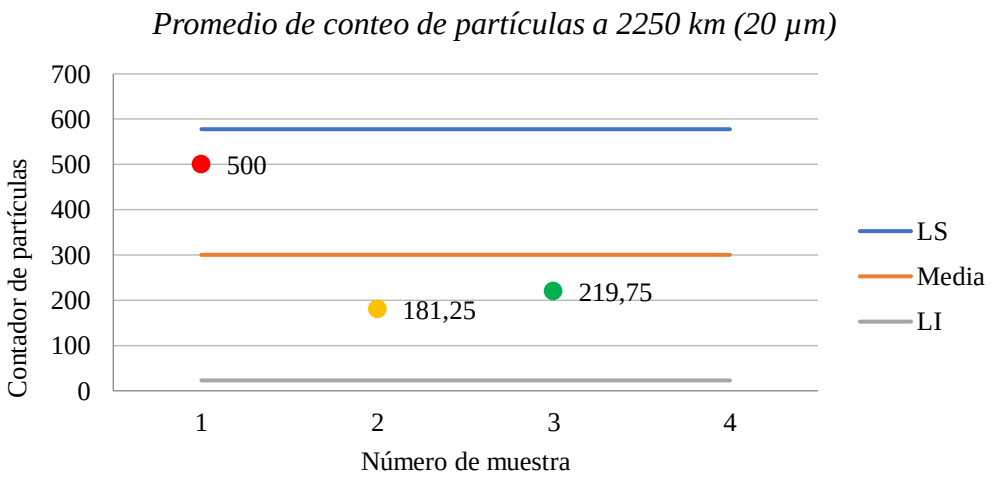

Figura 55. *Promedio de conteo de partículas a 2500 km (20 µm).*

Fuente: *Autores*

Como se aprecia en la figura 55, se realiza un promedio del análisis de contaminación por partículas de 20 µm, se determina que el filtro A presenta un paso anormal de partículas cercano al límite superior, mientras que los filtros B y C se encuentran dentro del rango adecuado.

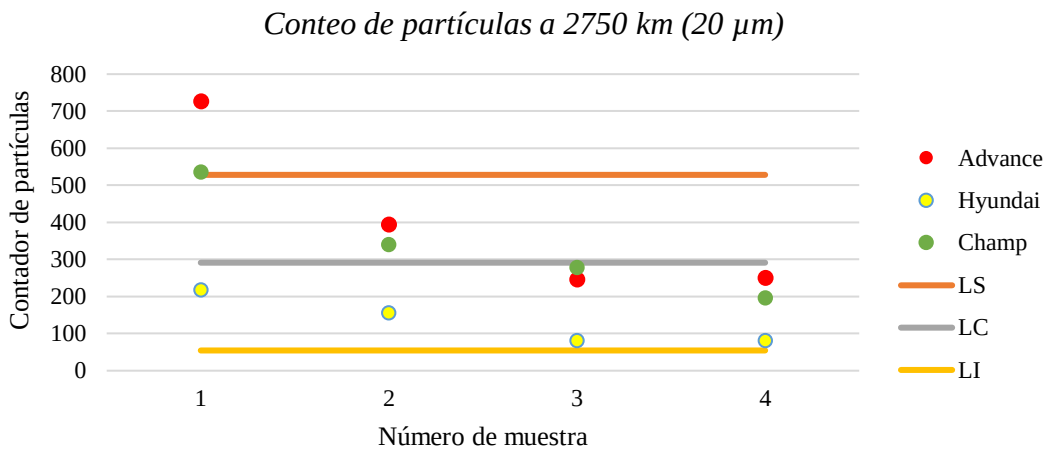

Figura 56. *Dispersión de puntos con partículas de 20 µm a los 2750 km de recorrido.*

Fuente: *Autores*

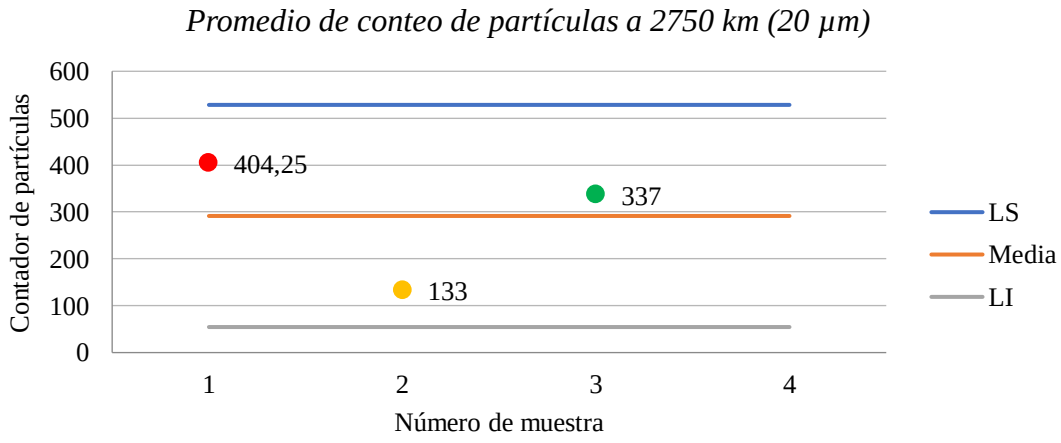

Figura 57. *Promedio de conteo de partículas a 2750 km (20 µm).*

Fuente: *Autores*

Como se muestra en la figura 57, se realiza un promedio del análisis de contaminación por partículas de 20 µm, se determina que los filtros A, B y C se encuentran dentro del rango adecuado.

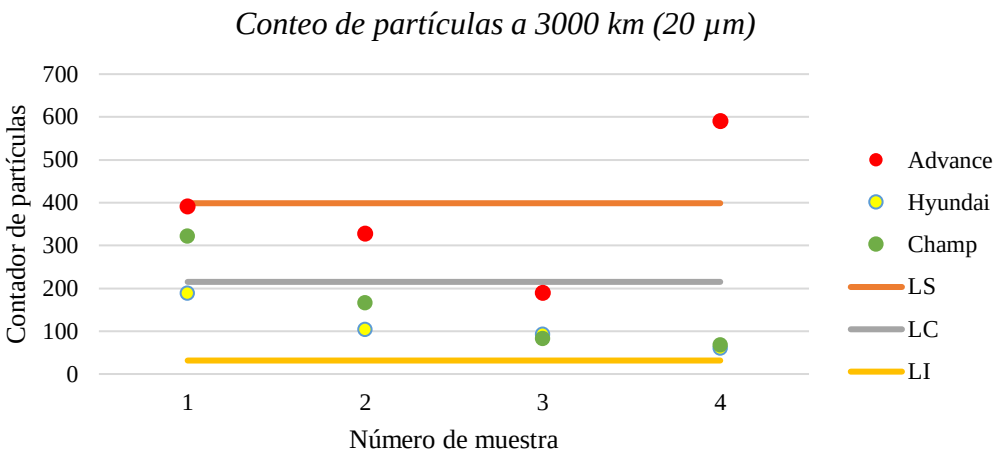

Figura 58. *Dispersión de puntos con partículas de 20 µm a los 3000 km de recorrido.*

Fuente: *Autores*

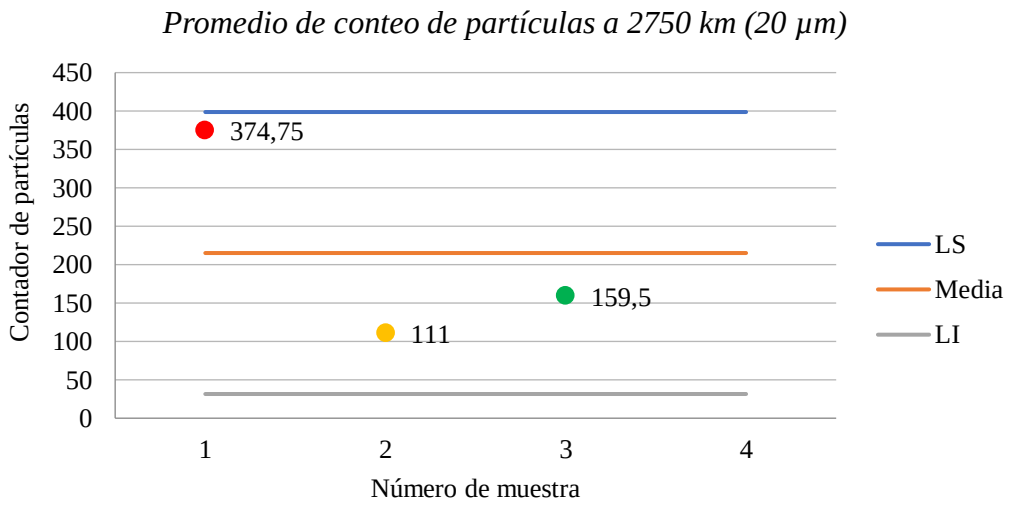

Figura 59. *Promedio de conteo de partículas a 3000 km (20 µm).*

Fuente: *Autores*

Como se detalla en la figura 59, se realiza un promedio del análisis de contaminación por partículas de 20 µm, se determina que el filtro A presenta un paso anormal de partículas cercano al límite superior, mientras que los filtros B y C se encuentran dentro del rango adecuado.

6.1.2. Dispersión de puntos a 30 µm

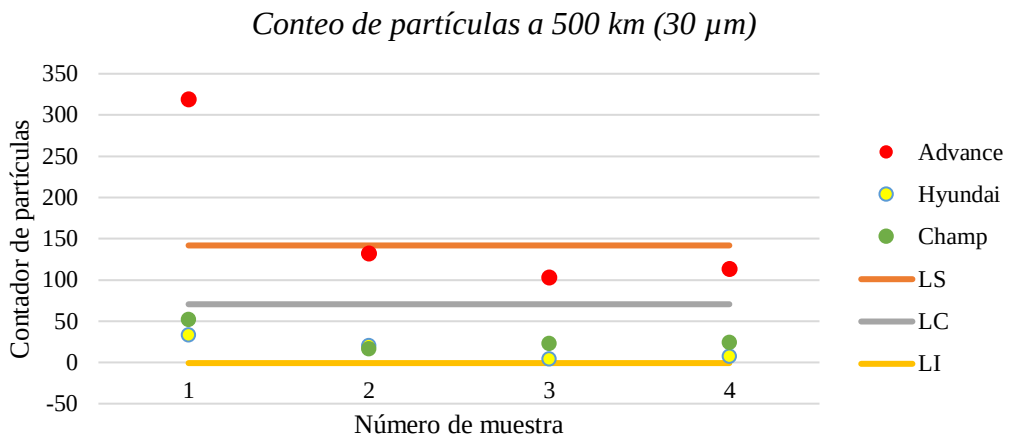

Figura 60. *Dispersión de puntos con partículas de 30 µm a los 500 km de recorrido.*

Fuente: *Autores*

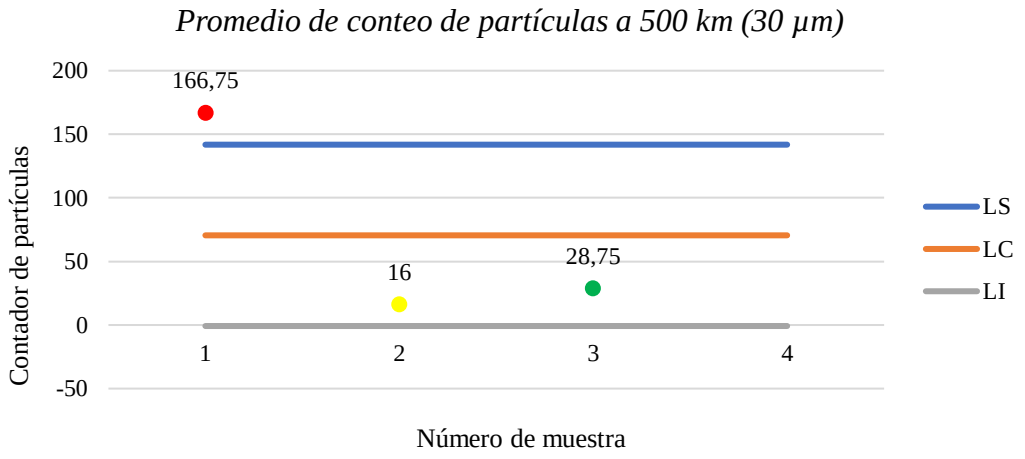

Figura 61. *Promedio de conteo de partículas a 500 km (30 µm).*

Fuente: *Autores*

Mediante observación en la figura 61, se realiza un promedio del análisis de contaminación por partículas de 30 µm, se determina que el filtro A, presenta un paso anormal de partículas, mientras que los filtros B y C se encuentran dentro del rango adecuado.

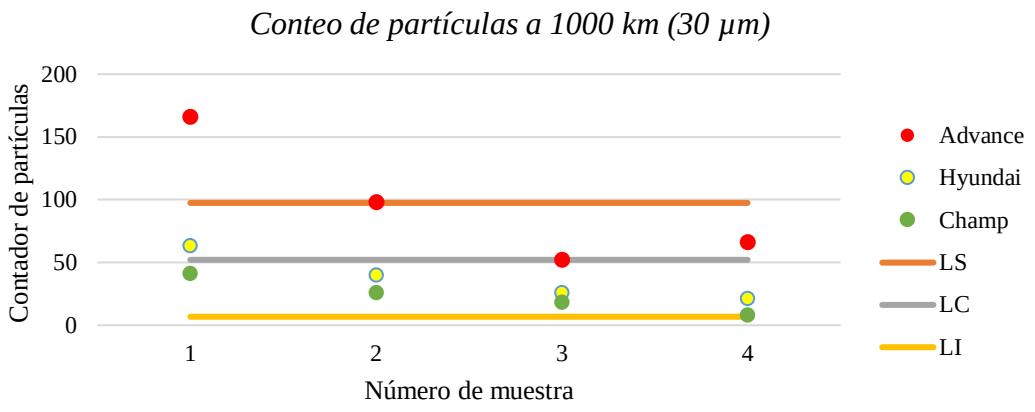

Figura 62. *Dispersión de puntos con partículas de 30 µm a los 1000 km de recorrido.*

Fuente: *Autores*

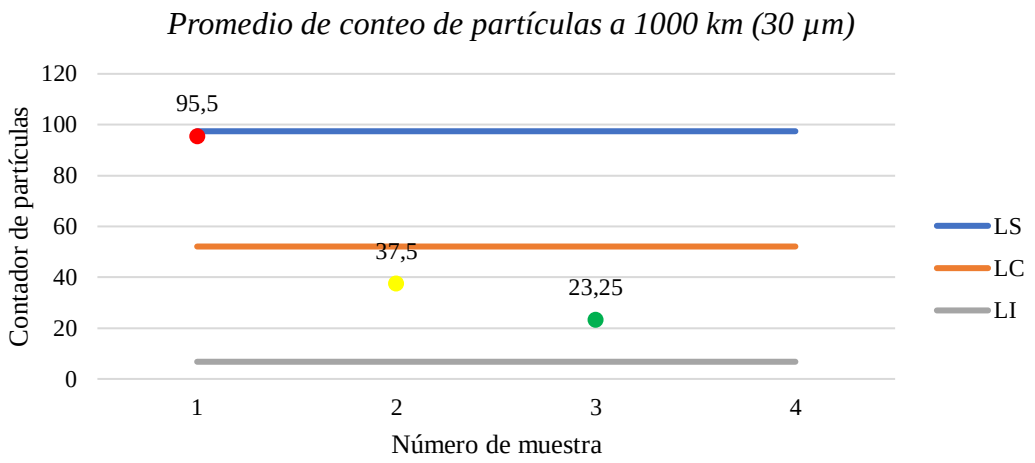

Figura 63. *Promedio de conteo de partículas a 1000 km (30 µm).*

Fuente: *Autores*

Como se aprecia en la figura 63, se realiza un promedio del análisis de contaminación por partículas de 30 µm, se determina que el filtro A, presenta un paso anormal de partículas cercano al límite superior, mientras que los filtros B y C se encuentran dentro del rango adecuado.

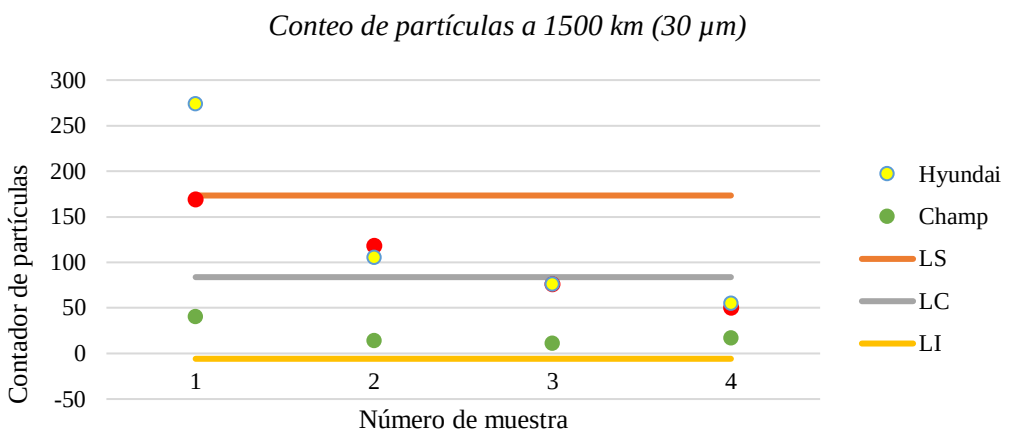

Figura 64. *Dispersión de puntos con partículas de 30 µm a los 1500 km de recorrido.*

Fuente: *Autores*

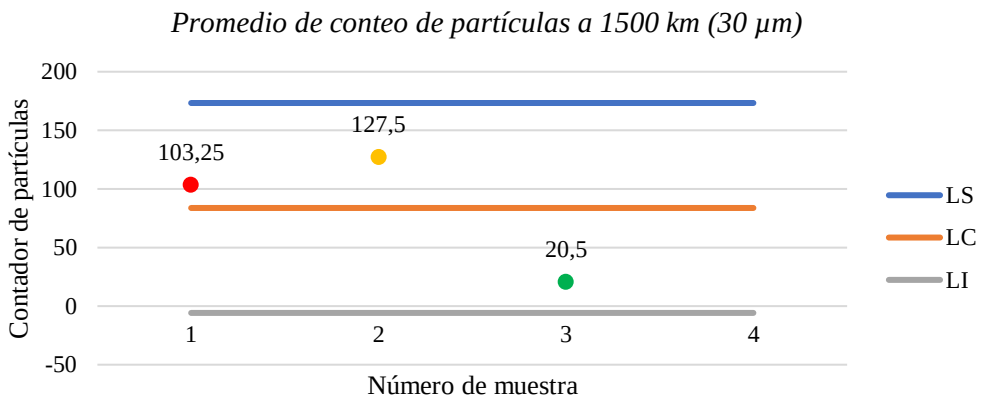

Figura 65. *Promedio de conteo de partículas a 1500 km (30 µm).*

Fuente: *Autores*

Como se detalla en la figura 65, se realiza un promedio del análisis de contaminación por partículas de 30 µm, se determina que los filtros A, B y C se encuentran dentro del rango adecuado.

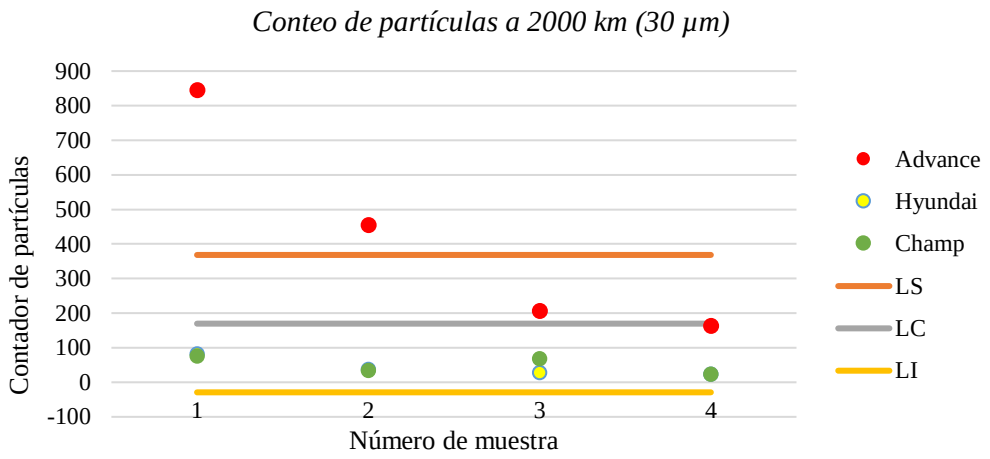

Figura 66. *Dispersión de puntos con partículas de 30 µm a los 2000 km de recorrido.*

Fuente: *Autores*

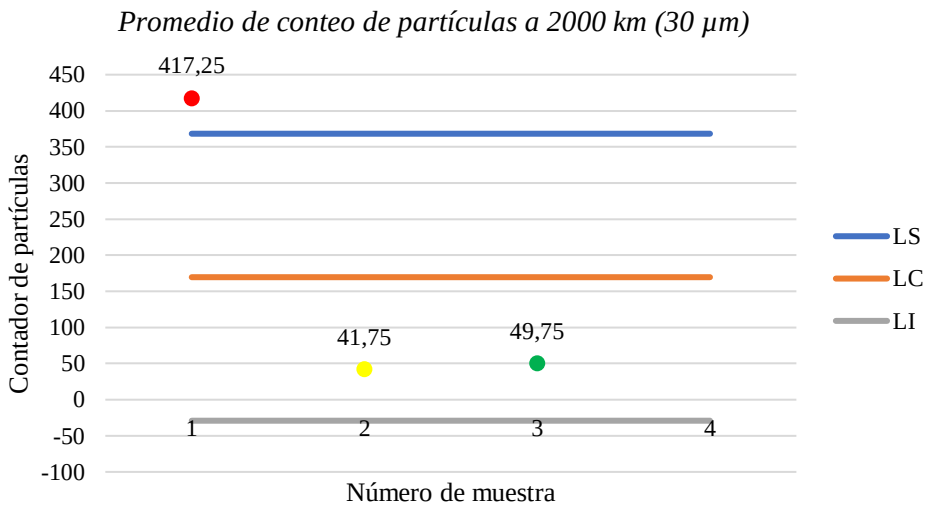

Figura 67. Promedio de conteo de partículas a 2000 km (30 µm).

Fuente: *Autores*

Como se observa en la figura 67, se realiza un promedio del análisis de contaminación por partículas de 30 µm, se determina que el filtro A, presenta un paso anormal de partículas, mientras que los filtros B y C se encuentran dentro del rango adecuado.

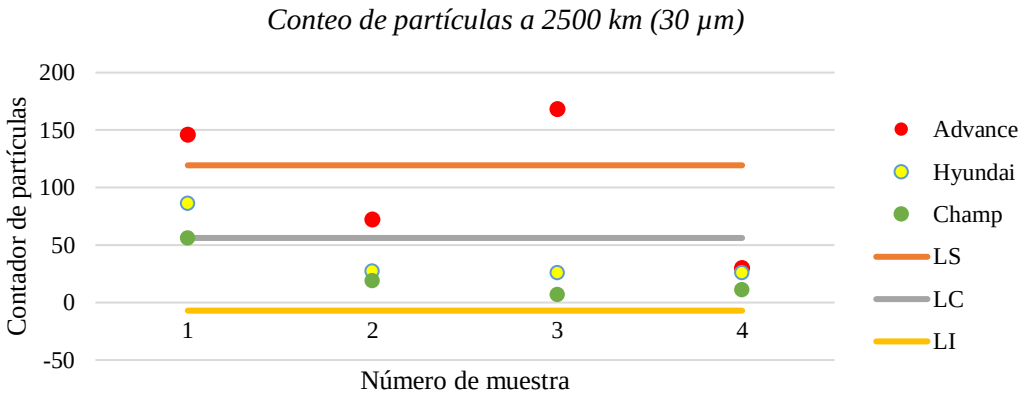

Figura 68. *Dispersión de puntos con partículas de 30 µm a los 2500 km de recorrido.*

Fuente: *Autores*

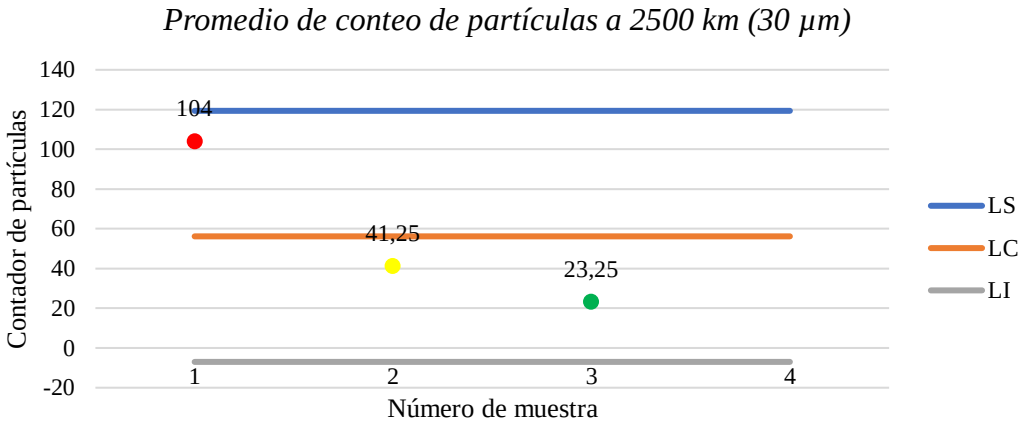

Figura 69. *Promedio de conteo de partículas a 2500 km (30 µm).*

Fuente: *Autores*

En la figura 69, se realiza un promedio del análisis de contaminación por partículas de 30 µm, se determina que el filtro A, presenta un paso anormal de partículas cercano al límite superior, mientras que los filtros B y C se encuentran dentro del rango adecuado.

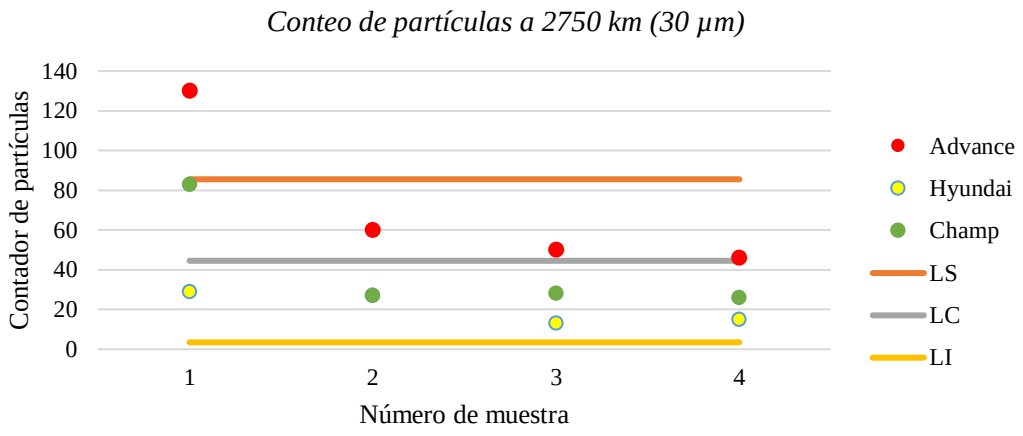

Figura 70. *Dispersión de puntos con partículas de 30 µm a los 2750 km de recorrido.*

Fuente: *Autores*

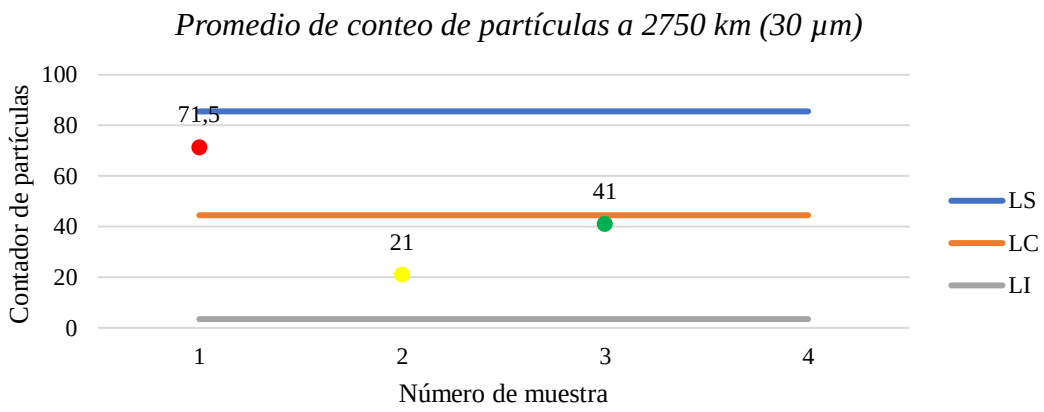

Figura 71. *Promedio de conteo de partículas a 2750 km (30 µm).*

Fuente: *Autores*

Como se aprecia en la figura 71, se realiza un promedio del análisis de contaminación por partículas de 30 µm, se determina que el filtro A, presenta un paso anormal de partículas cercano al límite superior, mientras que los filtros B y C se encuentran dentro del rango adecuado.

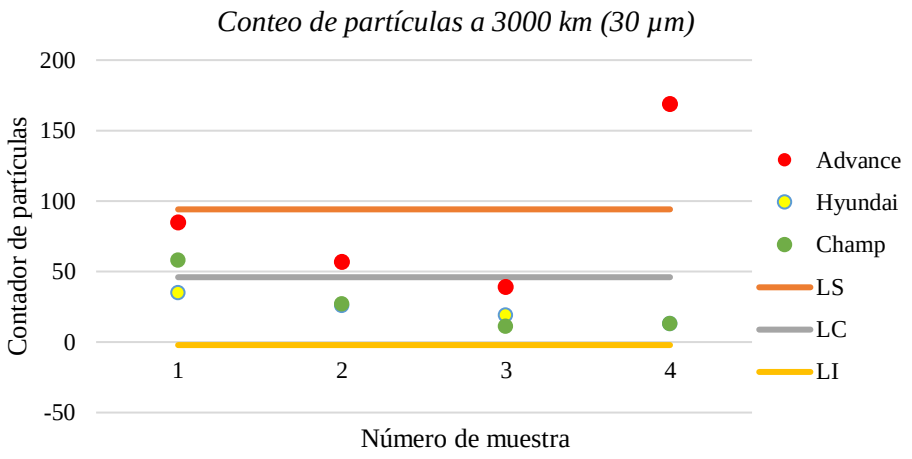

Figura 72. *Dispersión de puntos con partículas de 30 µm a los 3000 km de recorrido.*

Fuente: *Autores*

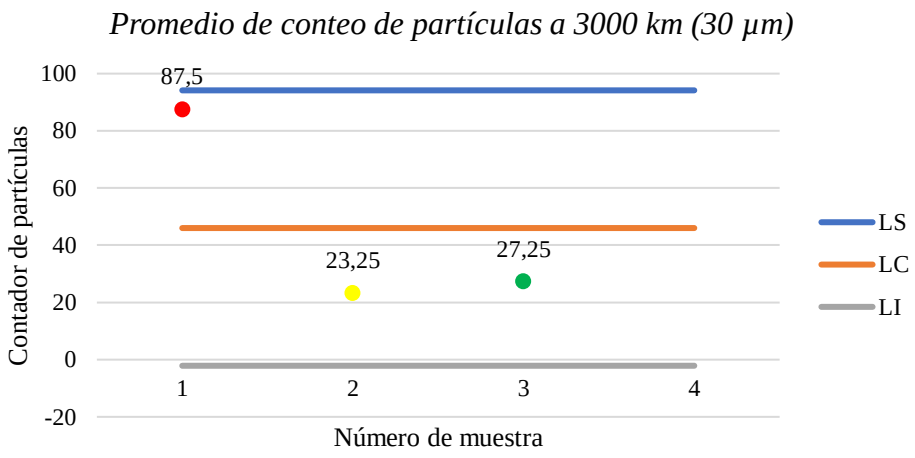

Figura 73. *Promedio de conteo de partículas a 3000 km (30 µm).*

Fuente: *Autores*

Como se muestra en la figura 73, se realiza un promedio del análisis de contaminación por partículas de 30 µm, se determina que el filtro A, presenta un paso anormal de partículas cercano al límite superior, mientras que los filtros B y C se encuentran dentro del rango adecuado.

6.1.3. Dispersión de puntos a 50 µm

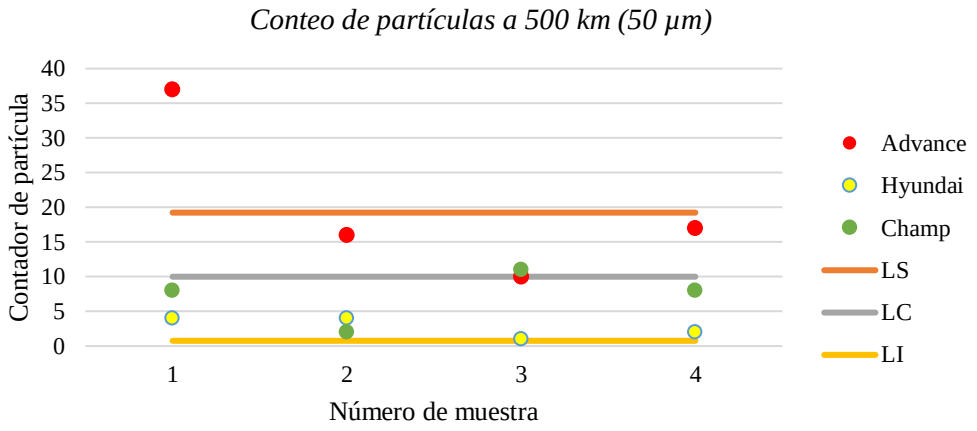

Figura 74. *Dispersión de puntos con partículas de 50 µm a los 500 km de recorrido.*

Fuente: *Autores*

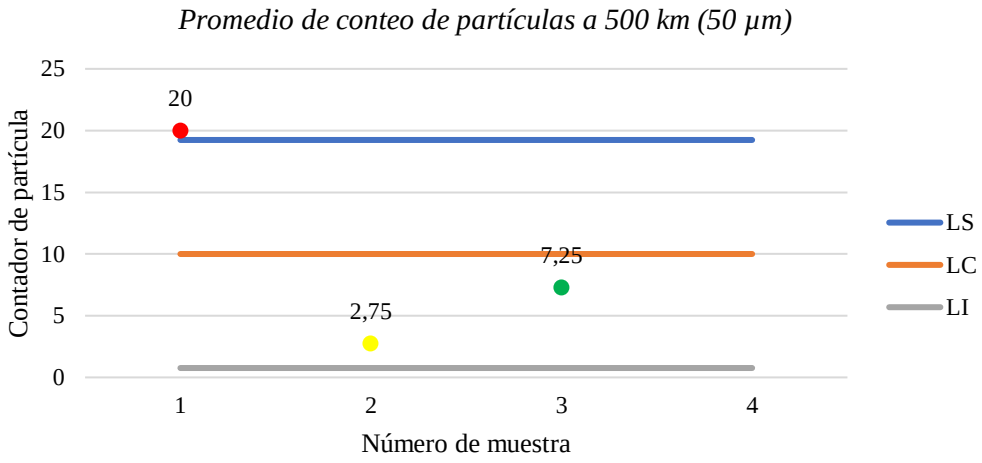

Figura 75. *Promedio de conteo de partículas a 500 km (50 µm).*

Fuente: *Autores*

Como se detalla en la figura 75, se realiza un promedio del análisis de contaminación por partículas de 50 µm, se determina que el filtro A, presenta un paso anormal de partículas, mientras que los filtros B y C se encuentran dentro del rango adecuado.

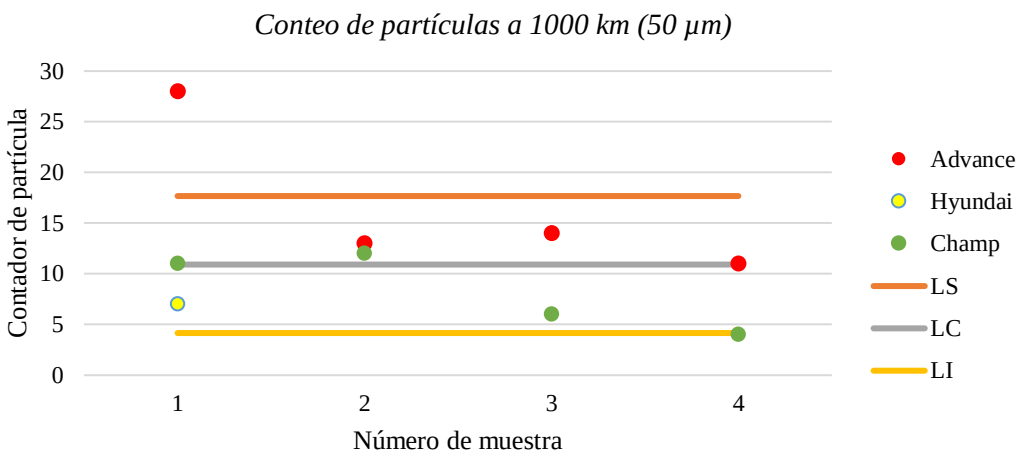

Figura 76. *Dispersión de puntos con partículas de 50 µm a los 1000 km de recorrido.*

Fuente: *Autores*

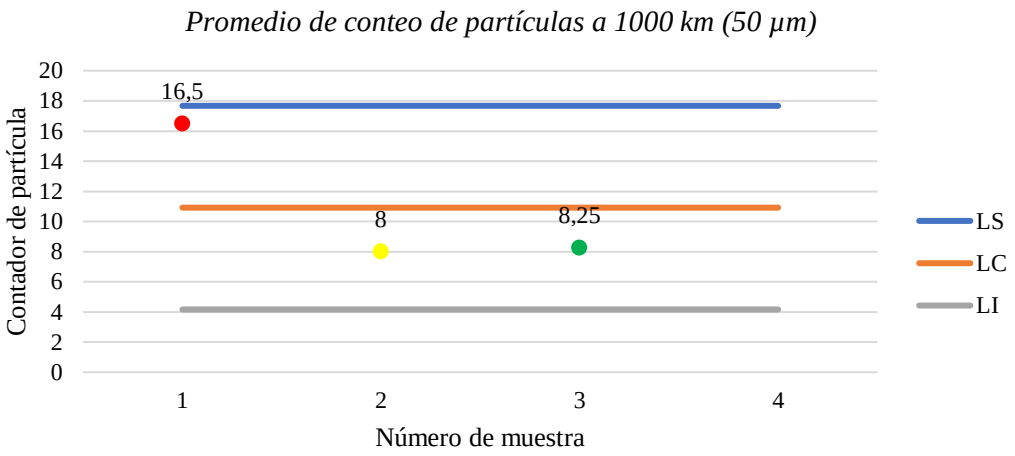

Figura 77*. Promedio de conteo de partículas a 1000 km (50 µm).*

Fuente: *Autores*

Mediante observación en la figura 77, se realiza un promedio del análisis de contaminación por partículas de 50 µm, se determina que el filtro A, presenta un paso anormal de partículas cercano al límite superior, mientras que los filtros B y C se encuentran dentro del rango adecuado.

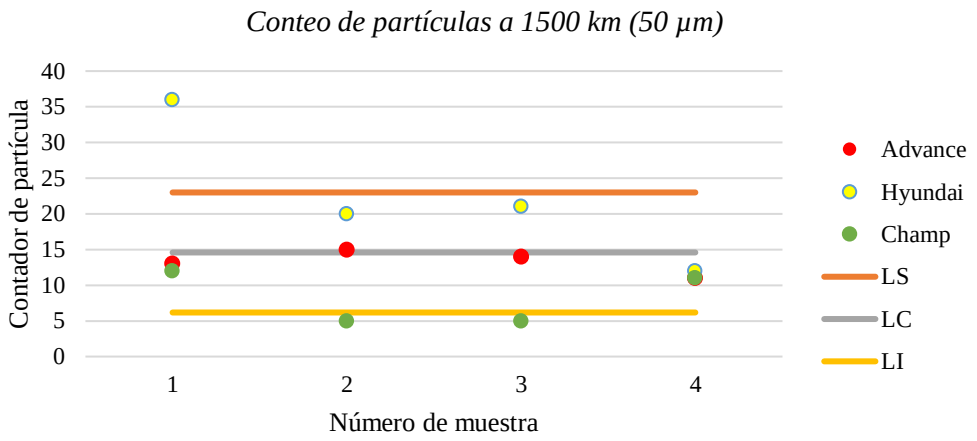

***Figura 78**. Dispersión de puntos con partículas de 50 µm a los 1500 km de recorrido.*

***Fuente:** Autores*

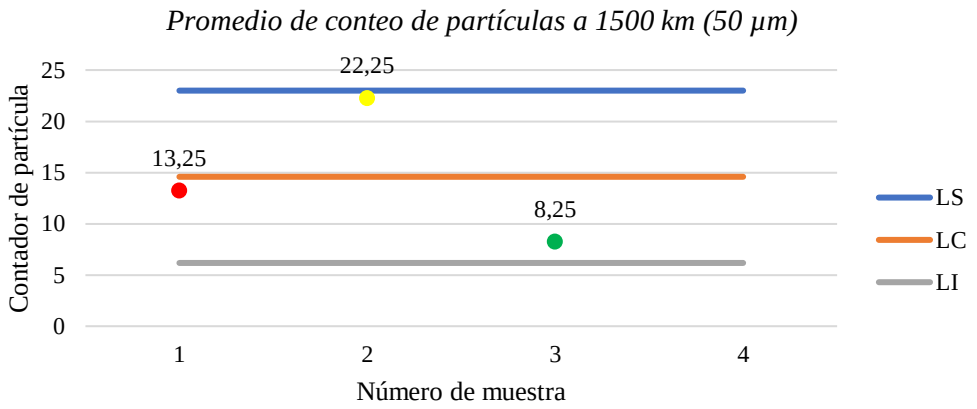

***Figura 79**. Promedio de conteo de partículas a 1500 km (50 µm).*

***Fuente:** Autores*

Como se aprecia en la figura 79 donde se realiza un promedio del análisis de contaminación por partículas de 50 µm, se determina que el filtro C, presenta un paso anormal de partículas cercano al límite superior, mientras que los filtros A y B se encuentran dentro del rango adecuado.

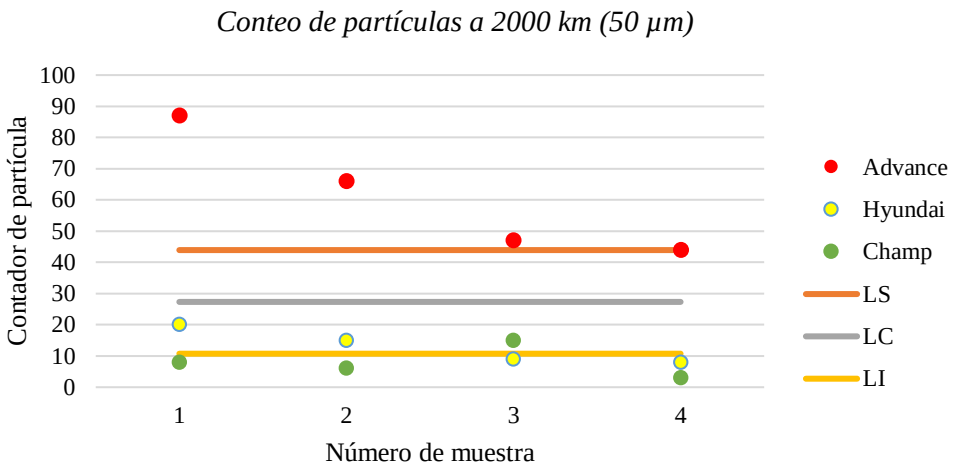

***Figura 80**. Dispersión de puntos con partículas de 50 µm a los 2000 km de recorrido.*

***Fuente:** Autores*

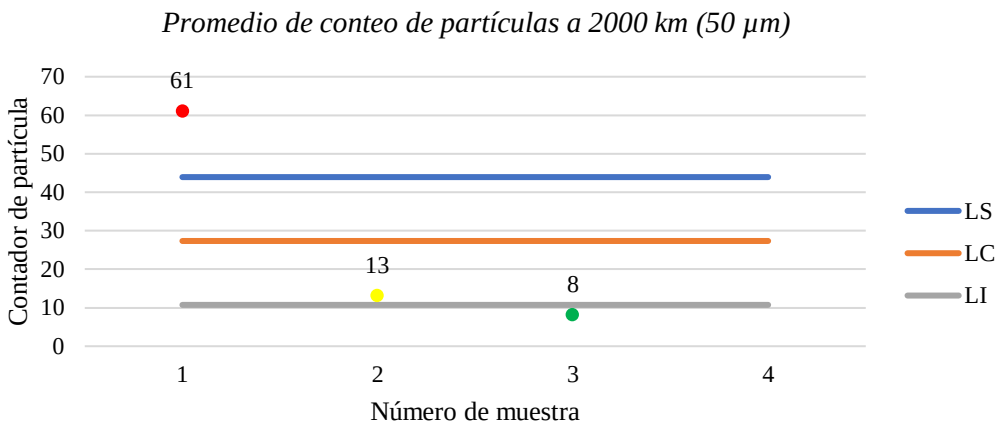

***Figura 81.** Promedio de conteo de partículas a 2000 km (50 µm).*

***Fuente:** Autores*

Como se detalla en la figura 81, se realiza un promedio del análisis de contaminación por partículas de 50 µm, se determina que el filtro A, presenta un paso anormal de partículas, mientras que los filtros B y C se encuentran dentro del rango adecuado.

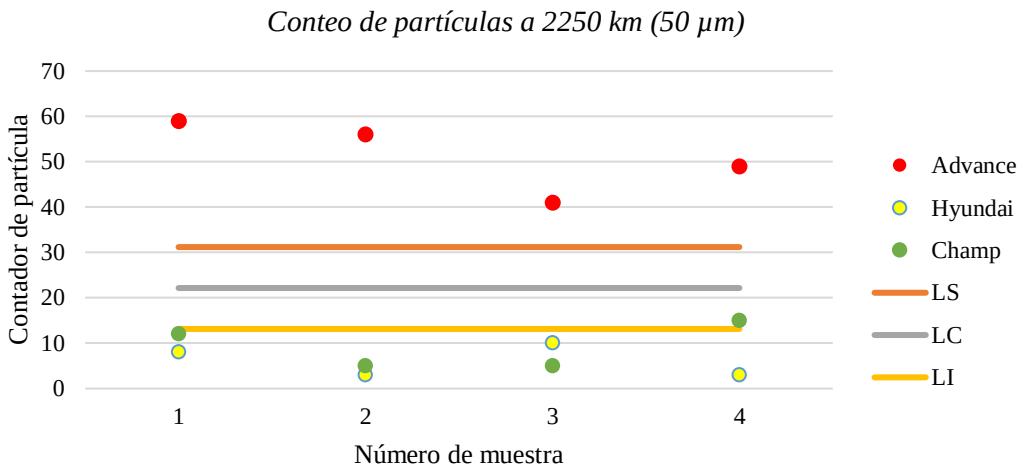

Figura 82. *Dispersión de puntos con partículas de 50 µm a los 2250 km de recorrido.*

Fuente: *Autores*

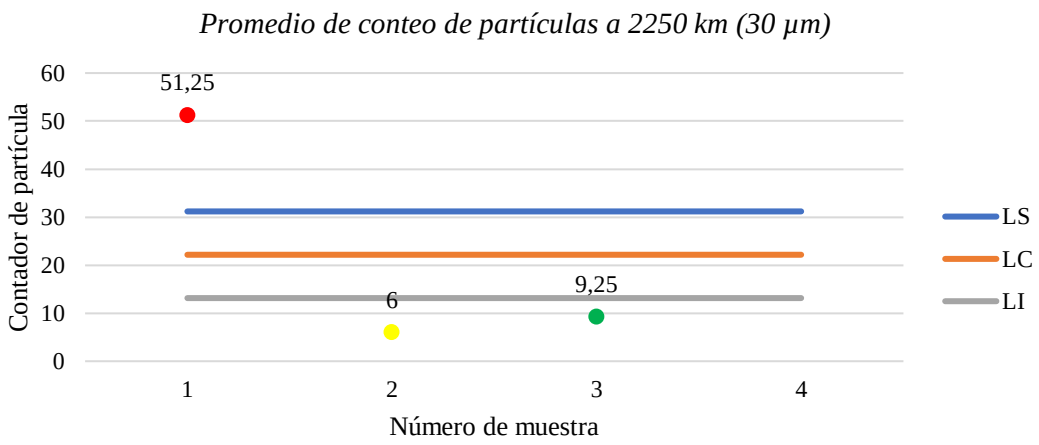

Figura 83*. Promedio de conteo de partículas a 2250 km (50 µm).*

Fuente: *Autores*

Como se observa en la figura 83, se realiza un promedio del análisis de contaminación por partículas de 50 µm, se determina que el filtro A, presenta un paso anormal de partículas, junto con los filtros B y C, los cuales son afectados debido al valor tan alto del filtro A.

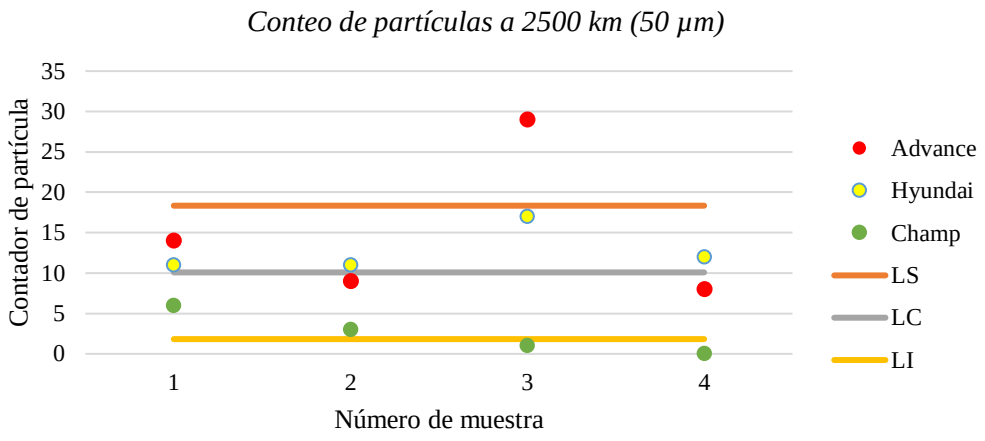

Figura 84. *Dispersión de puntos con partículas de 50 µm a los 2500 km de recorrido*

Fuente: *Autores.*

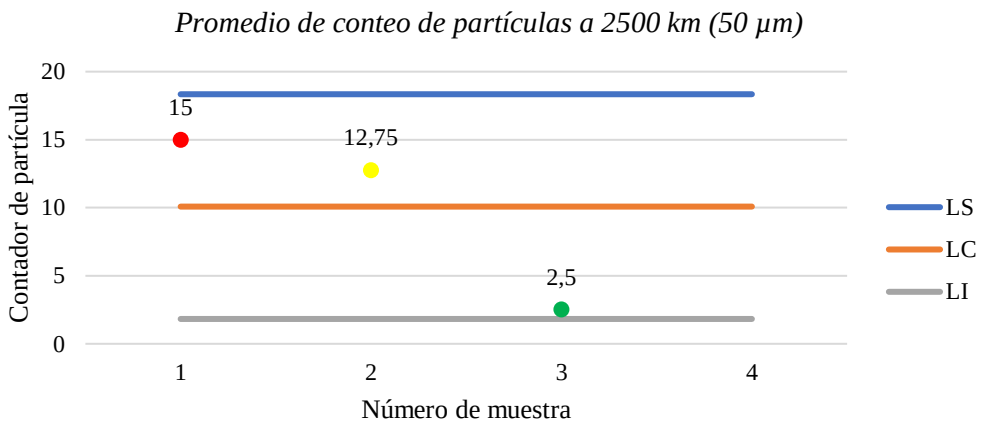

Figura 85. *Promedio de conteo de partículas a 2500 km (50 µm).*

Fuente: *Autores*

En la figura 85, se realiza un promedio del análisis de contaminación por partículas de 50 µm, se determina que el filtro B, presenta un paso anormal de partículas cercano al límite inferior, mientras que los filtros A y C se encuentran dentro del rango adecuado.

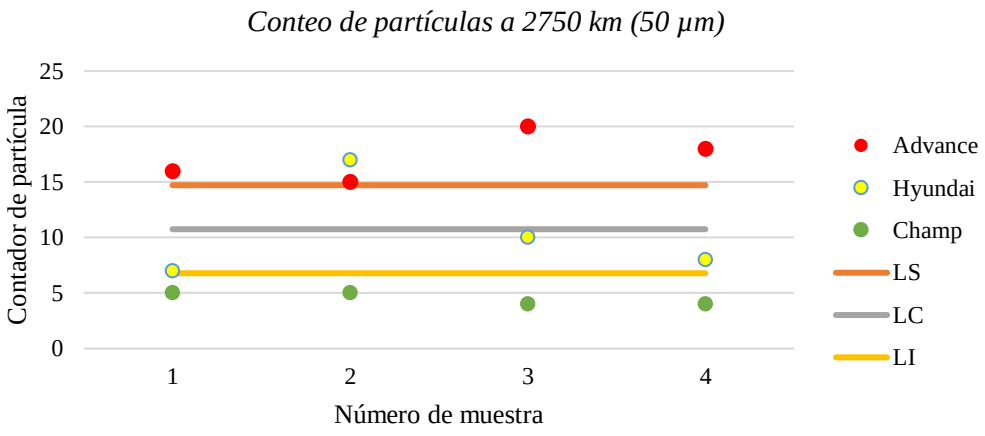

***Figura 86**. Dispersión de puntos con partículas de 50 µm a los 2750 km de recorrido.*

***Fuente:** Autores*

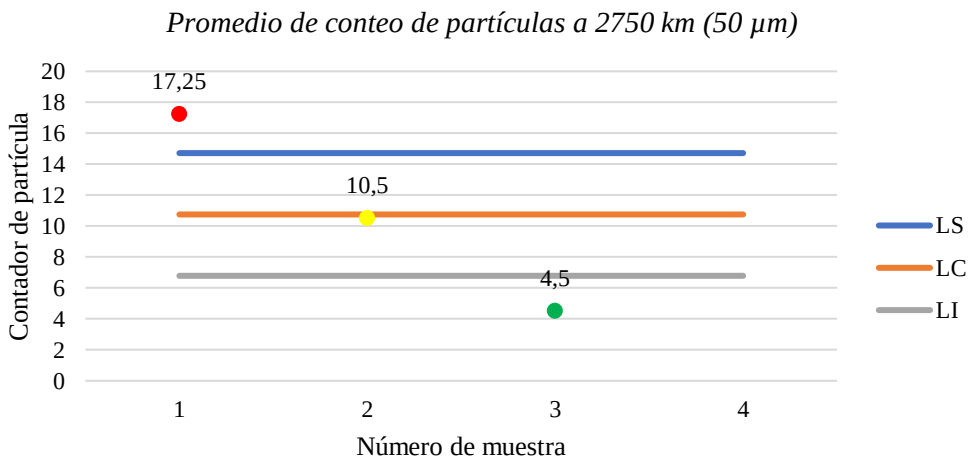

***Figura 87.** Promedio de conteo de partículas a 2750 km (50 µm).*

***Fuente:** Autores*

Como se aprecia en la figura 87, se realiza un promedio del análisis de contaminación por partículas de 50 µm, se determina que los filtros A y B presentan un paso anormal de partículas, mientras que el filtro C, se encuentra dentro del rango adecuado.

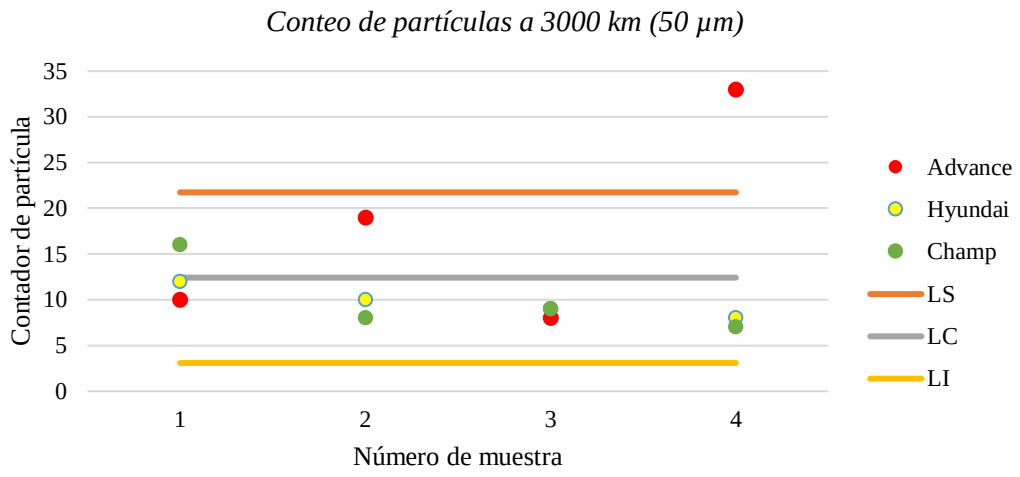

***Figura 88**. Dispersión de puntos con partículas de 50 µm a los 3000 km de recorrido.*

***Fuente:** Autores*

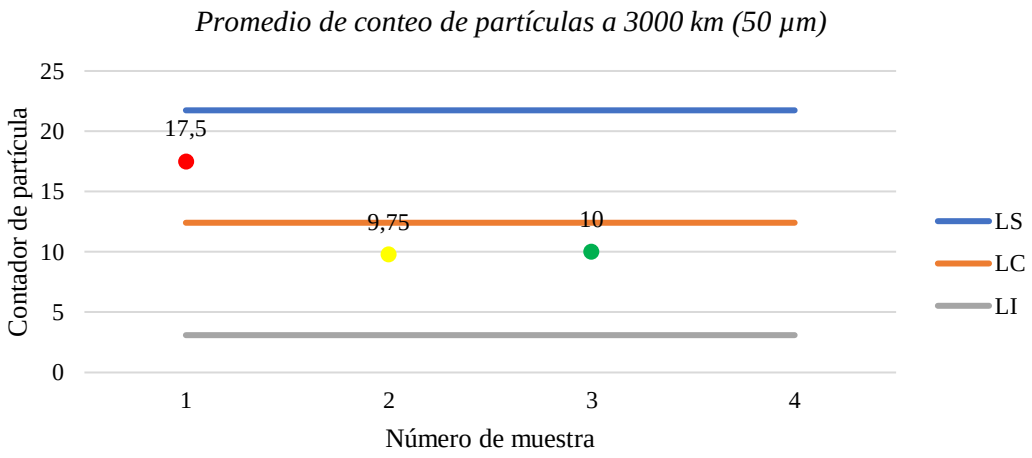

***Figura 89**. Promedio de conteo de partículas a 3000 km (50 µm).*

***Fuente:** Autores*

Como se muestra en la figura 89, se realiza un promedio del análisis de contaminación por partículas de 50 µm, se determina que los filtros A, B y C se encuentran dentro del rango adecuado.

6.2. Curvas de tendencia

Las curvas de tendencia determinan de una forma más sencilla y representativa de la contaminación con respecto al kilometraje recorrido y analizar el estado del lubricante.

6.2.1. Curva de tendencia de 20 µm

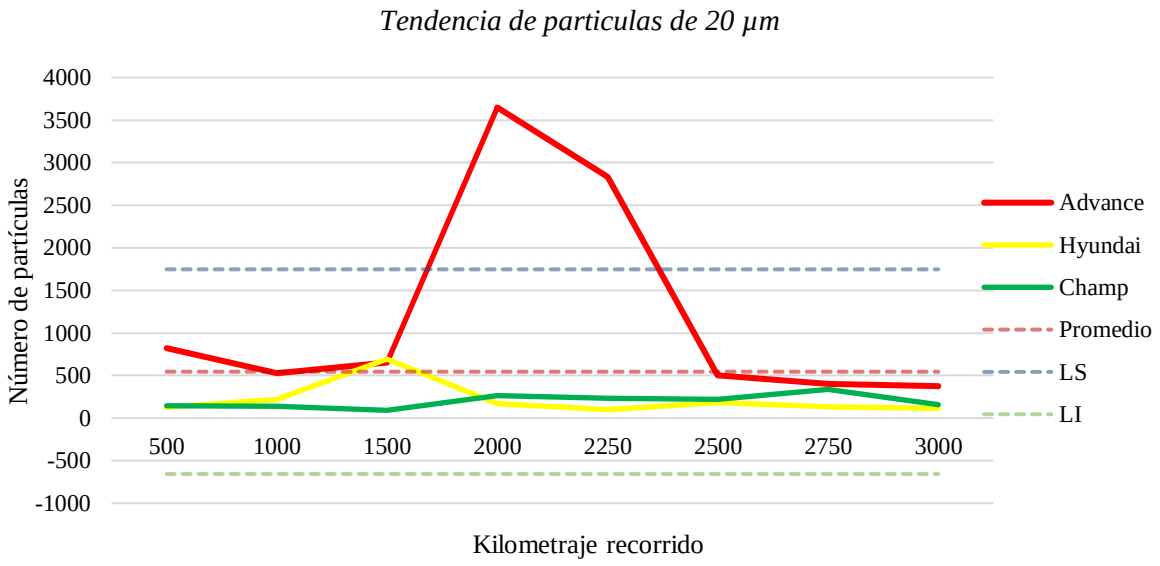

Figura 90. *Tendencia de partículas de 20 µm.*

Fuente: *Autores*

Se determina según la figura 90, que mientras los filtros C y B se mantienen en rangos de promedio saludables a través del recorrido realizado, existe un pico anormal para el filtro A (3648.25 a 2000 km), el cual presenta una contaminación mayoritaria desde los 1500 hasta los 2500 km no saludable fuera del promedio.

6.2.2. Curva de tendencia de 30 µm

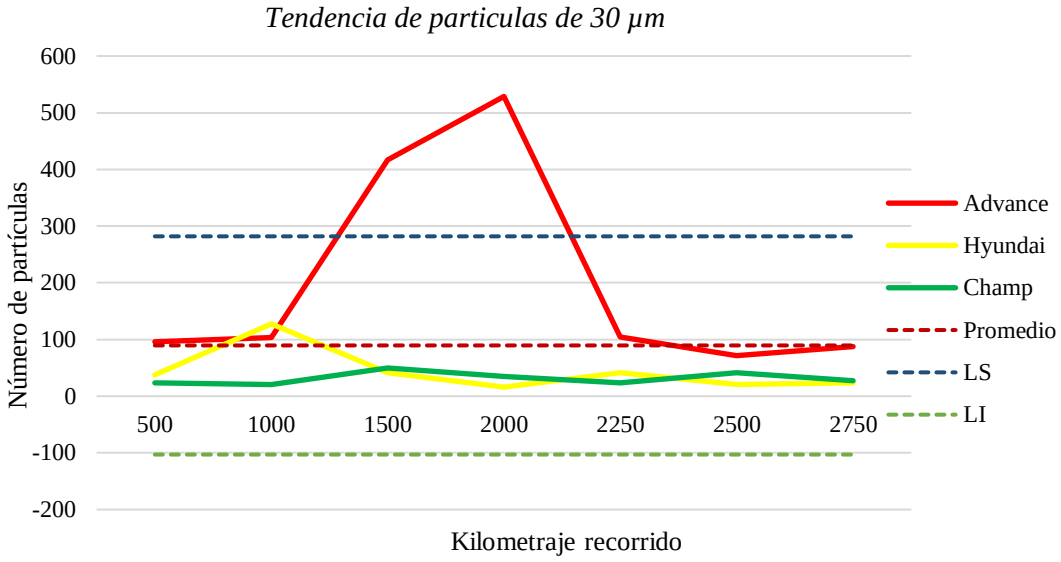

Figura 91. *Tendencia de partículas de 30 µm.*

Fuente: *Autores*

Se comprueba según la figura 91, que mientras los filtros C y B se mantienen en rangos de promedio saludables a través del recorrido realizado, existe un pico anormal para el filtro A (528.75 a 2000 km), el cual presenta una contaminación mayoritaria desde los 1000 hasta los 2250 km no saludable fuera del promedio.

6.2.3. Curva de tendencia de 50 µm

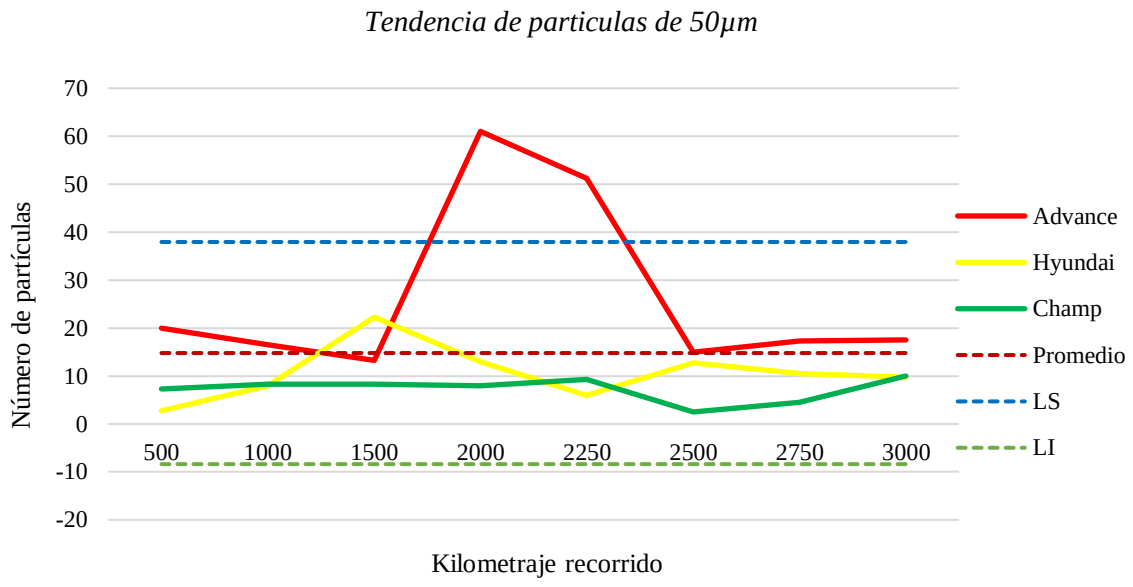

Figura 92. *Tendencia de partículas a 50 µm.*

Fuente: *Autores*

Se establece según la figura 92, que mientras los filtros C y B se mantienen en rangos de promedio saludables a través del recorrido realizado, existe un pico anormal para el filtro A el cual presenta una contaminación mayoritaria desde los 1500 hasta los 2500 km no saludable fuera del promedio.

6.3. Curvas de tendencia de viscosidad

Se requiere determinar la degradación del lubricante conforme el recorrido realizado para delimitar la relación de la calidad de los filtros con los valores de viscosidad.

Serán representados con el siguiente código de colores según la gama que tienen cada filtro:

A	Baja
B	Media
C	Alta

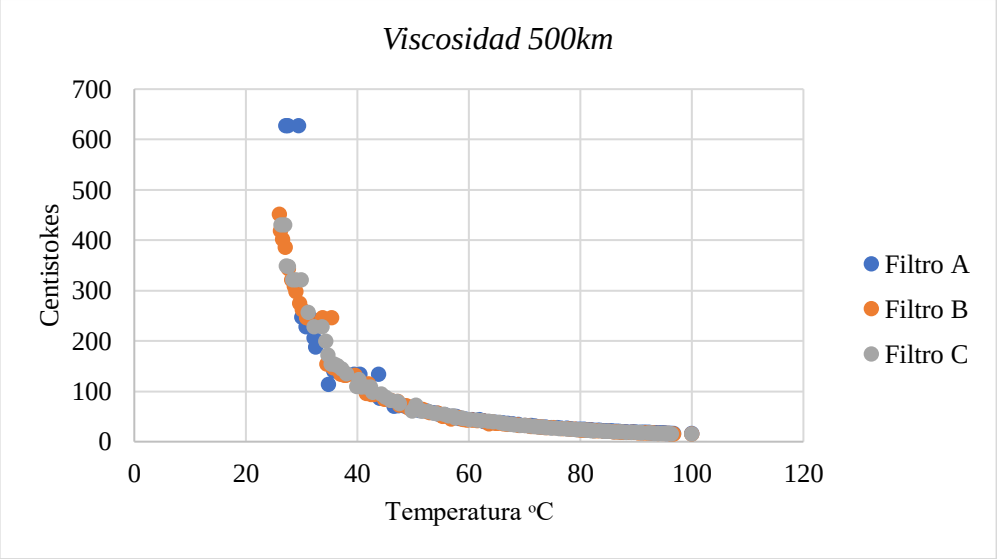

Figura 93. *Viscosidad a 500 Km.*

Fuente: *Autores*

En la figura 93, se determina que los tres filtros A, B y C tienen un valor promedio de 15.2 centistokes que se encuentran dentro de los valores recomendados de viscosidad a 100 °C (máx. 18.1 centistokes) y no se ha producido una degradación acelerada del lubricante.

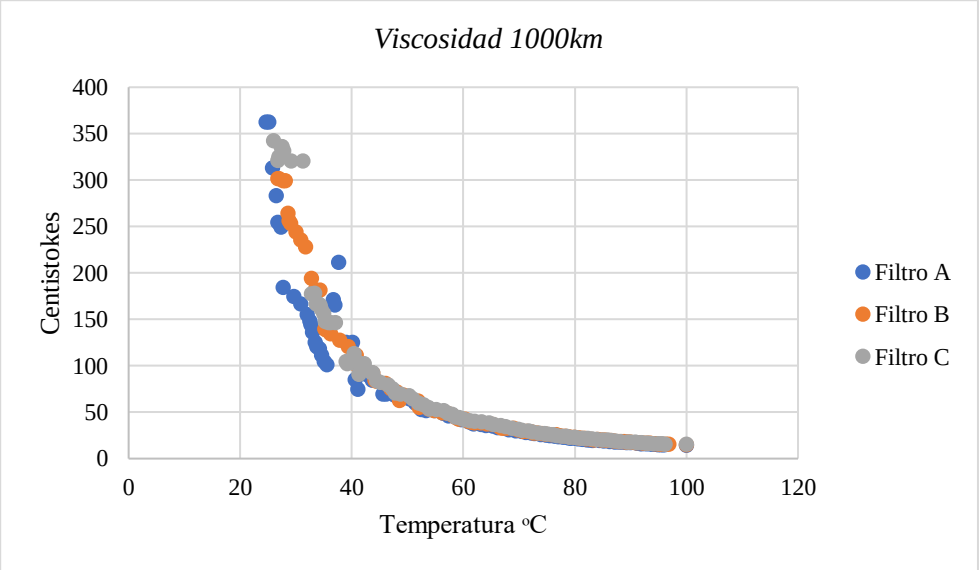

Figura 94. *Viscosidad a 1000 Km.*

Fuente: *Autores*

Como se puede apreciar en la figura 94, se denota que los tres filtros A, B y C tienen un valor promedio de 15 centistokes que se encuentran dentro de los valores

recomendados de viscosidad a 100 °C (máx. 18.1 centistokes) y no se ha producido una degradación acelerada del lubricante.

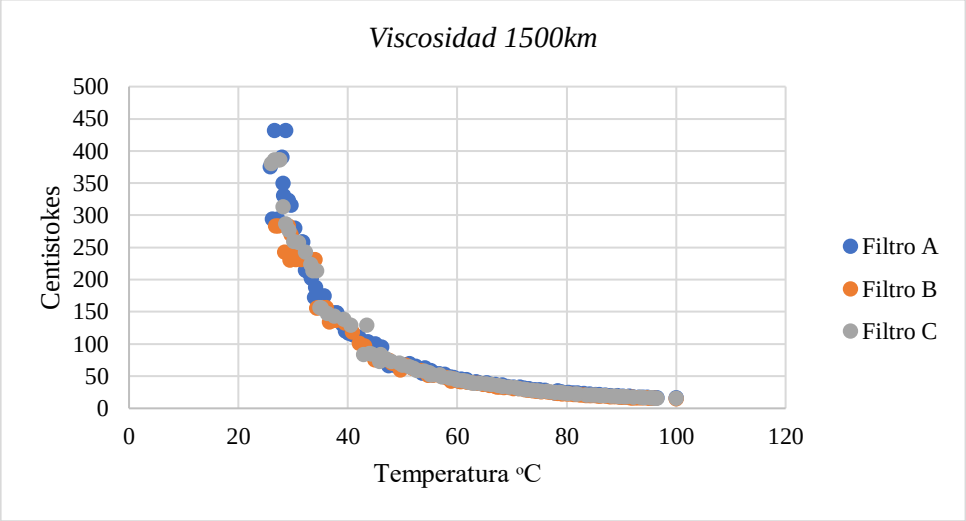

Figura 95. *Viscosidad a 1500 Km.*

Fuente: *Autores*

Se determina en la figura 95 que los tres filtros A, B y C tienen un valor promedio de 15.3 centistokes, se encuentran dentro de los valores recomendados de viscosidad a 100 °C (máx. 18.1 centistokes) y no se ha producido degradación acelerada del lubricante.

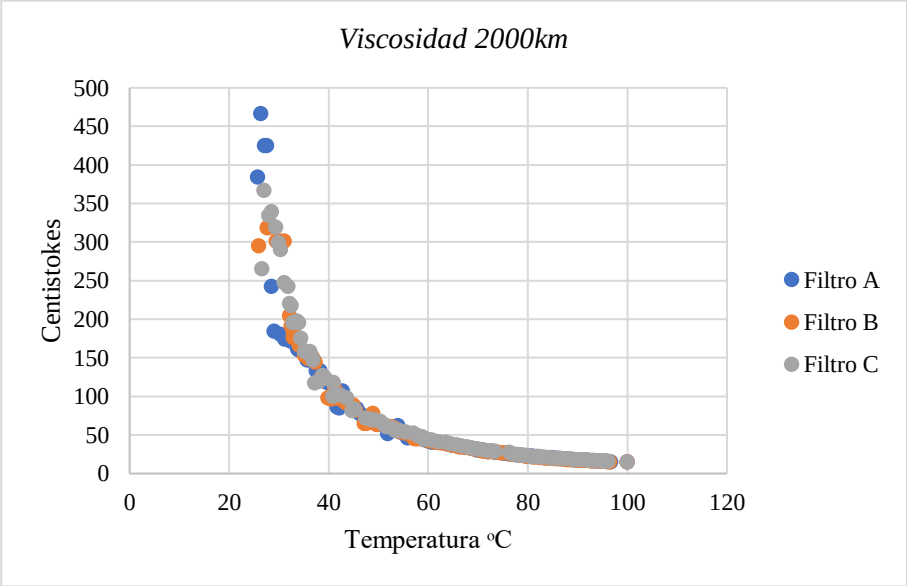

Figura 96. *Viscosidad a 2000 Km.*

Fuente: *Autores*

Se demuestra en la figura 96 que los tres filtros A, B y C tienen un valor promedio de 15 centistokes, se encuentran dentro de los valores recomendados de viscosidad a 100 °C (máx. 18.1 centistokes) y no se ha producido degradación acelerada del lubricante.

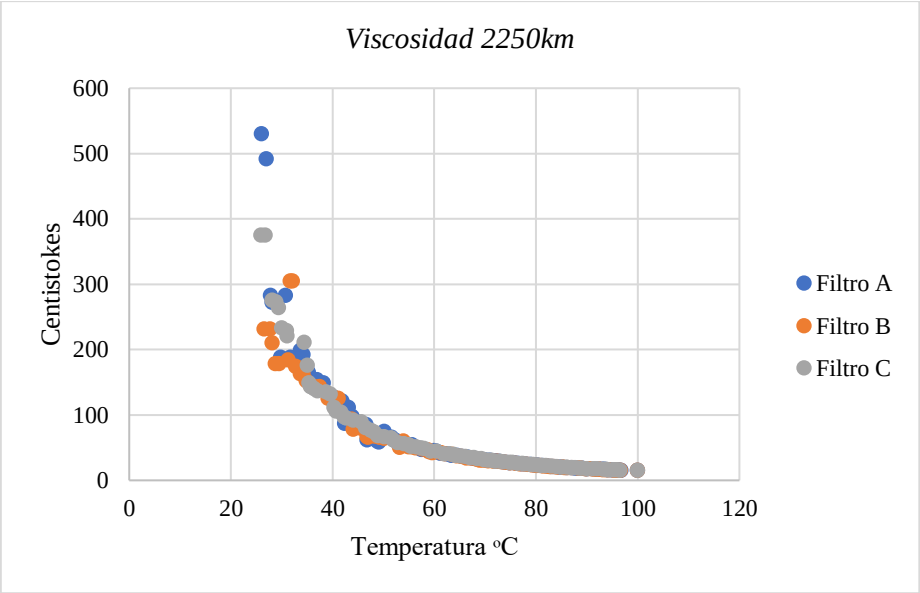

Figura 97. *Viscosidad a 2250 Km.*

Fuente: *Autores*

En la figura 97, se determina que los tres filtros A, B y C tienen un valor promedio de 15.1 centistokes, se encuentran dentro de los valores recomendados de viscosidad a 100 °C (máx. 18.1 centistokes) y no se ha producido degradación acelerada del lubricante.

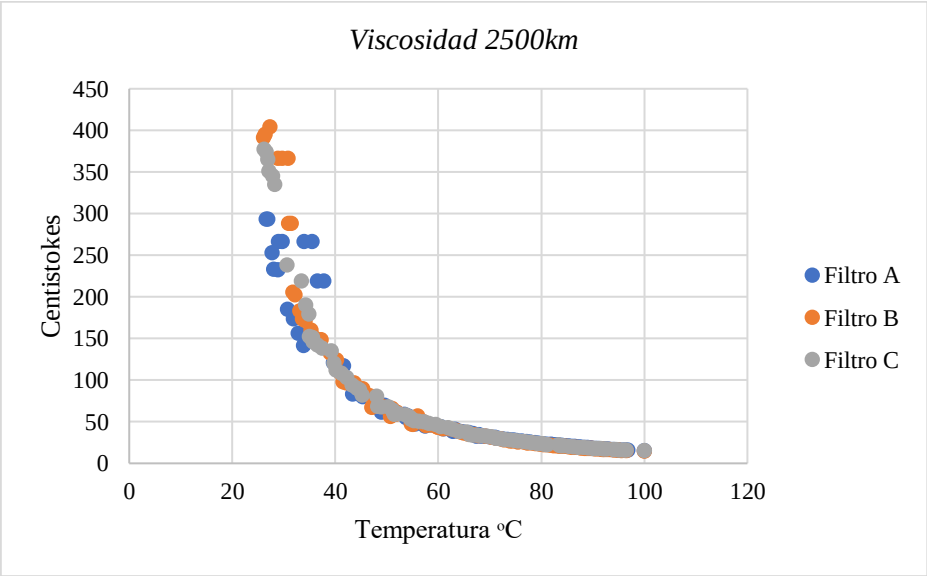

Figura 98. *Viscosidad a 2500 Km.*

Fuente: *Autores*

Se concluye en la figura 98 que los tres filtros A, B y C tienen un valor promedio de 15.2 centistokes, se encuentran dentro de los valores recomendados de viscosidad a 100 °C (máx. 18.1 centistokes) y no se ha producido degradación acelerada del lubricante.

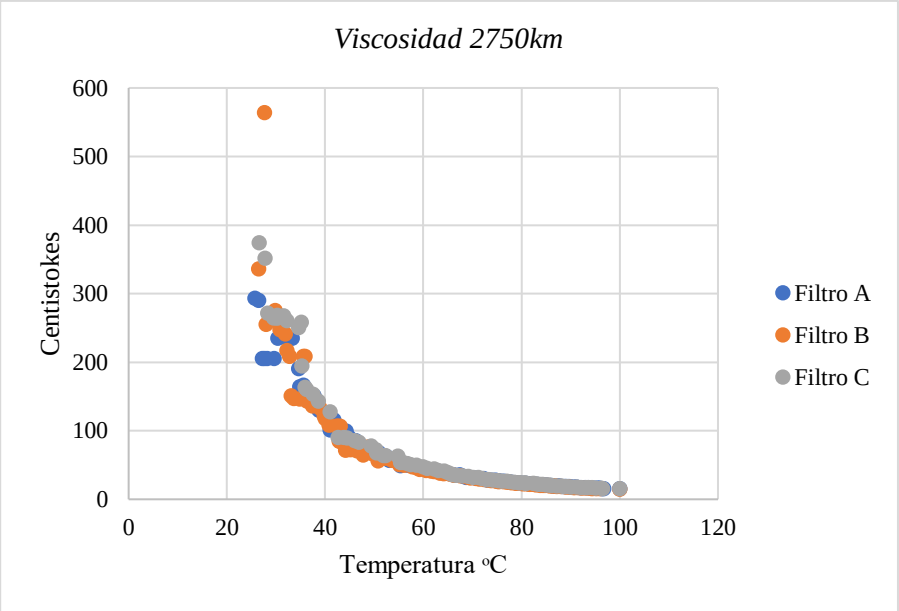

Figura 99. *Viscosidad a 2750 Km.*

Fuente: *Autores*

En la figura 99 se aprecia que los tres filtros A, B y C tienen un valor promedio de 15.4 centistokes, se encuentran dentro de los valores recomendados de viscosidad a 100 °C (máx. 18.1 centistokes) y no se ha producido degradación acelerada del lubricante.

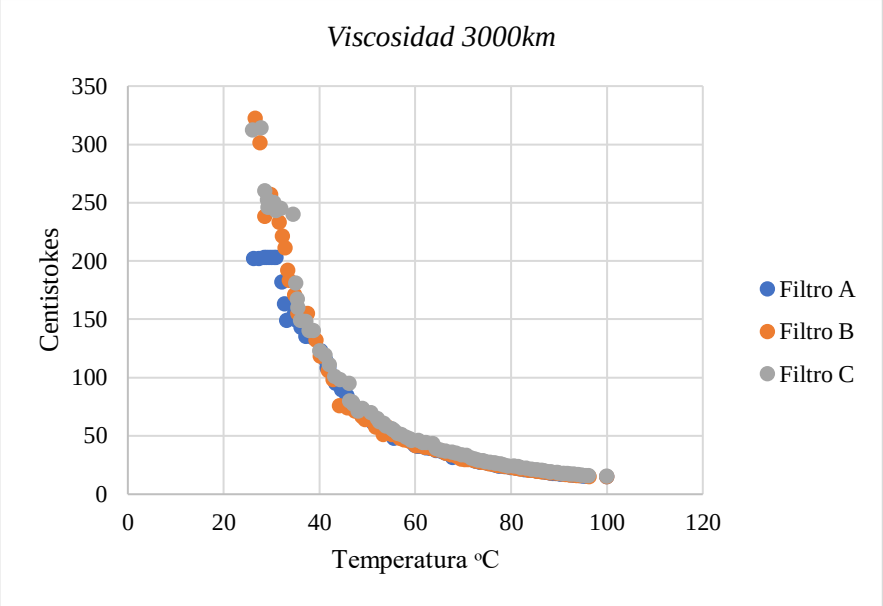

Figura 100. *Viscosidad a 3000 Km.*

Fuente: *Autores*

En la figura 100 se demuestra que los tres filtros A, B y C tienen un valor promedio de 15.5 centistokes, se encuentran dentro de los valores recomendados de viscosidad a 100 °C (máx. 18.1 centistokes) y no se ha producido degradación acelerada del lubricante.

6.4 Análisis Final

Después de la recolección de datos del conteo de partículas y análisis mediante el método de dispersión de puntos y curvas de tendencia, se concluye que el filtro A es el elemento que permite el paso a la mayor cantidad de partículas contaminantes, mientras que los filtros B y C se mantienen dentro de un rango de promedio saludable. Además, el análisis de viscosidad denota que a pesar del mayor flujo de partículas en el filtro A, no genera una degradación acelerada del lubricante hasta los 3000 km de recorrido y mantiene una viscosidad favorable junto con los filtros B y C.

7. Conclusiones y Recomendaciones

7.1. Conclusiones

- Se determina mediante varios procesos analíticos como los estructurales, económicos y de disponibilidad, que el filtro A es de gama baja, el filtro C es de gama media y el filtro B es de gama alta respectivamente.
- Tras el análisis realizado por el método de conteo de partículas, se define que el filtro B tiene la mejor calidad en su papel filtrante de celulosa y estructura de construcción general, ya que por medio de este filtro pasaron en promedio la menor cantidad de partículas dentro de la zona saludable. Esto se relaciona directamente con una mayor longevidad y salud del aceite lubricante.
- Las curvas tendencia de contaminación demuestran que, a través del recorrido de 3000 km por cada filtro, ni el filtro B ni C presentan anormalidades en cuanto a su flujo de paso de partículas. Dado el caso, se determina que la mejor opción refiere al filtro B gracias a su bajo costo y alto desempeño de filtrado. Además, el filtro A presenta valores de contaminación críticos sobrepasando los límites establecidos por grandes márgenes, cuestión que afecta al rendimiento y vida útil del lubricante, teniendo que realizar un cambio de aceite antes de lo recomendado por el fabricante, lo cual afectaría los costos de mantenimiento del vehículo.

- Las curvas de tendencia de viscosidad demuestran que no existe una sólida relación entre la calidad del filtro y la degradación del lubricante. Se puede denotar que a pesar de la diferenciable calidad entre los filtros A, B y C, no existe una mayor diferencia en cuanto a la degradación de la viscosidad del aceite, promedios los cuales se encuentran en valores saludables en todas las muestras obtenidas.
- Basándose en conclusiones anteriores, se detalla que para el vehículo Hyundai Accent 1.6 año 2012, de la cooperativa "HUANCAVILCA" de la ciudad de Cuenca, provincia del Azuay, lo recomendable para una relación de ahorro-calidad es utilizar el filtro B con un precio de $3.75 ya que realizando un cambio de aceite cada dos semanas (3000 Km de recorrido) con el filtro A ($3.03) existe ahorro, pero generando una mayor contaminación en el lubricante con una inversión anual de $78.78. El filtro C con un costo de $14.00 genera confianza al tener niveles normales de contaminación, pero su precio sería muy elevado con una inversión anual de $364.00. Finalmente, la relación costo-calidad se ve mejor representada por el filtro B mencionado anteriormente, con una inversión anual de $97.50 con el menor nivel de contaminación de partículas.

7.2. Recomendaciones

- Se recomienda para una mayor veracidad de la muestra, el cuidadoso manejo de esta para evitar la contaminación y ser almacenadas en un ambiente fresco y seco, de lo contrario los resultados podrían ser erróneos debido a la incorrecta manipulación de las muestras.
- Al realizar el análisis en el laboratorio, utilizar todos los equipos e insumos de manera cuidadosa e insertando cada una de las muestras con los valores de medición recomendados (correcta mezcla aceite-solvente), de lo contrario la variación de los resultados afectarán al posterior análisis.

8. Bibliografía

Amalie. (2021). Amalie. Obtenido de https://amaliepetroquimica.com/wp-content/uploads/2020/07/TDS-IMPERIAL-20W50-109700-11.05.20.pdf

Antonio, D., & Domínguez, M. (2016). Motores de combustión interna. Universidad Nacional de Educación a Distancia (UNED).

Arévalo, D. (2015). Propuesta De Mejora Para El Mantenimiento Del Equipo Pesado De La Constructora Coandes S.A. Basado En Un Análisis Del Aceite Usado En Los Motores De Combustión Interna Diésel. Cuenca: Universidad Politécnica Salesiana.

Aselube. (2013). Glosario de Términos y Siglas de Lubricantes y Grasas.

Autodoc. (2021). Autodoc. Obtenido de https://www.autodoc.es/repuestos/oem/1885810090

Azuero, Á. (2018). Significatividad del marco metodológico en el desarrollo de proyectos de investigación. Universidad Católica de Cuenca.

Baldwin. (2021). Understanding Microns. Tech Tips.

Barrera, V. (2015). Diagnóstico De La Contaminación Ambiental Causada Por Aceites Usados Provenientes Del Sector Automotor Y Planteamiento De Soluciones Viables Para El Gobierno Autónomo Descentralizado Del Cantón Azogues. Cuenca, Ecuador: Universidad Politécnica Salesiana.

Barum. (2021). Llantas 247. Obtenido de https://llantas247.com/auto-radial/5172-llanta_barum_bravuris5_185_70r14.html.

Bavaresco, G. (2021). Filtración. Excel-Filter C.A.

Bosch. (Diciembre de 2011). Bosch. Obtenido de http://www.boschautopartes.com/media/la/aa_sites_la/products_and_services/automotive_parts/filters_3/download_3/HIRES_PDF_59959.pdf

Builes, S. (2007). Biodegradación de aceites usados. El Cid Editor.

Caldwell, K. (2014). Contador de Partículas para Análisis de Aceite: Diseño y especificaciones. Spectro Scientific, 4.

Cartés. (29 de Septiembre de 2015). Obtenido de https://www.filtroscartes.es/blog-entrada/7f3ef14f-63b3-4d64-b73a-7da0c0f47a25

Castillo, F. (2007). Tribología: Fricción, Desgaste y Lubricación. Cautitlán: UNAM.

Cedillo, Á., & Jaramillo, D. (2014). Estudio De La Incidencia Del Uso De Filtros De Aceites Alternos En El Envejecimiento Prematuro Del Aciete Del Motor De Combustión Interna. Universidad Politécnica Salesiana.

da Ponte, A. (2021). Sistemas de Lubricación y Refrigeración en motores de combustión interna. La Plata: Universidad Nacional de La Plata.

Desantes, F. P. (2011). Motores de combustión interna alternativos. Editorial Reverté.

Donaldson. (2021). Donaldson. Obtenido de https://www.donaldson.com/es-mx/engine/filters/technical-articles/understanding-iso-cleanliness-codes/

Echeverría, E. (2011). Oxidación del lubricante y química del antioxidante. Exxon Mobil.

Ford, H. (2017). Henry Ford: El automóvil al alcance de todos. Lemaitre Publishing.

Gaybor, L. (2009). ¿Qué es viscosidad? El Cid Editor.

Hyundai. (2012). Manual de usuario Hyundai Accent 2012.

ISO4406. (2017). Norma ISO 4406:2017.

J. Delgado, F. S. (2014). Sistema para la determinación del lubricante basado en el tratamiento digital de manchas de aceite en motores diesel. Tus Ingenierías.

Labsom. (2021). LABSOM. Obtenido de https://labsom.es/blog/usos-y-propiedades-de-la-resina-fenolica/

Lloret, J. S. (2012). Implementación De Un Laboratorio Portátil De Lubricantes. Quito: Universidad Internacional del Ecuador.

López, D. (2021). Actualidad Motor. Obtenido de https://www.actualidadmotor.com/tipos-de-filtros-de-aceite/#Blindados_o_monoblock

Losada, C. (2006). Tribología y lubricación en ensayo de banco. Red Ciencia Ergo Sum.

Lufilsur. (2021). Lufilsur. Obtenido de https://www.lufilsur.es/factores-degradacion-lubricantes-industriales/

Maldonado. (2010). Diseño De Un Plan De Mantenimiento Preventivo De Motores Diesel Basado En Analisis De Aceite. Quito: Escuela Politécnica Nacional.

Martín, J. (2015). Diagnóstico de la combustión en motores diesel de inyección directa. Reverté.

MicroscopioÓptico.org. (2021). Obtenido de https://microscopiooptico.org/partes-del-microscopio/

Mingo, Á. B. (2016). Análisis de la lubricación termo-elastohidrodinámica y mixta mediante la aplicación de modelos numéricos. Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales.

Montalvo, C. (2010). Microscopía.

Moreno, L. M. (2005). Contribución al desarrollo y mejora de técnicas para la detección y análisis de partículas metálicas y contaminantes en aceites lubricantes usados. Obtenido de Universidad Politécnica de Valencia: https://riunet.upv.es/

MTB. (2021). MTB España. Obtenido de https://www.mtb.es/editorial/articulos/contador-de-particulas-para-analisis-de-aceite-diseno-y-especificaciones/

Muñoz, A. R. (2016). Motores de Combustión Interna. Madrid: UNED - Universidad Nacional de Eduación a Distancia.

Noria. (2014). Noria. Obtenido de https://noria.mx/lublearn/determinando-la-causa-de-la-degradacion-del-lubricante/

Ordóñez, K., & Salamea, H. (2020). Análisis De La Influencia Que Tiene La Calidad Del Filtro De Aire En La Contaminación Del Aceite De Un Motor A Diésel Por Material Particulado. Cuenca: Universidad Politécnica Salesiana.

Ordóñez, M. (2012). Mantenimiento de sistemas de refrigeración y lubricación de los motores térmicos. IC Editorial.

Payri, D. (2011). Motores de combustión interna alternativos. Universidad Politécnica de Valencia.

PFP. (2018). Norma ISO 4406. Obtenido de www.filtrofluido.com: https://www.filtrofluido.com/recursos/tabla-limpieza-norma-iso-4406-con-explicaciones/

Planells, C., Flores, Á., & Agramunt, C. (2015). Motores alternativos de combustión interna. Obtenido de Universidad Politécnica de Catalunya: https://bibliotecas.ups.edu.ec:3488/es/lc/bibliotecaups/titulos/61423

Ponte, A. d. (2018). Sistemas de Lubricación y Refrigeración en motores de combustión interna. Universidad Nacional de La Plata.

Quesada, J. (2008). Fluidos Viscosos. RUA.

RO-DES. (2015). RO-DES. Obtenido de https://www.ro-des.com/mecanica/filtro-de-aceite-que-es-y-su-cometido/

Secundino, E. (2011). Motores. Obtenido de https://bibliotecas.ups.edu.ec:3488/es/lc/bibliotecaups/titulos/101844

SWISSOIL. (2013). Los efectos de la temperatura en los lubricantes.

Technologies, A. M. (octubre de 2017). ATTEN. Obtenido de https://atten2.com/factores-que-influyen-en-la-degradacion-de-lubricantes-sinteticos-y-minerales/

Tecnifiltro. (2021). Tecnifiltro. Obtenido de https://tecnifiltro.com/store/

Tecnoil. (2021). Laboratorio Tecnoil. Obtenido de https://sites.google.com/a/tecnoil.mx/informacion-tecnica/home/contaminacion-por-agua

Texaco. (1960). Operación de motores diesel de dos combustibles y de gas. New York.

Tormos, B. (2005). Diagnóstico de motores diesel mediante el análisis del aceite usado. Barcelona, España: Reverté.

Toyocosta. (2021). Toyocosta. Obtenido de http://www.toyocosta.com/blog/viscosidad-del-aceite-de-motor/effecto-viscosidades/

Vér, L. L. (1992). Noise and Vibration Control Engineering: Principles and Applications. New York: John Wiley & Sons, Inc.

Villafuerte, J. (2020). Lubricante. Escuela Politécnica Nacional.

Vita, Y. D. (1995). Aditivos para lubricantes para motores a gasolina. Mérida, Venezuela: Universidad De Los Andes.

Widman. (2015). Tabla SAE J300.

Wright, J. (2008). Explicación Simple de los Mejoradores de Índice de Viscosidad. Machinery Lubrication, 3.

Yateks. (2021). Manual de Usuario Yateks YTO.

Yateks. (2021). Manual de Usuario YJS-150.

Anexo **A**

MICROSCOPÍA DEL FILTRO A

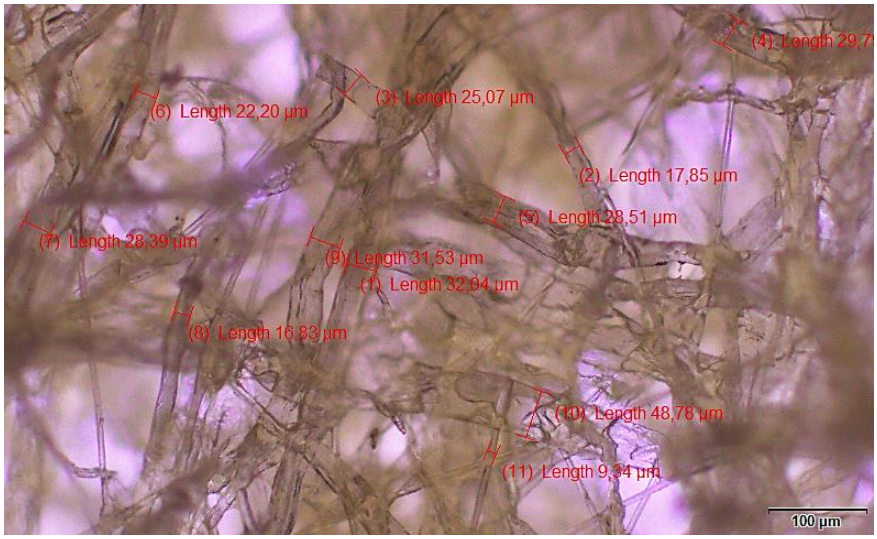

Figura 101. *Microscopía de Filtro A.*

Fuente: *Autores*

- Para el diámetro de Filtro A:

Tabla 27. *Promedio del diámetro de hebras para FILTRO A*

Diámetros de hebras para FILTRO A		
Número de medida	**Diámetro (µm)**	**Promedio (µm)**
1	32.04	26.25
2	17.85	
3	25.07	
4	29.70	
5	28.51	
6	22.20	
7	28.39	

Fuente: *Autores*

- Para la porosidad del Filtro A:

Tabla 28. *Promedio de porosidad de papel filtrante de FILTRO A*

Porosidad [%]	17,39
Conteo de poros	22702
Densidad de poro [1/mm²]	344,6
Tamaño de poro máximo [µm]	706,76

Fuente: *Autores*

Anexo **B**

MICROSCOPÍA DEL FILTRO B

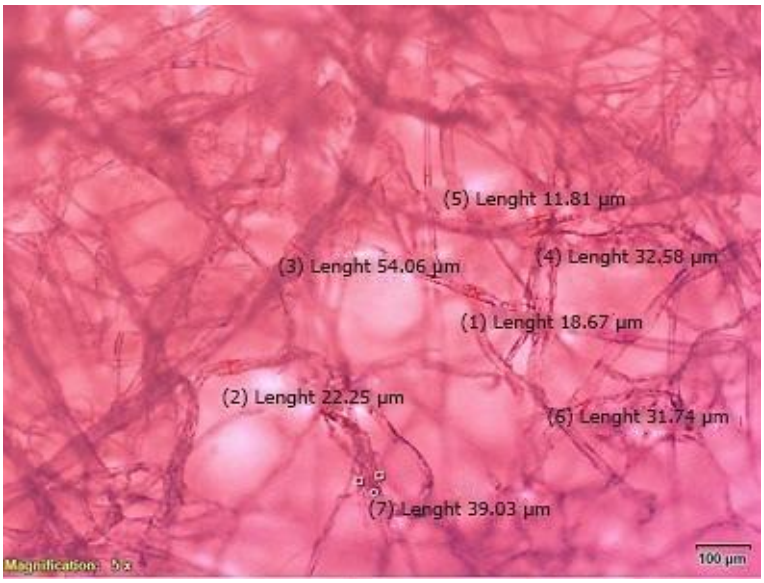

Figura 102. *Microscopía de Filtro B.*

Fuente: *Autores*

- Para el diámetro de Filtro B:

Tabla 29. *Promedio del diámetro de hebras para FILTRO B*

Diámetros de hebras para FILTRO B		
Número de medida	**Diámetro (µm)**	**Promedio (µm)**
1	18.67	30.02
2	22.25	
3	54.06	
4	32.58	
5	11.81	
6	31.74	
7	39.03	

Fuente: *Autores*

- Para la porosidad del Filtro B:

Tabla 30. *Promedio de porosidad de papel filtrante de FILTRO B*

Porosidad [%]	17,5
Conteo de poros	4802
Densidad de poro [1/mm²]	255,11
Tamaño de poro máximo [µm]	522,62

Fuente: *Autores*

Anexo **C**

MICROSCOPÍA DEL FILTRO C

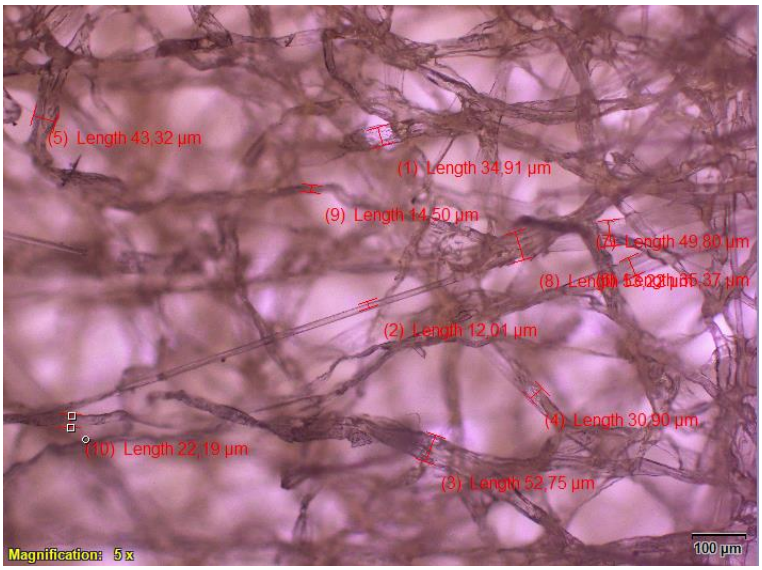

Figura 103. *Microscopía de Filtro C.*

Fuente: *Autores*

- Para el diámetro de Filtro C:

Tabla 31. *Promedio del diámetro de hebras para FILTRO C*

Diámetros de hebras para FILTRO C		
Número de medida	**Diámetro (µm)**	**Promedio (µm)**
1	34.91	37.001
2	12.01	
3	52.75	
4	30.90	
5	43.32	
6	35.37	
7	49.80	

Fuente: *Autores*

- Para la porosidad del Filtro C:

Tabla 32. *Promedio de porosidad de papel filtrante de FILTRO B*

Porosidad [%]	16,84
Conteo de poros	15812
Densidad de poro [1/mm²]	280,01
Tamaño de poro máximo [µm]	525,7

Fuente: *Autores*