

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

Facultad de Ingeniería de Petróleo, Gas Natural y Petroquímica



TESIS

“Evaluación Técnica de los reportes de análisis de aceite sintético usado en un Motor diésel de Combustión Interna operando entre 3,500 y 5,000 msnm. Para incrementar el intervalo de drenado de aceite”

Para obtener el Título Profesional de
Ingeniero de Petróleo y Gas Natural

Elaborado por
Irwing Schirriet Castillo Obregón

 [0009-0009-7430-2435](https://orcid.org/0009-0009-7430-2435)

Asesor
MSc. María Rosario Viera Palacios

 [0000-0003-0603-3543](https://orcid.org/0000-0003-0603-3543)

LIMA – PERÚ
2024

Agradecimiento

Quiero agradecer a la Universidad Nacional de Ingeniería (UNI) por haberme permitido iniciar mi formación profesional en esta casa de estudios, que día a día trabaja en la formación de grandes profesionales del país y del mundo. La oportunidad que la universidad me ha brindado me ha permitido avanzar y demostrar mis conocimientos en distintos campos dirigidos a alcanzar metas profesionales.

Quiero agradecer a los docentes de la universidad, por ser partícipes en el proceso de mi formación académica, también quiero agradecer de forma especial a la profesora María Viera Palacios por aceptar ser mi asesora de esta tesis. Su apoyo y confianza en el trabajo de investigación han sido un gran aporte.

Principalmente, quiero agradecer a Dios, por permitirme salir adelante cada día. Agradezco a toda mi familia por su apoyo incondicional. Quiero agradecer a mis amigos, por haber compartido con ellos una de mis etapas, la de estudiante y ahora la de profesional

Dedicatoria

Lleno de alegría, de regocijo y esperanza, esta tesis la dedico a mis padres quienes han sido el pilar para salir adelante, por brindarme sus consejos invaluable que me servirán para toda la vida. A mi madre por mostrarme siempre su cariño y apoyo incondicional, para lograr ser un profesional, a mi familia por su fraternidad en todo momento. Gracias Dios por mantenerme firme y otorgarme la oportunidad de poder cerrar esta etapa de mi vida con alegría y regocijo.

RESUMEN

Los lubricantes son sustancias especiales que se colocan entre 2 superficies en movimiento relativo, esto con el objetivo de disminuir la fuerza de fricción generada por la diferencia de rugosidades de dichas superficies, mejorando así el deslizamiento entre ellas y minimizando el desgaste generado por el movimiento relativo en dichas superficies, permitiendo de esta manera obtener un buen desempeño mecánico del equipo. Las formulaciones de lubricantes poseen composiciones muy variables, sin embargo, todos ellos se degradan, perdiendo así sus cualidades operativas iniciales por lo que, dependiendo de la naturaleza de la base utilizada en la formulación del lubricante, esta pérdida de propiedades fisicoquímicas iniciales tendrá una tasa de disminución variable. Debido a ello es que en la actualidad, al momento de elegir un lubricante, un factor muy importante a considerar es la maximización del intervalo de drenado de aceite entre mantenimientos preventivos, sin descuidar la protección contra el desgaste en las áreas críticas de la maquinaria; es por ello que, los lubricantes sintéticos son los que han cobrado mayor relevancia ya que son los productos de mayor desarrollo tecnológico en la industria de los lubricantes, con los cuales se permitirá obtener un beneficio económico (a mediano - largo plazo) sin descuidar la vida útil de la maquinaria.

Los lubricantes formulados con bases de naturaleza sintética son obtenidos por procesos de síntesis molecular o por procesos de hidro-craqueado severo de bases minerales, a través de los cuales se obtiene una mayor uniformidad molecular y por ende mejores propiedades fisicoquímicas iniciales del lubricante, por tanto estos aceites se convierten en una solución para trabajos en condiciones severas de operación, como por ejemplo, lugares con gran variación de temperatura entre el día y la noche, lugares de gran altitud sobre el nivel del mar, carreteras con elevada congestión vehicular o carreteras polvorientas. Las principales ventajas del uso de bases sintéticas comparadas con las bases minerales son varias, entre las cuales

podemos identificar un amplio rango de trabajo a nivel de variación de temperaturas de operación, mayor resistencia de espesamiento frente a la oxidación, ahorro de energía, mantenimiento con menor frecuencia, menor uso de aditivos y menor degradación del lubricante.

El presente proyecto de tesis evaluará técnicamente el incremento del intervalo del drenado de aceite mediante el uso de un lubricante sintético en un motor de combustión interna de un vehículo a diésel de marca Toyota, modelo Hilux a más de 3500 msnm., sin variar las condiciones operativas específicas de la unidad en estudio. Asimismo, se espera que este proyecto de tesis sirva de ayuda para la elección de un lubricante sintético de motor en unidades vehiculares mineras, que en su mayoría operan entre 3500 a 5000 msnm.

Palabras Claves

1. **Lubricante:** sustancia que se utiliza para reducir la fricción entre dos superficies en movimiento.
2. **Aceite lubricante:** Tipo de lubricante que se utiliza en motores de combustión interna para reducir la fricción y el desgaste de las piezas móviles.
3. **Aditivos:** Sustancias que se añaden al aceite lubricante para mejorar sus propiedades, como la viscosidad, la resistencia a la oxidación y la capacidad de limpieza.
4. **Motor de combustión interna:** Tipo de motor que utiliza la combustión de combustibles fósiles para generar energía mecánica.
5. **Vehículo:** Medio de transporte que utiliza un motor de combustión interna para su funcionamiento.
6. **Condiciones de operación:** Conjunto de factores ambientales y mecánicos que afectan el rendimiento y la vida útil de un motor de combustión interna.
7. **Recolección de muestras:** Proceso de obtención de muestras de aceite lubricante para su análisis y evaluación.
8. **Matriz de consistencia:** Herramienta que se utiliza para evaluar la coherencia y la consistencia de un proyecto de investigación.
9. **Recolección de muestras:** Proceso de obtención de muestras de aceite lubricante para su análisis y evaluación.
10. **Operacionalización de variables:** Proceso de definición y medición de las variables que se utilizan en un proyecto de investigación.
11. **Hilux:** Modelo de vehículo que se utiliza como caso de estudio en la tesis.
12. **Sintético:** Tipo de aceite lubricante que se produce mediante la síntesis química de compuestos orgánicos.
13. **Fricción:** Fuerza que se opone al movimiento relativo entre dos superficies en contacto.

14. **Rendimiento:** Medida de la eficiencia de un motor de combustión interna en la conversión de energía química en energía mecánica.
15. **Objetivos:** Metas o resultados que se buscan alcanzar mediante un proyecto de investigación.
16. **Hipótesis:** Suposición o explicación tentativa que se formula como base para la investigación.
17. **Variables:** Factores que se miden o manipulan en un proyecto de investigación.
18. **Evaluación:** Proceso de análisis y evaluación de los resultados de un proyecto de investigación
19. **Drenado de aceite:** Proceso de eliminación del aceite lubricante usado de un motor de combustión interna.
20. **Mantenimiento:** Conjunto de actividades que se realizan para mantener en buen estado de funcionamiento un motor de combustión interna.
21. **Costos:** Gastos asociados con la operación y el mantenimiento de un motor de combustión interna.
22. **Antecedentes:** Información previa que se utiliza como base para un proyecto de investigación.
23. **Metodología:** Conjunto de procedimientos y técnicas que se utilizan para llevar a cabo un proyecto de investigación.
24. **Referentes teóricos:** Teorías y conceptos que se utilizan como base para el proyecto de investigación.
25. **Unidad minera Yauli:** Lugar donde se llevó a cabo el caso de estudio.
26. **Anexos:** Documentos adicionales que se adjuntan al proyecto de investigación.

ABSTRACT

Lubricants allow good mechanical operation by preventing abrasion or seizing of metal parts as a result of expansion caused by heat. Some also act as coolants, so they prevent thermal deformation of the material. Lubricants have highly variable compositions, however, in all cases as a result of use they degrade, losing the qualities that made them operational. Today, a very important factor to improve the efficiency of mechanical equipment is synthetic lubricants, since they are the products with the most progress in the oil industry. Therefore, these products should be used where higher operating capacities are required and where conventional lubricants do not perform well.

Synthetic base oils are manufactured by special processes (other than refining) to perform specific functions, which gives them greater uniformity in their properties. These oils become the solution for work in extreme conditions (very high or very low temperatures). The main advantages of using synthetic bases compared to mineral bases are: wide range of operating temperatures, greater resistance to oxidation, energy savings, less frequent maintenance, less use of additives and easier degradation. Lubricating oils are distinguished from each other according to their properties or according to their behavior in machines.

This thesis project will technically evaluate the increase of the range on oil drainage through the use of a synthetic lubricant in a Hilux Model Vehicular engine at more than 3500 meters above sea level, which will send more information about the synthetic lubricant in use for specific operating conditions. for the unit under study. Likewise, it is expected to help in the choice of a synthetic lubricant that allows increasing oil drainage in mining vehicle units, which mostly operate between 3,500 to 5,000 meters above sea level.

Prólogo

En la presente tesis, como Capítulo I, muestra los antecedentes del proyecto, la problemática general, objetivo principal y específicos, justificación, hipótesis general específico, variables y la matriz de consistencia del proyecto de investigación.

En el Capítulo II, muestra la parte teórica, como, definición de lubricante, clasificación de los aceites lubricantes, aditivos polares, tipos de aditivos de los lubricantes, tipos de lubricantes sintéticos.

En el Capítulo III, muestra la metodología del trabajo de investigación, el caso de estudio donde se desarrolla las características del motor de combustión interna del vehículo en particular, condiciones de operación, procedimiento de recolección de muestras.

En el Capítulo IV, muestra el análisis y discusión de resultados de la viscosidad y el TBN.

En el Capítulo V, muestra el beneficio económico que se desarrollará a consecuencia del uso de un lubricante sintético para la unidad vehicular materia de estudio.

En el Capítulo VI, muestra las conclusiones y recomendaciones que sugerimos realizar para incrementar aún más el drenado del aceite, así como un mayor beneficio económico debido al uso prolongado del aceite sintético.

En el Capítulo VII, muestra las referencias bibliográficas empleadas para el sustento del presente proyecto de tesis y de la misma manera adjuntamos los anexos que hicieron posible demostrar la evaluación técnica de la extensión de drenado del lubricante sintético en vehículos en condiciones severas como los son de la unidad minera Yauli.

Índice

Agradecimiento	i
Dedicatoria	ii
RESUMEN	iii
Palabras Claves	v
ABSTRACT	vii
Prólogo	viii
Índice	ix
Lista de Figuras	xii
Lista de Tablas	xiv
Capítulo I: Introducción	1
1.1 Antecedentes	1
1.2 Problemática	2
1.3 Formulación del Problema.....	3
1.3.1 Problema General	3
1.3.2 Problemas Específicos.....	3
1.4 Objetivos de la Investigación.....	4
1.4.1 Objetivo General	4
1.4.2 Objetivos Específicos	4
1.5 Justificación de la Investigación	4
1.6 Hipótesis de la Investigación	5
1.6.1 Hipótesis General	5
1.6.2 Hipótesis Específicas.....	5
1.7 Identificación de Variables	6
1.7.1 Variables Independientes.....	6
1.7.2 Variables Dependientes	6
1.8 Operacionalización de Variables	7
1.9 Matriz de Consistencia.....	8
Capítulo II: Marco Teórico y Conceptual	9
2.1 Lubricante	9
2.1.1 Fabricación de lubricantes.....	10
2.1.2 Características de los lubricantes.....	11
2.1.3 Composición de los lubricantes:.....	14

2.1.4 Lubricante Mineral	15
2.1.5 Clasificación de los aceites lubricantes	16
2.1.5.1 Clasificación SAE	16
2.1.5.2 Clasificación ISO	20
2.1.5.3 Clasificación AGMA	22
2.1.5.4 Clasificación API	23
2.1.5.5 Clasificación ACEA	31
2.2 Aditivos.....	43
2.2.1 Aditivos polares.....	45
2.2.2 Tipos de aditivos lubricantes	46
2.2.3 Aditivos lubricantes convencionales	48
2.3 Tipos de Lubricantes sintéticos.....	55
2.4 Marco Conceptual.....	60
Capítulo III: Desarrollo del Trabajo de Investigación.....	64
3.1 Metodología del Trabajo de Investigación	64
3.1.1 Tipo de Investigación	64
3.1.2 Fuentes de Datos.....	64
3.1.3 Población y Muestra	65
3.1.4 Recolección de Datos	65
3.1.5 Análisis de Datos	65
3.2 Caso de Estudio	65
3.2.1 Motor de Combustión Interna	67
3.2.1.1 Comparativo de camionetas empleadas en mina entre 3500 y 5000 msnm.	68
3.2.1.2 Datos del vehículo en particular	71
3.2.1.3 Requerimiento de lubricante para el vehículo en particular, según manual del fabricante	72
3.2.1.4 Plan de mantenimiento adicional en condiciones severas de operación, según manual del fabricante	72
3.2.1.5 Ficha técnica del lubricante sintético Castrol Edge Turbo Diesel 5W-40	73
3.2.1.6 Ficha técnica del lubricante mineral Valvoline	74
3.2.1.7 Condiciones severas de operación.	74
3.2.1.8 Materiales para el procedimiento de extracción de muestra por bomba de vacío	75
3.2.1.9 Procedimiento de recolección de muestras	80

3.2.1.10 Frecuencia de Muestreo de Aceite	91
Capítulo IV: Análisis y Discusión de Resultados	94
4.1 Viscosidad	94
4.2 TBN (Número Total Básico)	95
4.3 Metales de Desgaste	97
Capítulo V: Análisis Económico	99
5.1 Beneficios de los aceites sintéticos	104
Capítulo VI: Conclusiones y Recomendaciones	106
6.1 Conclusiones	106
6.2 Recomendaciones	108
Capítulo VII: Referencias Bibliográfica	109
Capítulo VIII: Anexos	112

Lista de Figuras

Figura 1 <i>Curvas de Viscosidad</i>	19
Figura 2 <i>Apice Service Symbol “Donas”</i>	25
Figura 3 <i>ILSAC Symbol (Starburst)</i>	26
Figura 4 <i>Proceso de refinación de básicos Grupo I</i>	29
Figura 5 <i>Niveles de desempeño ACEA 2010 (motores ligeros sin sistema de post tratamiento)</i>	37
Figura 6 <i>Niveles de desempeño ACEA 2010 (Motores ligeros con sistemas de post tratamiento)</i>	37
Figura 7 <i>Niveles de desempeño ACEA 2010 (Diésel pesados)</i>	39
Figura 8 <i>Tres funciones de los aditivos lubricantes</i>	45
Figura 9 <i>Inhibidores de herrumbe o corrosión</i>	48
Figura 10 <i>Agentes antidesgaste (AW)</i>	50
Figura 11 <i>Dispersantes</i>	53
Figura 12 <i>Comparación de rendimiento de las especificaciones del lubricante</i>	69
Figura 13 <i>Bomba de vacío estándar</i>	75
Figura 14 <i>Manguera de extracción de muestra</i>	76
Figura 15 <i>Botellas de muestreo</i>	77
Figura 16 <i>Definiciones actuales de limpiezas de botella</i>	78
Figura 17 <i>Botella PET con capacidad volumétrica de 200 ml</i>	78
Figura 18 <i>Bolsa ZIP-LOG</i>	79
Figura 19 <i>Etiqueta para envase de muestreo PERUFARMA-Castrol</i>	80
Figura 20 <i>Válvula de muestreo con tapa</i>	81
Figura 21 <i>Válvula de muestreo y sonda para toma de maestro</i>	81
Figura 22 <i>Bomba de vacío en toma de muestra</i>	82
Figura 23 <i>Bomba de vacío y llenado de envase hasta $\frac{3}{4}$ de la capacidad</i>	82

Figura 24 <i>Rotulado de la muestra</i>	83
Figura 25 <i>Rotulado de la muestra</i>	83
Figura 26 <i>Válvula de muestreo con tapa operando a presión < 100 psi</i>	84
Figura 27 <i>Puerto de muestreo con conector y sonda</i>	85
Figura 28 <i>Bomba de vacío en toma de muestra</i>	85
Figura 29 <i>Bomba de vacío llenando envase</i>	86
Figura 30 <i>Envío de muestra a laboratorio</i>	86
Figura 31 <i>Cobertura para bomba de vacío y conector de sonda</i>	87
Figura 32 <i>Medidor de presión</i>	88
Figura 33 <i>Regulador de presión</i>	88
Figura 34 <i>Regulador de presión y conector de bomba de vacío</i>	89
Figura 35 <i>Botella de muestreo y bomba de vacío</i>	89
Figura 36 <i>Válvula del regulador de presión</i>	90
Figura 37 <i>Etiquetado</i>	90
Figura 38 <i>Reductor de presión, el conector de apertura de válvula de muestreo y la bomba de vacío</i>	91
Figura 39 <i>Límites condensatorios para un motor a Diesel</i>	98
Figura 40 <i>Comparación de Costos, según tipo de lubricante empleado</i>	101
Figura 41 <i>Ahorro generado por unidad vehicular en el plazo de 1 año</i>	102
Figura 42 <i>Comparación de Costos, según tipo de lubricante empleado con o sin implementación</i>	102
Figura 43 <i>Consumo anual de lubricante 15W-40 en operación minera Yauli – San Cristóbal</i>	103

Lista de Tablas

Tabla 1	<i>Matriz de operacionalización de variables</i>	7
Tabla 2	<i>Matriz de consistencia</i>	8
Tabla 3	<i>Forma molecular de una base parafínica</i>	15
Tabla 4	<i>Forma molecular de una base nafténica</i>	16
Tabla 5	<i>Forma molecular de una base aromática</i>	16
Tabla 6	<i>SAE J300: Lubricantes para motor</i>	17
Tabla 7	<i>Lubricantes para engranajes: Tabla SAE J306</i>	20
Tabla 8	<i>Definición grados SAE de viscosidad para aceites de motor</i>	20
Tabla 9	<i>Viscosidad ISO: DIN 51519</i>	21
Tabla 10	<i>Clasificación ISO 6743-4</i>	22
Tabla 11	<i>Clasificación DIN 51524: Aceites hidráulicos</i>	22
Tabla 12	<i>Especificación standard AGMA</i>	23
Tabla 13	<i>Desarrollo y vigencia de las clasificaciones API</i>	27
Tabla 14	<i>Clasificación de servicio API para engranajes</i>	28
Tabla 15	<i>Categorías de bases lubricantes API</i>	29
Tabla 16	<i>Factor contaminante del CO₂</i>	33
Tabla 17	<i>Niveles ACEA: Aceite motor (gasolina y diesel ligeros)</i>	36
Tabla 18	<i>Niveles ACEA para aceite motor diésel de servicio pesado</i>	38
Tabla 19	<i>Clasificación ACEA</i>	39
Tabla 20	<i>Clasificación ACEA para motores</i>	41
Tabla 21:	<i>Relación %Cenizas sulfatadas y viscosidad HT/HS, según clasificación ACEA</i>	42
Tabla 22	<i>Aditivos comunes empleados en la lubricación de maquinaria</i>	47
Tabla 23	<i>Fallas recurrentes en los equipos mecánicos</i>	66
Tabla 24	<i>Especificaciones técnicas de camionetas empleadas en minería</i>	68
Tabla 25	<i>Propiedades Fisicoquímicas del Diesel DB5</i>	70

Tabla 26	<i>Datos del vehículo en particular</i>	71
Tabla 27	<i>Especificaciones técnicas para el lubricante</i>	72
Tabla 28	<i>Programa de mantenimiento en carreteras polvorientas</i>	72
Tabla 29	<i>Programa de mantenimiento en carreteras a más de 2,000 msnm.</i>	73
Tabla 30	<i>Ficha Técnica de Castrol Edge Turbo Diesel 5W-40</i>	73
Tabla 31	<i>Ficha Técnica de Valvoline Premium Blue 7800 Plus 15W-40</i>	74
Tabla 32	<i>Cronograma de muestreo de aceite</i>	93
Tabla 33	<i>Comparación de viscosidad</i>	94
Tabla 34	<i>Comparación de TBN</i>	96
Tabla 35	<i>Comparación de Metales de Desgaste</i>	97
Tabla 36	<i>Simulación de costos entre cambio de aceite minerales y sintéticos</i>	100

Capítulo I: Introducción

1.1 Antecedentes

Con el transcurso del tiempo, los lubricantes han experimentado mejoras en el desarrollo de sus propiedades. Por ende, la lubricación de los equipos ha tenido que ajustarse a esta evolución. Un lubricante de calidad debe contar con una película de aceite adecuada, una densidad y viscosidad apropiadas, y ser tenaz a los ácidos corrosivos; debe tener además una óptima fluidez, presentar un coeficiente de fricción adecuado (según tipo de aplicación), así como la de soportar incrementos de temperaturas producto de la combustión del combustible y estar, en lo posible, exento o con un mínimo grado de degradación.

Varios expertos coinciden en que cualquier máquina opera de manera más eficiente cuando se le proporciona una lubricación adecuada. Según (Reber, 2000), *“La selección de un lubricante es un cálculo de las propiedades de éste y un estudio de desempeño del mismo, bajo factores operacionales que el usuario requiere en sus equipos”*. Los ensayos que se realizan a los aceites son cada vez más importantes, porque permiten evaluar las funciones primarias de un lubricante.

La *Society of Automotive of Engineers* (SAE - Sociedad de Ingenieros Automotrices) (SAE, 2019), clasifica a los aceites para motor según diez grados de viscosidad. La viscosidad SAE es la característica más importante para la elección de los aceites y se define como la resistencia de un líquido a fluir.

El sistema de clasificación del *American Petroleum Institute* (API), (API, 1998) con el fin de facilitar una correcta elección del lubricante que mejor responda a las exigencias específicas de los diversos tipos de motores y servicios, estableció una clasificación de los aceites en dos tipos: aceites para motores a gasolina y aceites para motores a diésel. La clasificación API se basa en el estudio y comparación de las características de funcionamiento y el tipo de servicio al que está destinado el motor. Esta clasificación describe los aceites para

motor en términos simples destinados a ayudar al personal de ventas en la tarea de rotular los aceites en forma significativa, ayudando tanto a los fabricantes de equipos a recomendar los aceites apropiados y a los consumidores a elegirlos (Domínguez & Ferrer, 2008).

El mercado automotor se acomoda a las condiciones de demanda ampliando una gama de marcas y modelos con mayores inversiones en puntos de venta y mejores servicios de postventa para el cual es necesario buscar alternativas que mejoren las condiciones operarias de los equipos (Rizvi, 2009), los motores desde su creación han evolucionado continuamente, disminuyendo su tamaño, consumo y emisiones contaminantes, al mismo tiempo se incrementa su eficiencia y rendimiento. Lo que trae consigo mayores exigencias para las propiedades físicas y químicas de los aceites lubricantes (Rizvi, 2009).

Los lubricantes sintéticos automotrices añaden más beneficios que sólo las de ayudar a conservar los motores de los vehículos, añaden por ejemplo un incremento de ahorro de combustible y la protección de los modernos sistemas de postratamiento. Los nuevos motores requieren de buenos lubricantes sintéticos de gran calidad, por ello es de información trascendental conocer la importancia de elegir adecuadamente el lubricante para cada vehículo.

1.2 Problemática

Las mejores aplicaciones para el uso de lubricantes sintéticos se dan cuando las demandas de desempeño del equipo superan las capacidades de los aceites minerales. En muchos casos un aceite sintético superará a los aceites minerales y podrá llegar a ser una buena opción para vehículos de combustión interna funcionando en condiciones severas de operación.

El costo representa una de las principales restricciones para la adopción generalizada de lubricantes sintéticos, ya que puede ser considerablemente más alto en comparación con los lubricantes minerales. Es por ello que se utilizan en situaciones específicas donde los lubricantes convencionales no pueden cumplir con requisitos particulares, como temperaturas extremadamente altas o bajas, lubricación de larga duración, intervalos de cambio prolongados,

mayor eficiencia energética, entre otros. De ahí que encuentren su principal uso en transformadores, unidades de refrigeración, sistemas sellados de por vida, bombas de vacío, etc.

El lubricante idóneo que seleccionar para una determinada aplicación debe de elegirse por las condiciones de operación y las metas que tenga cumplir, es importante mantener una eficiencia al máximo en cualquier maquina donde se presente desprendimiento del material debido a la fricción por el constante roce de piezas. La versatilidad de un lubricante sintético le permite adaptarse a una amplia gama de aplicaciones. No obstante, es crucial evaluar el costo-beneficio derivado de su uso, lo cual dependerá de la importancia que el activo tenga para la empresa. Por lo tanto, resulta fundamental comprender las condiciones operativas, seleccionar el tipo de fluido de manera adecuada y optimizar las prácticas de mantenimiento.

1.3 Formulación del Problema

1.3.1 Problema General

¿Cómo el empleo de un lubricante sintético ayuda a incrementar el intervalo de drenado de aceite sin acelerar la tasa de desgaste en un motor diésel de combustión interna operando entre 3,500 y 5,000 msnm?

1.3.2 Problemas Específicos

¿Qué tanto las condiciones de operación tanto mecánicas como ambientales influyen en la selección del tipo de aceite lubricante a usar en un motor diésel de combustión interna operando entre 3,5000 y 5,000 msnm?

¿Cómo el proceso de recolección de muestras de aceite sintético usado a través del método de extracción por bomba de vacío en un motor diésel de combustión interna operando entre 3,5000 y 5,000 msnm, influye en los reportes de análisis de aceite?

¿Qué parámetros fisicoquímicos del reporte de análisis de acetite usado serán los más indicados para determinar el incremento del intervalo de drenado de aceite, así como el de

mayor influencia en el aumento de la eficiencia volumétrica en un motor diésel de combustión interna operando entre 3,5000 y 5,000 msnm?

1.4 Objetivos de la Investigación

1.4.1 Objetivo General

Evaluar el incremento del intervalo de drenado de aceite mediante el uso de lubricantes sintéticos en un motor diésel de combustión interna operando entre 3,500 y 5,000 msnm.

1.4.2 Objetivos Específicos

Determinar que las condiciones de operación tanto mecánicas como ambientales influyen en la elección del tipo de lubricante a aplicar en un motor diésel a combustión interna operando entre 3,500 y 5,000 msnm.

Determinar que el proceso de recolección de muestras de aceite sintético usado a través del método de extracción por bomba de vacío influye mínimamente en los reportes de análisis de aceite sintético usado.

Determinar los parámetros fisicoquímicos más importantes del aceite sintético que nos permitan realizar un diagnóstico favorable para la extensión del intervalo de drenado de aceite; así como, el parámetro fisicoquímico que va a influir en mayor medida a la mejora de la eficiencia volumétrica del motor diésel en estudio.

1.5 Justificación de la Investigación

Los lubricantes sintéticos, son productos elaborados por reacción química para producir un fluido de alto peso y estructuras moleculares, de características determinadas los fluidos bases utilizados para su formulación son elaborados de compuestos químicos específicos, muchos de los cuales son sintetizados del petróleo o del carbón. Es fundamental entender que no hay un lubricante sintético estándar o convencional. El propósito de este proyecto de investigación es presentar información técnicamente sólida sobre el uso de un lubricante

sintético, que logre extender el intervalo de drenado de aceite de un motor vehicular marca Toyota, modelo Hilux, operando entre 3,500 y 5,000 msnm.

Asimismo, la presente investigación brindará información que contribuya en la elección de un lubricante sintético, que le permita obtener buenos resultados a condiciones operativas de gran altitud, como lo son las zonas mineras, donde es tan importante el sector automotriz. Un lubricante para motor, además de reducir el rozamiento, debe de cumplir cabalmente ciertas funciones adicionales tales como las de limitar el desgaste y la corrosión, minimizar la cantidad de residuos internos generados debido al proceso de combustión, actuar como un medio de transferencia de calor interna del motor, sellar los gases de combustión para así minimizar el fenómeno conocido como Blow – By (Zagaiko S A, 2006) etc.

1.6 Hipótesis de la Investigación

1.6.1 Hipótesis General

El uso de lubricantes sintéticos incrementa significativamente el intervalo de drenado de aceite en un motor diésel a combustión interna operando entre 3,500 y 5,000 msnm.

1.6.2 Hipótesis Específicas

Las condiciones de operación mecánica y ambientales determinan el tipo de lubricante a aplicar en un motor diésel a combustión interna operando entre 3,500 y 5,000 msnm.

La extracción de muestras de aceite sintético usado mediante el método de extracción de bomba de vacío tendrá un impacto mínimo en los reportes de los análisis de laboratorio, los parámetros fisicoquímicos y desempeño del aceite sintético usado en un motor diésel a combustión interna operando entre 3,500 y 5,000 msnm.

La evaluación de parámetros fisicoquímicos específicos en el aceite sintético proporcionará información relevante para realizar un diagnóstico positivo que respalde la viabilidad de extender el intervalo de drenado de aceite en motores; así como, el aumento de

la eficiencia volumétrica, indicando un desempeño continuo y adecuado del lubricante más allá de los intervalos tradicionales usados en un motor diésel a combustión interna operando entre 3,500 y 5,000 msnm

1.7 Identificación de Variables

1.7.1 Variables Independientes

- Condiciones de operación mecánica y ambientales.
- Muestras de aceites lubricantes sintéticos en uso.
- Método de muestreo de aceite usado.

1.7.2 Variables Dependientes

- Selección del aceite lubricante sintético.

1.8 Operacionalización de Variables

La Tabla 1 muestra la matriz de operacionalización de las variables del presente trabajo de investigación.

Tabla 1 *Matriz de operacionalización de variables*

Tipo de variable	Variable	Definición conceptual de la variable	Unidad de medida
Dependiente	Selección del aceite lubricante sintético.	Tipo de aceite lubricante sintético ideal para las condiciones operativas y ambientales de un motor vehicular marca Hilux entre 3500 y 5000 msnm.	Tipo de aceite lubricante
Independiente	Condiciones de operación mecánica y ambientales.	La condición operativa se define como el tiempo de trabajo de un motor diésel a combustión interna de la marca Toyota modelo Hilux a condiciones ambientales (Presión y temperatura ambiental) que indiquen en el desgaste del aceite lubricante en condiciones operativas agrestes.	Horas de operación, Altitud, Presión y Temperatura
	Muestras de aceites lubricantes sintéticos en uso.	Volumen de aceite lubricante sintético en uso que se recolecta de manera aleatoria de motores vehicular marca Hilux.	Volumen de aceite en uso
	Método de muestreo de aceite usado.	Tipo de muestreo de aceite usado para las condiciones operativas de motores vehiculares de marca Hilux.	Tipo de muestreo

Fuente: Elaboración propia.

1.9 Matriz de Consistencia

La Tabla 2 muestra la consistencia entre la formación del problema, objetivos, hipótesis y las variables del presente trabajo de investigación.

Tabla 2 *Matriz de consistencia*

Formulación del problema	Objetivos	Hipótesis	Variables
Problema general	Objetivo general	Hipótesis general	Variable dependiente
¿Cómo el empleo de un lubricante sintético ayuda a incrementar el intervalo de drenado de aceite sin acelerar la tasa de desgaste en un motor diésel de combustión interna operando entre 3,500 y 5,000 msnm?	Evaluar el incremento del intervalo de drenado de aceite mediante el uso de lubricantes sintéticos en un motor diésel de combustión interna operando entre 3,500 y 5,000 msnm.	El uso de lubricantes sintéticos incrementa significativamente el intervalo de drenado de aceite en un motor diésel a combustión interna operando entre 3,500 y 5,000 msnm.	Selección del aceite lubricante sintético.
Problemas específicos	Objetivos específicos	Hipótesis específicas	Variable independiente
¿Qué tanto las condiciones de operación tanto mecánicas como ambientales influyen en la selección del tipo de aceite lubricante a usar en un motor diésel de combustión interna operando entre 3,5000 y 5,000 msnm?	Determinar que las condiciones de operación tanto mecánicas como ambientales influyen en la elección del tipo de lubricante a aplicar en un motor diésel a combustión interna operando entre 3,500 y 5,000 msnm.	Las condiciones de operación mecánica y ambientales determinan el tipo de lubricante a aplicar en un motor diésel a combustión interna operando entre 3,500 y 5,000 msnm	Condiciones de operación mecánica y ambientales.
¿Cómo el proceso de recolección de muestras de aceite sintético usado a través del método de extracción por bomba de vacío en un motor diésel de combustión interna operando entre 3,5000 y 5,000 msnm, influye en los reportes de análisis de aceite?	Determinar que el proceso de recolección de muestras de aceite sintético usado a través del método de extracción por bomba de vacío influye mínimamente en los reportes de análisis de aceite sintético usado.	La extracción de muestras de aceite sintético usado mediante el método de extracción de bomba de vacío tendrá un impacto mínimo en los reportes de los análisis de laboratorio, los parámetros fisicoquímicos y desempeño del aceite sintético usado en un motor diésel a combustión interna operando entre 3,500 y 5,000 msnm.	Método de muestreo de aceite usado
¿Qué parámetros fisicoquímicos del reporte de análisis de acetite usado serán los más indicados para determinar el incremento del intervalo de drenado de aceite en un motor diésel de combustión interna operando entre 3,5000 y 5,000 msnm?	Determinar los parámetros fisicoquímicos más importantes del aceite sintético que nos permitan realizar un diagnóstico favorable para la extensión del intervalo de drenado de aceite.	La evaluación de parámetros fisicoquímicos específicos en el aceite sintético proporcionará información relevante para realizar un diagnóstico positivo que respalde la viabilidad de extender el intervalo de drenado de aceite en motores diésel.	Muestras de aceites lubricantes sintéticos en uso

Fuente: Elaboración propia.

Capítulo II: Marco Teórico y Conceptual

2.1 Lubricante

Se considera un lubricante a cualquier tipo de sustancia interpuesta entre dos superficies en movimiento relativo, cuyo principal objetivo es el de reducir la fricción para que, así de esta manera, se minimice el desgaste y el calor generado por el movimiento entre estas 2 superficies generando así un incremento en la vida útil del activo (Zagaiko, 2006)

Lubricar es proveer de una película fluida para soportar la carga de dos cuerpos en movimiento relativo y contrarrestar los efectos de la fricción. (Garcia Romero, 1997)

Las funciones primarias de un lubricante son:

- Reducir la fricción.
- Reducir el desgaste
- Reducir la cantidad de depósitos generados por el proceso de combustión.

Además de esto el lubricante puede tener otras funciones como:

- Transmisión de potencia
- Sellamiento
- Limpieza
- Previene la formación de depósitos y lacas
- Minimizar la formación de herrumbre y corrosión
- Agente de templado
- Aceite térmico
- Fluido para el maquinado
- Aislante eléctrico

La clasificación de los lubricantes resulta verdaderamente compleja, no solo por ser cada día mayor y más extensa, la gama de los mismos; sino porque pueden agruparse según distintos sistemas: por ejemplo, partiendo de una serie muy diversa de diferencias constitutivas (estado,

naturaleza química, etc.) o por su procedencia (animal, vegetal o mineral), aunque esta clasificación por la preponderancia del último grupo y la existencia de diversas mezclas sea menos empleada; o bien por lo que pudiera llamar en función de sus posibilidades de aplicación, teniendo en cuenta su estado (gaseoso, líquido, pastoso o plástico y sólido). (García Romero, 1997)

De acuerdo con una clasificación general en:

- a) Aceites automotrices:
 - Aceites para motores a gasolina
 - Aceites para motores a diésel
 - Aceites para transmisiones y diferenciales

- b) Aceites industriales:
 - Aceites hidráulicos
 - Aceites para engranes
 - Aceites para turbinas
 - Aceites para transformadores
 - Aceites para industria textil
 - Aceites para refrigeración
 - Aceites para trabajos de metales

2.1.1 *Fabricación de lubricantes*

Los aceites lubricantes se formulan a través de un proceso de mezcla entre un aceite básico y un paquete de aditivos, estos aceites básicos podrían obtenerse a través de la refinación del petróleo crudo o, de un complejo proceso de síntesis molecular, en adición a ello, el paquete de aditivos ayuda a conferir al aceite básico una mejora en alguna propiedad fisicoquímica o adiciona alguna característica especial que el formulador quiera resaltar en el lubricante obtenido. (García Romero, 1997)

Los compuestos principales para la elaboración de un lubricante se clasifican como aceites parafínicos, nafténicos, asfálticos o una mezcla de ellos que, dependiendo del objetivo para el cual será elaborado el lubricante, tendrá una menor o mayor cantidad de esta clasificación dentro de su composición. En ese sentido, los lubricantes formulados específicamente para la aplicación de aceite de motor tienen mayor preponderancia del compuesto parafínico dentro de su composición. Por tanto, hablar de lubricantes sintéticos, es hablar de productos que fueron obtenidos a través de procesos de síntesis molecular o en su defecto de bases parafínicas que fueron sometidos a elevadas presiones, altas temperaturas y mayores tiempos dentro del reactor de hidrocraqueo para obtener así bases minerales altamente refinadas que, puestos en servicio, demuestran obtener casi los mismos beneficios que los lubricantes obtenidos a través de los procesos de síntesis molecular, solo que aún costo de elaboración mucho menor. (García Romero, 1997)

2.1.2 Características de los lubricantes

Las siguientes propiedades son algunas características que todo lubricante, ya sea de origen mineral o sintético debería de tener:

- **Densidad (untuosidad):** Debido a la densidad, las superficies metálicas permanecen con una fina capa de lubricante, incluso tras un largo tiempo después de haber sido aportado el mismo.
(<http://docplayer.es/67741320-Anexo-v-lubricantes-especificaciones-y-normativa.html>)
- **Viscosidad:** Se define como la resistencia del lubricante a la acción de deslizar o fluir sobre una superficie, la cual puede darse debido al movimiento gravitacional o al movimiento rotatorio de éste sobre un eje. Quepa señalar que, al aumentar la temperatura, la viscosidad tiende a disminuir; mientras que, al incrementarse la presión sobre el lubricante, su viscosidad tiende a aumentar. (Coexito, Terminos de la industria de lubricantes, Octubre 2020).

- **Índice de viscosidad:** Se considera como un valor adimensional y es el encargado de medir la gradiente de la viscosidad respecto a la gradiente de temperatura. Se entiende como la resistencia de película de lubricante formada dentro de las superficies en movimiento. Además, se tiene que resaltar el hecho de que a mayor índice de viscosidad mayor será la resistencia de película lubricante dejada por el aceite, el cual será capaz de responder de una manera óptima las inclemencias derivadas de una acción de alta temperatura, alto cizallamiento de película y/o altas presiones que surgen en el accionar de una maquinaria en operación.
- **Punto de Fluides (Pour Point):** Se define como la temperatura más baja a la cual, aún se puede observar una ligera acción de fluir en el lubricante. Se tiene que tener en cuenta que, si un lubricante posee valores menores en este parámetro, eso le va a conferir al aceite un excelente grado de “bombeabilidad” justo al momento del arranque que es la parte donde se genera el mayor desgaste y es necesario que el aceite tenga la habilidad de subir rápidamente hacia las partes más altas de la maquinaria a proteger.
- **Temperatura mínima de bombeo:** Se define como la temperatura más baja a la cual un lubricante puede fluir a través de una bomba de aceite.
- **Punto de inflamación (Flash Point):** Se define como la temperatura a la cual los vapores generados por el aceite se inflaman por la proximidad de una llama.
- **Resistencia a la oxidación:** La oxidación es el proceso de la degradación del lubricante que se genera por la constante exposición de éste a entornos ricos en Oxígeno, lo cual van a provocar estragos en el aceite como lo son: Aumento de viscosidad, formación de lacas, barnices o depósitos y corrosión en las superficies metálicas.
- **Estabilidad térmica:** Se define como la resistencia de un lubricante a descomponerse bajo condiciones de elevada temperatura, lo cual a menudo se conoce como el crackeo térmico.

- **Detergencia:** Propiedad que posee un lubricante de reducir la formación de los compuestos que dan origen a depósitos, así como la acumulación de ellos en las piezas mecánicas cuando se opera a altas temperaturas
- **Dispersancia:** Propiedad que un lubricante posee de mantener en suspensión y dispersar los depósitos formados a bajas temperaturas de operación, esencialmente por la interacción del agua de la condensación. (Coexito,, 2020 27 Octubre)
- **Alcalinidad (T.B.N):** Se define como la concentración de los componentes de naturaleza básica o alcalina en un lubricante, referida mejor como T.B.N. (Total Base Number). Este parámetro nos indica la capacidad que tiene un lubricante para poder neutralizar los ácidos generados por el proceso de combustión.
- **Demulsibilidad:** Propiedad que tiene el aceite para separarse del agua.
- **Desaireación:** Propiedad que tiene el aceite para separar el aire
- **Índice de acidez, TAN (Total Acid Number):** La cantidad de álcali necesario para neutralizar los ácidos presentes en el aceite, medida en miligramos de hidróxido de potasio por gramo de hidróxido de potasio (mg KOH/g KOH), proporciona información sobre la estabilidad a la oxidación y la durabilidad del aceite en servicio
- **Anti-desgaste:** Se define como la capacidad de un lubricante para frenar la acción de desprendimiento de la superficie metálica o desgaste en zonas de elevada presión donde no es posible garantizar la formación adecuada de una capa de aceite lo suficientemente resistente. (Coexito,, 2020 27 Octubre)
- **Anti-herrumbre y anticorrosión:** La habilidad del lubricante para contrarrestar los efectos perjudiciales causados por la presencia de humedad y la condensación de agua en aleaciones de hierro, así como su capacidad para inhibir la formación de ácidos orgánicos derivados del proceso de combustión y contaminantes del lubricante en metales distintos al hierro, se conoce como capacidad de neutralización.

- **Color:** Por lo general, los aceites básicos procedentes del petróleo crudo obtenido a través del uso de solventes presentan una coloración más oscura, mientras que los básicos obtenidos a través de procesos de síntesis molecular, un color claro. Sin embargo, debido a los severos procesos de hidro craqueo e hidro isomerización de las bases parafínicas puede lograrse una base mineral con una tonalidad casi similar al de los lubricantes sintéticos.
- **Volatilidad:** La baja volatilidad minimiza la emisión de gases del lubricante a las cámaras de combustión, con ello disminuye el consumo de aceite y el número de partículas en los gases de escape.

2.1.3 Composición de los lubricantes:

Los lubricantes son una sustancia formada por la mezcla de un aceite base y un paquete de aditivos que optimizan las características naturales del aceite base e inhiben otras características indeseables de este aceite base.

Bases:

- **Aceites Minerales:** Los aceite básicos denominados minerales son aquellas bases obtenidas a través del proceso de refinación petróleo crudo, donde el grado de pureza va a depender únicamente del tipo de proceso de la refinaría donde se realiza este procedimiento.
- **Aceites semisintéticos:** Los aceites básicos denominados semisintéticos son aquellas bases obtenidas a través de una mezcla entre un aceite básico mineral y un aceite básico sintético.
- **Aceites Sintéticos:** Por muchos años se ha considerado a los aceites sintéticos como lubricantes que no tenían un origen directo del crudo o petróleo, sino que eran creados de subproductos petrolíferos combinados en procesos de laboratorio denominados síntesis molecular; sin embargo, hoy en día ya se formulan lubricantes sintéticos a partir del crudo mediante severos procesos de hidrocraqueo e

hidrotratamiento que, pese a no tener una naturaleza sintética propiamente dicha, son considerados como lubricantes sintéticos debido a que demostraron un rendimiento similar en uso al compararlo con el lubricante Sintético obtenido a través de un proceso de síntesis molecular. (Coexito,, 2020 27 Octubre)

2.1.4 *Lubricante Mineral*

La fracción del petróleo crudo destinado para la producción de aceites bases lubricantes minerales poseen dentro de su composición 3 tipos de aceite que de acuerdo con la naturaleza predominante del crudo se clasifican en: Aceites de Base Parafínica, Aceites de Base Nafténico y Aceites de Base Aromática. Siendo el aceite de base parafínica el más empleado para formular los aceites de motor; mientras que el aceite de base nafténico, el más empleado en la formulación de aceites dieléctricos. A continuación, procederemos a definir cada una de estas bases lubricantes.

➤ **Aceite de base parafínica:**

Se denominan así debido a que luego de refinarlos a través del proceso de destilación al vacío se tiene entre un 45 y 50% de componentes parafínicos conformando este aceite básico. Entre sus principales beneficios se tiene que estas bases lubricantes cuentan con elevado índice de viscosidad natural, razón por la cual son los preferidos para la elaboración de aceites de motor.

Tabla 3 *Forma molecular de una base parafínica*

BASE	FORMA MOLECULAR	ÍNDICE DE VISCOSIDAD	PUNTO DE ESCURRIMIENTO	RESISTENCIA A LA ALCANODACIÓN
PARAFÍNICO		MUY ALTO	ALTO	MUY ALTA

Fuente: (NORIA Latin America)

➤ **Aceite de base nafténica:**

Se denominan así porque contienen entre un 65 y 75% de componentes nafténicos, cuyo beneficio principal es la de poseer un bajo punto de fluidez, incluso menor que los aceites básicos parafínicos. Esta razón los hace factible para la elaboración de aceite dieléctricos.

Tabla 4 *Forma molecular de una base nafténica*

BASE	FORMA MOLECULAR	INDICE DE VISCOSIDAD	PUNTO DE ESCURRIMIENTO	RESISTENCIA A LA OXIDACION
NAFTÉNICO		MODERADO	BAJO	ACEPTABLE

Fuente: (NORIA Latin America)

➤ **Aceite de base aromáticos:**

Se denominan así ya que contienen entre un 20 y 25% de componentes aromáticos, los cuales son extraídos con ayuda de ciertos solventes que, a su vez, mejoran el índice de viscosidad, color, disminuye la carcinogenicidad y logra una mejor estabilidad a la oxidación.

Tabla 5 *Forma molecular de una base aromática*

BASE	FORMA MOLECULAR	INDICE DE VISCOSIDAD	PUNTO DE ESCURRIMIENTO	RESISTENCIA A LA OXIDACION
AROMÁTICOS		BAJO	BAJO	BAJA

Fuente: (NORIA Latin America)

2.1.5 Clasificación de los aceites lubricantes

2.1.5.1 Clasificación SAE

Debido a la importancia de la viscosidad dentro de los lubricantes, se buscó en primera instancia clasificar a esta propiedad, por lo que SAE (Society of Automotive Engineers) fue la base de esta clasificación desde sus inicios (1900) hasta la actualidad, la cual ha evolucionado a lo largo de todos estos años y ya ahora es mundialmente adoptada como un estándar ISO. La esencia de esta clasificación consiste determinar la viscosidad tanto a bajas temperaturas

(Arranque o inicio de operación) como a elevadas temperaturas (Condiciones de operación). La manera correcta de definir la viscosidad SAE de un lubricante es: xxW-yy, que corresponde al rango de variación de viscosidad que tendrá el lubricante con determinada denominación. El primer término “xx-W” nos indica la viscosidad a bajas temperaturas y viene finalizada por la letra “W” que proviene de la palabra Winter (invierno) señalando que este término se avoca a la viscosidad en frío. El segundo término “-yy” indica la viscosidad a altas temperaturas.

La Norma SAE J300 es la que rige esta clasificación de viscosidad en lubricantes para motores de combustión interna y cuyo resumen se presenta en la siguiente tabla.

Tabla 6 SAE J300: Lubricantes para motor

Grados de viscosidad SAE	Viscosidad cinemática (cSt) a 100°C Mínima	Viscosidad cinemática (cSt) a 100°C Máxima
5 W	3,8	-
10 W	4,1	-
15 W	5,6	-
20 W	5,6	-
30	9,3	12,5
40	12,5	16,3
50	16,3	21,9
1 cSt = 1 mm²/s		

Fuente: (Autotaller S.A).

Las unidades SAE traen consigo una gran cantidad de lubricantes debido al amplio rango de valores de viscosidad que componen un grado SAE. La SAE nos indica que a mayor grado SAE, la viscosidad del aceite será más elevada y que dependiendo de su clasificación a nivel de servicio o desempeño, este lubricante con tal determinación SAE se empleará en motores de combustión interna a Gasolina y Diésel de servicio liviano, Diésel de servicio pesado o Gas Natural de servicio pesado.

La clasificación SAE no solo incluye a lubricante para motores a combustión interna, sino que también clasifica la viscosidad de los lubricantes para transmisión a través de la norma

SAE J-306. Esta clasificación SAE de lubricante para motores de combustión interna se subdividen en lubricantes monogrados y lubricantes multigrados, estos aditivos se utilizarán según las sugerencias del fabricante del motor de combustión interna, adaptándose a las condiciones climáticas o a los programas diseñados para minimizar el desgaste de los diversos componentes del motor de combustión interna. Actualmente, los equipos de mantenimiento favorecen las iniciativas dirigidas a disminuir el desgaste de los componentes del motor de combustión interna.

➤ **Los aceites monogrados:**

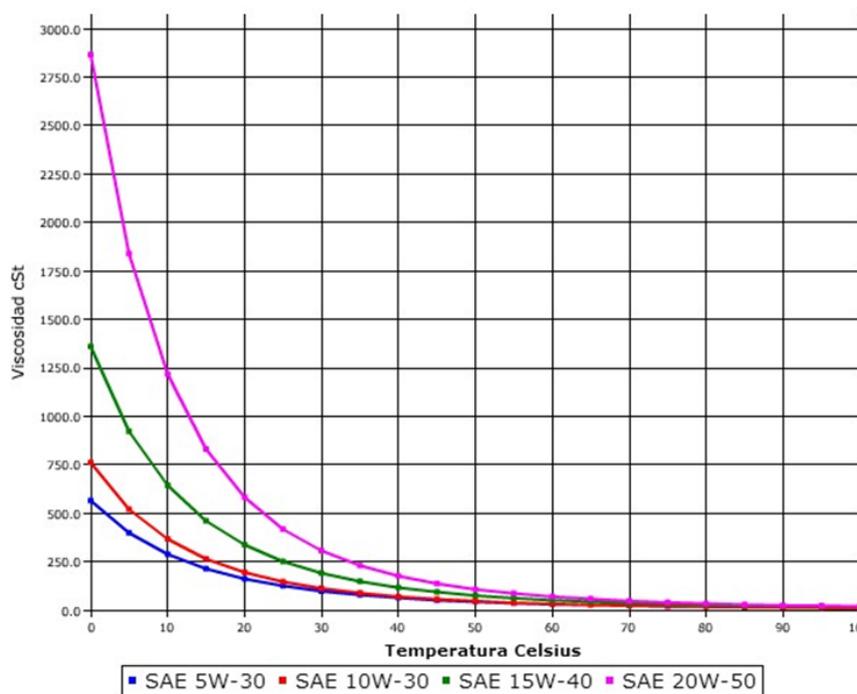
Son aquellos aceites que se caracterizan por tener un solo grado SAE, es decir, poseen un solo grado de viscosidad, la cual puede tratarse de un lubricante monogrado empleado en climas gélidos o uno empleado en climas cálidos, esto dependiendo del grado SAE que se indique en el envase del lubricante. Los aceites monogrados empleados en climas gélidos serán aquellos que tengan la denominación de “xxW” (Ejemplo: SAE 10W); mientras que, los monogrados empleados en climas cálidos poseen la denominación “XX” (Ejemplo: SAE 30). Una desventaja de los aceites monogrados es que poseen un índice de viscosidad por debajo de los 95 (generalmente), lo cual puede dificultar mantener la resistencia de película formada en las áreas críticas del motor cuando el motor se encuentra en su temperatura de operación, acelerando de esta manera el desgaste, por lo que será mandatorio realizar cambios de aceite con mayor frecuencia para mantener la vida útil del motor, generando así costos operativos innecesarios.

➤ **Los aceites multigrados:**

Son aquellos aceites que se caracterizan por tener más de un grado SAE de viscosidad lo cual los hace totalmente aplicables tanto en climas gélidos como cálidos y dependiendo de la denominación presente en el envase del lubricante se tendrá una menor viscosidad al momento del arranque, llegando de esta manera rápidamente a lubricar las partes altas del

motor; además de, aumentar vida útil a la bomba de aceite. Una ventaja de los aceites multigrados es que poseen un Índice de Viscosidad mayor de 120, lo cual permite que se tenga una gran resistencia de película lubricante en las áreas críticas del motor y posee una menor tasa de decremento de la viscosidad respecto a la temperatura. Por ejemplo, un aceite con clasificación SAE 20W-50 indicaría que a temperaturas bajas (superiores a -15°C), el aceite exhibirá propiedades similares a las de un aceite de baja viscosidad SAE 20W, mientras que a temperaturas altas (superiores a 100°C) se comportará como un aceite de alta viscosidad SAE 50.

Figura 1 *Curvas de Viscosidad.*



Fuente: : (Autotaller S.A)

(<http://docplayer.es/67741320-Anexo-v-lubricantes-especificaciones-y-normativa.html>)

A diferencia de los aceites para motor, la escala SAE para transmisiones es mucho más dinámica: un cambio en el grado SAE supone grandes variaciones de la viscosidad (cSt).

Tabla 7 *Lubricantes para engranajes: Tabla SAE J306*

Grados de viscosidad SAE	Viscosidad cinemática (cSt) a 100 °C	
	Mínima	Máxima
75W	4,1	-
80W	7,0	-
85W	11,0	-
80	7,0	11,0
85	11,0	13,5
90	13,5	18,5
100	18,5	24,0
140	24,0	32,5
190	32,5	41
	1 cSt = 1mm ² /s	

Fuente: (Widman Internacional)

En la Tabla 7 se muestra la clasificación de las viscosidades de los grados SAE para lubricante de engranajes.

Tabla 8 *Definición grados SAE de viscosidad para aceites de motor*

GRADO SAE	VISCOCIDAD MAXIMA Cp	TEMPERATURA °C	TEMPERATURA LIMITE DE BOMBEO °C	VISCOCIDAD Cst 100 °C	
				MINIMO	MÁXIMO
0 W	3250	-30	-35	3,8	-
5W	3500	-25	-30	3,8	-
10W	3500	-20	-25	4,1	-
15W	3500	-15	-20	5,6	-
20W	4500	-10	-15	5,6	-
25W	6000	-5	-10	9,3	-
20	-	-	-	5,6	9,3
30	-	-	-	9,3	12,5
40	-	-	-	12,5	16,3
50	-	-	-	16,3	21,3
60	-	-	-	21,9	26,1

W: Winter: Invierno

Fuente: (Pirro y Wessol, 2001)

2.1.5.2 Clasificación ISO

La Organización Internacional de Normalización, conocida como ISO, es una entidad internacional establecida en Suiza en 1947. Con más de 163 miembros, incluyendo a Argentina,

aunque es una organización no gubernamental, su capacidad para desarrollar normas utilizadas a nivel global, que en ocasiones adquieren la categoría de leyes, le otorga una influencia considerable, equiparable e incluso superior a la de algunas instituciones gubernamentales. Normalmente se utiliza la Viscosidad ISO, para aceites de aplicaciones industriales, por lo general hidráulicos.

Las unidades del *International Standard Organization* (ISO), únicamente clasifica la viscosidad de los aceites industriales. Además, clasifica la viscosidad en cSt. a 40°C. Sólo se relaciona con la viscosidad del aceite industrial y no tiene nada que ver con su calidad. El grado ISO aparece al final del nombre del aceite industrial, cualquiera que sea su marca.

Por ejemplo: Al citar a un aceite hidráulico 46, quiere decir que su viscosidad a 40 °C será de 46 cSt. Esto se define en la normativa ASTM D2422 o en su similar ISO 3448.

➤ Viscosidad ISO VG

En la Tabla 9, determina la viscosidad ISO.

Tabla 9 Viscosidad ISO: DIN 51519

ISO VG	Viscosidad cinemática (cSt) a 40 °C	
	Mínima	Máxima
22	19,8	24,2
32	28,8	35,2
46	41,4	50,6
68	61,2	74,8
100	90,00	110
150	135	165
1 cSt = 1 mm ² /s		

Fuente: (Widman internacional)

Clasificaciones DIN e ISO: La ISO 6743-4 y la DIN 51524 son las clasificaciones de fluidos hidráulicos más utilizadas:

Tabla 10 Clasificación ISO 6743-4

<i>CLASIFICACIÓN ISO</i>	<i>CARACTERÍSTICAS</i>
<i>ISO-L-HH</i>	Lubricante mineral sin inhibidores de corrosión
<i>ISO-L-HL</i>	Aceite mineral inhibido con anticorrosivos y antioxidantes.
<i>ISO-L-HM</i>	Aceite HL con aditivos antidesgaste (HLP según norma DIN 51524 2° Part)
<i>ISO-L-HR</i>	Aceite HL con alto índice de viscosidad
<i>ISO-L-HV</i>	Aceite HM con mejorador de índice de viscosidad
<i>ISO-L-HG</i>	Lubricantes HM con características de resistencia al choque
<i>ISO-L-HS</i>	Lubricantes sintéticos

Fuente: (Mobil™)

La ISO 6743-4 también clasifica los lubricantes a prueba de fuego y biodegradables.

Tabla 11 Clasificación DIN 51524: Aceites hidráulicos

<i>CLASIFICACIÓN DIN</i>	<i>CARACTERÍSTICAS</i>
<i>HVLP</i>	Lubricantes con aditivos de protección contra la corrosión, oxidación y desgaste, más aditivos mejoradores del índice de viscosidad. Formulados para aplicación universal, específicamente dirigidos para uso en sistemas hidráulicos externos.
<i>HLP</i>	Lubricantes con aditivos de protección contra la corrosión, oxidación y desgaste. Formulados para aplicación universal, específicamente dirigidos para sistemas hidráulicos internos.
<i>HL</i>	Lubricantes con aditivos de protección contra la corrosión y oxidación. Recomendados para uso en sistemas hidráulicos internos de baja presión.

Fuente: (Mobil™)

2.1.5.3 Clasificación AGMA

La Sociedad Americana de Fabricantes de Engranajes o American Gear Manufacturing Association por sus siglas en inglés, nos indica la graduación de la viscosidad del aceite para engranajes, análogo a la clasificación SAE del aceite para motor. La Tabla 12 muestra la

clasificación que realiza AGMA del rango de viscosidades a diferentes temperaturas de aceites lubricantes.

Tabla 12 *Especificación standard AGMA*

AGMA N°	RANGO DE VISCOSIDAD		AGMA N°
	SUS	Centistokes	
1	180-240 @ 100°F	36.6-51.7 @ 38°C	-----
2	280-360 @ 100°F	60.4-77.7 @ 38°C	2 EP **
3	490-700 @ 100°F	105.7-151 @ 38°C	3 EP
4	700-1000 @ 100°F	151 - 216 @ 38°C	4 EP
5	80-105 @ 210°F	15.5-21.5 @ 99°C	5 EP
6	105-125 @ 210°F	21.5-26.1 @ 99°C	6 EP
7 COMP. *	125-150 @ 210°F	26.1-31.7 @ 99°C	7 EP
8 COMP.	150-190 @ 210°F	31.7-40.5 @ 99°C	8 EP
8A COMP.	190-250 @ 210°F	40.5-53.5 @ 99°C	8AEP
* Comp. Significa compuesto con 8 a 10% de aceites grasos o sintéticos para brindar Mayor lubricidad en casos donde el deslizamiento es extremo			
** "EP" significa extreme pressure (presión extrema).			

Fuente: (Pirro y Wessol, 2001).

2.1.5.4 Clasificación API

La certificación de lubricantes se inició en 1940 y hasta el momento, API sigue liderando el desarrollo de estándares para la industria petrolera, petroquímica y del gas natural. Con más de 400 empresas del sector como miembros, la organización tiene su sede en Washington DC, donde se dedica a investigar, desarrollar y supervisar las normativas de la industria. Además, desempeña un papel crucial en la educación de miles de profesionales y estudiantes del sector. Una de sus funciones destacadas es brindar asesoramiento legal a las industrias según el país en el que operen y también actúa como grupo de presión frente al gobierno estadounidense. API opera como un sistema abierto, permitiendo la incorporación de clasificaciones adicionales cuando sea necesario.

(<http://sd-1134035-h00002.ferozo.net/wp-content/uploads/2017/04/ACEA-API-ILSAC-JASO-Especi%CC%81ficos.pdf>)

API SN, lanzada al público en octubre de 2010, fortalece la normativa globalmente aceptada de conservación de recursos, lo que implica la utilización de aceites Energy Conserving (Fuel Economy) que promueven el ahorro de combustible.

API, al ampliar su clasificación con API SN+RC (Resource Conserving), ha extendido sus criterios para abarcar la protección de sistemas de emisiones, la seguridad en turbocompresores y la compatibilidad con motores que operan con etanol por encima de E-85.

API SP, introducido en el año 2020, refuerza la protección contra el fenómeno LSPI (pre-encendido a baja velocidad), protección contra el desgaste de la cadena de distribución, protección mejorada contra depósitos de alta temperatura para pistones y turbocompresores y con un control más estricto de lodos y barnices. API SP+RC coincide con ILSAC GF-6A al combinar el rendimiento API SP con un ahorro de combustible mejorado; además de, una mejor protección del sistema de control de emisiones y protección de motores que funcionan con combustible con etanol de hasta E85.

Uno de los aspectos más controversiales en cuanto al avance de la categorización API para motores de combustión interna a gasolina (“Sxx”), es la disminución en la cantidad de Fósforo y Zinc en las fórmulas de lubricantes es una práctica en curso. El Fósforo desempeña un papel fundamental como agente antidesgaste y se agrega a menudo en forma de alquilditiofosfato de zinc o ZDDP. Sin embargo, el uso creciente y obligatorio de convertidores catalíticos restringe su aplicación, ya que este compuesto puede afectar negativamente a estos dispositivos, incapacitándolos.

(<http://sd-1134035-h00002.ferozo.net/wp-content/uploads/2017/04/ACEA-API-ILSAC-JASO-Especi%CC%81ficos.pdf>, 2017)

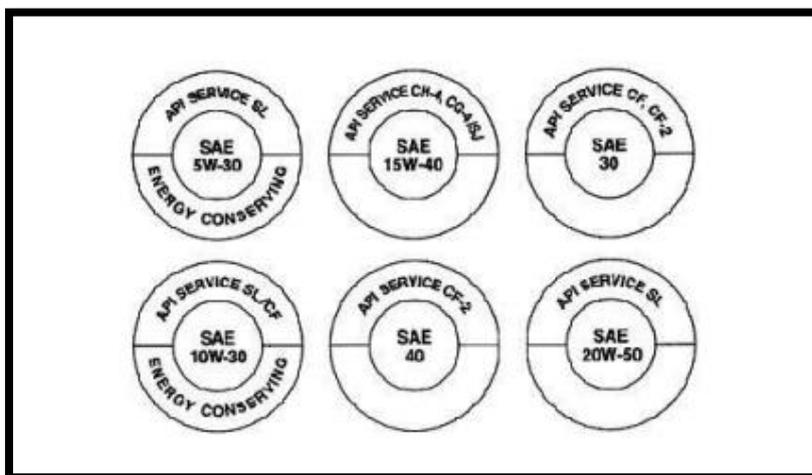
Por primera vez en su historia, en diciembre de 2016 API desdobló sus especificaciones para diésel pesado en dos:

- API CK-4: En línea con las especificaciones API previas, este lubricante mantiene una viscosidad HT/HS elevada, una característica que ha sido común en todos los lubricantes diésel hasta la fecha, incluido el API CJ-4.
- API FA-4: Destinado a los motores diésel pesados de última generación que pueden emplear lubricantes Fuel Economy, es decir, lubricantes con baja viscosidad HT/HS.

➤ Marcas API

Los aceites aprobados bajo los requisitos de los niveles de servicio vigentes y que han superados todos los Test oficiales API – SAE, tienen grabadas en sus etiquetas una imagen de 2 circunferencias concéntricas como símbolo de esta aprobación. Comúnmente este símbolo suele conocerse como la marca de la “Dona”, por su gran parecido al aperitivo americano, dentro del cual se indica el grado de viscosidad según SAE, el nivel de servicio o rendimiento y el posible grado de ahorro de combustible.

Figura 2 *Apice Service Symbol “Donas”*



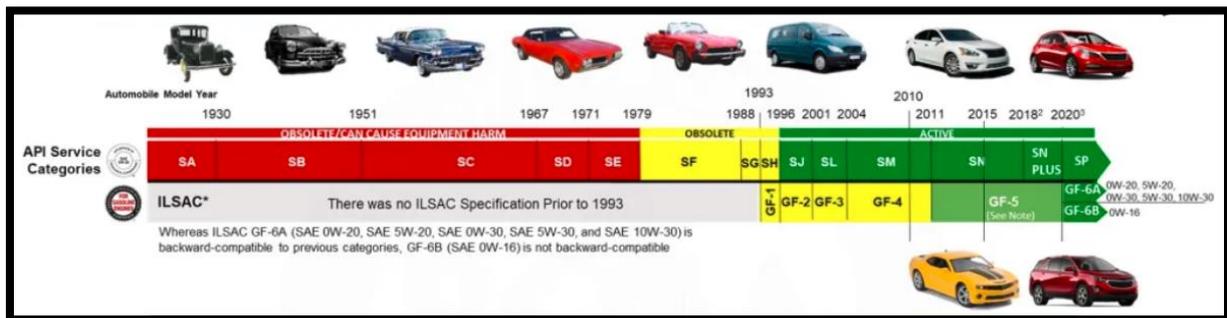
Fuente: (American Petroleum Institute)

Los aceites aprobados bajo las últimas categorías de aceite con certificación API y siempre cuando cumplan con los requisitos de ILSAC, llevan consigo una figura adicional en

sus etiquetas conocida como "Marca de certificación API" (API Certification Mark). Este nuevo símbolo es denominado como "Starburst" o "estrella extendida".

El sistema de requisitos de aceite de la serie ILSAC GF es un componente del sistema API que es sinónimo de garantía de calidad de aceites americanos (EOLCS-Engine Oil Licensing and Certification System updated).

Figura 3 ILSAC Symbol (Starburst)



Fuente: (<https://pqia.org/resource-center/>)

Los sistemas API - ILSAC están diseñados para cumplir con los requisitos de los aceites utilizados en los motores de vehículos estadounidenses y japoneses. Los requisitos de los fabricantes de automóviles europeos difieren ligeramente debido a las características de diseño de los motores europeos. A pesar de esto, la mayoría de los aceites de motor que ingresan al mercado europeo están etiquetados con las respectivas marcas de calidad AP.

Para establecer un sistema de clasificación según el nivel de servicio o rendimiento del lubricante en uso, la American Petroleum Institute (API), ha diseñado una nomenclatura según el tipo de motor al que se le va a aplicar el lubricante. Es decir, para el uso de lubricantes en motores que funcionan a través del ciclo de Otto o a gasolina se estableció la letra "S" de Spark (chispa en inglés) para relacionar con el principio de ignición por chispa que se utiliza en este tipo de motores, seguida de las letras "A" hasta la "P" para representar la evolución en orden alfabético de los grados de clasificación que se han desarrollado en forma sucesiva, siendo mayores los requerimientos por calidad a medida que progresa la letra del alfabeto. (

1134035-h00002.ferozo.net/wp-content/uploads/2017/04/ACEA-API-ILSAC-JASO-Especi%CC%81ficos.pdf, 2017)

En cuanto al empleo de lubricantes para motores operador mediante el ciclo del diésel, la nomenclatura utiliza la letra "C" de la palabra inglesa Compression, esto debido que estos motores se activan mediante la compresión y no por una chispa. A la letra C, le acompaña una letra en serie alfabética que representa la evolución del nivel de calidad.

Tabla 13 *Desarrollo y vigencia de las clasificaciones API*

Desarrollo y Vigencia de las Clasificaciones API							
Motores a Gasolina				Motores a Diesel			
Categoría	Año Lanzado	Duración	Vigencia	Categoría	Año Lanzado	Duración	Vigencia
SA	1900	30 años	Obsoleto	CA	1900	30 años	Obsoleto
SB	1930	34 años	Obsoleto	CB	1930	25 años	Obsoleto
SC	1964	4 años	Obsoleto	CC	1955	24 años	Obsoleto
SD	1968	4 años	Obsoleto	CD	1979	9 años	Obsoleto
SE	1972	8 años	Obsoleto	CE	1988	3 años	Obsoleto
SF	1980	9 años	Obsoleto	CF	1991	2 años	Obsoleto
SG	1989	6 años	Obsoleto	CF-4	1993	2 años	Obsoleto
SH	1992	2 años	Obsoleto	CG-4	1995	4 años	Obsoleto
SJ	1997	4 años	Obsoleto	CH-4	1999	Actual	Vigente
SL	2001	4 años	Vigente	CI-4	2002	Actual	Vigente
SM	2005	4 años	Vigente	CJ-4	2005	Actual	Vigente
SN	2010	10 años	Vigente	CK-4	2017	Actual	Vigente
SP	2020	Actual	Vigente	FA-4*	2017	Actual	Vigente

* Aceites de baja viscosidad y bajo HTHS para ciertos motores a partir del 2017
[Widman International SRL](http://www.widman.biz) www.widman.biz

Fuente (Rudnick, 2009).

El API también clasifica los lubricantes aplicados en engranajes con las letras GL (*Gear lubricant*) que son aceites para transmisión y diferenciales, como se muestra en la Tabla 14 .

Tabla 14 Clasificación de servicio API para engranajes

CLASIFICACIÓN	TIPO DE SERVICIO	CARACTERÍSTICAS
GL-1	Servicio poco severo bajo condiciones normales. Engranajes cilíndricos y cónicos con cargas ligeras y uniformes (transmisiones, diferenciales, tornillos sin fin). Obsoleto	Aceite mineral sin aditivos EP. Pueden tener antioxidantes y antiespuma.
GL-2	Condiciones severas de carga. Engranajes de tornillo sin fin y corona cuando no es suficiente GL-1. Obsoleto	Sin aditivos EP. Contiene aditivos de antidesgaste o de densidad.
GL-3	Condiciones severas de cargas. Cajas de cambio manuales y diferenciales con engranajes cónicos. Obsoleto	Poca cantidad de aditivos EP. Con aditivos antidesgaste.
GL-4	Diferenciales con engranajes cónicos espirales e hipoides (transmisiones manuales sincronizadas, diferenciales con engranajes hipoides y pequeños ejes). (Sustituye a GL-1, GL-2 y GL-3)	Prestaciones EP medias. Satisfacen la norma MIL-L-2105.
GL-5	Para condiciones muy severas y cargas variables. Diferenciales con engranajes hipoides y grandes ejes. No cambios sincronizados (no suple a GL-4)	Extrema presión (prestaciones EP elevadas). Satisfacen norma: MIL-L-2105-D.
GL-6	Diferenciales hipoides con grandes distancias entre ejes de la corona y del piñón. Obsoleto	Cumplen la norma FORD ESW M2 C.105 A.
MT-1	Cajas de cambio manual no sincronizadas que trabajen con servicio muy severo. (Autobuses y camiones de servicio pesado). Brindan protección contra la combinación de degradación térmica, desgaste de los componentes y deterioro del sello de aceite, algo que no proporcionan los lubricantes que cumplen únicamente con los requisitos de API GL-4 y API GL-5. Menor oxidación y mayor vida útil que un GL-4 o GL-5.	No cubiertas por lubricantes que cumplen GL-1 al GL-5. Mejor estabilidad térmica y mayor vida útil.

Fuente: (Rudnick, 2009)

➤ Clasificación de bases lubricantes por API 1509

Casi todos los lubricantes utilizados actualmente en las plantas comenzaron como una base lubricante, también conocida como aceite base, el Instituto Americano del Petróleo (API, por sus siglas en inglés) ha clasificado las bases lubricantes en cinco categorías (API 1509, Apéndice E). (NORIA Latin America, 2022)

Los primeros tres grupos son refinados a partir del petróleo crudo. Los aceites base del Grupo IV son completamente sintéticos, siendo representados por las polialfaolefinas. Por otro lado, el Grupo V abarca todos los demás tipos de aceites base que no están categorizados en los Grupos I a IV. Esto incluye tanto a los aceites minerales nafténicos como a otros, y es independiente de su origen, ya sea sintético o no. Inicialmente, antes de la incorporación de aditivos, los aceites lubricantes se originan como uno de los componentes pertenecientes a estos cinco grupos API. Ver Tabla 15

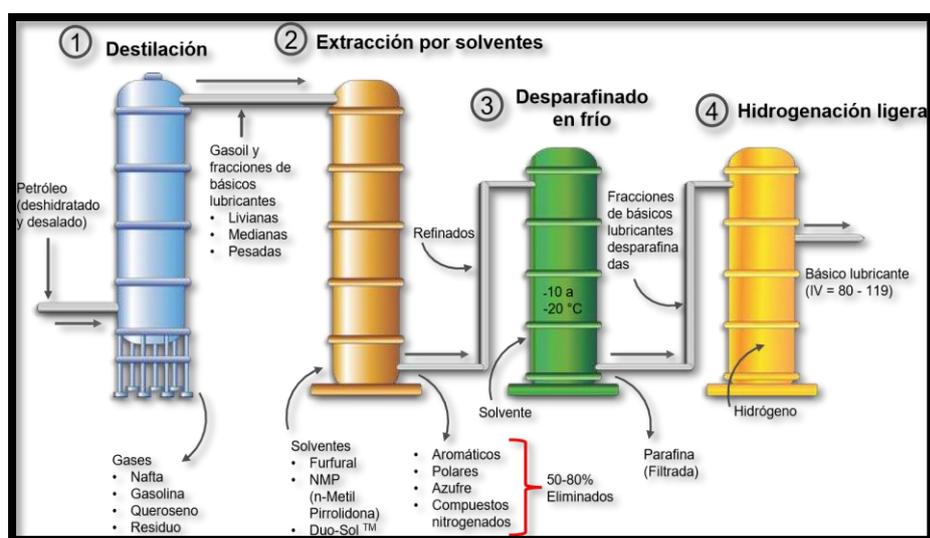
Tabla 15 Categorías de bases lubricantes API

Categoría de básicos lubricantes del API					
Mineral	Categoría de básicos lubricantes	Azufre (%)		Saturados (%)	Índice de viscosidad
	Grupo I (refinado por solventes)	>0.03	y/o	<90	80 a 119
	Grupo II (hidrotratado)	<0.03	y	>90	80 a 119
	Grupo III* (hidrofraccionado)	<0.03	y	>90	≥120
	Grupo IV (PAO)	Lubricante sintético PAO			
Grupo V (todos los demás)	Básicos nafténicos, varios ésteres sintéticos, polialquilen glicol (PAG), ésteres fosfatados y otros no incluidos en los grupos I, II, III o IV				

Fuente: (NORIA Latin America, 2022)

Grupo I

Los aceites base clasificados en el Grupo I poseen menos del 90 por ciento de componentes saturados, más del 0.03 por ciento de contenido de azufre, y un índice de viscosidad que oscila entre 80 y 120. El rango de temperatura de aplicación para estos aceites abarca desde 0 °C hasta 65 °C. La refinación se realiza mediante solventes, siendo este el proceso de refinación más sencillo en la industria de lubricantes. Es por ello por lo que son los aceites base más baratos del mercado. (NORIA Latin America, 2022)

Figura 4 Proceso de refinación de básicos Grupo I

Fuente: (NORIA Latin America, 2022)

Grupo II

Las bases lubricantes pertenecientes al Grupo II exhiben una saturación superior al 90 por ciento, un contenido de azufre inferior al 0.03 por ciento y un índice de viscosidad que varía entre 80 y 120. Con frecuencia, se producen mediante hidrot ratamiento ligero, un proceso más complejo en comparación con el utilizado para las bases del Grupo I. La distinción principal radica en que las moléculas de hidrocarburos en estos aceites muestran una mayor saturación, lo que resulta en propiedades antioxidantes mejoradas. Estos aceites también presentan un color más claro y tienen un costo superior en comparación con las bases del Grupo I. No obstante, los aceites base del Grupo II están ganando popularidad en el mercado actual y su precio es muy similar al de las bases del Grupo I.

Grupo III

Los aceites base pertenecientes al Grupo III poseen más del 90 por ciento de componentes saturados, un contenido de azufre inferior al 0.03 por ciento y exhiben un índice de viscosidad superior a 120. Estos aceites experimentan una refinación más extensa en comparación con los aceites base del Grupo II y suelen someterse a un proceso de hidrot ratamiento más riguroso, que implica mayores niveles de presión y temperatura. Este procedimiento prolongado tiene como objetivo obtener un aceite base más puro. Aunque derivan del petróleo crudo, a veces se les describe como hidrocarburos sintetizados. Al igual que los aceites base del Grupo II, estos aceites también son cada vez más frecuentes.

Grupo IV

Los aceites base clasificados en el Grupo IV son polialfaolefinas (PAO). Estas bases lubricantes sintéticas se producen mediante un procedimiento conocido como síntesis. Presentan una amplia gama de temperatura y son altamente efectivas para aplicaciones en condiciones operativas extremas y entornos de alta temperatura.

Grupo V

Las bases lubricantes pertenecientes al Grupo V abarcan todas las demás bases, como la silicona, éster fosfatado, polialquilenglicol (PAG), poliol éster, biolubricantes, entre otras. En ocasiones, se combinan estos aceites base con otras para mejorar las propiedades del lubricante. Un ejemplo sería la mezcla de un aceite de compresor basado en PAO con un poliol éster.

Los ésteres representan aceites base convencionales del Grupo V, empleados en diversas formulaciones de lubricantes para mejorar las características del aceite base ya existente. Los lubricantes con base en ésteres exhiben una mayor resistencia a temperaturas elevadas y ofrecen una capacidad de detergencia superior en comparación con los aceites base sintéticos de tipo PAO, contribuyendo así a prolongar la vida útil del lubricante.

2.1.5.5 Clasificación ACEA

ACEA es una entidad establecida en 1991 con el propósito de supervisar y regular, entre otras funciones, los estándares de rendimiento de los lubricantes empleados en los vehículos de fabricantes europeos. En 1996 CCMC se reorganizó en la Asociación Fabricantes de automóviles europeos = ACEA. La abreviatura "ACEA" proviene del nombre francés que se le dio cuando se fundó - "Association des Constructeurs Europeen des Automobiles ", que se traduce como Asociación de Fabricantes Europeos de Automóviles. ACEA se hizo cargo funciones del CCMC (Comisión de Constructores del Mercado Común), que cesó sus actividades en 1996 año. (<http://sd-1134035-h00002.ferozo.net/wp-content/uploads/2017/04/ACEA-API-ILSAC-JASO-Especi%CC%81ficos.pdf>)

ACEA creó un nuevo sistema de clasificación de aceite de motor que reemplazó el sistema CCMS. La evaluación de la calidad de los aceites comenzó a realizarse principalmente de acuerdo con los métodos de prueba europeos desarrollados por el Consejo Europeo de Coordinación de la Unión Europea.

Los actuales participantes de ACEA incluyen, entre aquellos que antes formaban parte de CCMC, a BMW, Grupo VAG (para automóviles y transporte), Volvo (para automóviles y transporte), Ford Europa (para automóviles y transporte), Jaguar, Land Rover, Toyota Europa, DAF, Renault (para automóviles y transporte), Fiat, Scania, Porsche, Daimler (para automóviles y transporte), PSA Peugeot-Citroën y MAN.

El sistema ACEA funciona desde 1996, desde la publicación de la documentación sobre requisitos de calidad para aceites europeos - ACEA European Oil Sequences (FL / 52/95). Este documento especifica las pruebas requeridas de laboratorio y de motor, indicadores de control de la calidad de los aceites que se utilizan en técnicas de mantenimiento de automóviles. En marzo de 1998 fue publicado una nueva edición de las especificaciones, que rigió en marzo de 1999. A partir de ese momento nuevamente los aceites recién producidos debían de etiquetarse con referencia a las nuevas especificaciones de 1998. (<http://sd-1134035-h00002.ferozo.net/wp-content/uploads/2017/04/ACEA-API-ILSAC-JASO-Especi%CC%81ficos.pdf>, 2017)

Los requisitos de los estándares europeos (ACEA) para la calidad de los aceites de motor son más estrictos que los estándares estadounidenses (API – ILSAC). En Europa, las exigencias para las condiciones de operación y el diseño de los motores difieren de los requisitos reglamentarios estadounidenses, sobre todo en:

- Un mayor grado de forzamiento y revoluciones máximas
- Menor masa de motores
- Mayor potencia específica
- Altas velocidades de desplazamiento permitidas
- Regímenes urbanos más severos

El sistema de clasificación europea ACEA anticipa pruebas de laboratorio y de motor, con la ayuda de las cuales se comprueban los indicadores de calidad para garantizar una

lubricación continua de los motores en todas las condiciones de funcionamiento y temperatura, teniendo en cuenta las peculiaridades de operación de los medios de transporte en Europa. Se presta especial atención a las propiedades detergentes de los aceites, ya que se cree que son una de las principales propiedades que garantizan un funcionamiento fiable y sin problemas de los motores.

La labor principal de ACEA se centra en supervisar la eficacia de los motores de cuatro tiempos. Un hito significativo para ACEA fue, sin duda, el pacto voluntario alcanzado entre ACEA y la Comunidad Europea para restringir la emisión de dióxido de carbono (CO₂), uno de los principales contribuyentes al efecto invernadero, por parte de los vehículos comercializados en Europa. Se conoce, que los automóviles producen, entre tantos otros subproductos de la combustión, Dióxido de Carbono (CO₂).

Tabla 16 *Factor contaminante del CO₂*

Gramos de CO₂ por kilómetro recorrido (gr C=2/km)	Grado de la contaminación
Más de 200	Excesivamente contaminante
200-160	Muy contaminante
140-160	Bastante contaminante
120-140	Contaminante
100-120	Escasamente contaminante
Menos de 100	Muy poco contaminante

Fuente: (EPA- Trends report)

El acuerdo antes mencionado, estaba dirigido a reducir a un promedio de 130 g/km de CO₂ para el 2015. Este objetivo representa no solo menos contaminación atmosférica, si no también ahorro en los recursos energéticos. (<http://sd-1134035-h00002.ferozo.net/wp-content/uploads/2017/04/ACEA-API-ILSAC-JASO-Especi%CC%81ficos.pdf>, 2017) ficos.pdf

Tener en cuenta el siguiente ejemplo:

- En el caso de que un vehículo emita alrededor de 150 g/Km de CO₂ (actualmente este valor es considerado casi ideal a lo largo de la vida útil de un automóvil, aunque en condiciones como tráfico pesado, ajustes deficientes en la carburación, filtros obstruidos, desgaste, etc., el promedio puede aumentar significativamente), al haber recorrido 100.000 km, liberará 15 toneladas de CO₂ en la atmósfera. Suponiendo que un árbol convencional requiere aproximadamente 40 años para absorber 300 kg de este gas, serían necesarios alrededor de 2.000 árboles para absorber el dióxido de carbono generado por un solo automóvil durante un año.

Seleccionar un lubricante específico para cada motor basándose en las clasificaciones ACEA resulta más precisa en comparación con las de API. ACEA realiza una subdivisión de sus recomendaciones no solo entre motores a gasolina y diésel, como lo hace API con sus designaciones S y C, sino que también categoriza los lubricantes según su compatibilidad con dispositivos anticontaminación (TWC y DPF) y su capacidad para mejorar la eficiencia en el ahorro de combustible.

- **La Clasificación ACEA**, segmenta los lubricantes en series dedicadas a tipos particulares de motores. Cada serie se identifica mediante una letra seguida de un número del 1 al 9, que denota, en orden ascendente, el nivel de rendimiento del aceite.

A: motores de ciclo Otto (Nafta/gasolina)

B: motores de ciclo Diésel ligero.

C: motores Nafta/Gasolina y Diésel ligero con sistemas de postratamiento de gases de escape (Filtros de Partículas, TWC, BlueTec, AdBlue u otro nombre que utilicen Urea)

E: motores de ciclo Diesel pesados.

Para una mejor interpretación por parte del usuario, las etiquetas de los envases de lubricante proporcionan la combinación de dos o más letras en el caso de los vehículos de

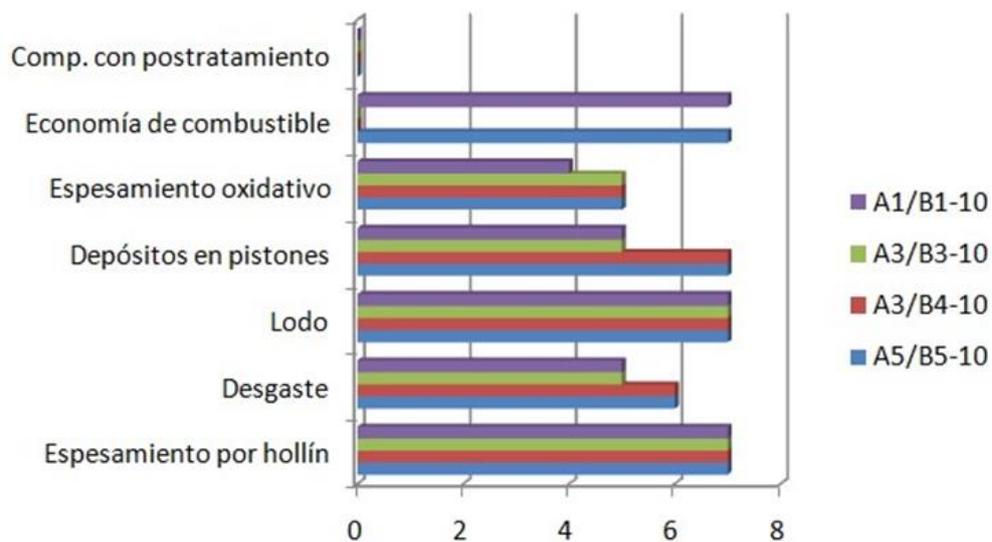
pasajeros y utilitarios (A, B y C) y de una letra en el caso de los vehículos pesados (E). (Alberto Muller, Motul). Las letras A*/B* hacen nos indican que el lubricante será empleado en vehículos tanto a gasolina como diésel de servicio ligero pero que no posean sistemas de postratamiento de los gases de escape o catalizadores; mientras que los ACEA C*, en vehículos con sistemas de postratamiento o catalizados.

Tabla 17 Niveles ACEA: Aceite motor (gasolina y diesel ligeros)

Nivel ACEA	Año de revisión	Características	Grado SAE	Aplicaciones
A1/B1	2010	Calidad estándar. Ahorrador de combustible.	0/5W-20/30	Utilitarios y pequeños vehículos urbanos. Pueden no ser aptos para algunos motores.
A3/B3	2010	Calidad estándar. Sin requisitos de ahorro de combustible.	10/15/20W-30/40/50	Motores de gasolina de bajas prestaciones y diesel con inyección indirecta.
A3/B4	2010	Nivel alto de calidad y prestaciones. Aceites sintéticos y semisintéticos.	0/5/10W-20/30/40	Todo tipo de motorizaciones de altas prestaciones y largos periodos de cambio del aceite, gasolina y diesel con inyección directa.
A5/B5	2010	Nivel más alto de calidad y prestaciones. Aceites sintéticos economizadores de combustible.	0/5W-20/30	Vehículos de altas prestaciones y largos periodos de cambio de aceite, gasolina y diesel con inyección directa. Estos lubricantes pueden ser no aptos para algunos motores.
C1	2010	Nivel muy alto de calidad. Bajo contenido en cenizas y ahorradores de combustible.	0/5W-20/30	Compatible con sistemas de postratamiento y filtros de partículas (DPF, FAP, CRT, CAT). Pueden ser no aptos para motores que requieren de alta viscosidad. (Preconizado por Ford)
C2	2010	Nivel muy alto de calidad. Bajo contenido en cenizas y ahorradores de combustible.	5/10/15W-30/40	Compatible con sistemas de postratamiento y filtros de partículas (DPF, FAP, CRT, TWC, CAT). Pueden ser no aptos para algunos motores. (Preconizado por Peugeot-Citröen)
C3	2010	Nivel muy alto de calidad. Bajo contenido en cenizas y ahorradores de combustible.	0/5/10W-20/30/40	Compatible con sistemas de postratamiento y filtros de partículas (DPF/FAP/CRT). Apto para todo tipo de motor.
C4	2010	Nivel muy alto de calidad. Bajo contenido en cenizas y ahorradores de combustible.	0/5W-20/30	Compatible con sistemas de postratamiento y filtros de partículas (EGR/DPF/FAP/CRT/CAT). Apto para todo tipo de motor. (Preconizado por Renault)

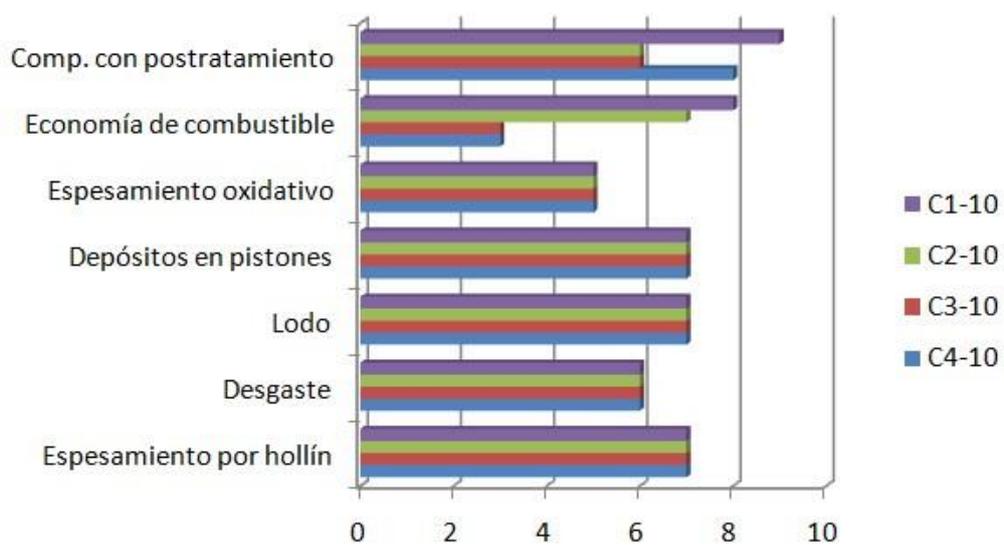
Fuente: (Autotaller S.A) (<http://neumaticosylubricantesonline.com/blog/calidades-acea-api-aceites-lubricantes/>) (Norierga Cordova, & Simbaña Guallimba,, 2018)

Figura 5 Niveles de desempeño ACEA 2010 (motores ligeros sin sistema de posttratamiento)



Fuente: (Autotaller S.A) (<http://docplayer.es/67741320-Anexo-v-lubricantes-especificaciones-y-normativa.html>)

Figura 6 Niveles de desempeño ACEA 2010 (Motores ligeros con sistemas de posttratamiento)

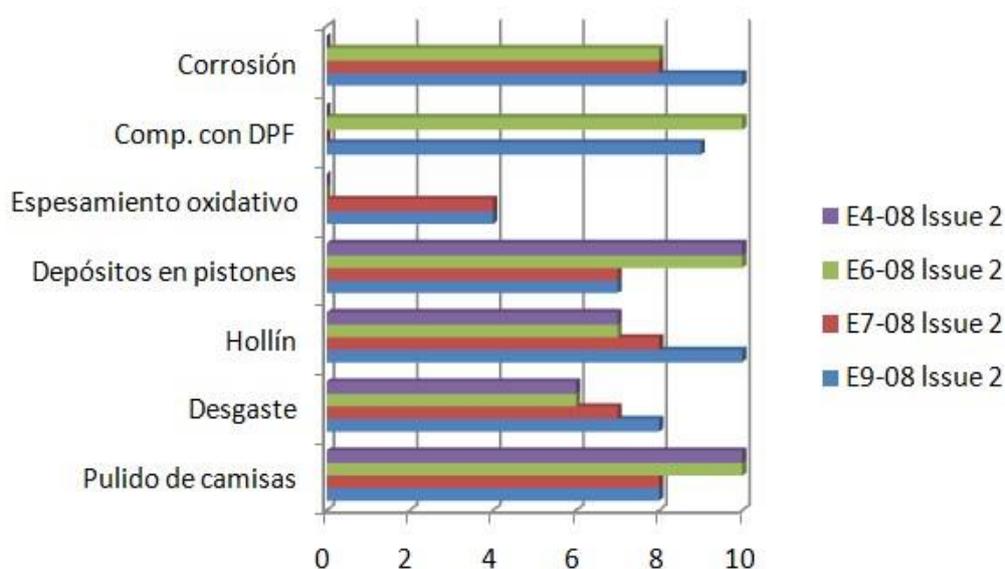


Fuente: (Autotaller S.A) (<http://docplayer.es/67741320-Anexo-v-lubricantes-especificaciones-y-normativa.html>)

Tabla 18 Niveles ACEA para aceite motor diésel de servicio pesado

Nivel ACEA	Año de revisión	Características	Grado SAE	Aplicaciones
E4 num2	2010	Lubricante de desempeño ultra-alto. Aceite sumamente estable que mantiene su grado de viscosidad. Potencian la economía del combustible, proveen una mejor limpieza del pistón, mejores propiedades anti-desgaste y mejor control del hollín que los E3.	10W-40	Motores diésel de servicio pesado de alta potencia bajo condiciones de trabajo muy severas que cumplen las normativas Euro I, Euro II, Euro III y Euro IV. Apropiado para motores sin filtro de partículas, algunos motores equipados con EGR y algunos equipados con SCR para reducción de NOx. Permiten un alargamiento considerable de los periodos de drenaje siguiendo las recomendaciones del constructor.
E6 num2	2010	Lubricante muy estable para permanecer con el grado SAE. Proveen excelente control de la limpieza de los pistones, desgaste, manejo del hollín, y estabilidad del lubricante. Lubricante con niveles de cenizas sulfatadas, fósforo y azufre bajos (Low SAPS).	10W-40	Motores diésel de servicio pesado de altas prestaciones bajo condiciones de trabajo extremadamente exigentes que cumplen las normas Euro I, Euro II, Euro III y Euro IV. Apropiado para motores con EGR con o sin filtro de partículas (fuertemente recomendado para motores con filtro de partículas DPF) y para motores equipados con SCR. Para uso en combustibles diésel de bajo contenido en azufre (≤ 50 ppm). Para periodos de drenaje extendidos significativamente siguiendo las recomendaciones del constructor.
E7 num2	2010	Lubricante muy estable para permanecer con el grado SAE. Proveen efectivo control de la limpieza de los pistones, del pulido de las camisas, y estabilidad del lubricante, excelente control del desgaste y los depósitos del turbocargador, manejo del hollín. Contiene muchos elementos de la especificación API CI-4.	5/10/15W-40	Motores diésel de alta potencia bajo condiciones de trabajo muy severas que cumplen con las normas Euro I, Euro II, Euro III y Euro IV. Apropiado para motores sin filtro de partículas y para la mayoría de los motores con EGR y SCR. Para periodos de drenaje extendidos significativamente siguiendo las recomendaciones del constructor.
E9 num2	2010	Lubricantes con niveles de cenizas sulfatadas, fósforo y azufre bajos (Low SAPS). Contiene muchos elementos de la especificación API CJ-4.	5/10/15W-40/30	Motores con sistema de post-tratamiento o mantenimiento posterior DPF, EGR y/o SCR, en combinación con combustible de bajo contenido de azufre. Periodos de drenaje prolongados. Para motores Euro VI.

Fuente: (Autotaller S.A). (<http://docplayer.es/67741320-Anexo-v-lubricantes-especificaciones-y-normativa.html>)

Figura 7 Niveles de desempeño ACEA 2010 (Diésel pesados)

Fuente: (Autotaller S.A).

Desafortunadamente, no es posible indicar en los envases de los lubricantes, el año de la normativa ACEA que cumple dicho lubricante.

La descripción general de cada clasificación ACEA, se muestra en la Tabla 19.

Tabla 19 Clasificación ACEA

ACEA A1/B1 y A5/B5	ACEA A3/B3 y A3/B4
<p>✓ Se encuentra en la categoría de lubricantes Fuel Economy, caracterizados por tener HT/HS baja. Estos lubricantes incluyen aditivos antidesgaste, como zinc y fósforo, y cuentan con altos niveles de reserva alcalina (TBN), clasificados como Full SAPS (Sulphated Ashes, Phosphor, Sulphur), Estas características les</p>	<p>✓ Estos lubricantes, independientemente de su clasificación de viscosidad SAE, no pertenecen a la categoría de Fuel Economy. Se caracterizan por tener aditivos antidesgaste y una alta reserva alcalina (Full SAPS), lo que los hace adecuados para su aplicación en condiciones donde se utilice</p>

<p>permiten operar en motores donde no siempre es posible utilizar combustibles Premium o de bajo contenido de azufre, como podría ser el caso de vehículos utilitarios en zonas remotas.</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Su reducida viscosidad HTHS posibilita el ahorro de combustible, aunque su implementación está limitada a motores específicamente diseñados para su uso, como aquellos de Ford Europa, Land Rover, Jaguar, así como en vehículos asiáticos de marcas como Honda, Toyota y Subaru, excluyendo aquellos con motorizaciones de muy alta potencia. También son adecuados para ciertos motores de Renault y del Grupo PSA. ✓ Se recomienda evitar la aplicación de estos lubricantes en motores de origen alemán, que generalmente están diseñados para utilizar aceites No Fuel Economy ya que se aceleraría el desgaste del motor y por lo tanto la vida útil del mismo. 	<p>combustible con un contenido moderado de azufre.</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Esta clasificación ACEA es adecuada para todo tipo de motores, aunque no proporciona eficiencia en el ahorro de combustible. ✓ Debido a la cantidad de aditivos que contienen, estos lubricantes no son adecuados para su uso con sistemas de tratamiento posterior de gases de escape, ya sea con catalizadores de tres vías (TWC) o con filtros de partículas diésel (DPF).
--	--

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 20 Clasificación ACEA para motores

ACEA C1	ACEA C2	ACEA C3
Estos lubricantes poseen una baja viscosidad HT/HS (2,6 mPa.s) y el contenido más reducido de aditivos antidesgaste y reserva alcalina (Low SAPS). Su aplicación está limitada a motores específicamente diseñados para estos lubricantes, siempre que se utilicen con combustibles exclusivamente de la última categoría Euro.	Son lubricantes con viscosidad HT/HS reducida, pero con una cantidad moderada de aditivos (Mid SAPS). Se recomienda su uso únicamente en motores diseñados para operar con películas de aceite altamente deformables, manteniendo un nivel medio de aditivos antidesgaste. Estos lubricantes son apropiados para vehículos de marcas como Peugeot, Citroën y Fiat, a excepción de los motores de fabricantes alemanes.	Estos lubricantes cuentan con un nivel moderado de aditivos (Mid SAPS) y presentan una viscosidad HT/HS elevada. Son compatibles con sistemas de tratamiento posterior de gases de escape tanto en motores a gasolina como diésel. Por lo general, este estándar ACEA se aconseja especialmente para motores de tecnología alemana, como Mercedes-Benz, BMW, VW, Audi, entre otros.

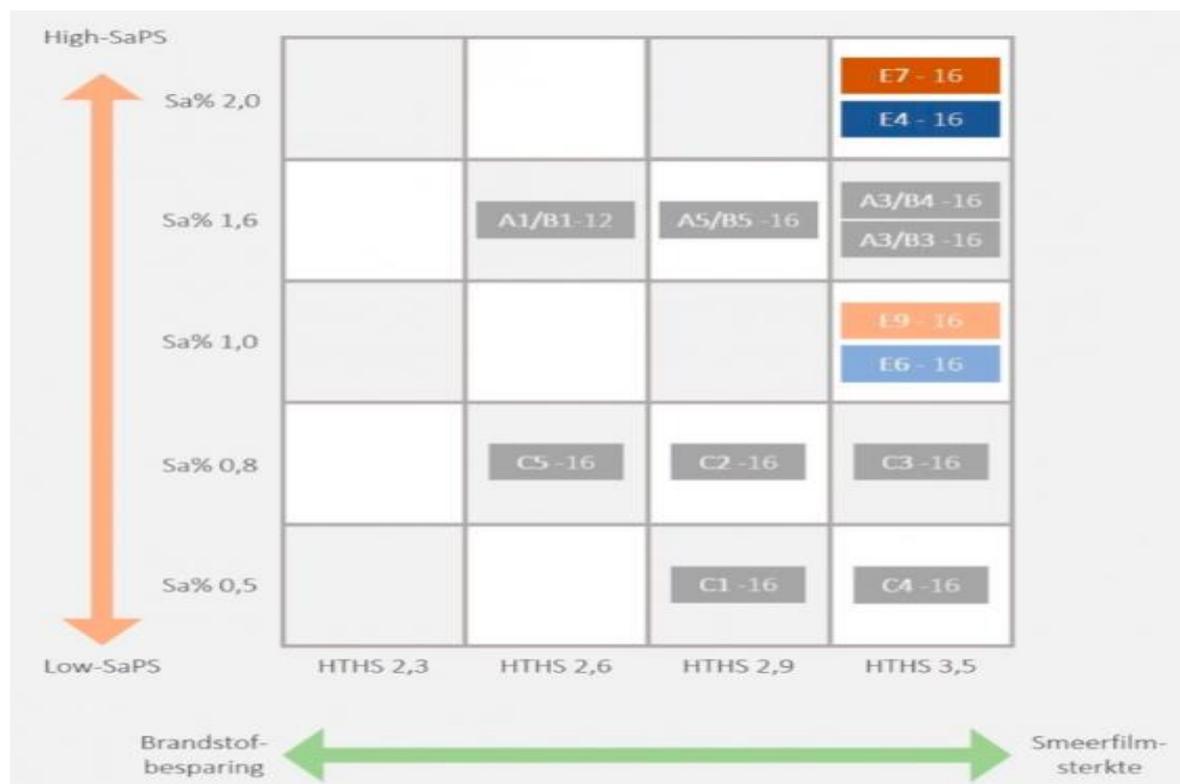
Fuente: Elaboración Propia

Los lubricantes ACEA C3 son compatibles con motorizaciones que usen aceites Fuel Economy al igual que ACEA A3/B3 y ACEA A3/B4 lo son con ACEA A1/B1 y ACEA A5/B5.

La ventaja de las normativas ACEA se manifiesta claramente al seleccionar lubricantes, independientemente de la viscosidad recomendada. La clasificación de los lubricantes en categorías como Fuel Economy, con alto, medio o bajo contenido de aditivos, facilita la

elección del lubricante apropiado según la disponibilidad de combustible y las condiciones ambientales, como entornos polvorientos donde se requiere una mayor protección antidesgaste debido a una mayor presencia abrasiva. También permite seleccionar lubricantes para motores más antiguos que necesiten una protección antidesgaste adicional debido a su diseño más antiguo.

Tabla 21: Relación %Cenizas sulfatadas y viscosidad HT/HS, según clasificación ACEA



Fuente: (<https://www.denhartogbv.com/technischedatabase/acea-e4/>)

Los ensayos de la Asociación de Constructores Europeos de Automóviles (ACEA) se basan en pruebas de laboratorio y de dinamómetros. Algunas de estas pruebas son iguales a las usadas por el API, otras no. Los parámetros ensayados son:

- Protección contra el desgaste.
- Limpieza del motor.
- Resistencia a la oxidación.
- Resistencia al aumento de la viscosidad (debido al espesamiento por hollín).
- Estabilidad de corte (resistencia del aceite ante altos esfuerzos mecánicos).

- Viscosidad a alta temperatura y alto esfuerzo de corte.
- Compatibilidad con elastómeros.
- Tendencia a la formación de espumas.

2.2 Aditivos

Los aditivos, como su denominación sugieren, son compuestos químicos añadidos al aceite base para mejorar las especificaciones técnicas de los lubricantes. Adicionalmente, proporcionan propiedades que fortalecen las ya presentes y, en algunos casos, estabilizan otras características. Además, reducen los cambios indeseables en el lubricante. (Juan Diaz Sepulveda, 2006). En resumen, los aditivos añadidos a los aceites contribuyen a mejorar la calidad técnica de los lubricantes. En la actualidad existen una infinidad de aditivos para mejorar las características de los aceites lubricantes, estos se pueden clasificar de la siguiente manera: (Juan Diaz Sepulveda, 2006)

- a) Mejorador del índice de viscosidad (IV):** Los mejoradores del índice de viscosidad, son una clase de aditivos que mejoran las características de la relación viscosidad-temperatura del lubricante. s lubricantes, estos se pueden clasificar de la siguiente manera: (Juan Diaz Sepulveda, 2006)
- b) Aditivos Presión extrema (EP):** Interactúa con la superficie metálica para crear una película de lubricante que puede manejar cargas superiores, en comparación con los aditivos que se centran en la resistencia de la película fluida.
- c) Aditivos antiespuma:** Fomentan la rápida desintegración de las burbujas de espuma al debilitar las películas de aceite entre ellas.
- d) Aditivos inhibidores de oxidación:** Disrupten la secuencia de oxidación para prevenir o reducir la descomposición de las moléculas de aceite relacionada con la acción del oxígeno.

- e) **Aditivos reductores de fricción o antidesgaste:** Generan una capa adherente a las superficies metálicas, disminuyendo el contacto directo entre metales y reduciendo tanto el desgaste como la fricción.
- f) **Aditivos detergentes:** Se incorporan a los lubricantes debido a la presencia de diversos factores que contribuyen al deterioro del aceite, así como a la formación de depósitos perjudiciales.
- g) **Aditivos antioxidantes:** El aditivo cubre las superficies de metal, desplaza el agua, protegiendo como una fina película al metal, de la acción del líquido. (Juan Diaz Sepulveda, 2006)
- h) **Aditivos demulsificantes:** Habilita al agua para escurrirse en gotas con más facilidad, mientras mejor sea la demulsibilidad del lubricante más rápidamente se separará del agua cuando ambos se encuentren mezclados. (Juan Diaz Sepulveda, 2006).
- i) **Aditivos depresores del Punto de Fluencia:** Los depresores del punto de fluencia previenen la congelación del aceite a bajas temperaturas.
- j) **Aditivos dispersantes:** Estos aditivos estabilizan los residuos contaminantes durante la vida del lubricante, como las partículas de hollín de los motores diésel o los lodos de la gasolina. s lubricantes, estos se pueden clasificar de la siguiente manera: (Juan Diaz Sepulveda, 2006)

Los aditivos lubricantes comprenden compuestos orgánicos o inorgánicos que se encuentran disueltos o suspendidos. a veces en forma de sólidos en el aceite. Su proporción típicamente varía entre el 0.1 y el 30 por ciento del volumen total del aceite, dependiendo del tipo de maquinaria.

Los aditivos tienen tres funciones básicas:

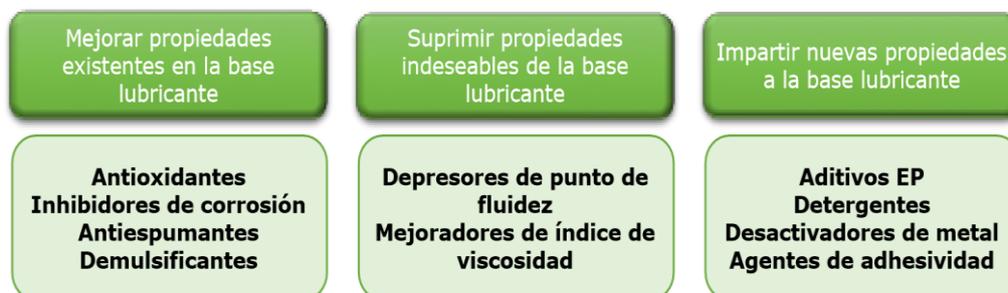
- Mejorar las propiedades inherentes del aceite base, como antioxidantes, inhibidores de corrosión, agentes antiespumantes y agentes demulsificantes.

- Eliminar las propiedades no deseadas del aceite base mediante la aplicación de depresores del punto de fluidez y mejoradores del índice de viscosidad (IV).
- Añadir características suplementarias a los aceites base mediante la introducción de aditivos de presión extrema (EP), detergentes, desactivadores de metales y agentes adhesivos.

2.2.1 Aditivos polares¹

Se define como la afinidad direccional innata de las moléculas de los aditivos hacia otros materiales polares que entran en contacto con el aceite. En términos sencillos, se refiere a cualquier sustancia que se disuelva en agua o que pueda disolver agua. Ejemplos de materiales polares incluyen una esponja, una superficie de metal, tierra, agua y pulpa de madera. En contraste, aquellos que no son polares abarcan la cera, el teflón, el aceite base mineral, la espalda de un pato y los repelentes de agua. (<https://noria.mx/aditivos-para-el-aceite-guia-practica/>, 2020)

Figura 8 *Tres funciones de los aditivos lubricantes*



Fuente: (NORIA Latin America)

Mecanismos polares

Existen mecanismos polares destacados que merecen atención, como la cobertura de partículas, la emulsificación del agua y la protección de metales. En el caso de la cobertura de partículas, el aditivo se adhiere a la superficie de la partícula y la rodea. Entre estos aditivos se encuentran desactivadores de metales, detergentes y dispersantes. Su función principal es

¹ <https://noria.mx/aditivos-para-el-aceite-guia-practica/>

dispersar las partículas de hollín para prevenir su aglutinación, sedimentación y la formación de depósitos, especialmente en condiciones de bajas o moderadas temperaturas.

Normalmente, este fenómeno se observa en motores de combustión interna. Es fundamental abordar y corregir cualquier problema detectado mediante un conjunto apropiado de pruebas de análisis de aceite tan pronto como sea identificado.

La emulsificación del agua se produce cuando la porción polar del aditivo se une a las diminutas gotas de humedad. Estos aditivos son comúnmente conocidos como agentes demulsificantes. Es esencial evaluar la cantidad de agua presente en la muestra analizada, y aunque resulta crucial eliminar el agua, también se hace necesario identificar la vía por la cual ingresó al sistema y aplicar un enfoque de análisis de causa raíz para comprender la falla. Además, se debe considerar el posible impacto en el conjunto de aditivos, lo que en términos de lubricación se denomina agotamiento de aditivos. Un informe de análisis de aceite bien elaborado puede determinar la integridad de los aditivos que aún permanecen en el lubricante.

El fenómeno de revestimiento de las superficies tiene lugar cuando los aditivos se adhieren a las superficies metálicas, cumpliendo así su función prevista. Estos aditivos se adhieren al interior del alojamiento, a los dientes de los engranajes, rodamientos, ejes, entre otros. Inhibidores de herrumbre, aditivos antidesgaste (AW), de extrema presión (EP), agentes de lubricidad e inhibidores de corrosión son ejemplos de aditivos que desempeñan este papel.

(<https://noria.mx/aditivos-para-el-aceite-guia-practica/>, 2020)

2.2.2 Tipos de aditivos lubricantes

Existen diversas categorías de aditivos químicos que se incorporan a los aceites base con el objetivo de mejorar sus características, eliminar aquellas que son indeseables y, en algunos casos, introducir nuevas propiedades.

Tabla 22 *Aditivos comunes empleados en la lubricación de maquinaria*

Máquina	Aditivos usados comúnmente	Porcentaje del volumen de aceite
Motores de combustión interna	Antioxidante, inhibidor de corrosión, detergente/dispersante, antidesgaste, antiespumante, mejorador de índice de viscosidad, depresores del punto de fluidez, modificadores de fricción	10 - 30%
Compresores, turbinas de vapor	Antioxidante, inhibidor de corrosión, demulsificante, antiespumante	0.5 - 5%
Engranajes tipo espiral, hipoidal, cónico	Antidesgaste, antioxidante, antiespumante, inhibidor de corrosión, extrema presión	1 - 10%
Engranajes tipo corona sinfin	Extrema presión, antioxidante, inhibidor de corrosión, ácidos grasos	3 - 10%
Sistemas hidráulicos	Antioxidante, antidesgaste, antiespumante, inhibidor de corrosión, depresores de punto de fluidez, mejorador de índice de viscosidad (algunas veces)	2 - 10%

Fuente: (NORIA Latin America)

Usualmente, los aditivos representan aproximadamente del 0.1 al 30 por ciento de la composición final del aceite lubricante, variando según el componente a lubricar.

Son sustancias químicas costosas que implican un proceso científico complejo. La selección de estos insumos es lo que distingue un aceite de transformador (dieléctrico) de un aceite para engranajes, de un aceite para corte o de un aceite para motor.

Existen numerosos aditivos para lubricantes, y se eligen en función de su capacidad para cumplir con su función prevista. La selección también considera su habilidad para integrarse eficientemente con los aceites base específicos, ser compatibles con otros aditivos presentes en la formulación y ofrecer una relación costo-efectividad.

Ciertos aditivos desempeñan su función dentro de la masa del aceite (por ejemplo, antioxidantes), mientras que otros llevan a cabo su labor en la superficie de los metales (por ejemplo, aditivos antidesgaste e inhibidores de oxidación). (<https://noria.mx/aditivos-para-el-aceite-guia-practica/>, 2020)

2.2.3 Aditivos lubricantes convencionales

Estos aditivos incluyen los siguientes tipos:

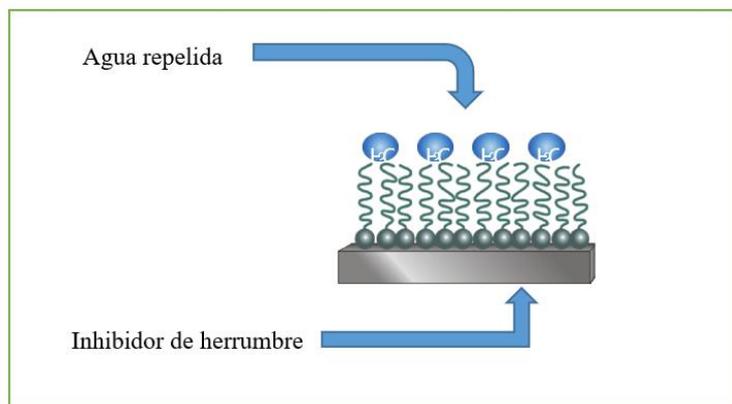
a) Antioxidantes

La oxidación implica el deterioro general de los componentes más susceptibles del aceite base debido a la exposición al oxígeno presente en el aire. Este proceso ocurre de manera continua a todas las temperaturas, pero se incrementa en condiciones elevadas de temperatura y en presencia de agua, partículas metálicas de desgaste y otros contaminantes. La oxidación conlleva a la formación de ácidos, que pueden causar corrosión, así como la generación de lodo, resultando en depósitos en las superficies y un aumento en la viscosidad. Los antioxidantes, conocidos como tales, se utilizan para extender la vida útil del aceite. (<https://noria.mx/aditivos-para-el-aceite-guia-practica/>, 2020)

b) Inhibidores de herrumbre y corrosión

Estos aditivos tienen la función de disminuir o eliminar la herrumbre y la corrosión al neutralizar los ácidos y crear una barrera química protectora que repele la humedad de las superficies metálicas. Algunos de estos inhibidores están formulados de manera específica para proteger determinados metales. Por lo tanto, un aceite puede contener diversos inhibidores de corrosión.

Figura 9 *Inhibidores de herrumbre o corrosión*



Fuente: (NORIA Latin America)

c) **Mejoradores del índice de viscosidad**

Son compuestos a base de polímeros de gran tamaño que, en cierta medida, impiden la disminución de la viscosidad del aceite a medida que la temperatura aumenta. Estos aditivos son comúnmente empleados al formular lubricantes multigrado para motores, como los SAE 0W-30 o SAE 5W-40.

Contribuyen mejorando el flujo del aceite a temperaturas gélidas, lo que conlleva a una disminución del desgaste y a un mayor ahorro de combustible. A pesar de sus beneficios, los mejoradores del índice de viscosidad presentan algunas desventajas. Dado que los aditivos son polímeros de gran tamaño (con alto peso molecular), poseen una gran tendencia a ser cortados. Asimismo, estos aditivos tienden a endurecer significativamente los engranajes.

La alteración del aditivo mejorador del índice de viscosidad puede ocasionar pérdidas significativas y permanentes de viscosidad, detectables a través del análisis de aceite. Otra causa de la disminución de la viscosidad se atribuye a las elevadas fuerzas de corte en la zona de carga de las superficies de fricción, como en los cojinetes. Se argumenta que el aditivo mejorador del índice de viscosidad pierde su forma u orientación uniforme, lo que resulta en una reducción de su capacidad para incrementar la viscosidad.

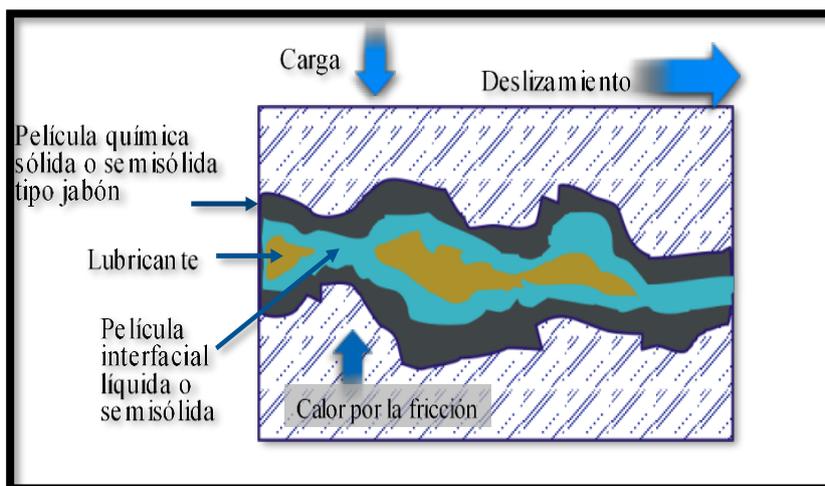
La viscosidad del aceite experimenta una disminución temporal cuando se encuentra en la región de carga, pero posteriormente recupera su viscosidad normal al salir de esa zona. Esta propiedad, de hecho, contribuye a la reducción del consumo de combustible. Existen varios tipos de mejoradores del índice de viscosidad, siendo los copolímeros de olefina los más comunes. Los mejoradores de índice de viscosidad de alta calidad son menos propensos a experimentar pérdidas permanentes de viscosidad debido al cizallamiento, en comparación con aquellos de menor costo y calidad inferior. (<https://noria.mx/aditivos-para-el-aceite-guia-practica/>, 2020)

d) Agentes antidesgaste (AW)

Se emplean comúnmente con el propósito de resguardar los elementos de la maquinaria de la erosión y la eliminación de metal en situaciones de película límite. Estos son aditivos polares que se adhieren a las superficies metálicas en contacto. Entran en una reacción química con las superficies metálicas cuando se produce fricción entre ellas en condiciones de película mixta y límite. Se activan mediante el calor generado por la fricción, dando lugar a la formación de una película que reduce al mínimo el desgaste. Además, contribuyen a la protección del aceite básico contra la degradación y evitan el desprendimiento metálico causado por ácidos corrosivos.

Estos aditivos se “consumen” al efectuar su función, después de lo cual aumentará el daño por desgaste adhesivo. Por lo general, son compuestos de fósforo, siendo los más comunes el dialquilditiofosfato de zinc (ZDDP). Existen diferentes versiones de ZDDP, algunas destinadas a aplicaciones hidráulicas y otras para las temperaturas más altas que se encuentran en los aceites de motor de combustión interna. El ZDDP también tiene algunas propiedades antioxidantes y de inhibición de corrosión. Además, se utilizan otros tipos de productos químicos a base de fósforo para la protección antidesgaste (p. Ej., el TCP o tricresil fosfato).

Figura 10 Agentes antidesgaste (AW)



Fuente: (NORIA Latin America)

e) **Aditivos de extrema presión (EP)**

Estos aditivos poseen una naturaleza química más activa en comparación con los aditivos antidesgaste. Experimentan una reacción química con las superficies metálicas, especialmente el hierro, generando una película protectora en la superficie. Esta película actúa como un sacrificio, impidiendo la adherencia de las rugosidades opuestas provocadas por el contacto metálico, conocido como desgaste adhesivo.

Son activados cuando se encuentran sometidos a elevadas cargas y altas temperaturas de contacto. Comúnmente, se emplean en aceites destinados para aplicaciones en engranajes, otorgándoles a dichos aceites un característico y exorbitante aroma a azufre. Debido a ello, éstos suelen estar formulados a base de azufre y fósforo. No es muy común encontrar formulaciones a base de Boro; sin embargo, ya muchos proveedores de lubricantes han mejorado las formulaciones adicionando a su alquimia este elemento diferenciador.

Pueden ser corrosivos para los metales amarillos, especialmente a temperaturas más altas (arriba de 60 °C), y por lo tanto no deben usarse en engranajes helicoidales o corona sinfín y aplicaciones similares donde se usan metales a base de cobre. Existen algunos aditivos EP a base de cloro, pero rara vez se usan debido a problemas de corrosión.

Los aditivos antidesgaste y de extrema presión pertenecen a una extensa categoría de compuestos químicos que desempeñan su papel al resguardar las superficies metálicas durante la lubricación límite. Esto lo logran al crear una película protectora o barrera sobre las superficies propensas al desgaste.

Ahora bien, si la película hidrodinámica o elastohidrodinámica persiste entre las superficies metálicas, no se dará lugar a la lubricación límite, y, por ende, no será necesario que los aditivos de lubricación límite desempeñen su función. Estos aditivos intervienen para resguardar las superficies de desgaste cuando la película de aceite se interrumpe y se produce

un contacto directo entre las rugosidades, especialmente en condiciones de elevadas cargas o temperaturas.

f) Detergentes

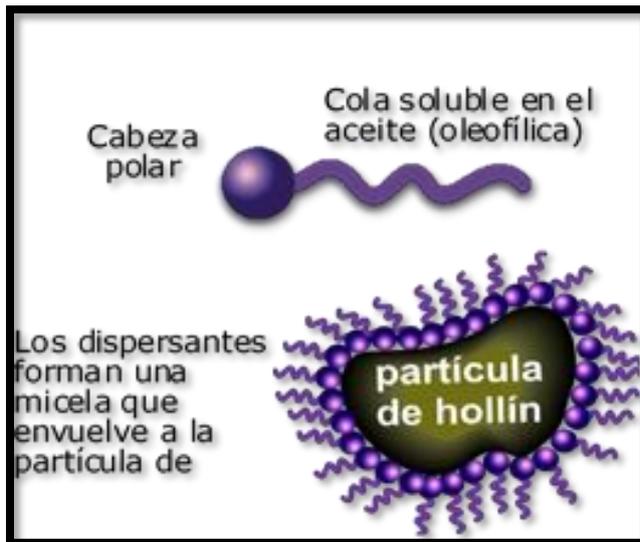
Desempeñan dos finalidades esenciales: contribuyen a que las superficies se mantengan libres de depósitos en las partes metálicas calientes y neutralizan los ácidos productos de la degradación del lubricante. Principalmente son empleados en aceites para motores y suelen poseer una naturaleza alcalina. Constituyen el cimiento de la reserva básica en los lubricantes de motor, mayormente conocida como el número base (BN, por sus siglas en inglés), que suelen ser compuestos a base de calcio y magnesio.

Uno de los posibles efectos adversos de estos aditivos, es que tienden a generar un residuo de cenizas cuando se quema el aceite, propiciando la creación de depósitos indeseados en mecanismos de inclementes temperaturas. En relación a ello (acerca de la presencia de cenizas) es que varios fabricantes de equipo original (OEM) están indicando el uso de aceites con bajo contenido de cenizas para dispositivos que operan en condiciones de alta temperatura. Por lo general, se emplea una combinación de aditivos detergente y dispersante en estos casos.

g) Dispersantes

Los agentes dispersantes son predominantes en los aceites de motor junto con detergentes, con el propósito de preservar la limpieza y prevenir la formación de depósitos en los motores. Su función principal es la de tener en suspensión, finamente las partículas de hollín en el aceite, los cuales provienen del proceso de combustión en los motores diésel. El Fin es mantener estos contaminantes suspendidos y evitar su aglomeración en el aceite, para así minimizar el daño y facilitar su eliminación durante un drenado de aceite. Por lo general, éstos son de naturaleza orgánica y sin ceniza (No Ash), lo que impide su detección fácil mediante análisis de aceite convencionales. (<https://noria.mx/aditivos-para-el-aceite-guia-practica/>, 2020)

Figura 11 *Dispersantes*



Fuente: (NORIA Latin America)

La mezcla de aditivos detergentes y dispersantes posibilita la neutralización de una mayor cantidad de compuestos ácidos y mantiene suspendidas más contaminantes particulados. En medida que estos aditivos llevan a cabo su labor de neutralizar ácidos y mantener en suspensión los contaminantes, llegará un punto en el que superarán su capacidad, lo que indicará la necesidad de realizar un cambio de aceite.

h) Antiespumantes

Posee una baja tensión interfacial, debilitando la capa externa de las burbujas de lubricante y facilitando la ruptura de las burbujas de espuma. Esto tiene un impacto indirecto en la degradación del aceite al disminuir la cantidad de roce entre el aire y el aceite. Algunos consisten en materiales de silicona insolubles en el aceite, es decir, no se disuelven, sino que se diseminan de manera fina en el aceite.

Por lo general, se necesitan cantidades muy pequeñas. Un aumento desmesurado de este aditivo puede lograr un efecto antagónico y favorecer a una formación de espuma superior, reteniendo aire que a la larga causará mayor oxidación en el lubricante.

i) Modificadores de fricción

Se emplean comúnmente en lubricantes de motor y ATF con el fin de cambiar las características de fricción entre los componentes de ambos equipos. En el caso de los motores, la atención se centra en la reducción de la fricción para mejorar el ahorro de combustible.

En las transmisiones, se busca mejorar la adherencia entre los componentes del embrague. Éstos pueden ser vistos como aditivos antidesgaste óptimos para cargas mínimas que se inactivan a temperaturas de roce elevadas. (<https://noria.mx/aditivos-para-el-aceite-guia-practica/>, 2020)

j) Depresores del punto de fluidez

Indica la temperatura más extrema a la que el aceite se mantendrá en estado líquido. En los aceites parafínicos minerales, se produce la formación de cristales de cera sólida a temperaturas gélidas. Estos cristales compactos generan una estructura en red que restringe el caudal del resto del aceite.

Los pertenecientes a esta categoría disminuyen las dimensiones de los cristales compactos presentes en el aceite y su interrelación mutua, posibilitando que el lubricante mantenga su fluidez incluso a temperaturas bajas.

k) Demulsificantes

Impiden la creación de una mezcla estable de aceite en agua o emulsión al alterar la tensión intersticial del aceite, facilitando así la unión del agua entre sí y su separación más eficiente del aceite. Esta propiedad resulta crucial para los lubricantes propensos al vapor o al agua, ya que contribuye a que el agua se libere, asiente y drene de manera efectiva en un depósito.

l) Emulsificantes

Se aplican en lubricantes para el mecanizado de metales, específicamente en fluidos resistentes al fuego basados en agua y aceite, para facilitar la formación de una emulsión estable entre ambos componentes. Este aditivo emulsificante puede compararse con un agente adherente que une el aceite y el agua, contrarrestando su tendencia natural a separarse debido a la tensión intersticial y las disparidades en la gravedad específica.

m) Biocidas

Frecuentemente, se incorporan biocidas a los lubricantes a base agua con el fin de gestionar el desarrollo de microorganismos.

n) Agentes de adhesividad

Los agentes de adhesión son sustancias fibrosas utilizadas en algunos lubricantes y grasas con el propósito de evitar que el aceite se separe de la superficie metálica durante el movimiento rotativo, las fuerzas centrípetas inversas o la acción de la gravedad. (<https://noria.mx/aditivos-para-el-aceite-guia-practica/>, 2020)

2.3 Tipos de Lubricantes sintéticos

Hay una amplia variedad de aceites sintéticos, uno diferente del otro en atributos específicos que los hacen adecuados para equipos y aplicaciones particulares.

- **Hidrocarburos sintetizados**

Los hidrocarburos empleados como aceites sintéticos incluyen polímeros de etileno, propileno y butileno, a veces extendiéndose a miembros de la serie con pesos moleculares que oscilan entre 250 y 50,000. Son elaborados mediante la combinación química de varios hidrocarburos de bajo peso molecular, dentro de este grupo, los más importantes son las polialfaolefinas, alquil bencenos y poliisobutilenos que son polímeros de una molécula original. (Juan Garcia Romero, 1997)

En cuanto a sus características físicas y químicas, los lubricantes sintéticos no presentan diferencias significativas con las fracciones de petróleo que tienen propiedades similares. Por lo general, muestran una menor estabilidad ante la oxidación y las altas temperaturas, especialmente aquellos obtenidos mediante la polimerización de olefinas. Un ejemplo destacado de un hidrocarburo térmicamente inestable es el poliisobutileno, que experimenta una descomposición apreciable a 175°C, especialmente en presencia de O₂. Aunque estos lubricantes se degradan y oxidan, transformándose en compuestos volátiles, sin dejar residuos cuando empleamos temperaturas muy elevadas, aunque deben reponerse con prontitud.

Los hidrocarburos sintéticos ofrecen la ventaja sobre sus equivalentes derivados del petróleo al estar relativamente libres de sustancias no hidrocarburos. Por lo tanto, muestran un color más claro y propiedades eléctricas superiores, al menos en las etapas iniciales. Han encontrado aplicaciones en áreas como aceites eléctricos para cables, lubricantes para altas temperaturas sin dejar residuos y diversas especialidades. Su introducción a gran escala en el mercado se ha producido principalmente en momentos de escasez de petróleo, como durante la Segunda Guerra Mundial en Alemania y en ciertas regiones del Pacífico.

- **Poliglicoles y compuestos afines**

Esta categoría abarca polietilenglicoles (óxidos de polietileno) y polipropilenglicoles (óxidos de propileno), junto con sus derivados en forma de éteres y ésteres. Además, incluye óxidos de polialquileno superiores, éteres poliglicídlicos y politioglicoles.

Los polietilenglicoles, polipropilenglicoles y sus copolímeros son solubles en agua, y esta propiedad se utiliza en la creación de lubricantes acuosos para cojinetes y juntas de goma, así como en líquidos para mejorar la liberación de piezas de moldes y fluidos hidráulicos no inflamables.

En el proceso de dar forma a piezas metálicas, estos lubricantes ofrecen la ventaja de ser eliminados mediante lavado con agua o incineración. Otros integrantes de este grupo no

son altamente solubles en agua, pero absorben algo más de agua que sus equivalentes derivados del petróleo. Varios poliésteres y óxidos muestran curvas de viscosidad-temperatura planas, con baja viscosidad a temperaturas por debajo de los puntos de congelación y puntos de solidificación reducidos.

Los ésteres y los compuestos alcoxi de los polímeros son especialmente interesantes en lo que respecta a fluencia a temperaturas bajas, (Juan Garcia Romero, 1997) Uno de los principales caracteres de los óxidos de polialquilenos es su capacidad para descomponerse en compuestos volátiles en condiciones oxidantes de alta temperatura. (<https://noria.mx/aditivos-para-el-aceite-guia-practica/>, 2020)

Esta característica los convierte en lubricantes beneficiosos para numerosas operaciones a altas temperaturas, donde es esencial que el lubricante no deje ningún residuo. Debido a su limitada resistencia a la oxidación y su baja receptividad a los inhibidores, se requiere el uso de porcentajes sustanciales de inhibidores cuando se busca una sólida resistencia a la oxidación en su aplicación.

- **Ésteres**

Los ésteres se generan mediante una reacción química entre un ácido orgánico y un alcohol. Cuando un ácido presenta dos grupos carboxilos, lo cual lo clasifica como diácido, el producto resultante de su reacción con un alcohol se conoce como diéster. En el caso de un alcohol que contiene más de un grupo hidroxilo, característico de los alcoholes, se le llama poliol. La sustancia resultante de la reacción de un ácido orgánico con un poliol se identifica como éster de poliol.

La mayoría de los lubricantes comúnmente empleados, que son del tipo éster, son diésteres derivados de glicoles o, con mayor frecuencia, diésteres que se originan a partir de ácidos dibásicos alifáticos y aromáticos. Además, se utilizan triésteres de ácido fosfórico. Los diésteres alifáticos se destacan por su curva de viscosidad plana y su excelente rendimiento a

bajas temperaturas, especialmente en los ésteres mixtos obtenidos de diversos ácidos dibásicos. Además, presentan una volatilidad significativamente inferior en comparación con las fracciones de petróleo de igual viscosidad.

Por combinación de ácidos carboxílicos aromáticos o alicíclicos y alcoholes, pueden prepararse ésteres de un índice de viscosidad muy bajo (Juan Garcia Romero, 1997)

La estabilidad de los ésteres frente a la oxidación es ligeramente inferior en comparación con la de los lubricantes de petróleo convencionales. No obstante, este aspecto puede corregirse de manera efectiva mediante el uso de buenos inhibidores, ya que los ésteres muestran una buena susceptibilidad a estos compuestos. No obstante, su capacidad para resistir la acción del vapor de agua, álcalis y ácidos es considerablemente inferior en comparación con la resistencia exhibida por los aceites de petróleo que han sido sometidos a un refinamiento adecuado frente a dichos agentes. En cuanto al resto de las propiedades, no presentan diferencias significativas respecto a los lubricantes derivados del petróleo. Los policarbonatos, por otro lado, se distinguen de otros poliésteres principalmente por su relativa baja inflamabilidad en algunos integrantes de esta serie que, aunque similares a las de los poliésteres con estructuras similares, pueden variar en otros aspectos.

- **Ésteres de fosfato**

A pesar de contar con una existencia química de más de un siglo, los ésteres de ácido fosfórico, también conocidos como ésteres de fosfato, han enfrentado restricciones en su utilización debido a su coste relativamente elevado y propiedades poco comunes. Sus principales aplicaciones se han centrado en servir como aditivos, desempeñando funciones como moderadores de extrema presión (EP), agentes antiespumantes, modificadores de combustión y plastificantes en aceites combustibles.

Estos fluidos exhiben una estabilidad térmica destacada y una solvencia excelente. Se desplazan sin problemas y tienen la tendencia a disolver barnices y sedimentos, sin dejar

depósitos. En situaciones donde existe riesgo de contaminación por agua, es necesario agregar aditivos específicos para prevenir la hidrofilia y otorgar estabilidad a la oxidación. Además, presentan un extenso rango de temperaturas de operación, una resistencia efectiva de la película y una volatilidad reducida.

A pesar de que se reconoce que varios compuestos pertenecientes a la categoría de ésteres de fosfato presentan propiedades destacadas de resistencia al fuego y estabilidad suficiente para servir como fluidos hidráulicos, el impedimento principal para su adopción generalizada en el mercado ha sido su elevado costo.

La capacidad de resistencia al fuego se logra mediante la incorporación de fosfato en una molécula orgánica. En contraste con la mayoría de los compuestos químicos orgánicos, la propiedad de resistencia al fuego se intensifica a medida que disminuye el peso molecular, ya que esto reduce la proporción de carbono a fósforo. En consecuencia, los ésteres de fosfato menos viscosos exhiben temperaturas de ignición espontánea más elevadas.

Es fundamental destacar que estos datos corresponden a una categoría específica de fluidos, una entre muchas, y se utilizan meramente para ilustrar la conexión entre la viscosidad y la temperatura de ignición. Las mediciones de las temperaturas de ignición espontánea de diversos ésteres de fosfato varían en un rango que va desde los 400°C hasta los 600°C.

Los ésteres de fosfato no carecen de inflamabilidad. En presencia de una fuente de energía lo suficientemente intensa y bajo condiciones propicias, pueden arder. Un ejemplo de esta inflamabilidad es la dificultad que presenta el equipo diseñado para medir la temperatura de ignición y la temperatura de inflamación de los productos derivados del petróleo cuando se aplica a los ésteres de fosfato.

La resistencia a la oxidación de los ésteres de fosfato, en términos generales, oscila entre regular y buena. En condiciones moderadas, muestran una estabilidad razonable, y esta puede mejorarse mediante la adición de antioxidantes.

2.4 Marco Conceptual

Los siguientes conceptos hacen parte importante del presente proyecto de tesis, por lo tanto, dichos los conceptos responden a referentes teóricos esenciales para el entendimiento y desarrollo estructurado del presente trabajo de investigación. Cabe resaltar que cada uno de los siguientes conceptos hace parte de la revisión estructurada de la información del proyecto de tesis.

- **Lubricante:** Una sustancia con la capacidad de disminuir la fricción entre superficies que se encuentran en movimiento relativo.
- **Aditivos:** Son sustancias químicas incorporadas a un lubricante para conferirle propiedades adicionales y mejorar su rendimiento.
- **Índice de Viscosidad:** Es una medida no dimensional que refleja cómo los cambios de temperatura afectan la viscosidad cinemática del aceite.
- **Dispersante:** Aditivo comúnmente compuesto por un polímero sin cenizas ni metal, cuya función es disminuir la formación de barnices, conservar las partículas sólidas suspendidas en el aceite y mantenerlas en forma de partículas pequeñas.
- **Aceites sintéticos:** Los aceites sintéticos no tienen su origen directo del crudo o petróleo, sino que son creados de subproductos petrolíferos combinados en procesos de laboratorios. (Cristian Carrion Ilaña, 2007)
- **Corrosión:** Disminución de la superficie de un metal ocasionada por la humedad del medio ambiente sobre él.
- **Viscosidad:** Indica la resistencia a fluir de un líquido por acción de la gravedad o acción rotatoria. La unidad métrica común de la viscosidad absoluta es el poise. (Cristian Carrion Ilaña, 2007)

- **Detergentes:** Ingredientes cruciales en los aceites de motor, estos contribuyen a gestionar la formación de barnices, depósitos en las áreas de los anillos y el óxido, al mantener las partículas insolubles en suspensión y, en ciertos casos, al neutralizar los ácidos.
- **Abrasión:** La erosión, resultado del roce constante en una superficie debido a la presencia de contaminantes como partículas metálicas o suciedad en el lubricante, puede llevar al desgaste generalizado e incluso provocar la fractura de los componentes. (Cristian Carrion Ilaña, 2007)
- **Desgaste:** La productividad de las máquinas se ve considerablemente afectada por el desgaste, siendo este fenómeno la causa principal de paradas programadas o imprevistas cuando algún componente experimenta una falla catastrófica (Cristian Carrion Ilaña, 2007)
- **Grasas:** Las grasas son productos con una consistencia semisólida que está compuesto por un aceite base, aditivos y un agente espesante.
- **Inhibidores de corrosión:** Resguardan las piezas metálicas de los equipos contra la acción química.
- **Agentes de oleosidad:** Incrementan la capacidad de adherencia en un lubricante.
- **Estabilidad Térmica:** Característica intrínseca del aceite base empleado, la cual no es susceptible de mejora mediante la adición de aditivos.
- **Parafínico:** Un tipo de líquido derivado de la fracción parafínica del crudo, con gran parte de la cadena saturada de los hidrocarburos. (Cristian Carrion Ilaña, 2007)
- **Babbitt:** Un metal antifricción no ferroso, de color blanco y textura suave, utilizado en cojinetes lisos. (Cristian Carrion Ilaña, 2007)
- **ZDDP:** Ditioposfato alquílico de zinc es el antidesgaste empleado por excelencia.
- **Antioxidantes:** Sustancias que extienden la duración del aceite base cuando se enfrenta a condiciones oxidadas y la presencia de metales catalizadores a temperaturas elevadas.

- **Oxidación:** Impacto del oxígeno al corroer los fluidos derivados del petróleo. El proceso es acelerado por el calor, la luz, los catalizadores del metal y la presencia del agua, de los ácidos, o de los contaminantes sólidos.
- **Inhibidor:** Dícese de cualquier compuesto que retrase o minimice las reacciones químicas, como la oxidación o corrosión.
- **Aceite Base “NEUTRAL”:** Es el nombre dado al componente principal en la formulación de un aceite, inicialmente producido por el refine del petróleo (aceite base mineral) o a través de un proceso de síntesis química (aceite base sintético).
- **Antiespumante:** La aparición de espuma en un lubricante es un efecto no deseado que puede tener los siguientes efectos: aumento de nivel de oxidación por la intensa mezcla con aire, daños por cavitación; así como un caudal de aceite en el Sistema inadecuado creando problemas de lubricación (Cristian Carrion Ilaña, 2007)
- **Aceite multigrado:** Lubricantes que cubren dos o más grados de viscosidad, se trata de lubricantes formulados con mejoradores del índice de viscosidad o con aceites bases con un alto índice de viscosidad. (Cristian Carrion Ilaña, 2007)
- **Catalizador:** Compuesto que favorece una reacción química sin experimentar alteraciones químicas en el transcurso del proceso. Se emplea en los convertidores catalíticos para controlar la cantidad de hidrocarburos no quemados, NOx y de CO en los gases de escape de un automóvil. (Cristian Carrion Ilaña, 2007)
- **Cojinete:** Elemento en el cual se sustenta y gira un eje. Desde una perspectiva de ingeniería, se refiere a la pieza o conjunto de piezas sobre las cuales se apoya y gira el árbol que transmite el momento giratorio en una máquina.
- **Aceite blanco:** Aceite mineral altamente refinado, esencialmente sin color, sin olor y sin sabor. Los aceites blancos tienen un alto grado de estabilidad química.

- **Combustible Diesel:** Esa porción del aceite de crudo que se destila en el rango de temperatura aproximadamente entre 200° C (329 °F) y 370° (698°F), que es más alto que el rango de ebullición de la gasolina.
- **Compuesto Nafténico:** Los naftenos o cicloparafinas son hidrocarburos saturados cuyas moléculas forman una estructura de anillo. Al ser saturados no son muy reactivos.
- **Desemulsibilidad:** Capacidad de un aceite para separarse del agua que se determina por la prueba del método ASTM D 1401o D 2711. La desemulsibilidad es una consideración importante para el mantenimiento del lubricante en muchos sistemas de lubricación.
- **Contaminante:** cualquier sustancia extraña o indeseada que pueda tener un efecto negativo en la operación, la vida o la confiabilidad de sistema.
- **Convertidor catalítico:** Componente del motor de combustión interna alternative que sirve para el control y reducción de los gases nocivos expulsados por el motor de combustión interna.

Capítulo III: Desarrollo del Trabajo de Investigación

3.1 Metodología del Trabajo de Investigación

Se lograrán los objetivos planteados de acuerdo con el siguiente proceso metodológico:

- Recopilando información que sustente el desarrollo de la investigación.
- Efectuando una exhaustiva revisión bibliográfica.
- Investigando lo relacionado a los lubricantes sintéticos, en cuanto a: manipulación, almacenaje, características físicas y químicas, etc.
- Investigar acerca de la implementación de planes de lubricación para un motor.
- Identificando la información proporcionada por los análisis de aceite y su aplicación posterior en la gestión del mantenimiento del equipo.

3.1.1 Tipo de Investigación

El tipo de investigación es aplicativa y correlacional ya que, a partir de un proceso de indagación permitirá explorar, describir y proponer cambios. También se considerará analítica y evaluativa, debido al estudio del manual de herramientas técnicas, permitiendo obtener resultados y brindando recomendaciones que puedan ser alternativas de ayuda para los consumidores en el sector automotriz. Asimismo, se considerará documental por la consulta, revisión y recopilación de información a través de la lectura de libros, textos, manuales, etc. con el fin de brindar apoyo teórico a la investigación.

3.1.2 Fuentes de Datos

La fuente de datos es proveniente de los registros de las fichas técnicas de los aceites lubricantes de las unidades vehiculares marca Toyota Hilux que operan en las mineras entre 3500 y 5000 msnm.

3.1.3 Población y Muestra

La población objetivo está basada en el estudio del modelo específico Toyota Hilux del total de 857 unidades vehiculares. La unidad de estudio corresponde a las denominadas muestras de aceite recolectadas para demostrar la extensión del drenado de aceite.

3.1.4 Recolección de Datos

- Fichas técnicas.
- Reportes.
- Fotos.
- Muestras de aceite.
- Otros.

3.1.5 Análisis de Datos

El análisis sobre el lubricante sintético, basado en el estudio del manual del propietario del vehículo, es una herramienta que permitirá conocer el estado técnico de uno de los motores Modelo Toyota Hilux identificando y midiendo concentración para el incremento del drenaje de aceite que pueda permitir su funcionamiento en condiciones operativas entre 3500 y 5000 msnm.

3.2 Caso de Estudio

En la siguiente Tabla 22, se presenta las características de las fallas recurrentes, como desgaste, contaminación, degradación química, en los equipos mecánicos: Motores mecánicos, hidráulicos, transformadores, cojinetes lisos, engranajes y rodamientos, etc.

Tabla 23 *Fallas recurrentes en los equipos mecánicos*

	Desgaste	Contaminación	Degradación Química
Motores	Óxidos de Fe, Pb, Sn, Cu en tamaños menores de 5 micras. Concentración directamente proporcional a la carbonilla y a la oxidación, e inversamente proporcional al TBN. Incremento progresivo de desgaste entre cambios de aceite.	Carbonilla de combustión, polvo del aire y refrigerante.	Los gases de combustión consumen la reserva alcalina (TBN). Los contaminantes consumen aditivos detergentes. La temperatura superficial oxida el aceite.
Hidráulicos	Cualquier desgaste es anormal. El desgaste abrasivo está asociado al polvo, y el corrosivo al agua. Desgaste de sellos o cierres dinámicos.	Polvo, agua y contaminación del aire	Las altas temperaturas oxidan el aceite y producen acidez
Transformadores	Desgaste debido a descargas en arco generan gases disueltos en el aceite.	Humedad atmosférica.	Las descargas, la humedad, y la temperatura oxidan el aceite

Engranés y Rodamientos	Abrasión, fatiga, y adhesión generan desgaste férrico entre 10 y 100 micras. El tamaño aumenta con la severidad.	Polvo, agua y partículas de desgaste.	La humedad, la temperatura, y la aireación oxidan el aceite
Cojinetes Lisos	Desgaste inapreciable excepto en caso de roce, que genera partículas 0-50 micras (Pb, Sn, Sb, Cu, Fe). La abrasión genera hierro por el polvo incrustado en el metal "babbitt".	Polvo, agua y contaminantes de proceso	La humedad y la temperatura oxidan el aceite.

Fuente: (Universidad del BÍO BÍO, 2007)

Se necesita tener en cuenta la importancia del equipo estudiado para el proceso en el que opera y ampliar su vida útil con un rendimiento adecuado.

3.2.1 Motor de Combustión Interna

Un motor de combustión interna es aquel equipo destinado a intercambiar energía térmica provista a través del proceso de combustión entre un combustible y un carburante para luego transformarla en energía cinética por intermedio del movimiento del conjunto pistón-biela-cigüeñal. La mayoría de los vehículos que operan en mina utilizan Diésel como combustible, por lo que el presente proyecto de tesis se enfoca en este tipo de unidades incidiendo y demostrando que las aprobaciones del fabricante de la unidad referente al empleo de lubricantes es el punto vital de inicio para exceder la vida útil del componente a lubricar; sin embargo, la utilización de combustibles como GLP y GNV que vienen incorporándose

recientemente podrían indicar una leve variación en las especificaciones del aceite a emplear, por lo que se exhorta verificar en el manual de mantenimiento la especificación u aprobación correcta requerida por el fabricante original del equipo (OEM) para este tipo de unidades, las cuales están mayormente basadas en el porcentaje de cenizas sulfatadas (%SA) presentes en el lubricante ya que uno de los principales problemas en este tipo de motores es la acumulación de cenizas en los asientos de válvulas que se forman debido a las altas temperaturas en las que operan y a una falta de lubricidad natural del combustible (GNV) por la carencia de azufre (S), en su composición, que actúa como un lubricante natural en esta parte de los motores. Ahora, realizaremos un comparativo de las camionetas frecuentemente empleadas por las empresas de renting de vehículos en las operaciones mineras y nos centraremos en analizar el comportamiento del aceite en un vehículo en particular que, dicho sea de paso, es el vehículo con mayor participación dentro de las estaciones mineras de nuestro país que operan entre 3000 y 5000 msnm.

3.2.1.1 Comparativo de camionetas empleadas en mina entre 3500 y 5000 msnm.

Tabla 24 Especificaciones técnicas de camionetas empleadas en minería.

MARCA	NISSAN	TOYOTA	MITSUBISHI	FORD	VOLKSWAGEN
Modelo	Frontier	Hilux	L200	Ranger	Amarok
Combustible	Diésel	Diésel	Diésel	Diésel	Diésel
Cilindrada	2.5	2.8	2.5	3.2	2.0
Tipo de motor	4L/16 Valv.	4L/16 Valv.	4L/16 Valv.	5L/20 Valv.	4L/16 Valv.
Torque (Kgm/rpm)	41/2,000	42.9/2,600	33/2,500	47.9/2,500	42.8/2,000
Potencia (Hp/rpm)	161/3,000	174/3,400	134/3,500	197/3,000	132/4,000
Tracción	4x4	4x4	4x4	4x4	4x4
Transmisión	MT	MT	MT	MT	MT

Vol. Aceite (L.)	6.6	7.5	7.5	7.0	7.0
Especificación del Aceite.	ACEA C2	ACEA C2	ACEA C3	WSS-M2C913-D	VW 505 00/505 01
Grado SAE	0W-30, 5W-30, 5W-40, 15W-40	0W-30, 5W-30	0W-30, 5W-30, 5W-40, 15W-40	0W-30, 5W-30, 5W-40, 15W-40	5W-40, 15W-40

Fuente: Elaboración propia

Figura 12 Comparación de rendimiento de las especificaciones del lubricante



Fuente: (Lubrizol)

Como se demuestra en este gráfico la elección correcta del lubricante de acuerdo con la recomendación del fabricante incidirá enormemente en el óptimo rendimiento del motor, así como la extensión en la vida útil del motor donde se emplee adecuadamente este lubricante. Esta recomendación ya viene basada en el tipo de combustible con el que opera la unidad.

Tabla 25 *Propiedades Fisicoquímicas del Diesel DB5*

DETERMINACIÓN	UNIDAD	MÉTODO	RESULTADO
Densidad a 15°C	g/L.	ASTM D-287	1.467
Punto de inflamación	°C	ASTM D-93	77.1
Sedimento Básico y Agua (% BSW)	%V	ASTM D-1796	<0.012
Agua por Destilación (%V)	%V	ASTM D-95	<0.05
Cenizas Sulfatadas	%P	ASTM D-874	0.03
Viscosidad cinemática a 40°C	cSt.	ASTM D-445	4.16
Azufre	%P	ASTM D-4294	0.0025
Carbón Conradson (Residuo Carbonoso)	%P	ASTM D-189	0.017
Corrosión a la lámina de Cu	Unidad de corrosión	ASTM D-130	1b
Índice de cetano, calculado	-	ASTM D-287	49
Temperatura de destilado al 90% recuperado	°C	ASTM D-86	343.7
Sodio	mg/Kg.	Método interno (Ref. ASTM D-5863/ APHA 3111-B)	4.390
Potasio	mg/Kg.	Método interno (Ref. ASTM D-5863/ APHA 3111-B)	2.579
Calcio	mg/Kg.	Método interno (Ref. ASTM D-5863/ APHA 3111-B)	1.875
Magnesio	mg/Kg.	Método interno (Ref. ASTM D-5863/ APHA 3111-B)	1.225

Fuente: Caracterización Fisicoquímica del Biodiesel B5 a base de aceite de higuera,

Para el presente caso de estudio emplearemos el uso de un aceite sintético en un motor de combustión interna de un vehículo en particular; Después de recorrer 2,500 Km., extraeremos una muestra de aceite sintético usado y sin drenar el aceite sintético, procederemos a recopilar muestras cada 1,000 Km., aproximadamente, hasta llegar a un recorrido de 5,000 Km. Cada muestra de aceite sintético usado recopilado será enviada a un laboratorio para su respectivo análisis. Una vez obtenido el reporte de cada de una de las muestras, éstas serán comparadas con la data ya obtenida luego de analizar una muestra de un aceite mineral usado en un recorrido de 2,500 Km. Para el mismo vehículo en particular; esto se hará con el fin de evaluar y de demostrar el desempeño que posee el aceite sintético y su capacidad inherente para extender el drenado del aceite en condiciones severas de operación o sin variar ninguna condición ya existente, propia de la operación que viene realizando el vehículo cotidianamente.

3.2.1.2 Datos del vehículo en particular

Tabla 26 *Datos del vehículo en particular*

Vehículo en particular	
Marca	Toyota
Modelo	Hilux
Placa del vehículo	BAN 943
Modelo del motor	1GD-FTV
Tipo de motor	4 cilindros en línea, 4 ciclos, Diésel (Con turbocargador)
Diámetro y Carrera	92.0 x 103.6 mm. (3.62 x 4.08 in.)
Desplazamiento	2755 cm ³ (168.1 cu.in)
Ajuste de Válvulas	Ajuste automático
Tensión de la correa de distribución	Ajuste automático

Fuente: (Manual Toyota Hilux 2019, pag, 461, 462, 497)

3.2.1.3 Requerimiento de lubricante para el vehículo en particular, según manual del fabricante

Tabla 27 Especificaciones técnicas para el lubricante

Especificaciones técnicas requeridas para el motor 1GD-FTV	
Volumen de Aceite con filtro / Sin filtro	7.5 L./ 7.0 L.
Grado de Viscosidad del aceite	0W-30, 5W-30
Nivel de Servicio	ACEA C2

Fuente: (Manual Toyota Hilux 2019, pag, 461, 462, 497)

3.2.1.4 Plan de mantenimiento adicional en condiciones severas de operación, según manual del fabricante

Tabla 28 Programa de mantenimiento en carreteras polvorientas

A-2 Conducción por carreteras polvorientas. (Carreteras en áreas donde el índice de pavimento es bajo o donde suele generarse una nube de polvo y el aire es seco).	
Cambio del aceite del motor	Motor de gasolina 1. Cada 5000 km (3000 millas) o cada 3 meses
	Motor diésel 2. Cada 2500 km (1500 millas) o cada 3 meses
Cambio del filtro de aceite del motor	Cada 5000 km (3000 millas) o cada 6 meses

Fuente: (Manual Toyota Hilux 2019, pag, 461, 462, 497)

Tabla 29 Programa de mantenimiento en carreteras a más de 2,000 msnm.

A-4 Solo para motores diésel:	
Operación frecuente a más de 2000 m (6562 pies) sobre el nivel del mar.	
Cambio del aceite del motor	Motor diésel 3. Cada 2500 km (1500 millas) o cada 3 meses
Cambio del filtro de aceite del motor	Cada 5000 km (3000 millas) o cada 6 meses

Fuente: (Manual Toyota Hilux 2019, pag, 461, 462, 497)

3.2.1.5 Ficha técnica del lubricante sintético Castrol Edge Turbo Diesel 5W-40

Tabla 30 Ficha Técnica de Castrol Edge Turbo Diesel 5W-40

Castrol Edge Turbo Diesel 5W-40			
Especificaciones:		Aprobaciones:	
ACEA	C3	GENERAL MOTORS	DEXOS 2
API	SN/CF	MB	226.5 / 229.31 / 229.51
FIAT	9.55535-S2	RENAULT	RN 0700 / RN 0710
FORD	WSS-M2C917-A	VW	505 00/505 01
Propiedades Fisicoquímicas típicas			
Prueba	Método	Unidades	Valor típico
Densidad relativa @ 15°C	ASTM D-4052	g/mL.	0.85
Viscosidad cinemática @ 100°C	ASTM D-445	cSt.	13
Viscosidad, CCS @ -30°C (5W)	ASTM D-5293	mPa.s (cP)	5800
Viscosidad cinemática @ 40°C	ASTM D-445	cSt.	75
Índice de viscosidad	ASTM D-2270	Ninguno	174
Punto de fluidez	ASTM D-97	°C	-42
Punto de inflamación	ASTM D-93	°C	202
Cenizas sulfatadas	ASTM D-874	% wt	0.8
Número Total Base (TBN)	ASTM D-2896	mgKOH/gKOH	10.0

Fuente: (Ficha técnica de Castrol Edge Turbo Diesel 5W-40)

3.2.1.6 Ficha técnica del lubricante mineral Valvoline

Tabla 31 *Ficha Técnica de Valvoline Premium Blue 7800 Plus 15W-40*

Valvoline Premium Blue 7800 Plus 15W-40			
Especificaciones:		Aprobaciones:	
ACEA	E7	Cummins	CES 20076, 20077
API	CI-4 PLUS / SL	MB	228.3
Volvo	VDS-3	Mack	EO-N, EO-M Plus
MTU	Tipo 2	Man	3275
Propiedades Fisicoquímicas típicas			
Prueba	Método	Unidades	Valor típico
Densidad relativa @ 15°C	ASTM D-4052	g/mL.	0.85
Viscosidad cinemática @ 100°C	ASTM D-445	cSt.	15.3
Viscosidad, CCS @ -20°C (15W)	ASTM D-5293	mPa.s (cP)	6000
Viscosidad cinemática @ 40°C	ASTM D-445	cSt.	113.50
Índice de viscosidad	ASTM D-2270	Ninguno	141
Punto de fluidez	ASTM D-97	°C	-30
Punto de inflamación	ASTM D-93	°C	202
Cenizas sulfatadas	ASTM D-874	% wt	1.55
Número Total Base (TBN)	ASTM D-2896	mgKOH/gKOH	12

Fuente: (Ficha técnica de Valvoline Premium Blue 7800 Plus 15W-40)

3.2.1.7 Condiciones severas de operación.

El presente proyecto tiene como lugar de operación la unidad operativa de Yauli (campamento minero San Cristóbal), la cual pertenece a la unidad minera Volcán. Este campamento minero se encuentra ubicado en el departamento de Junín, provincia de Junín y distrito de Yauli a una altura entre 4,719 y 4,750 metros sobre el nivel del mar. Como se puede apreciar este campamento minero reúne todas las condiciones severas de operación, debido al cual el mantenimiento preventivo del cambio de aceite se realiza cada 2,500 Km.

Es por eso por lo que, aún con todas estas condiciones adversas de operación podemos demostrar que se puede extender el periodo de cambio de aceite variando el lubricante usado e

incluso generar ahorros económicos y disposición de horas hombre para la compañía, mejorando de esta manera el indicador de gestión de activos conocido como la disponibilidad.

3.2.1.8 Materiales para el procedimiento de extracción de muestra por bomba de vacío

A. Bomba de Vacío (“Vampiro”)

Son empleados para realizar la extracción de muestras de aceite de sistemas no presurizados, las cuales pueden tener o no en su composición válvulas de muestreo. Son utilizados junto a una sonda flexible o manguera de muestreo para llevar la muestra de fluido a la botella de muestreo. Esta bomba crea un vacío de 27 pulgadas de mercurio (Hg) y emplea mangueras con un diámetro desde 3/16 a 5/16 pulgadas.

Para el presente proyecto de Tesis se usará una bomba de vacío estándar del proveedor Trico que se puede encontrar con el código 36800.

Figura 13 Bomba de vacío estándar



Fuente: (Trico código 36800)

B. Manguera de Extracción de Muestra

Proporcionan el canal a través del cual el fluido será conducido desde la válvula o depósito de la máquina hacia la botella de muestreo; si es usado con una válvula deberá de tener una sonda o adaptador en el extremo. Por lo general la manguera se encuentra elaborado de Polietileno de baja densidad, es ofertado por los proveedores a granel o en rollos de 30 metros

Esta manguera de extracción puede obtenerse del proveedor Trico con el código 36806, el cual consta de un rollo de 100 pies.

Para el presente proyecto de tesis se usará una manguera de 1/4 de pulgada de diámetro externo (OD).

Figura 14 *Manguera de extracción de muestra*



Fuente: (Trico código 36800)

C. Botellas de Muestreo

Se emplean para contener el fluido de muestra que será retirado del depósito de aceite a través de una bomba de vacío, válvula de muestreo o puerto de muestreo.

Las botellas están hechas de diferentes materiales como, por ejemplo:

c.1 Polietileno de Alta Densidad (HDPE - Plástico opaco):

Envase opaco que debe de evitarse ya que hace difícil la inspección visual de la muestra.

c.2 Tereftalato de Polietileno (PET):

Envase transparente y compatible con la mayoría de los lubricantes y fluidos hidráulicos, incluidos los sintéticos.

c.3 Vidrio:

Envase más caro, pesado, con riesgo de romperse pero que exceden, por lo general, en limpieza a los envases de plástico

Figura 15 *Botellas de muestreo*

	USE	VOLUME	MATERIAL	ISO CLEANLINESS*	COST
	General oil sampling, visual analysis	3 and 4 ounces (100 to 120 milliliters)	PET (transparent)	Superclean	\$
	General oil sampling	3 and 4 ounces (100 to 120 milliliters)	HDPE (opaque)	Clean to superclean	\$
	Hydraulic fluid	4 and 8 ounces (100 to 200 milliliters)	HDPE/PET (transparent or opaque)	Clean to superclean	\$\$
	Hydraulic fluid, visual analysis	4 and 8 ounces (100 to 200 milliliters)	Glass (transparent)	Ultraclean	\$\$\$

* Cleanliness levels shown are of typical availability and will depend on the bottle distributor.

Fuente: (Revista Machinery lubrication)

Las botellas de muestra deben de estar avaladas por el proveedor de acuerdo con el ISO 3722, la cual proporciona una guía para la clasificación de limpieza de las botellas de muestra.

Las siguientes categorías de limpieza son las que se aplican:

Botella Limpia: Contiene menos de 100 partículas mayores de 10 micrones por mL. De volumen

Botella Super Limpia: Contiene menos de 10 partículas mayores a 10 micrones por mL. De volumen.

Botella Ultra Limpia: Contiene menos de 1 partícula mayores de 10 micrones por mL. De volumen.

Figura 16 *Definiciones actuales de limpiezas de botella*

Cleanliness Classes	Number of Particles greater than 10 $\mu\text{m}/\text{ml}$
Clean	100 particles
Super Clean	10 particles
Ultra Clean	1 particle

Fuente (Revista Machinery lubrication)

Para el presente proyecto de Tesis, se empleará el uso de botellas PET, LIMPIAS y con una capacidad volumétrica de 200 mL.

Figura 17 *Botella PET con capacidad volumétrica de 200 ml*



Fuente: *Elaboración Propia*

D. Bolsa Zip-Log

Se trata de bolsa con cierre hermético que nos permitirá realizar la mejor práctica para el procedimiento de extracción de muestra por medio de bomba de vacío, así como enviar la muestra hacia el laboratorio. Esto nos permitirá minimizar el ingreso de contaminantes hacia nuestra muestra.

Figura 18 *Bolsa ZIP-LOG*



Fuente: *Elaboración Propia*

E. Etiqueta o Rotulo para la Botella de Muestreo:

Se trata de un adhesivo a base de vinil que rodeará a la botella de muestreo. Es de vital importancia ya que contiene todos los datos de la muestra que será remitida al laboratorio para su respectivo análisis. Datos como, por ejemplo:

- Nombre de cliente
- Lugar de Trabajo
- Lugar de donde se extrajo la muestra
- Fecha de muestreo
- Acción de mantenimiento, luego de la extracción de muestra
- Componente para monitorear
- Marca, modelo, serie, año del componente; así como la placa de la unidad a monitorear.
- Tipo de combustible que usa la unidad a monitorear
- Kilometraje total de la unidad a monitorear
- Kilometraje del aceite que viene siendo monitoreado desde el último cambio de aceite

- Nombre, marca, grado (SAE) y nivel de servicio (API) del aceite a ser monitoreado.
Puede tratarse de una muestra de aceite virgen (Lote o envase nuevo de aceite) o muestra de aceite usado.
- Capacidad del cárter del aceite.
- Información de relleno de aceite
- Algunas observaciones por parte del área de mantenimiento que crea necesario para mayor entendimiento del analista; observación como: Vibraciones, sonidos extraños, reparación reciente, etc.

Figura 19 Etiqueta para envase de muestreo PERUFARMA-Castrol

perufarma		"ANÁLISIS PERIÓDICO DE LUBRICANTE"				Castrol	
CLIENTE		COMPONENTE				<input type="checkbox"/> DIESEL <input type="checkbox"/> Km <input type="checkbox"/> H <input type="checkbox"/> GASOLINA <input type="checkbox"/> REPARADO: <input type="checkbox"/> SI <input type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/> GNV <input type="checkbox"/> OTRO <input type="checkbox"/> COMBUSTIBLE OBS.:	
LUGAR DE TRABAJO	MARCA	MODELO	AÑO	PLACA			
LUGAR DE DONDE SE EXTRAJO MUESTRA:		NOMBRE DE ACEITE				<input type="checkbox"/> NUEVA <input type="checkbox"/> USADA	
<input type="checkbox"/> MOTOR	<input type="checkbox"/> EJE / DIF. DELANTERO						
<input type="checkbox"/> DIRECCION	<input type="checkbox"/> EJE / DIF. POSTERIOR	MARCA	GRADO (SAE/ISO)	API	MUESTRA		
<input type="checkbox"/> TRANSMISION	<input type="checkbox"/> SISTEMA HIDRAULICO	<input type="checkbox"/> L.	<input type="checkbox"/> GAL	<input type="checkbox"/> Km	<input type="checkbox"/> H		
<input type="checkbox"/> ENVASE LOTE:		Km./H. ACEITE				<input type="checkbox"/> SI <input type="checkbox"/> NO	
FECHA DE MUESTREO		CAPACIDAD CARTER				RELLENO DE ACEITE	
DESPUES DE TOMAR LA MUESTRA:							
CAMBIO DE ACEITE:	<input type="checkbox"/> SI <input type="checkbox"/> NO						
CAMBIO DE FILTROS:	<input type="checkbox"/> AJIRE <input type="checkbox"/> ACEITE <input type="checkbox"/> COMBUSTIBLE						

Figura: Elaboración Propia

3.2.1.9 Procedimiento de recolección de muestras

Muestrear adecuadamente un lubricante puede que resulte un poco tedioso, es por eso por lo que existen 3 tipos de procedimientos que suelen ser los más empleados por las diversas personas que se encuentran dentro del ambiente de mantenimiento. Estos métodos dependen de la presión a la cual se está operando el sistema del cual se va a extraer la muestra. Los métodos de muestreo son los siguientes:

A. Muestreo de sistemas operando a presión atmosférica

a. Preparación:

- Revise que el puerto o válvula de muestreo corresponda con la orden de trabajo.

- ii. Quite la tapa del puerto o válvula de muestreo y limpie.
- iii. Quite la tapa a la botella de muestreo sin sacarla de la bolsa zip log

Figura 20 *Válvula de muestreo con tapa*



Fuente: (NORIA Latin America)

b. Purga de los dispositivos:

- i. Inserte un extremo de manguera nueva en la espiga del conector de apertura de la válvula de muestreo y el otro en la bomba de vacío.
- ii. Enrosque la botella de purga
- iii. Enrosque el conector de apertura a la válvula de muestreo
- iv. Accione la bomba de vacío varias veces hasta que el lubricante comience a fluir hacia la botella y purgue un volumen aproximado de 100 mL.
- v. Afloje la tuerca de la bomba de vacío para detener el flujo al romper el vacío, retire y tape la botella de purga.

Figura 21 *Válvula de muestreo y sonda para toma de maestro*

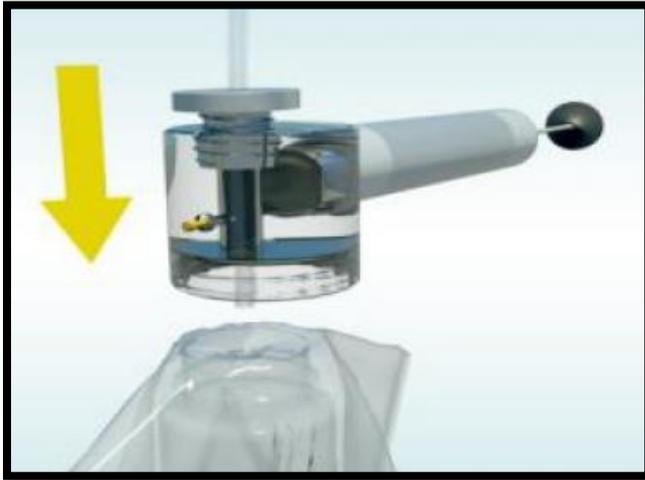


Fuente: (NORIA Latin America)

c. Preparación de la botella de muestreo

- i. Enrosque la botella de muestreo en la bomba de vacío, sin sacarla de la bolsa ziplog
- ii. Inserte la manguera de plástico en la bomba de vacío hasta que se perfora la bolsa ziplog y se introduzca aproximadamente 3 cm en la botella.

Figura 22 Bomba de vacío en toma de muestra



Fuente: (NORIA Latin America)

Muestreo

- iii. Accione la bomba de vacío varias veces hasta que el lubricante comience a fluir hacia la botella.
- iv. Llene la botella hasta que cubra los 3/4 de su capacidad
- v. Afloje la tuerca de la bomba de vacío para detener el flujo al romper el vacío

Figura 23 Bomba de vacío y llenado de envase hasta $\frac{3}{4}$ de la capacidad



Fuente: (NORIA Latin America)

d. Etiquetado:

- i. Desenrosque la botella de muestreo de la bomba de vacío y coloque la tapa sin abrir la bolsa de plástico.
- ii. Saque la botella de la bolsa y aprieta la tapa.
- iii. Coloque todos los datos en la etiqueta y péguela en la botella de muestreo.
- iv. Colóquela de nuevo en la bola ziplog y envíela al laboratorio.

Figura 24 *Rotulado de la muestra*

Fuente: (NORIA Latin America)

e. Limpieza:

- i. Quite la manguera del conector de apertura de la válvula y deséchala.
- ii. Limpie el conector de apertura de válvula y colóquelos en una bolsa ziplog para evitar que se ensucien.
- iii. Reinstale el tapón cubre-polvo en la válvula de muestreo.
- iv. Limpie cualquier derrame ocasionado.

Figura 25 *Rotulado de la muestra*

Fuente: (NORIA Latin America)

Muestreo en sistemas operando a baja presión (< 100 psi; 7 bar)

f. Preparación:

- i. Revise que el puerto o válvula de muestreo corresponda con la orden de trabajo.
- ii. Utilizando el medidor de presión verifique que la presión del lubricante en el puerto de muestreo se encuentra por debajo de 100 psi; si es mayor, opte por emplear el procedimiento de muestreo de sistemas operando a alta presión (> 100 psi; 7 bar)
- iii. Quite la tapa del puerto o válvula de muestreo y limpie.
- iv. Quite la tapa a la botella de muestreo sin sacarla de la bolsa zip log.

Figura 26 *Válvula de muestreo con tapa operando a presión < 100 psi*



Fuente: (NORIA Latin America)

g. Purga de los dispositivos:

- i. Inserte un extremo de manguera nueva en la espiga del conector de apertura de la válvula de muestreo y el otro en la bomba de vacío.
- ii. Enrosque la botella de purga
- iii. Enrosque el conector de apertura a la válvula de muestreo
- iv. Si no fluye el lubricante con la presión del sistema, accione la bomba varias veces hasta que el lubricante comience a fluir hacia la botella
- v. Purgue un volumen aproximado de 100 mL.
- vi. Afloje la tuerca de la bomba de vacío para detener el flujo al romper el vacío, retire y tape la botella de purga.

Figura 27 Puerto de muestreo con conector y sonda



Fuente: (NORIA Latin America)

h. Preparación De La Botella De Muestreo

- i. Enrosque la botella de muestreo en la bomba de vacío, sin sacarla de la bolsa ziplog
- ii. Inserte la manguera de plástico en la bomba de vacío hasta que se perfora la bolsa ziplog y se introduzca aproximadamente 3 cm en la botella.

Figura 28 Bomba de vacío en toma de muestra



Fuente: (NORIA Latin America)

Muestreo

- iii. Accione la bomba de vacío varias veces hasta que el lubricante comience a fluir hacia la botella.
- iv. Llene la botella hasta que cubra los 3/4 de su capacidad
- v. Afloje la tuerca de la bomba de vacío para detener el flujo al romper el vacío

Figura 29 *Bomba de vacío llenando envase*



Fuente: (NORIA Latin America)

Etiquetado:

- vi. Desenrosque la botella de muestreo de la bomba de vacío y coloque la tapa sin abrir la bolsa de plástico.
- vii. Saque la botella de la bolsa y aprieta la tapa.
- viii. Coloque todos los datos en la etiqueta y péguela en la botella de muestreo.
- ix. Colóquela de nuevo en la bola ziplog y envíela al laboratorio.

Figura 30 *Envío de muestra a laboratorio*



Fuente: (NORIA Latin America)

i. Limpieza:

- i. Quite la manguera del conector de apertura de la válvula y deséchala.
- ii. Limpie el conector de apertura de válvula y colóquelos en una bolsa ziplog para evitar que se ensucien.
- iii. Reinstale el tapón cubre-polvo en la válvula de muestreo.
- iv. Limpie cualquier derrame ocasionado.

Figura 31 Cobertura para bomba de vacío y conector de sonda

Fuente: (NORIA Latin America)

Muestreo en sistemas operando a alta presión (> 100 psi; 7 bar):**j. Preparación:**

- i. Revise que el puerto o válvula de muestreo corresponda con la orden de trabajo.
- ii. Utilizando el medidor de presión verifique que la presión del lubricante en el puerto de muestreo se encuentra por debajo de 100 psi; si es mayor, opte por emplear el procedimiento de muestreo de sistemas operando a alta presión (> 100 psi; 7 bar)
- iii. Quite la tapa del puerto o válvula de muestreo y limpie.
- iv. Quite la tapa a la botella de muestreo sin sacarla de la bolsa zip log

Figura 32 Medidor de presión

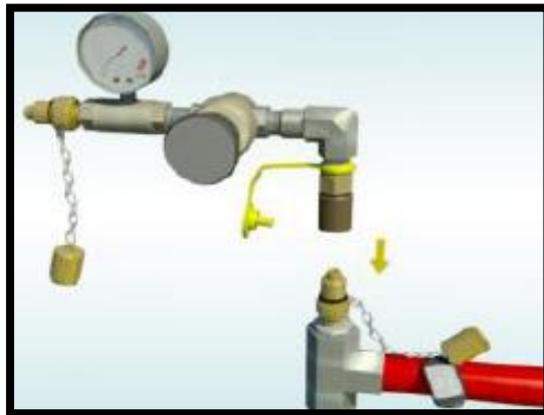


Fuente: (NORIA Latin America)

k. Instalación del reductor de presión:

- i. Cierre la válvula del regulador de presión y enrosque el regulador a la válvula de muestreo

Figura 33 Regulador de presión



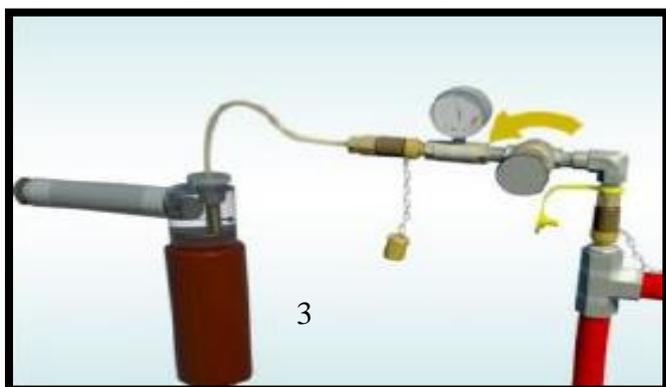
Fuente: (NORIA Latin America)

l. Limpieza del hardware:

- i. Inserte un extremo de manguera nueva en la espiga del conector de apertura de la válvula de muestreo y el otro en la bomba de vacío.
- ii. No apriete la tuerca de la bomba de vacío para permitir la salida de aire durante la extracción del fluido.
- iii. Enrosque, sin apretar demasiado, la botella de purga

- iv. Enrosque el conector de apertura a la válvula de muestreo del reductor de presión
- v. Gradualmente abra el regulador de presión y fije la presión por debajo de 100 psi (7 bar) para permitir el flujo de aceite.
- vi. Purgue un volumen aproximado de 100 mL.
- vii. Cierre la válvula del regulador de presión para determinar el flujo de aceite, remueva y tape la botella de purga
- viii. Afloje la tuerca de la bomba de vacío para detener el flujo al romper el vacío, retire y tape la botella de purga.

Figura 34 *Regulador de presión y conector de bomba de vacío*



Fuente: (NORIA Latin America)

m. Preparación de la botella de muestreo

- i. Enrosque la botella de muestreo en la bomba de vacío, sin sacarla de la bolsa ziplog
- ii. Inserte la manguera de plástico en la bomba de vacío hasta que se perfora la bolsa ziplog y se introduzca aproximadamente 3 cm en la botella.

Figura 35 *Botella de muestreo y bomba de vacío*

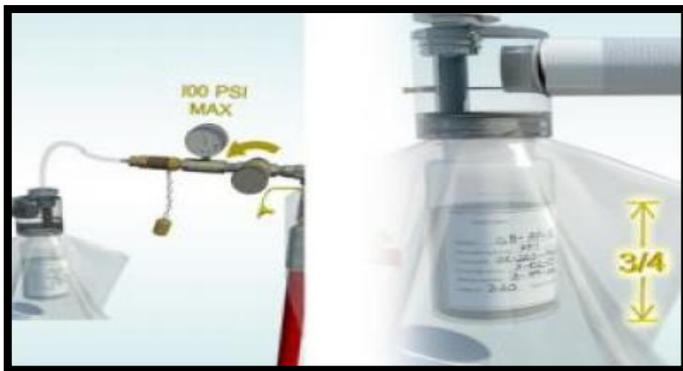


Fuente: (NORIA Latin America)

n. Muestreo:

- i. Gradualmente abra el regulador de presión y fije la presión por debajo de 100 psi (7 bar) para permitir el flujo de aceite.
- ii. Llene la botella hasta que cubra los 3/4 de su capacidad
- iii. Cierre la válvula del regulador de presión para determinar el flujo de aceite.
- iv. Afloje la tuerca de la bomba de vacío para detener el flujo al romper el vacío

Figura 36 *Válvula del regulador de presión*



Fuente: (NORIA Latin America)

o. Etiquetado:

- i. Desenrosque la botella de muestreo de la bomba de vacío y coloque la tapa sin abrir la bolsa de plástico.
- ii. Saque la botella de la bolsa y aprieta la tapa.
- iii. Coloque todos los datos en la etiqueta y péguela en la botella de muestreo.
- iv. Colóquela de nuevo en la bola ziplog y envíela al laboratorio.

Figura 37 *Etiquetado*



Fuente: (NORIA Latin America)

p. Limpieza:

- i. Quite la manguera del conector de apertura de la válvula y deséchala.
- ii. Desacople y limpie el reductor de presión, el conector de apertura de válvula de muestreo y la bomba de vacío; guarde cada uno en una bolsa de plástico para protegerlos.
- iii. Reinstale el tapón cubre-polvo en la válvula de muestreo.
- iv. Limpie cualquier derrame ocasionado.

Figura 38 *Reductor de presión, el conector de apertura de válvula de muestreo y la bomba de vacío*



Fuente: (NORIA Latin America)

En la presente tesis se ha empleado el **Método de Muestreo en Sistemas Operando a baja presión (< 100 psi; 7 bar)** con la única salvedad de que la unidad a muestrear no presenta válvula ni puertos de muestreo, por lo que la toma de muestra se hará ingresando la manguera por el tapón del llenado de aceite hacia el motor.

3.2.1.10 Frecuencia de Muestreo de Aceite

La frecuencia de muestreo estándar es aquel intervalo de tiempo (horas) o recorrido (kilómetros) en la cual ha de obtener una muestra de aceite para monitorear la condición del aceite, este puede darse ante condiciones normales o típicas. La determinación de la frecuencia de muestreo estándar se hace en base a los siguientes criterios:

1º Tipo de Máquina

- a. Las maquinas son fabricadas con diversos componentes de características diferentes, tales como: cargas, materiales, tipo de lubricación, presiones, temperaturas, etc. No es lo mismo una turbina que un sistema hidráulico o un motor de combustión interna, para esto los fabricantes recomiendan cierta frecuencia de monitoreo a modo de referencia y en caso no se tenga esta información, las personas de mantenimiento hacen uso de tablas genéricas; sin embargo, esto debe de ajustarse con base en la criticidad de la máquina y del ambiente operación de los fluidos.

2º Criticidad de la Máquina

- a. La criticidad de la máquina está representada como el efecto que pudiera representar su falla, este puede ser de índole económica como una pérdida de dinero importante, afectación a otras máquinas que dependen de ella, calidad del producto, costos de reparación, seguridad o en el medio ambiente. Esta decisión de qué tan crítica es mi máquina recae en algunos atributos clave como:
 - i. Impacto en la producción
 - ii. Impacto en la seguridad
 - iii. Impacto en el medio ambiente
 - iv. Impacto en la calidad
 - v. Costo de reemplazo
 - vi. Disponibilidad de repuestos
 - vii. Probabilidad de falla
 - viii. Datos históricos acerca de confiabilidad y mantenimiento preventivo.

3º Severidad del Ambiente Operacional del Fluido.

- a. La severidad del ambiente operacional del fluido nos indica bajo qué condiciones será operada nuestra máquina, es decir, en algunos casos las máquinas operarán en lugares

cerrados, que no están expuestas a contaminantes externos y estarán dentro de un ambiente controlado; sin embargo, existen otro grupo de máquinas que laboran en condiciones adversas de operación en las cuales hay elevada presencia de polvo, humedad, temperaturas extremas y partículas metálicas, es decir, en aquellas maquinas donde exista mayor probabilidad de que estos contaminantes ingresan a nuestra maquinara y generen una falla, por lo que estos deberán de estar mayormente vigilados.

Considerando todos estos factores, se ha establecido una frecuencia de muestreo de 1,000 Km., luego de la primera toma de muestra de aceite usado que será extraída a los 2,500 Km.

A continuación, adjuntamos un cuadro con las fechas de toma de muestra realizadas:

Tabla 32 *Cronograma de muestreo de aceite*

Nº	Placa vehicular	Tipo de lubricante	Kilometraje de vehículo (Km.)	Kilometraje de aceite usado (Km.)	Fecha
1	BAN-943	Mineral	14,990	2,500	19/08/2020
2	BAN-943	Sintético	17,411	2,421	01/10/2020
3	BAN-943	Sintético	18,396	985	21/10/2020
4	BAN-943	Sintético	19,471	1,075	11/11/2020

Fuente: Elaboración Propia

Capítulo IV: Análisis y Discusión de Resultados

Comparación de los análisis fisicoquímicos reportados de la primera muestra de aceite sintético usado respecto a los reportados de la primera muestra de aceite mineral usado.

4.1 Viscosidad.

- La viscosidad para aceites de motor de combustión interna debe de ser medida a una temperatura de 100°C, reportado en unidades denominadas centistokes (cSt.) y estar siempre dentro de la normativa SAE J-300; es decir, que la viscosidad de un lubricante SAE xW-40 medida a 100°C debe de estar siempre entre los valores de 12.5 cSt. y 16.3 cSt. para que pueda seguir siendo reconocido como un lubricante SAE 40.
- Analicemos el parámetro de viscosidad reportado por el laboratorio, con relación a lo señalado en la ficha técnica de los lubricantes empleados

Tabla 33 Comparación de viscosidad

Aceite	Kilometraje de muestreo (Km.)	Viscosidad @ 100°C (cSt.), mínima según SAE J-300 para xW-40	Viscosidad @ 100°C (cSt.) de la ficha técnica	Viscosidad @ 100°C (cSt.), de las muestras analizadas	Viscosidad @ 100°C (cSt.), mínima según SAE J-300 para xW-40	Variación porcentual (%Δ)
Míneral	14,990	12.50	15.30	14.86	16.30	-2.876
Sintético	17,411	12.50	13.00	13.04	16.30	+0.308
Sintético	18,396	12.50	13.00	13.18	16.30	+1.385
Sintético	19,471	12.50	13.00	12.86	16.30	-1.077

Fuente: Elaboración Propia

Como se observar en la tabla 30, la variación porcentual es del solamente un 0.308% en la primera muestra de aceite sintético usado analizado, esto se debe al alto índice de viscosidad que posee un lubricante sintético. Recordemos que el índice de viscosidad mide la variación de la viscosidad respecto a la variación de temperatura, es decir, mide el comportamiento de la resistencia de la película de aceite frente a una variación de temperatura; para este caso en

específico, este parámetro nos indica que el lubricante sintético muestra una película de aceite mucho más resistente tanto a la cizalladura de la película de aceite, como a los incrementos de viscosidad por oxidación del aceite.

Comparando los valores reportados de muestra de aceite mineral en uso con los valores de la segunda muestra de aceite sintético (Ver tabla 30), tenemos un incremento de 1.385% respecto al valor reportado en la ficha técnica del aceite sintético, este incremento se debe a que el lubricante sintético ha sido mezclado con los restos de aceite mineral degradado los cuales generan un incremento la viscosidad del aceite.

Comparando los valores reportados de muestra de aceite usado mineral con los valores de la tercera muestra de aceite sintético (Ver tabla 30), tenemos una reducción de 1.077% respecto al valor reportado en la ficha técnica del aceite sintético, que es la secuencia lógica del comportamiento de la viscosidad ya que la viscosidad al inicio de la operación tienda a disminuir siendo función exclusiva de los aditivos mejoradores de índice de viscosidad y de la naturaleza del aceite básico lubricante mantener esta película lubricante; esta tendencia a la baja será hasta el término o colapso de los aditivos mejorados de índice de viscosidad y antioxidantes, luego del cual empezará incrementar debido a que el lubricante empieza a degradarse u oxidarse.

4.2 TBN (Número Total Básico).

- El TBN o número total básico nos indica la capacidad de neutralización de ácidos que posee un lubricante, este parámetro debe de ser reportado en unidades denominadas mgKOH/gKOH y tener un valor mínimo del 50% del TBN inicial; sin embargo, valores por debajo del 30% ya condenan al aceite hacia la renovación de lubricante a medida de efectos de precaución para salvaguardar los componentes críticos del motor del desgaste corrosivo.

- Analicemos el parámetro de TBN reportado por el laboratorio, con relación a lo señalado en la ficha técnica de los lubricantes empleados

Tabla 34 Comparación de TBN

Aceíte	TBN mínimo (50% TBN inicial)	TBN precaución (30% TBN inicial)	TBN de muestra analizada técnica	TBN, según ficha técnica del lubricante en uso.	Variación porcentual (%Δ)
Mineral	6.0	8.4	10.1	12.0	-15.83
Sintético	5.0	7.7	8.1	11.0	-26.36
Sintético	5.0	7.7	10.8	11.0	-1.82
Sintético	5.0	7.7	10.5	11.0	-4.55

Fuente: Elaboración Propia

- Como se puede mostrar la variación porcentual es de un 26.36% en la primera muestra de aceite sintético usado analizado respecto al valor reportado en la ficha técnica, esto se debe primordialmente a la mezcla entre ambas tecnología de lubricantes, es decir, el aceite sintético ingresa con mejores habilidades de limpieza, eliminando la mayor cantidad de impurezas y cenizas dejadas por el lubricante de tipo mineral alto en contenido de cenizas sulfatadas, es por esta razón que el aceite sintético hace uso de su reserva alcalina (TBN) en este proceso de limpieza, por tanto disminuye el TBN e incluso se quema algo de lubricante en la cámara de combustión.

Ahora, como se puede evidenciar en la segunda muestra analizada hay una disminución porcentual de 1.82%, esto es debido al proceso de mezcla entre ambas tecnologías del lubricante (Mineral y Sintético), lo que ha traído como consecuencia que algo de lubricante se haya quemado dentro de la cámara de combustión, por lo que los operarios de mantenimiento han rellenado con aceite sintético hasta el nivel de aceite correcto; esta acción hace que se “refresque” el lubricante sintético, aumentando así la concentración de

aditivos y por consiguiente el nivel de TBN, razón por la cual se ve un incremento en este valor.

Por último, tenemos una disminución de 4.55% respecto al valor reportado en la ficha técnica del aceite sintético, esto representa que el valor de TBN del aceite sintético ya ha empezado a estabilizarse, es decir, si comparamos el valor reportado en la muestra 2 con este reportado en la muestra 3, vemos una caída del 2.73% en relación con el valor reportado en la ficha técnica del aceite sintético, este comportamiento ya es el habitual para el parámetro de TBN en lubricantes sintéticos.

4.3 Metales de Desgaste.

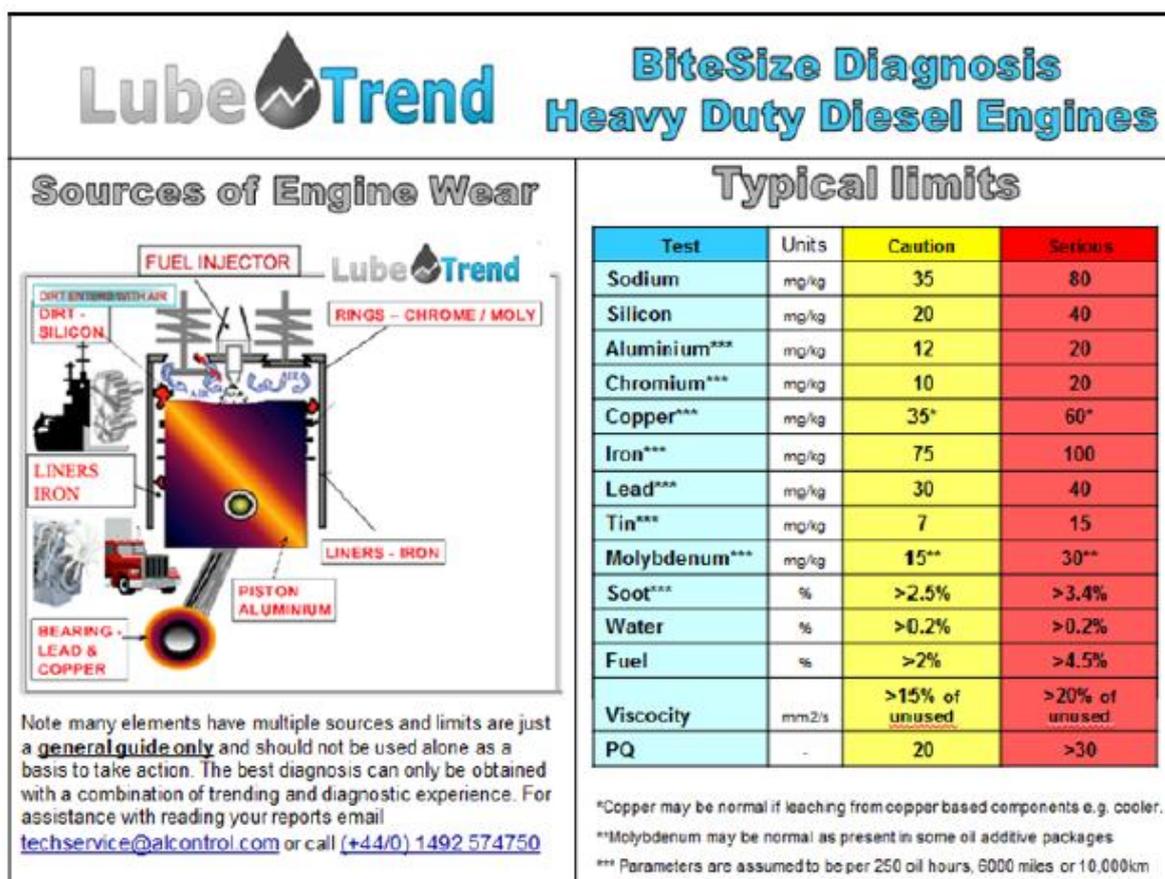
- Los metales de desgaste reportados en los análisis de aceite son partículas pequeñas de tamaños menores a 10 micras, las cuales son medidos en el equipo de Laboratorio denominado ICP y que son expresadas, generalmente, en ppm o %. Para nuestro caso en particular, el Laboratorio QCS lo expresa en ppm.
- Analicemos los metales de desgaste reportados por el laboratorio en relación con cada una de las muestras enviadas

Tabla 35 Comparación de Metales de Desgaste

Aceite	Fe	Cr	Pb	Cu	Sn	Al	Si	B	Mg	Mo	Ti	Na	K	P	Zn	Ca
Míneral	30	2	0	2	0	1	8	3	16	1	0	5	3	896	934	3393
Sintético	15	1	0	1	0	2	5	60	15	1	22	1	4	895	803	2466
Sintético	30	1	0	1	1	2	8	71	15	0	23	1	3	876	798	2825
Sintético	29	1	1	1	1	2	9	83	15	0	22	1	4	857	781	2754

Fuente: elaboración Propia

Figura 39 Límites condensorios para un motor a Diesel



Fuente: (LubeTrend)

Como se puede apreciar en la Tabla 32, los metales de desgaste permanecen en bajas concentraciones, lo cual nos demuestra la excelente protección que brinda el lubricante seleccionado bajo las especificaciones requeridas por el OEM y en las condiciones severas de operación donde transita la unidad en estudio, demostrando incluso un mejor desempeño para extender el periodo de cambio sin descuidar la protección del motor. Finalmente, añadir que estos análisis de aceite nos permiten tener un desgaste controlado a lo largo de la extensión del cambio de aceite; por tal razón, el periodo de cambio lo determinará el área de mantenimiento según sus políticas de mantenimiento proactivo o en su defecto puede emplear los valores límites de la fuente LubeTrend.

Capítulo V: Análisis Económico

Los lubricantes difieren en composición, que depende en gran medida de la tecnología de producción. A diferencia de los aceites minerales, que se obtienen por destilación de productos del petróleo crudo, los lubricantes sintéticos se producen mediante el método de producción severamente hidrocraqueado, a través del cual se obtiene una composición molecular más homogénea para mejorar las propiedades operativas del aceite.

La complejidad de la tecnología determina el alto precio del producto. El costo del aceite de motor sintético puede ser varias veces mayor que el del aceite mineral. Los aceites sintéticos se utilizan en los motores diésel y gasolina modernos turboalimentados o no turboalimentados y con sistema de pos-tratamiento de gases de escape o no.

Según los datos recopilados por los procedimientos y las muestras de laboratorio sobre el uso del aceite sintético, es indispensable el consumo de este velando por el buen funcionamiento del motor, que pueda permitir a los propietarios de un vehículo realizar desplazamientos a altitudes mayores a 3500 msnm. Por eso es necesario tener la seguridad y solvencia económica para determinar un buen funcionamiento de su maquinaria. Por tanto, realizaremos la simulación de los costos de cambio de aceite que el propietario de la unidad incurrirá a lo largo de un año, considerando que la unidad recorre 2,500 Km. Cada 15 días calendario bajo las condiciones actuales de operación en la unidad minera, demostrando que para el plazo de un año se obtiene un beneficio económico para el propietario, la cual se traduce en un ahorro de dinero generando una mayor rentabilidad para la empresa.

Tabla 36 Simulación de costos entre cambio de aceite minerales y sintéticos

PLACA	Nº CAMBIO ACEITE	KM - ACEITE	COSTO LUB.	COSTO LUB. SINTETICO	AHORRO POR UNIDAD
BAN943	0	0	107.67	174.00	-66.33
BAN943	1	2,500	215.34		
BAN943	2	5,000	323.01	348.00	-24.99
BAN943	3	7,500	430.68		
BAN943	4	10,000	538.35	522.00	16.35
BAN943	5	12,500	646.02		
BAN943	6	15,000	753.69	696.00	57.69
BAN943	7	17,500	861.36		
BAN943	8	20,000	969.03	870.00	99.03
BAN943	9	22,500	1076.70		
BAN943	10	25,000	1184.37	1044.00	140.37
BAN943	11	27,500	1292.04		
BAN943	12	30,000	1399.71	1218.00	181.71
BAN943	13	32,500	1507.38		
BAN943	14	35,000	1615.05	1392.00	223.05
BAN943	15	37,500	1722.72		
BAN943	16	40,000	1830.39	1566.00	264.39
BAN943	17	42,500	1938.06		
BAN943	18	45,000	2045.73	1740.00	305.73
BAN943	19	47,500	2153.40		
BAN943	20	50,000	2261.07	1914.00	347.07
BAN943	21	52,500	2368.74		
BAN943	22	55,000	2476.41	2088.00	388.41
BAN943	23	57,500	2584.08		
BAN943	24	60,000	2691.75	2262.00	429.75

Fuente: Elaboración Propia

Realizando cambios de aceite cada 2,500 km de recorrido (tomando como referencia un costo del lubricante), el costo para el aceite mineral sería de S/. 107.67; mientras que realizando el cambio de aceite sintético, éste sería de S/. 174.35 soles cada 5,000 Km. de recorrido.

Ahora, estableciendo una comparación de costos tomando como referencia una frecuencia de cambio múltiplo entero de 5,000 Km. obtendríamos un ahorro económico de S/. 41.34 soles, que llevando el recorrido del vehículo al periodo de un 1 año o 60,000 Km. de recorrido, éste ahorro sería de S/. 429.75 soles por unidad vehicular donde se emplee este lubricante que, de acuerdo con el volumen de consumo anual solicitado por Transportes Ángel Ibárcena para esta operación minera, estimamos en promedio una cantidad de 33 unidades vehiculares, las cuales generarían un ahorro económico de S/. 14,181.75 soles al año, como mínimo.

Figura 40 Comparación de Costos, según tipo de lubricante empleado



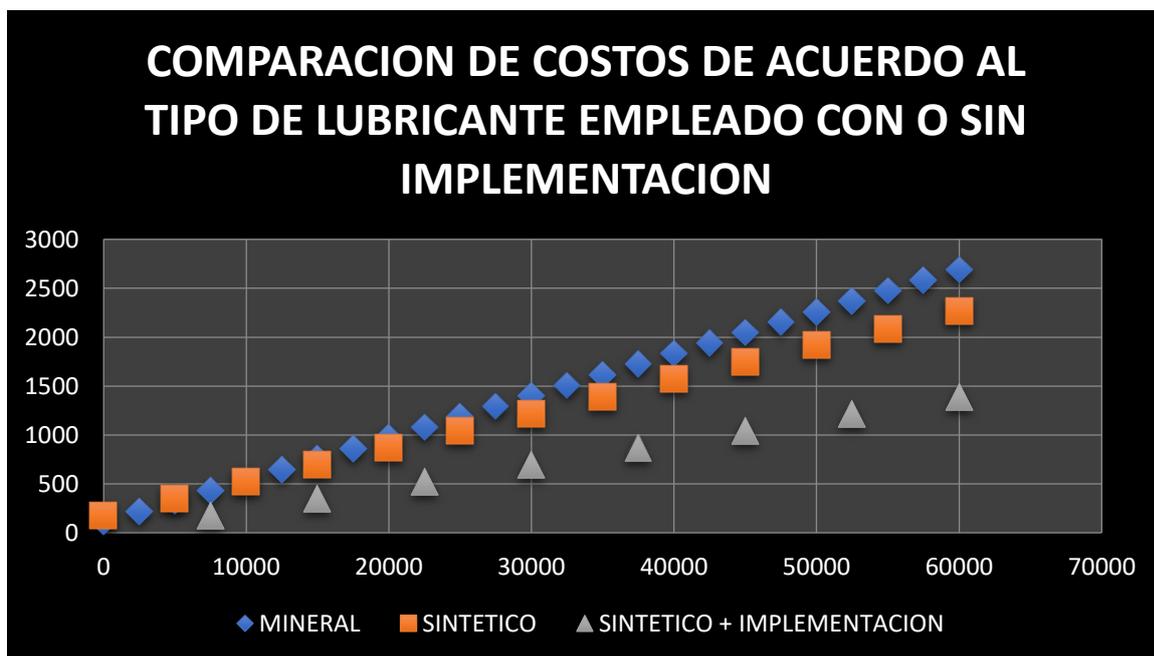
Fuente: Elaboración Propia

Figura 41 Ahorro generado por unidad vehicular en el plazo de 1 año



Fuente: Elaboración Propia

Figura 42 Comparación de Costos, según tipo de lubricante empleado con o sin implementación



Fuente: Elaboración Propia

Figura 43 Consumo anual de lubricante 15W-40 en operación minera Yauli – San Cristóbal.

PROGRAMA MENSUAL DE ENTREGA DE LUBRICANTES APROX. POR UNIDAD DE COMPRA – POR PROYECTO																	
COD LICITACION	DESCRIP LICIT	ALMACEN DEF	UNID DE COMPRA	M 1	M 2	M 3	M 4	M 5	M 6	M 7	M 8	M 9	M 10	M 11	M 12	TOT COMPRA ANUAL X UNID DE COMPRA	DIRECCION DE ENTREGA
120010054	ACEITE DE MOTOR 15W-40 CIL X 55 GL (208 LITROS) (AN)	TOOLEPALA	CIL X 208LIT	5	4	5	4	5	4	5	4	5	4	4	4	53	ILO-ESQ. MOQUEGUA Y MATARA 306-CERCADO
120010054	ACEITE DE MOTOR 15W-40 CIL X 55 GL (208 LITROS) (AN)	LIMA MININTER	CIL X 208LIT	6	6	6	6	6	6	6	5	6	6	6	5	70	AV. LOS FRUTALES 115 - ATE
120010054	ACEITE DE MOTOR 15W-40 CIL X 55 GL (208 LITROS) (AN)	CUAJONE	CIL X 208LIT	4	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	37	ILO-ESQ. MOQUEGUA Y MATARA 306-CERCADO
120010054	ACEITE DE MOTOR 15W-40 CIL X 55 GL (208 LITROS) (AN)	ILO	CIL X 208LIT	3	2	2	2	3	2	2	2	3	2	2	2	27	ILO-ESQ. MOQUEGUA Y MATARA 306-CERCADO
120010054	ACEITE DE MOTOR 15W-40 CIL X 55 GL (208 LITROS) (AN)	ALMACEN LIMA	CIL X 208LIT	2	2	2	2	2	2	2	1	2	1	2	2	22	AV. BOLOGNESI 495 - URB. LOS FICUS - SANTA ANITA- LIMA
120010054	ACEITE DE MOTOR 15W-40 CIL X 55 GL (208 LITROS) (AN)	AREQUIPA	CIL X 208LIT	2	1	2	1	1	2	1	1	2	1	1	2	17	VARIANTE DE UCHUMAYO KM 1.5- AREQUIPA
120010054	ACEITE DE MOTOR 15W-40 CIL X 55 GL (208 LITROS) (AN)	CHUNGAR	CIL X 208LIT	2	1	1	1	2	1	1	1	2	1	1	1	15	CAMP. CHUNGAR ANIMON N°44 HUAYLLAY
120010054	ACEITE DE MOTOR 15W-40 CIL X 55 GL (208 LITROS) (AN)	YAULI-SAN CRISTOBAL	CIL X 208LIT	2	1	1	1	2	1	1	1	2	1	1	1	15	CENTRO MINERO VOLCAN-SAN CRISTOBAL
120010054	ACEITE DE MOTOR 15W-40 CIL X 55 GL (208 LITROS) (AN)	COLQUIJRCA (BROCAL)	CIL X 208LIT	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	12	CARRET. CENTRAL KM 550 COLQUIJRCA-CERRO DE PASCO
120010054	ACEITE DE MOTOR 15W-40 CIL X 55 GL (208 LITROS) (AN)	SAN RAFAEL- ANTAETA	CIL X 208LIT	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	12	VARIANTE DE UCHUMAYO KM 1.5- AREQUIPA
120010054	ACEITE DE MOTOR 15W-40 CIL X 55 GL (208 LITROS) (AN)	MARCOBRE	CIL X 208LIT	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	12	AGENCIA DE TRANSPORTE EN LA CIUDAD DE NAZCA
120010054	ACEITE DE MOTOR 15W-40 CIL X 55 GL (208 LITROS) (AN)	CERRC D PASCO VOLCAN	CIL X 208LIT	2	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	7	AV. LAS AMERICAS 416 YANACANCHA CERRO DE PASCO
120010054	ACEITE DE MOTOR 15W-40 CIL X 55 GL (208 LITROS) (AN)	HUARIPAMPA	CIL X 208LIT	2	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	7	CENTRO MINERO VOLCAN- HUARIPAMPA
120010054	ACEITE DE MOTOR 15W-40 CIL X 55 GL (208 LITROS) (AN)	PUCAMARCA	CIL X 208LIT	2	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	6	AG. DE TRANSPORTE EN LA CIUDAD DE LIMA
120010054	ACEITE DE MOTOR 15W-40 CIL X 55 GL (208 LITROS) (AN)	RAURA	CIL X 208LIT	2	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	5	CAMPAMENTO RAURA-MINSUR
120010054	ACEITE DE MOTOR 15W-40 CIL X 55 GL (208 LITROS) (AN)	TINTAYA-ESPINAR	CIL X 208LIT	2	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	3	PP JJ BOLOGNESI LOTE.10 VIA SALIDA HACIA CUSCO -ESPINAR
120010054	ACEITE DE MOTOR 15W-40 CIL X 55 GL (208 LITROS) (AN)	LAS BOMBAS- CHALHUJAHUACHO	CIL X 208LIT	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	3	MZ. V1 LTE.12 WICHAYPAMPA CHALLHUJAHUACO-COTABAMBAS- APURIMAC
TOTAL																323	CILINDROS DE 208 LT o 55 GAL.

Fuente: Acuerdo comercial de lubricantes flota camionetas – camiones TAIR (pag. 7)

Indudablemente no se puede descartar que el propietario del vehículo tenga que realizar un gasto extra por distintos motivos como: cambio de filtro, cambio de válvulas, entre otros. Por ello que aquí es muy importante tomar el tiempo invertido en realizar los cambios de aceite, considerando el ahorro que podría generar a meses futuros, velando por el buen funcionamiento del vehículo. Es importante tener en consideración que, el rendimiento mejorado de los aceites sintéticos permite una rápida disolución de los depósitos de carbono.

Los esfuerzos por alcanzar en los vehículos de combustión interna cada vez mejores prestaciones con menores emisiones, llevan a la industria automotriz, una de las más reguladas del mundo, a mayores restricciones y requerimientos al lubricante. Absolutamente todo lo que se investiga, diseña y fabrica actualmente en esta industria responde totalmente a la necesidad

de seguir utilizando, por muchos años más, combustibles derivados del petróleo, o en su defecto, alternativos, que, aunque en menor medida, producen emisiones.

5.1 Beneficios de los aceites sintéticos

➤ **Alto índice de viscosidad**

Este parámetro caracteriza la estabilidad de las propiedades del aceite. La viscosidad se mide a diferentes temperaturas y sus cambios se establecen determinando el índice. Cuanto mayor sea el número obtenido, menos características del aceite estarán sujetos a fluctuaciones. Los materiales con un índice de viscosidad alto tienen un amplio rango de temperatura de aplicación, proporcionan un espesor de película estable en condiciones extremas de calefacción y refrigeración, reducen el desgaste de las piezas del motor.

➤ **Baja temperatura de solidificación.**

El parámetro determina el momento de un fuerte aumento en las características de viscosidad del aceite, hasta una pérdida completa de fluidez. La temperatura de solidificación se debe a la presencia de parafinas de estructuras normales en el líquido. Al enfriarse, estos se cristalizan, total o parcialmente bloqueando la línea de aceite. En un buen aceite sintético, las parafinas normales se eliminan o se transforman químicamente en una estructura ramificada para una composición fluida uniforme. Para bajar la temperatura de solidificación en materiales, también se introducen aditivos. Como resultado, el lubricante retiene la fluidez cuando se enfría. Previsto de esta forma, el rápido suministro de aceite al motor en arranque en frío.

➤ **Baja volatilidad.**

Durante el proceso de operaciones, se producen pérdidas naturales de aceite. Se evapora, su volumen disminuye y aumenta la concentración de contaminantes. Teniendo que agregar periódicamente aceite para proteger al motor del desgaste prematuro. La característica de baja volatilidad de un aceite sintético aumenta su eficiencia y reduce los costos de recarga.

➤ **Bajo coeficiente de fricción.**

El lubricante crea en la superficie de las piezas en contacto una película de aceite. Evita la fricción directa de los elementos estructurales, proporcionando la potencia nominal, la eficiencia del motor, reduciendo el consumo de combustible y aumentando el recurso de la unidad. Cuanto menor sea el coeficiente de fricción, mejor será el deslizamiento y menor calentamiento.

Capítulo VI: Conclusiones y Recomendaciones

6.1 Conclusiones

- En base a los resultados obtenidos, se puede concluir que la aplicación de lubricantes sintéticos en el motor de la Hilux, operando en altitudes entre 3500 y 5000 msnm, ofrece beneficios significativos en términos de incremento del intervalo de drenado de aceite. La resistencia mejorada a la oxidación y la degradación térmica de los lubricantes sintéticos ha demostrado mantener la integridad del aceite por períodos más largos en comparación con los lubricantes de base mineral. Además de extender los intervalos de cambio de aceite, se observa una preservación mejorada de las propiedades lubricantes esenciales, lo que contribuye a la protección del motor y al mantenimiento de un rendimiento eficiente bajo condiciones desafiantes de altitud, como sucede en entornos mineros.
- En resumen, esta investigación subraya la importancia de adaptar la elección del lubricante a las condiciones operativas y ambientales particulares en altitudes elevadas, con el objetivo de garantizar la protección adecuada del motor, maximizar la eficiencia y prolongar la vida útil del sistema en un entorno desafiante. La toma de decisiones informada sobre los lubricantes puede contribuir significativamente al rendimiento confiable y duradero de los motores diésel en tales condiciones.
- El muestreo a través del método de extracción mediante una bomba de vacío por el conducto de llenado de aceite no es indicativo de una muestra representativa homogénea para el mismo punto en todas las extracciones que se realicen. Por tanto, para obtener muestras representativas es mejor realizarlo a través de un puerto de muestreo cuya instalación va a depender del objetivo a alcanzar, según el plan que disponga el departamento de mantenimiento.
- La evaluación de los parámetros fisicoquímicos del aceite sintético ha proporcionado información valiosa para respaldar un diagnóstico favorable en la extensión del intervalo

de drenado de aceite. Los resultados obtenidos indican que el aceite sintético presenta propiedades superiores de estabilidad térmica, resistencia a la oxidación y capacidad de mantener sus características lubricantes en condiciones operativas exigentes. La baja tasa de desgaste, la resistencia al deterioro por oxidación y la retención del Número Total Base (TBN) estables son aspectos destacados que respaldan la viabilidad de extender el intervalo de drenado de aceite. Por otro lado, es importante mencionar que el principal parámetro fisicoquímico que va a influenciar al aumento de eficiencia volumétrica del motor es el Número Total Base o TBN, esto como consecuencia que al emplear el lubricante en la especificación requerida por el fabricante (ACEA C3) no se generará una cantidad excesiva de subproductos no quemados dentro del motor; minimizando así el riesgo de que estos subproductos se adhieran tanto a las válvulas como a los anillos y así obtener, de esta manera, una eficiencia volumétrica del motor entre un 80-85%.

6.2 Recomendaciones

- Sugerimos verificar siempre y en primera instancia el manual del fabricante para determinar las especificaciones acordes a lo solicitado por el OEM ya que algunos solo toman como referencia al API o ACEA y otros sugieran sus propias aprobaciones para la extensión de vida útil del activo.
- Sugerimos realizar la implementación de la reingeniería del activo (motor) para lo cual es necesario la instalación de Filtros de mayor eficiencia Beta, indicadores de restricción de para el Filtro de aire, puerto de muestreo y análisis de aceite periódico. Esto con el objetivo de incrementar aún más el drenado del aceite y por lo tanto un ahorro económico mayor.
- Sugerimos realizar el muestreo de aceite cada 1,500 Km para tener mayor cantidad de datos y verificar que ningún contaminante externo esté ingresando ya que si se tiene un lubricante contaminado los aditivos empiezan a degradarse rápidamente, condenando al aceite a un cambio repentino.
- Sugerimos aliarse con un proveedor de lubricantes que tenga la capacidad de entregarle análisis periódicos de aceite sin costo alguno y de preferencia alguno donde pueda conseguir la información on-line.
- Sugerimos que, dentro del Staff de profesionales del área de mantenimiento, debe de tener algún miembro certificado en lubricación de maquinaria para obtener así mayores ahorros, no sólo económicos sino también de horas hombre y optimizar su operación de mantenimiento.

Capítulo VII: Referencias Bibliográfica

American Petroleum Institute. (s.f.).

API. (1998).

Autotaller S.A. (s.f.).

Coexito. (2020).

Coexito. (Octubre 2020). Terminos de la industria de lubricantes.

Coexito,. (2020 27 Octubre). Términos de la industria de lubricantes.

convencionales., E. t., & Garcia Romero, . J. (1997).

Cristian Carrion Ilaña. (2007).

Domínguez, E., & Ferrer, J. (2008). Mecánica del vehículo. *Editex*, 52.

EPA- Trends report. (s.f.).

Ficha técnica de Castrol Edge Turbo Diesel 5W-40. (s.f.).

Ficha técnica de Valvoline Premium Blue 7800 Plus 15W-40. (s.f.).

García Romero. (s.f.). 1997.

García Romero. (1997).

García Romero,, J. C. (1997). Estudio técnico comparativo: lubricantes sintéticos como sustitutos de los lubricantes minerales convencionales.

García, , J. (1997). *García Romero, J. C. Estudio técnico comparativo: lubricantes sintéticos como sustitutos de los lubricantes minerales convencionales.*

Gonzales F. (2005). Teoría y práctica del mantenimiento industrial avanzado. FC editorial.

<http://docplayer.es/67741320-Anexo-v-lubricantes-especificaciones-y-normativa.html>. (s.f.).

<http://neumaticosylubricantesonline.com/blog/calidades-acea-api-aceites-lubricantes/>. (s.f.).

<http://sd-1134035-h00002.ferozo.net/wp-content/uploads/2017/04/ACEA-API-ILSAC-JASO-Especi%CC%81ficos.pdf>. (s.f.).

- <http://sd-1134035-h00002.ferozo.net/wp-content/uploads/2017/04/ACEA-API-ILSAC-JASO-Especi%CC%81ficos.pdf>. (s.f.).
- <https://noria.mx/aditivos-para-el-aceite-guia-practica/>. (2020).
- <https://pqia.org/resource-center/>. (s.f.).
- <https://www.denhartogbv.com/technischedatabase/acea-e4/>. (s.f.).
- John Milton Amis. (2009). *Machinery's Handbook Guide* (31 Edition).
- Juan Diaz Sepulveda. (2006).
- Juan Garcia Romero. (1997).
- LubeTrend. (s.f.).
- Lubrizol. (s.f.).
- Manual Toyota Hilux 2019. (pag, 461, 462, 497).
- Mobil™. (s.f.).
- NORIA Latin America. (s.f.).
- NORIA Latin America. (2022).
- Norierga Cordova,, M. H., & Simbaña Guallimba,, D. J. (2018). Estudio tribológico en función de la temperatura utilizando aditivos no sólidos.
- Pirro y Wessol. (2001).
- Pirro, D. M., & Wessol, A. A. (2001). *Lubrication Fundamentals Second Edition, Revised and Expanded*. (Vol. Segunda Edición). New York: Marcel Dekker.
- Reber. (2000).
- Reber, J. (2000). Conoco Lubricants & Specialty Products, Mantenimiento Proactivo y Análisis de aceite. *Artículos lubricación Noria*.
- Revista Machinery lubrication. (s.f.).
- Rizvi, S. Q. (2009). Lubricant chemistry, technology, selection, and design. *ASTM International, Conshohocken*.

Rudnick. (2009).

Rudnick, L. R. (2009). *Lubricant additives: chemistry and applications*. CRC press.

SAE. (2019).

Syed Q A Rizvi. (2009). *A comprehensive Review of Lubricant Chemistry, Technology, Selection and Design*. .

Trico código 36800. (s.f.).

Trico, c. 3. (s.f.).

Trico, c. 3. (s.f.).

Universidad del BÍO BÍO. (2007).

Widman internacional. (s.f.).

Widman Internacional. (s.f.).

Zagaiko. (2006).

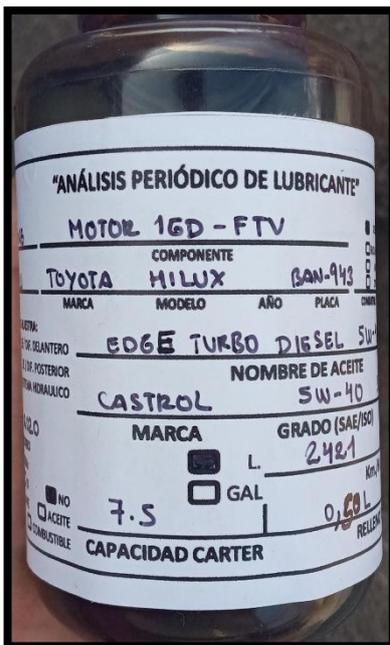
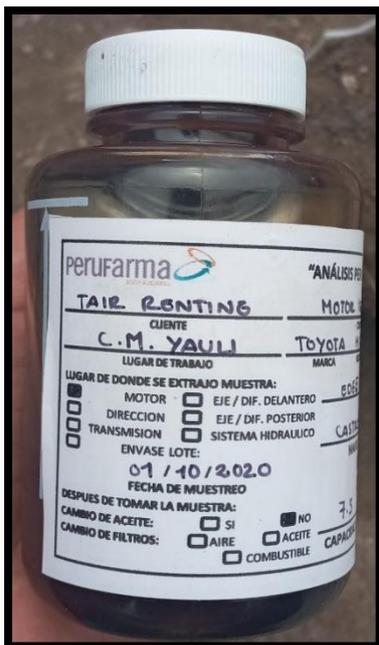
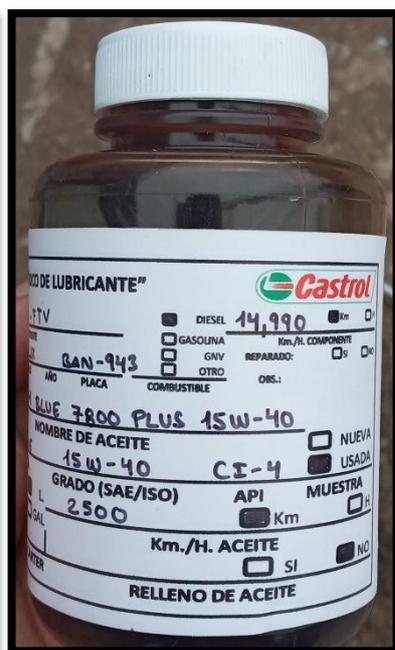
Zagaiko S A. (2006).

Capítulo VIII: Anexos

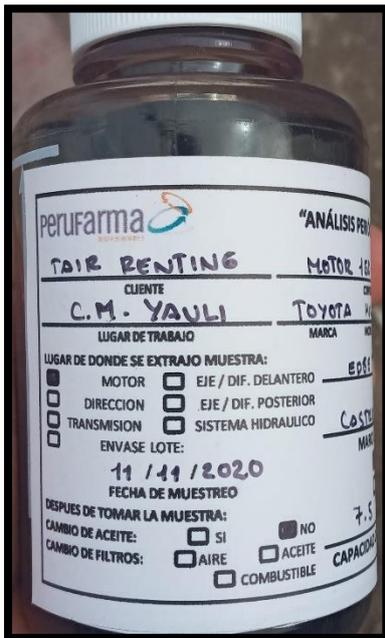
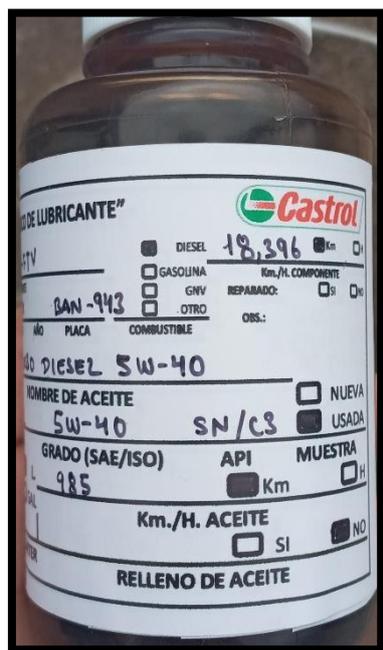
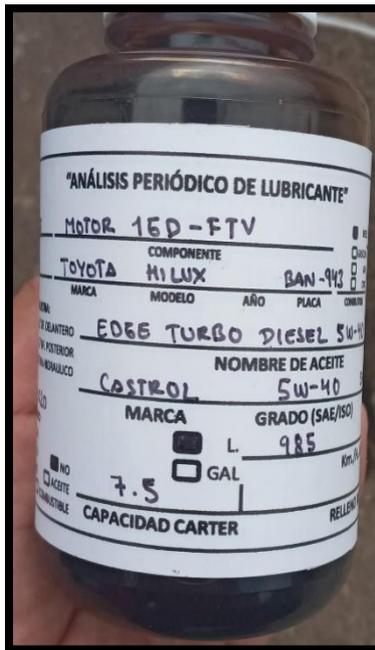
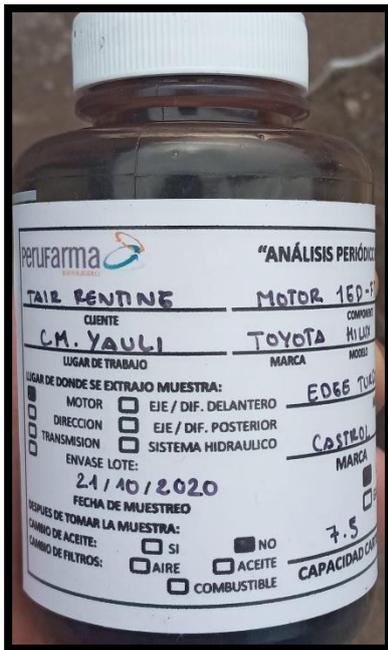
Anexo 1: Fotos de la unidad minera Yauli, vehículo y envío de muestra:



Anexo 2: Fotos de las muestras tomadas para los análisis de aceite:



Anexo 3: Fotos de las muestras tomadas para los análisis de aceite:



Anexo 4: Ficha técnica del lubricante Valvoline Premium Blue 7800 Plus 15W-40:

Información de Producto



UN PRODUCTO DE VALVOLINE INC.

Valvoline™ Premium Blue™ 7800 Plus

Valvoline™ Premium Blue™ 7800 Plus Engine Oil está diseñado para proveer un rendimiento avanzado del lubricante en los motores Diesel modernos, equipados con tratamiento de emisiones, incluyendo todos los tipos con el sistema EGR (Recirculación de gases de escape), operando bajo una amplia variedad de condiciones de servicios. Premium Blue 7800 Plus está mejorado para potencializar la protección al desgaste, detergencia y resistencia a la oxidación.

Ventajas del Lubricante Premium Blue 7800 Plus:

- Protección contra el desgaste del tren de válvulas (valvetrain) y reduce la restricción en el filtro de aceite por altos niveles de hollín.
- Control de depósitos a altas temperaturas, incluyendo protección a pistones de 1 y 2 piezas, y el desgaste de los anillos/revestimientos.
- Nivel superior de TBN y retención TBN para un rendimiento de larga duración.

Valvoline Premium Blue 7800 Plus- Este producto está certificado en API CI-4 Plus/SL. Está endosado por la compañía de motores Cummins y cuenta con la aprobación CES20078. También está aprobado al someterlo a las especificaciones de: API CH-4, ACEA E7, Cummins CES 20076 y 20077, MB 228.3, MTU Tipo 2, Volvo VDS-3, Mack EO-N, Mack EO-M Plus, Renault RLD-2, MAN 3275, Cat ECF-2 y ECF-1-a, Detroit Diesel 93K214 y 93K215, Deutz DQC III-10 y Global DHD-1. Provee un excelente desempeño en flotas mixtas de Diesel y gasolina, carga y entrega, flotas de ciudad, camiones de arrastre de grandes distancias, y aplicaciones fuera de Carretera.

Propiedades típicas	15W-40
Viscosidad @ 40 °C cst	113.6
Viscosidad @ 100 °C cst	15.3
Índice de viscosidad	141
Viscosidad CCS @ -20C cP	6000
Viscosidad límite de bombeo @ -25 C, cP	Pasa
Viscosidad HTHS, cP	4.1
Prueba Noack de Volatilidad, % de pérdida	10.7%
Punto de congelación, °C	-30
Cenizas Sulfitadas, %	1.55%
Número Total Base (TBN D-2896)	12
Número de Parte	
Granel	875579
Tote	876203
Tambor 208 Lts.	876146
Cubeta 19 Lts.	876147
Galón Caja 3/1 gal	876125

Para información de salud y seguridad de este producto usar la Hoja de seguridad de producto de Valvoline.

™ Marca Registrada, Valvoline y sus subsidiarias están registradas en varios países.

Esta información es válida para los productos fabricados en: USA y Canadá.

Endosado y recomendado por Cummins Inc.



Anexo 5: Ficha técnica del lubricante Castrol Edge Turbo Diesel 5W-40:



Ficha Técnica

Castrol EDGE Turbo Diesel 5W-40

Fluid TITANIUM - Más resistente bajo presión

Descripción

Los motores actuales continuamente desafían la tecnología y la ingeniería llevándolas a nuevos límites. Son más pequeños y ultraeficientes, sin sacrificar su rendimiento. El aumento de las presiones de los motores actuales supone todo un desafío para los lubricantes. Estas intensas presiones producen fricción, que puede desaprovechar hasta un 10 % del rendimiento del motor.

Castrol EDGE Turbo Diesel, con la tecnología patentada Fluid TITANIUM, transforma su estructura física para ser más resistente bajo presión a fin de mantener separado el metal y reduce la fricción para ofrecer un máximo rendimiento del motor cuando más lo necesites.

Castrol EDGE Turbo Diesel con Fluid TITANIUM: libera el rendimiento de tu motor

Aplicación

EDGE Turbo Diesel 5W-40 es adecuado para su uso en motores de automóviles gasolina y diesel donde el fabricante recomienda un lubricante con especificaciones ACEA C3, API SN/CF

Consulte el manual de su vehículo.

*GMdexos2™ : reemplaza y supera GM-LL-B-025 y GM-LL-A-025 : GB2D0717082

Ventajas

Castrol EDGE Turbo Diesel 5W-40 con Fluid TITANIUM es la elección correcta para conductores que exigen el máximo rendimiento del motor de los sofisticados vehículos diésel actuales que requieren un elevado nivel de protección y lubricantes de alto rendimiento.

Castrol EDGE Turbo Diesel 5W-40 :

- Se transforma hasta convertirse en el más resistente a máxima presión para proteger el motor
- Reduce la fricción que reduce la potencia en todas las velocidades y condiciones del motor
- Sometido a las pruebas más exigentes para verificar su rendimiento
- Recomendado por fabricantes de vehículos líderes del mercado
- Reduce los depósitos en el motor para maximizar su respuesta

Características Típicas

Prueba	Método	Unidades	Castrol EDGE Turbo Diesel 5W-40
Densidad Relativa @ 15C	ASTM D4052	g/ml	0.85
Viscosidad Cinemática 100C	ASTM D445	mm ² /s	13
Viscosidad, CCS -30C (5W)	ASTM D5293	mPa.s (cP)	5800
Viscosidad Cinemática 40C	ASTM D445	mm ² /s	75
Índice Viscosidad	ASTM D2270	None	174
Número Base Total (TBN)	ASTM D2896	mgKOH/gKOH	11.0
Punto Fluidez	ASTM D97	°C	-42
Punto Inflamación, PMCC	ASTM D93	°C	202
Cenizas Sulfatadas	ASTM D874	% wt	0.8

Los datos anteriores son típicos con valores de tolerancia normales de producción y no constituyen especificación.

Requisitos de Desempeño Standard

ACEA C3
 API SN/CF
 Meets Fiat 9.55535-S2
 Meets Ford WSS-M2C917-A
 GMdexos2™*
 MB-Approval 226.5/ 229.31/ 229.51
 Renault RN 0700 / RN 0710
 VW 505 00/ 505 01

Anexo 6: Reporte de los análisis de aceite para las muestras tomadas:



REPORTE DE RESULTADOS DE ANALISIS							
CLIENTE	TAIR RENTING				EQUIPO	BAN-943	
No. Muestra	200201	200217	200221	200222	CODIGO	NO INDICA	
FECHA DE RECEPCION	21/08/2020	16/10/2020	24/11/2020	24/11/2020	OBSERVACIONES	NO INDICA	
FECHA DE REPORTE	24/08/2020	21/10/2020	26/11/2020	26/11/2020	LUGAR DE OBTENCION	CARTER	
FECHA DE MUESTREO	19/08/2020	01/10/2020	21/10/2020	11/11/2020	MARCA	NO INDICA	
EQUIPO	MOTOR	MOTOR	MOTOR	MOTOR	MODELO/SERIE	NO INDICA	
LUBRICANTE	VALVOLINE	CASTROL EDGE	CASTROL EDGE	CASTROL EDGE	CAPACIDAD DE CARTER	NO INDICA	
GRADO	15W40	5W40	5W40	5W40	RELLENO	NO INDICA	
KILOMETRAJE DE MOTOR	14,990	17,411	18,396	19,471	ENVIADO POR	NO INDICA	
KM. RECORRIDO POR ACEITE	2,300	2,421	985	1075	CONTACTO	L. BARRIENTOS	
ANALISIS DE MUESTRAS						Límites	
						Mínimo	Máximo
COLOR / APARIENCIA	USADO	USADO	USADO	USADO		-----	-----
VISCOSIDAD A 100 C(cSt)	14.86	13.04	13.18	12.86		12.5	16
AGUA (%vol)	0	0	0	0		0	0.2
% DILUCION	0	0	0	0		-----	-----
TBN (mg KOH/g)	10.1	8.1	10.8	10.5		-----	-----
HOLLIN (Abs/cm)	0.46	0.26	0.48	0.48		-----	-----
OXIDACION (Abs/cm)	0.02	0.01	0.38	0.37		-----	-----
METALES (ppm)							
HIERRO	30	15	30	29			
CROMO	2	1	1	1			
PLOMO	0	0	0	1			
COBRE	2	1	1	1			
ESTAÑO	0	0	1	1			
ALUMINIO	1	2	2	2			
NIQUEL	0	0	0	0			
PLATA	0	1	0	0			
SILICIO	8	5	8	9			
BORO	3	60	71	83			
SODIO	5	1	1	1			
MAGNESIO	16	15	15	15			
MOLIBDENO	1	1	0	0			
TITANIO	0	22	23	22			
VANADIO	0	0	0	0			
MANGANESO	0	0	0	0			
POTASIO	3	4	3	4			
FOSFORO	896	895	876	857			
ZINC	934	803	798	781			
CALCIO	3393	2486	2825	2754			
BARIO	0	0	0	3			
STATUS	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL			

COMENTARIOS:

- La viscosidad se mantiene dentro de los límites del producto nuevo. Eso asegura la protección superior contra el desgaste y esto se comprueba con los valores mínimos de metales de desgaste.
- El valor de TBN (10.5) se encuentra muy por encima del valor del producto nuevo (10) y por encima de la sugerencia de los fabricantes que indican que debe ser al menos el 50% del valor del producto nuevo. Esto asegura la neutralización de los ácidos formados durante la combustión y por lo tanto un excelente control de la corrosión y el desgaste, igualmente demostrado por los valores de metales de desgaste.
- En lo referente a los metales de los aditivos, estoy están muy cercanos a los valores mínimos del producto nuevo, es decir que podemos estar tranquilos con la extensión del periodo de cambio ya que se mantendrá la protección.
- Los valores de los metales de desgaste se observa ligero aumento de desgaste en hierro, pero sigue manteniéndose en un nivel extremadamente bajo de hierro, cromo, cobre y aluminio, nos aseguran que no hay desgaste en pistones, cojinetes ni anillos.
- Los bajos valores de silicio nos confirma que el filtro de aire está funcionando perfectamente y esto favorece en reducir el desgaste por el silicio que es un elemento altamente abrasivo.

En resumen, a la fecha el producto se encuentra en buen estado y el motor está completamente protegido. Con las siguientes muestras de aceite podremos demostrar que nuestro producto brinda excelente protección en el kilometraje ofrecido.

Nota: Los resultados pueden ser afectados por información Incorrecta o muestras que no sean representativas de la carga de aceite.

VISCOSIDAD A 100 C(cSt)

Muestra	200201	200217	200221	200222
Valor	14.86	13.04	13.18	12.86

AGUA (%vol)

Muestra	200201	200217	200221	200222
Valor	0	0	0	0

TBN (mg KOH/g)

Muestra	200201	200217	200221	200222
Valor	10.1	8.1	10.8	10.5

HOLLIN (Abs/cm)

Muestra	200201	200217	200221	200222
Valor	0.46	0.26	0.48	0.48

METALES-DESGASTE MOTOR

Muestra	200201	200217	200221	200222
HIERRO	30	15	30	29
CROMO	2	1	1	1
PLOMO	0	0	0	1
COBRE	2	1	1	1
ESTAÑO	0	0	1	1
ALUMINIO	1	2	2	2
NIQUEL	0	0	0	0
PLATA	0	1	0	0
SILICIO	8	5	8	9
BORO	3	60	71	83
SODIO	5	1	1	1
MAGNESIO	16	15	15	15
MOLIBDENO	1	1	0	0
TITANIO	0	22	23	22
VANADIO	0	0	0	0
MANGANESO	0	0	0	0
POTASIO	3	4	3	4
FOSFORO	896	895	876	857
ZINC	934	803	798	781
CALCIO	3393	2486	2825	2754
BARIO	0	0	0	3

J. Martell

Coordinador de Laboratorio

OCS EIRL

Anexo 7: Especificaciones del motor en estudio**Engine**

▶ 1GR-FE engine

Model	1GR-FE
Type	6 cylinder V type, 4 cycle, gasoline
Bore and stroke	94.0 × 95.0 mm (3.70 × 3.74 in.)
Displacement	3956 cm ³ (241.4 cu.in.)
Valve clearance (engine cold)	Intake: 0.15 — 0.25 mm (0.008 — 0.010 in.) Exhaust: 0.29 — 0.39 mm (0.011 — 0.015 in.)
Drive belt tension	Automatic adjustment

▶ 2TR-FE engine

Model	2TR-FE
Type	4 cylinder in line, 4 cycle, gasoline
Bore and stroke	95.0 × 95.0 mm (3.74 × 3.74 in.)
Displacement	2694 cm ³ (164.4 cu.in.)
Valve clearance (engine cold)	Automatic adjustment
Drive belt tension	Automatic adjustment

▶ 1GD-FTV engine

Model	1GD-FTV
Type	4 cylinder in line, 4 cycle, diesel (with turbocharger)
Bore and stroke	92.0 × 103.6 mm (3.62 × 4.08 in.)
Displacement	2755 cm ³ (168.1 cu.in.)
Valve clearance (engine cold)	Automatic adjustment
Drive belt tension	Automatic adjustment

Anexo 8: Especificaciones del aceite para el motor de la unidad en estudio:

▶ 1GD-FTV and 2GD-FTV engines

Oil capacity (Drain and refill — reference*)	
With filter	7.5 L (7.9 qt., 6.6 Imp.qt.)
Without filter	7.0 L (7.4 qt., 6.2 Imp.qt.)

*: The engine oil capacity is a reference quantity to be used when changing the engine oil. Warm up and turn off the engine, wait more than 5 minutes, and check the oil level on the dipstick.

■ Engine oil selection

“Toyota Genuine Motor Oil” is used in your Toyota vehicle. Toyota recommends the use of approved “Toyota Genuine Motor Oil”. Another motor oil of matching quality can also be used.

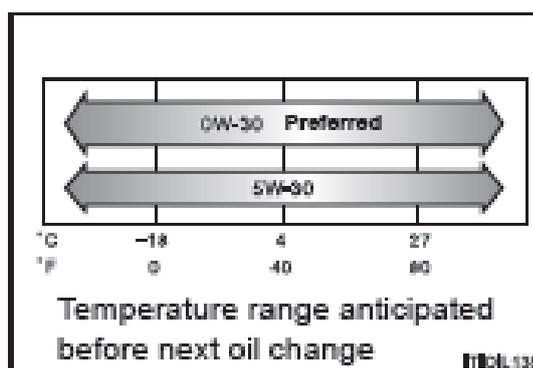
Oil grade: ACEA C2

⚠ NOTICE

Using engine oil other than ACEA C2 may damage the catalytic converter.

Recommended viscosity (SAE):

SAE 0W-30 is filled into your Toyota vehicle at manufacturing, and the best choice for good fuel economy and good starting in cold weather.



Anexo 9: Intervalo de drenado de aceite, según manual del fabricante para la unidad en estudio:

7-2. Mantenimiento **461**

A-2: Conducción por carreteras polvorrientas. (Carreteras en áreas donde el índice de pavimento es bajo o donde suele generarse una nube de polvo y el aire es seco).	
<input type="checkbox"/> Cambio del aceite del motor	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Motor de gasolina Cada 5000 km (3000 millas) o cada 3 meses ▶ Motor diésel Cada 2500 km (1500 millas) o cada 3 meses
<input type="checkbox"/> Cambio del filtro de aceite del motor	Cada 5000 km (3000 millas) o cada 6 meses
<input type="checkbox"/> Inspección* o reemplazo del filtro de aire (incluida la revisión del pre-filtro de aire, si así está equipado)	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Motor de gasolina I: Cada 10000 km (6000 millas) o cada 12 meses R: Cada 40000 km (24000 millas) o 48 meses ▶ Motor diésel I: Cada 2500 km (1500 millas) o cada 3 meses R: Cada 30000 km (18000 millas) o 36 meses
<input type="checkbox"/> Inspección* de las balatas y los tambores del freno (incluidas las balatas y los tambores del freno de estacionamiento)	Cada 10000 km (6000 millas) o cada 6 meses
<input type="checkbox"/> Inspección* de las pastillas y los discos del freno	Cada 5000 km (3000 millas) o cada 3 meses
<input type="checkbox"/> Cambio de aceite de transferencia (modelos 4WD)	Cada 40000 km (24000 millas) o cada 48 meses

7

Cuidado

462 7-2. Mantenimiento

A-3: Conducción por carreteras cubiertas de sal.	
<input type="checkbox"/> Lubricación de la flecha propulsora con grasa <<Consulte las notas 1 y 2.>>	Cada 5000 km (3000 millas) o cada 3 meses
<input type="checkbox"/> Apriete de los pernos de la flecha propulsora	Cada 5000 km (3000 millas) o cada 3 meses
A-4: Solo para motores diésel: Operación frecuente a más de 2000 m (6562 pies) sobre el nivel del mar.	
<input type="checkbox"/> Cambio de aceite del motor	Cada 2500 km (1500 millas) o cada 3 meses

Anexo 10: Acuerdo comercial de lubricantes flota camionetas – camiones TAIR (página 7):

PROGRAMA MENSUAL DE ENTREGA DE LUBRICANTES APROX. POR UNIDAD DE COMPRA – POR PROYECTO																		
COD LICITACION	DESCRIP LICIT	ALMACEN DEF	UNID DE COMPRA	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M12	TOT COMPRA ANUAL X UNID DE COMPRA	DIRECCION DE ENTREGA
				1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11				
120010054	ACEITE DE MOTOR 15W-40 CIL X 55 GL (208 LITROS) (AN)	TOQUEPALA	CIL X 208LIT	5	4	5	4	5	4	5	4	5	4	4	4	4	53	ILO-ESQ. MOQUEGUA Y MATARA 306-CERCADO
120010054	ACEITE DE MOTOR 15W-40 CIL X 55 GL (208 LITROS) (AN)	LIMA MININTER	CIL X 208LIT	6	6	6	6	6	6	6	5	6	6	6	5	70	AV. LOS FRUTALES 115 - ATE	
120010054	ACEITE DE MOTOR 15W-40 CIL X 55 GL (208 LITROS) (AN)	CUAJONE	CIL X 208LIT	4	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	37	ILO-ESQ. MOQUEGUA Y MATARA 306-CERCADO	
120010054	ACEITE DE MOTOR 15W-40 CIL X 55 GL (208 LITROS) (AN)	ILO	CIL X 208LIT	3	2	2	2	3	2	2	2	3	2	2	2	27	ILO-ESQ. MOQUEGUA Y MATARA 306-CERCADO	
120010054	ACEITE DE MOTOR 15W-40 CIL X 55 GL (208 LITROS) (AN)	ALMACEN LIMA	CIL X 208LIT	2	2	2	2	2	2	2	1	2	1	2	2	22	AV. BOLOGNESI 495 - URB. LOS FICUS - SANTA ANITA- LIMA	
120010054	ACEITE DE MOTOR 15W-40 CIL X 55 GL (208 LITROS) (AN)	AREQUIPA	CIL X 208LIT	2	1	2	1	1	2	1	1	2	1	1	2	17	VARIANTE DE UCHUMAYO KM 1.5- AREQUIPA	
120010054	ACEITE DE MOTOR 15W-40 CIL X 55 GL (208 LITROS) (AN)	CHUNGAR	CIL X 208LIT	2	1	1	1	2	1	1	1	2	1	1	1	15	CAMP. CHUNGAR ANIMON N°44 HUAYLLAY	
120010054	ACEITE DE MOTOR 15W-40 CIL X 55 GL (208 LITROS) (AN)	YAJU-SAN CRISTOBAL	CIL X 208LIT	2	1	1	1	2	1	1	1	2	1	1	1	15	CENTRO MINERO VOLCAN-SAN CRISTOBAL	
120010054	ACEITE DE MOTOR 15W-40 CIL X 55 GL (208 LITROS) (AN)	COLOQUIRCA (BROCAL)	CIL X 208LIT	2		2		2		2		2		2		12	CARRET. CENTRAL KM 550 COLOQUIRCA-CERRO DE PASCO	
120010054	ACEITE DE MOTOR 15W-40 CIL X 55 GL (208 LITROS) (AN)	SAN RAFAEL- ANTAUTA	CIL X 208LIT	2		2		2		2		2		2		12	VARIANTE DE UCHUMAYO KM 1.5- AREQUIPA	
120010054	ACEITE DE MOTOR 15W-40 CIL X 55 GL (208 LITROS) (AN)	MARCOBRE	CIL X 208LIT	2		2		2		2		2		2		12	AGENCIA DE TRANSPORTE EN LA CIUDAD DE NAZCA	
120010054	ACEITE DE MOTOR 15W-40 CIL X 55 GL (208 LITROS) (AN)	CERRO D PASCO VOLCAN	CIL X 208LIT	2				1		2				2		7	AV. LAS AMERICAS 416 YANACANCHA CERRO DE PASCO	
120010054	ACEITE DE MOTOR 15W-40 CIL X 55 GL (208 LITROS) (AN)	HUARIPAMPA	CIL X 208LIT	2				1		2				2		7	CENTRO MINERO VOLCAN- HUARIPAMPA	
120010054	ACEITE DE MOTOR 15W-40 CIL X 55 GL (208 LITROS) (AN)	PUCAMARCA	CIL X 208LIT	2				1		2				1		6	AG. DE TRANSPORTE EN LA CIUDAD DE LIMA	
120010054	ACEITE DE MOTOR 15W-40 CIL X 55 GL (208 LITROS) (AN)	RAURA	CIL X 208LIT	2						1		2				5	CAMPAMENTO RAURA-MINSUR	
120010054	ACEITE DE MOTOR 15W-40 CIL X 55 GL (208 LITROS) (AN)	TINTAYA-ESPINAR	CIL X 208LIT	2										1		3	PP JJ BOLOGNESI LOTE-10 VIA SALIDA HACIA CUSCO -ESPINAR	
120010054	ACEITE DE MOTOR 15W-40 CIL X 55 GL (208 LITROS) (AN)	LAS BAMBAS- CHALHUAHUACHO	CIL X 208LIT	1				1						1		3	MZ. V1 LTE.12 WICHAYPAMPA CHALHUAHUACHO-COTABAMBAS- APURIMAC	
TOTAL																323	CILINDROS DE 208 LT o 55 GAL.	

Anexo 11: Parte del contrato de lubricantes suscrito entre ambas compañías:



CONTRATO DE SUMINISTRO DE LUBRICANTES PARA LA FLOTA VEHICULAR DE CAMIONETAS – CAMIONES A NIVEL NACIONAL

Conste por el presente documento, la contratación del SUMINISTRO DE LUBRICANTES PARA LA FLOTA VEHICULAR DE CAMIONETAS - CAMIONES, que celebra de una parte la empresa de TRANSPORTES ANGEL IBARCENA S.A.C. con RUC No 20100227895 debidamente representada por el Sr. Justo Pastor Silva Fernández, identificado con DNI No 29228149, y el señor Orlando Gonzalo Garcia León, identificado con DNI N°08592656, con domicilio en Av. Bolognesi Nro. 495, Urbanización Los Ficus, distrito de Santa Anita, provincia y departamento de Lima; según poderes inscritos en la Partida No 01977997 del Registro de Personas Jurídicas de Lima, en adelante TAIR RENTING y de la otra parte, la empresa PERUFARMA S.A. con RUC No 20100052050 debidamente representada por el Sr. XXXXXXXXXXXX, identificado con DNI No. XXXXXXXX con domicilio en XXXXXXXXXXXXXXXXXXXX según poderes inscritos en la Partida N XXXXXX del Registro de Personas Jurídicas de Lima, en adelante PERUFARMA S.A.; en los términos siguientes:

CLÁUSULA PRIMERA: ANTECEDENTES

Con fecha 17 de noviembre del 2020, el equipo encargado de las licitaciones privadas de TAIR RENTING adjudicó como ganador de la LICITACIÓN N.º 002-2020-TAIR RENTING-LUBTOY-NAC para la contratación de SUMINISTRO DE LUBRICANTES PARA LA FLOTA VEHICULAR DE CAMIONETAS - CAMIONES, a PERUFARMA S.A., cuyos detalles e importe constan en los documentos integrantes del presente contrato.

CLÁUSULA SEGUNDA: OBJETO

El presente contrato tiene por objeto que PERUFARMA S.A. SUMINISTRE LUBRICANTES PARA LA FLOTA VEHICULAR DE CAMIONETAS - CAMIONES que maneja TAIR RENTING, bajo el sistema de contratación de precios unitarios.

CLÁUSULA CUARTA: DEL PLAZO DE ENTREGA Y LUGAR DE ENTREGA

El suministro de lubricantes será entregado por PERUFARMA S.A. según los tiempos de abastecimiento establecidos por proyecto:

LEAD TIME DE ABASTECIMIENTO POR PROYECTO

ALMACEN DEF	LEAD TIME
ALMACEN LIMA	1 DIA
AREQUIPA	4 DIAS
CERRO D PASCO VOLCAN	4 DIAS
CHUNGAR	4 DIAS
COLQUIJRCA (BROCAL)	5 DIAS
CUAJONE	5 DIAS
HUARIPAMPA	5 DIAS
ILO	5 DIAS
LAS BAMBAS-CHALHUAHUACHO	4 DIAS
LIMA MININTER	1 DIA
MARCOBRE	3 DIAS
PUCAMARCA	1 DIA
RAURA	5 DIAS
SAN RAFAEL-ANTAUTA	3 DIAS
TINTAYA-ESPINAR	5 DIAS
TOQUEPALA	5 DIAS
YAULI-SAN CRISTOBAL	5 DIAS

DIRECCIONES DE ENTREGA POR PROYECTO

ALMACEN DEF	DIRECCION DE ENTREGA
ALMACEN LIMA	AV. BOLOGNESI 495 - URB. LOS FICUS - SANTA ANITA- LIMA
AREQUIPA	VARIANTE DE UCHUMAYO KM 1.5-AREQUIPA
CERRO D PASCO VOLCAN	AV. LAS AMERICAS 416 YANACANCHA CERRO DE PASCO
CHUNGAR	CAMP. CHUNGAR ANIMON N°44 HUAYLLAY
COLQUIJRCA (BROCAL)	CARRET. CENTRAL KM 550 COLQUIJRCA-CERRO DE PASCO
CUAJONE	ILO-ESQ. MOQUEGUA Y MATARA 306-CERCADO
HUARIPAMPA	CENTRO MINERO VOLCAN-HUARIPAMPA
ILO	ILO-ESQ. MOQUEGUA Y MATARA 306-CERCADO
LAS BAMBAS-CHALHUAHUACHO	MZ. V1 LTE. 12 WICHAYPAMPA CHALLHUAHUACO-COTABAMBAS-APURIMAC
LIMA MININTER	AV. LOS FRUTALES 115 - ATE
MARCOBRE	AGENCIA DE TRANSPORTE EN LA CIUDAD DE NAZCA
PUCAMARCA	AG. DE TRANSPORTE EN LA CIUDAD DE LIMA
RAURA	CAMPAMENTO RAURA-MINSUR