

Universidad Internacional del Ecuador



**Facultad de Ciencias Técnicas
Escuela de Ingeniería Mecánica Automotriz**

Trabajo de Integración Curricular

Artículo Investigación para la obtención del Título de Ingeniera en Mecánica Automotriz

**ESTUDIO DE LAS VENTAJAS Y DESVENTAJAS QUE PUEDE PRESENTAR
EL USO DE ACEITE ATF EN UNA TRANSMISIÓN MANUAL**

Dyllan Nikolai Sánchez Serrano

Anthony David Cevallos Noble

Director: MSc. Gorky G. Reyes C.

Quito, Julio 2022

CERTIFICACIÓN

Nosotros, Dyllan Nikolai Sánchez Serrano, Anthony David Cevallos Noble, declaramos bajo juramento, que el trabajo aquí descrito es de nuestra autoría; que no ha sido presentado anteriormente para ningún grado o calificación profesional y que se ha consultado la bibliografía detallada.

Cedemos nuestros derechos de propiedad intelectual a la Universidad Internacional del Ecuador, para que sea publicado y divulgado en internet, según lo establecido en la Ley de propiedad Intelectual, reglamento y leyes.

Dyllan Nikolai Sánchez Serrano

Anthony David Cevallos Noble

Yo, Guillermo Gorky Reyes Campaña, certifico que conozco al autor del presente trabajo siendo el responsable exclusivo tanto de su originalidad y autenticidad, como de su contenido.

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Guillermo Gorky Reyes Campaña', written over a horizontal line.

Guillermo Gorky Reyes Campaña

DEDICATORIA

A mis padres, Susan y Ángel, quienes con su incansable esfuerzo, consejos diarios y apoyo incondicional han sido parte del arduo proceso de hoy cumplir una meta más.

A mis mejores amigos, consejeros y hermanos, Ariana y Damian, por ser luz cuando todo podía tomar matices oscuros, ayudándome a enfocar mis metas y sueños.

A mi guía, mi razón y pareja, Alisson, por ser ese fuego que enciende otros fuegos y enseñarme que mi esfuerzo puede relucir cuando mi talento decide no mostrarse.

A todos ustedes, quienes fueron parte de mí crecer académico, profesional y humano, se los dedico.

- Dyllan Nikolai Sánchez Serrano.

DEDICATORIA

El presente trabajo investigativo lo dedico principalmente a mi padre Cesar Cevallos y madre Alexandra Noble, por su amor, trabajo y sacrificio que han realizado en todos estos años para cumplir mis metas y su pararme, gracias a ustedes he logrado llegar hasta aquí y convertirme en lo que soy ahora. Es un privilegio ser su hijo, son los mejores padres del mundo.

A mi hermano Henry Cevallos por ser un pilar importante para superarme y ser un ejemplo para él y por brindarme su apoyo moral. También a mi hermano Stalin Cevallos difunto le dedico este trabajo de investigación, donde él fue un gran ejemplo a seguir donde me brindo grandes experiencias y apoyo que me permitieron seguir adelante y cumplir mis metas.

Por ultimo dedico a Harold Calderón por ser mi mentor durante el trascurso de estos años en mi carrera y por brindar sus conocimientos para crecer más como una persona profesional.

- Anthony David Cevallos Noble.

AGRADECIMIENTO

Agradezco a mis padres, quienes han sido un constante respaldo en mi diario actuar, académico y humano, dejándome entender que un título solo se respalda con la calidad de ser humano. A mis tíos, Nancy, Geraldine y Marcelo, por la continua motivación y consejos a lo largo de mi carrera universitaria y más aún en últimas instancias cuando todo tendía a ser más complicado.

A mis hermanos, millón gracias por siempre ser ese respaldo y compañía en mi diario vivir, sin ustedes, locuras, ocurrencias e inteligencia cualquier proceso hubiese sido más frío y complicado.

Ali, infinitas gracias por motivarme a volar alto y nunca dejarme desistir de mis sueños, gracias por ser y por estar.

Mis agradecimientos más gratos a Anthony Cevallos, compañero y amigo, junto a quien pasamos largos días de un proceso investigativo y creativo con el fin de llegar a una meta añorada.

Al MSc. Gorky G. Reyes C, por fomentar esa chispa de la investigación desde tempranos semestres de carrera y por su constante dirección que en base a su experiencia, conocimiento y colaboración se desarrolló con éxito este trabajo.

- Dyllan Nikolai Sánchez Serrano.

AGRADECIMIENTO

Mis agradecimientos a a mis padres los cuales me apoyaron en el transcurso de mi carrera y en este trabajo de investigación, dándome la oportunidad de aprender y ser una persona mejor preparada, también agradezco a mi hermano el cual fue un gran compañero y amigo que me acompañaba cuando tenía que ir a la universidad y más cuan el mismo entre a la misma que yo estudio, fue un gran apoyo.

Agradezco a toda mi familia que me apoyaron cuando tenía dudas o dificultades para realizar alguna actividad o proyecto que tenia de la universidad, al igual que amigos especialmente Harold Calderón al igual que es un amigo y mentor me permitió aprender más sobre la carrera que yo estudio.

Mis agradecimientos al MSs. Gorky G. Reyes C, por ser una profesor y tutor que dedico un gran esfuerzo y dedicación para brindar sus experiencias, conocimientos y colaboración para el desarrollo del presente trabajo de investigación. Al igual mis agradecimientos a mis compañeros y principalmente a Dyllan Sanchez, por la colaboración y dedicación en el desarrollo del trabajo de investigación.

- Anthony David Cevallos Noble.

ÍNDICE

CERTIFICACIÓN	2
ACUERDO DE CONFIDENCIALIDAD	3
DEDICATORIA	4
DEDICATORIA	5
AGRADECIMIENTO.....	6
RESUMEN:	12
ABSTRACT:.....	12
1. INTRODUCCIÓN	13
2. FUNDAMENTO TEÓRICO.....	14
2.1. Lubricantes.....	14
2.2. Clasificación de aceites lubricantes	14
2.3. Tabla características físico químicas	14
2.5. Lubricación de cajas	15
2.6. Características	15
2.7. API de aceites para engranajes	15
2.8. Aceites para cambios automáticos.....	16
2.9. Viscosidad.....	16
2.10. Esfuerzo cortante.....	17
2.11. Densidad.....	17
2.12. Densidad relativa	17
2.13. Presión.....	17
3. MATERIALES Y METODOS.....	17
3.1. METODO.....	17
3.2. MATERIALES.....	18
3.2.1. Cajas de Cambio.....	18
3.2.2. Aceite	18
3.2.3. Equipo de medición.....	18
3.2.4. Normativa.....	19
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	19
4.1. Proceso.....	19
4.2. Resultados de laboratorio	19
4.2.1. Viscosidad	19
4.2.2. Densidad.....	20
5. CONCLUSIONES.	22
6. Referencias.....	23
7. Anexos	25

7.1.	Anexos (Introducción).....	25
7.2.	Anexos (Fundamentación Teórica).....	38
7.3.	Anexos (Métodos y Materiales).....	54
7.3.1.	Artículo (Análisis Físico-Químico de las propiedades mecánicas de aceites lubricantes GL4-GL5 en metales de transmisión duros y blandos).....	54
7.3.2.	Artículo (Effect of base oils characteristics on ATF performance).....	87
7.3.3.	Manual (Cajas de Cambio ZF 16S 221 y ZF 16 S 221 O.D). -	94
7.3.4.	Tesis (Estudio de la composición relativa entre un lubricante mineral con lubricantes orgánicos y su influencia en el comportamiento de la densidad y viscosidad a diferente temperatura). -	99
7.4.	Anexos (Resultados y Discusión).....	101

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Propiedades de lubricantes de base mineral del grupo I al III.	14
Tabla 2 Propiedades de los esteres sintéticos.	14
Tabla 3 Tabla Viscosidad cinemática a 100 y 40°.	15
Tabla 4 Punto de inflamación a 100 y 40 °C.	16
Tabla 5 Viscosidad cinemática a 100 y 40 °C aceites DEXRON.	16
Tabla 6 Punto de inflamación y escurrimiento DEXRON.	16
Tabla 7 Aceite API GL-4.	18
Tabla 8 Aceite API G-L5.	18
Tabla 9 Datos de entrada.	19
Tabla 10 Viscosidad Cinemática Aceite GL-4.	19
Tabla 11 Viscosidad Cinemática Aceite GL-5.	20
Tabla 12 Viscosidad Cinemática Aceite ATF.....	20
Tabla 13 Densidad 15°C de aceites GL-4, GL-5, ATF.	20
Tabla 14 Esfuerzo Cortante en KPa.....	21

ÍNDICE DE FIGURAS

Gráfico 1 Esfuerzo Cortante a 800 RPM.	21
Gráfico 2 Esfuerzo Cortante a 2500 RPM.	21
Gráfico 3 Esfuerzo Cortante a 4500 RPM.	22

Estudio de las ventajas y desventajas que puede presentar el uso de aceite ATF en una transmisión manual

Dyllan Nikolai Sánchez Serrano¹, Anthony David Cevallos Noble²

¹Universidad Internacional del Ecuador, dysanchezse@uide.edu.ec, ²Universidad Internacional del Ecuador, ancevallosno@uide.edu.ec,

RESUMEN:

En el mercado ecuatoriano se cuenta con una gran presencia de diferentes variedades de aceites, tanto para el uso de transmisiones manuales como para transmisiones automáticas, así entonces es que muchos usuarios de dichas transmisiones desconocen las características físico químicas de estos lubricantes como tal. El objetivo del presente estudio es comparar las características, en aspectos físicos y químicos, que tiene el aceite ATF al verse sometido al uso en una caja de cambios manual. La comparación se realizó en base a estudios de la viscosidad cinemática y densidad de cada uno de los aceites, tanto ATF como GL, determinando así el esfuerzo cortante que se genera en el uso cotidiano de la caja de cambios manual. Las mediciones se realizaron en una caja de cambios manual ZF, de donde se toma en cuenta datos tales como la tolerancia entre dientes y el diámetro del piñón másico. De esta forma, se comprobó que el uso de aceite ATF en una caja de cambios manual genera menor esfuerzo cortante del 89% entre piñones de la caja de cambio, teniendo una consecuencia directa en la vida útil de los elementos internos de la transmisión y como esto presenta una mayor ventaja para el cuidado y rendimiento de la misma.

Palabras clave: Transmisión manual, aceite ATF, viscosidad, esfuerzo cortante, viscosidad cinemática, piñones.

ABSTRACT:

The Ecuadorian market has a large presence of different varieties of oils for the use of manual and automatic transmissions, whose function is to lubricate, clean and cool the internal components of the transmissions. The objective of this study is to carry out a process to compare the characteristics of ATF oil in a manual gearbox. The comparison was made based on studies of the kinematic viscosity and density of each of the oils, so as to determine the shear stress generated in the daily use of the manual gearbox. The measurements were performed on a ZF manual gearbox, where the tolerance between teeth and the diameter of the mass pinion are taken into account. In this way, it was found that the use of ATF oil in a manual gearbox generates 89% less shear stress between gearbox pinions, having a direct consequence on the useful life of the internal elements of the transmission and as this presents a greater advantage for its care and performance.

Keywords: Manual transmission, ATF oil, viscosity, shear stress, kinematic viscosity, pinions.

1. INTRODUCCIÓN

A nivel nacional se venden diferentes tipos de aceites, existen varios modelos de transmisiones y cada una de ellas tiene diferentes tipos de materiales internos donde, para transmisiones manuales el lubricante que se oferta más común es GL-4. A partir de este antecedente en ciertos talleres automotrices recomienda utilizar el aceite hidráulico para cajas de cambio automáticas tomando en cuenta que está diseñado para otro tipo de materiales. El presente estudio busca comparar cuales son estas características físico química y químicas que puede tener este fluido hidráulico para cajas automáticas pero utilizado en transmisiones manuales, con la finalidad de comparar cuales son las características que puede tener en condiciones dinámicas según pruebas de laboratorio.

El principal problema en cajas manuales es la contaminación del fluido por partículas de rodamientos y engranajes desgastados [1]. Las transmisiones de un vehículo usan diferentes lubricantes que van desde aceite de motor regular hasta para engranajes helicoidales pesados, esto depende del diseño, las tolerancias que tiene la transmisión, en ciertos casos algunos fabricantes recomiendan el uso de ATF [2]. Lo cual nos hace entender lo importante de seleccionar el correcto con el objetivo de prolongar la vida útil de la transmisión como tal disminuyendo su desgaste al igual que buscando un funcionamiento adecuado [3]. Se han desarrollado nuevas transmisiones con sincronizadores que no soportan presencia de azufre y fosforo de la misma manera que estas tienen pequeñas ranuras, que con nuevos materiales como bronce y recubiertos de fibra de carbono u otro material, generando que esta pieza sea más porosa, facilitando una mejor impregnación de fluido, para lo que es

necesario buscar un aceite que cumpla correctamente la función de lubricar, refrigerar y proteger estos componentes [4].

La búsqueda de diferentes aceites para el uso en las nuevas transmisiones es con el fin de tener una mejor protección de sus elementos internos y mejor rendimiento y comparar estas características que normalmente recomiendan técnicos automotrices de forma empírica. Mediante la aplicación de modelos matemáticos y pruebas de laboratorios para determinar si este tipo de lubricante cumplen las especificaciones necesarias para el uso en transmisiones manuales.

Estudios cercanos al tema de investigación detallan las características de los aceites implementados en transmisiones automáticas y manuales en el Ecuador, enfocando sus estudios de composición de acuerdo con variantes según diferentes factores tal como la temperatura de funcionamiento, señalando que un ATF mantiene por un mayor tiempo su densidad y siendo menor de 1.92% comparado con los otros [5]. Otro estudio con similitud menciona la importancia del uso del correcto lubricante de acuerdo con la necesidad de una transmisión manual, en relación con planes de mantenimiento y correcto funcionamiento [6], denotando así la importancia de reconocer el funcionamiento, cuidado y mantenimientos de transmisiones en relación con el fluido que cada una de estas puede necesitar.

Otro estudio enfoca su tema principal en el análisis Físico-Químico de las propiedades mecánicas del lubricante, siendo específicamente GL4 y GL5 [7], indicando que el uso de aceite GL-5 en cajas de cambios con metales amarillos genera un 549 % más de presencia de partículas metálicas, por otro lado se genera el mismo efecto utilizando GL-4 en transmisiones con componentes de hierro generando un

265% más de presencia de partículas metálicas que son indicadores de desgaste. El diseño a aplicarse para alcanzar los objetivos de investigación será de tipo deductivo, que permite analizar mediante el uso de estudios relacionados para alcanzar el objetivo de la investigación.

2. FUNDAMENTO TEÓRICO

2.1. Lubricantes

El aceite lubricante tiene la función de agente separador entre dos piezas metálicas en movimiento. La tarea principal es evitar el contacto directo entre las piezas con la finalidad de reducir el desgaste y reduciendo el rozamiento entre los elementos. La lubricación tiene otras funciones como son refrigerar, impedir la corrosión de los componentes y disminuir los ruidos de rodadura [8].

2.2. Clasificación de aceites lubricantes

A. *Aceite sintético*: estos son procesados en laboratorios, trabajando las moléculas para producir un lubricante más estable en propiedades físico-químicas. Suelen ser de alta calidad y predestinados para realizar trabajos más eficientes, como característica principal se puede mencionar que se usan para alargar los intervalos de cambio. [9]

B. *Aceite mineral*: Este es obtenido del refinado del petróleo, según el fabricante cuenta con diferentes componentes, brindando una amplia variedad de usos, aun así, se requerirá una gran cantidad de aditivos para que su funcionamiento sea el óptimo. [9]

C. *Aceite semisintético*: Es una mezcla entre el aceite mineral y sintético, previamente mencionados, la mezcla no siempre es de un 50-50, esto dependerá del fabricante y el uso que se le vaya a dar en la práctica. [9]

2.3. Tabla características físico químicas

Al ver la clasificación de lubricantes según la base de sus componentes, nos permite entender de mejor manera las características físico-químicas que tiene un aceite según la base que utiliza en

específico, así entonces, según diferentes condiciones externas tal como temperatura, cantidad de cierto elemento químico, entre otros, el lubricante variará en relación a las siguientes tablas:

Tabla 1 Propiedades de lubricantes de base mineral del grupo I al III.

	I	II	III
INDICE DE VISCOSIDAD	95	115	125
AZUFRE (%)	<0.40	>0,02	<0,02
SATURADOS (%)	70	93	95

Fuente: [10]

En la presente tabla 1 se presenta las diferentes propiedades que tiene cada aceite según su tipo de base, donde se permite ver que al tener una base 3 este incrementa su viscosidad y sus saturados, pero se tiene un efecto en la disminución del azufre dentro del lubricante a comparación del que utiliza base 1.

Tabla 2 Propiedades de los esteres sintéticos.

Propiedades	Diesteres	Ftalatos	Trimelitas	Poliol
Índice de viscosidad	90-170	40-90	60-120	120 - 130
Viscosidad a 40 °C	6 - 46	29-94	47-366	14-35
Viscosidad a 100 °C	2 - 8	4 - 9	7 - 22	3 - 6
Pto. De inflamación	200 - 260	200 - 270	270 - 300	250 - 310

Fuente: [10]

2.4. Lubricación

Definida como la interposición entre dos superficies en movimiento, siendo relativas una con otra de una sustancia cualquiera, conocida como lubricante, de esta forma tal es que un correcto fluido disminuirá el desgaste de las piezas rozantes en movimiento, el calor que genera la fricción, la generación de ruido y entre otros. Sin la implementación de un medio

de lubricación las piezas metálicas de los mecanismos se soldarían, dejando inservible la máquina. [11]

2.5. Lubricación de cajas

La caja de cambios requiere de una buena y efectiva lubricación debida el rodar de los engranajes de la caja de cambios, con la finalidad de disminuir el gran desgaste que se produce entre los piñones de la caja de cambios. La lubricación de la caja de cambios se realiza mediante aceite que se deposita en el interior de su estructura o moldura externa, el cual este debe estar a un nivel correcto para que se efectúe correctamente la lubricación [12].

Una caja de cambios manual no posee un sistema de lubricación en sí, la lubricación de este tipo de transmisiones se realiza por borboteo, se refiere a que se distribuye en todas partes de la transmisión gracias al movimiento que realizan los piñones durante su funcionamiento, este particular función ocasiona que partículas de aceite se eleven creando una especie de neblina en el interior de la transmisión provocando que todos los componentes se encuentren lubricados [12].

2.6. Características

Según el tipo de engranaje y el esfuerzo al que este se vea sometido en condiciones de funcionamiento será un determinante para la calidad de aceite que se necesite implementar. Los requisitos que deben tener los lubricantes para engranajes son: una elevada capacidad de absorber la presión, poca tendencia a formar espuma, tener compatibilidad con juntas, resistencia a la oxidación o envejecimiento y pequeña dependencia de la viscosidad a la temperatura. A diferencia de los aceites para motor, para engranajes no contienen aditivos detergentes, aun así, si los contienen son menores, también este tipo no llevan aditivos que mejoran la viscosidad [13].

2.7. API de aceites para engranajes

El Instituto Americano de Petróleo (API) clasifica a los lubricantes por el grado de tecnología, el cual determina la nomenclatura según el tipo de sistema que se aplica el lubricante. Según la

clasificación API que contiene las letras GL (Gear Lubricant) son aceites que se usan para transmisión y diferenciales los cuales se clasifican en:

Tabla 3 Tabla Viscosidad cinemática a 100 y 40°.

GL-1			
SAE	90	140	250
<i>Viscosidad cinemática 100 °C ($\frac{mm^2}{s}$)</i>			
ASTM D 445	15.50	27.50	46.00
<i>Viscosidad cinemática 40 °C ($\frac{mm^2}{s}$)</i>			
ASTM D 445	161.7	341.8	640.5
GL-4			
SAE	90	140	250
<i>Viscosidad cinemática 100 °C ($\frac{mm^2}{s}$)</i>			
ASTM D 445	15.50	27.50	46.00
<i>Viscosidad cinemática 40 °C ($\frac{mm^2}{s}$)</i>			
ASTM D 445	172.7	405.6	647.1
GL-5			
SAE	90	140	250
<i>Viscosidad cinemática 100 °C ($\frac{mm^2}{s}$)</i>			
ASTM D 445	15.50	27.50	46.00
<i>Viscosidad cinemática 40 °C ($\frac{mm^2}{s}$)</i>			
ASTM D 445	172.7	380.4	633.9

Fuente: [14]

Según la clasificación del Instituto americano de Petróleo (API) se presenta los valores de viscosidad cinemática que tiene cada uno, donde se observa en la tabla 3 como se ha ido desarrollando en el transcurso del tiempo nuevos aceites para el uso de transmisiones y diferenciales como es el caso de GL-1, GL-4 y GL-5 siendo los dos últimos mencionados los más utilizados en el mercado automotriz. En base a los datos presentados en la tabla se observa que la viscosidad cinemática a 100 °C tiende a tener valores similares entre los tres tipos que se presentan, pero su viscosidad a 40 °C los ya presentan variedad los valores, donde el GL-4 tiene un 15 % mayor en su viscosidad cinemática a comparación entre el GL – 1 y GL – 5.

A continuación, en la siguiente tabla 4 se presenta el punto de inflamación de cada uno de los tipos de aceites mostrados en la tabla, esto nos indica a que grados centígrados se puede generar una auto detonación.

Tabla 4 Punto de inflamación a 100 y 40 °C.

GL-1			
SAE	90	140	250
<u>Punto de inflamación °C.</u>			
ASTM D 92	250	252	258
<u>Punto de escurrimiento °C</u>			
ASTM D97	-12	-12	-9
GL-4			
SAE	90	140	250
<u>Punto de inflamación °C.</u>			
ASTM D92	240	242	245
<u>Punto de escurrimiento °C</u>			
ASTM D97	-15	-15	-15
GL-5			
SAE	90	140	250
<u>Punto de inflamación °C.</u>			
ASTM D 92	220	222	230
<u>Punto de escurrimiento °C</u>			
ASTM D 92	-12	-12	-12

Fuente: [14]

2.8. Aceites para cambios automáticos

A diferencia de las transmisiones manuales las transmisiones automáticas se realiza la transmisión de fuerza accionada por adherencia, por esta razón tiene una gran importancia la utilización de Automatic Transmission Fluid o lubricante para transmisiones automáticas (ATF). Estos se subdividen según el comportamiento de rozamiento:

Tabla 5 Viscosidad cinemática a 100 y 40 °C aceites DEXRON.

DEXRON II (ROSHFRANS)	
Método	Valores típicos
<u>Viscosidad cinemática 100 °C ($\frac{mm^2}{s}$)</u>	
ASTM D 445	7.500
<u>Viscosidad cinemática 40 °C ($\frac{mm^2}{s}$)</u>	
ASTM D 445	42.09
DEXRON III (WOLFOIL)	
Método	Resultado medio
<u>Viscosidad cinemática 100 °C ($\frac{mm^2}{s}$)</u>	
ASTM D 445	7.1
<u>Viscosidad cinemática 40 °C ($\frac{mm^2}{s}$)</u>	
ASTM D 445	33.9
DEXRON VI (MOBIL)	
Método	Valores típicos
<u>Viscosidad cinemática 100 °C ($\frac{mm^2}{s}$)</u>	
ASTM D 445	5.83
<u>Viscosidad cinemática 40 °C ($\frac{mm^2}{s}$)</u>	
ASTM D 445	29.5

Fuente: [15]

Al igual que la tabla 3 que se presenta anteriormente en la tabla 5 se presenta la viscosidad cinemática que tiene un ATF DEXRON II, III, VI. Se presenta la viscosidad cinemática en dos temperaturas una a 100 °C y a 40 °C, al ver los datos de la tabla se observa que la viscosidad en las dos temperaturas de los aceites es inferior comparado con los de la tabla 1 teniendo una diferencia del 88 %.

Tabla 6 Punto de inflamación y escurrimiento DEXRON.

DEXRON II (ROSHFRANS)	
Método	Valores típicos.
<u>Punto de inflamación °C.</u>	
ASTM D 92	200
<u>Punto de escurrimiento °C</u>	
ASTM D97	-30
DEXRON III (WOLFOIL)	
Método	Valores típicos.
<u>Punto de inflamación °C.</u>	
ASTM D92	196
<u>Punto de escurrimiento °C</u>	
ASTM D97	-45
DEXRON VI (MOBIL)	
Método	Valores típicos.
<u>Punto de inflamación °C.</u>	
ASTM D 92	220

Fuente: [15]

Para el mejor entendimiento de las propiedades físicas que tiene un fluido es necesario conocer ciertos conceptos que nos permita interpretar las capacidades que tiene un lubricante en cuanto a sus propiedades.

2.9. Viscosidad

La propiedad física de un aceite lubricantes es la viscosidad, en otros términos la viscosidad es la propiedad de un fluido al oponerse al movimiento cuando se le aplica una fuerza sobre el mismo por lo cual este se encuentra se encuentra relacionada con la fricción interna en el líquido, las variables que le afectan a la viscosidad de un fluido son la temperatura y presión [16]. Esta se divide en dos las cuales son:

a. Viscosidad dinámica

La viscosidad dinámica también se la conoce como absoluta, esta viscosidad se refiere a la resistencia interna que tiene un

fluido entre sus moléculas en una determina da fuerza y movimiento [17].

Mediante el movimiento de un fluido en este se desarrolla un esfuerzo cortante la cual depende de la viscosidad del fluido. Fluidos como el alcohol, agua u otros líquidos comunes, la magnitud del esfuerzo cortante es directamente proporcional a la velocidad en diferentes posiciones del fluido denominado gradiente de velocidad. La viscosidad dinámica se la puede denominar de la siguiente forma [18].

$$\eta = \tau \left(\frac{\Delta y}{\Delta v} \right) \quad [\text{Ec1}]$$

Donde η (eta) se lo denomina viscosidad dinámica del fluido, τ (tau) se lo define como esfuerzo cortante, y por último se define $\left(\frac{\Delta y}{\Delta v} \right)$ como gradiente de velocidad.

b. Viscosidad cinemática

La viscosidad cinemática se la define como un cociente de la densidad y la viscosidad dinámica debido a que son propiedades del fluido, se denota con la letra ν (letra un en griego) [17].

$$\nu = \frac{\eta}{\rho} \quad [\text{Ec2}]$$

Donde ν (un) se define como viscosidad cinemática, por ultimo η y ρ son propiedades del fluido.

2.10. Esfuerzo cortante

Se denomina esfuerzo cortante como la fuerza que se requiere para una unidad de superficie de una sustancia se deslice sobre otra, se mide en unidades de $\frac{N}{m^2}$ (Pa) lo cual el esfuerzo cortante se lo puede conocer como una fuerza dividida entre una superficie laminar [19].

El esfuerzo cortante es directamente proporcional al gradiente de velocidad, esto se puede determinar de forma matemática de la siguiente forma.

$$\tau = \eta \left(\frac{\Delta v}{\Delta y} \right) \quad [\text{Ec3}]$$

Donde τ (tau) se domina como esfuerzo cortante, η (eta) es la viscosidad dinámica de un fluido y por último se define $\left(\frac{\Delta v}{\Delta y} \right)$ como gradiente de velocidad.

2.11. Densidad

La densidad es una propiedad de los fluidos, siendo esta la cantidad de masa que tiene una sustancia por unidad de volumen, esta se denota con la letra griega

ρ (ρ). La densidad se calcula mediante la fórmula presentada a continuación [20].

$$\rho = \frac{m}{V} \quad [\text{Ec4}]$$

Donde V es el volumen del fluido o sustancia que tiene masa m , las unidades se representan en dos sistemas el primero en el **Sistema Internacional** donde la unidad de la densidad es en kilogramos por metro cubico $\left(\frac{kg}{m^3} \right)$ y en el **Sistema Tradicional de Estados Unidos** es la unidad de slug por pie cubico $\left(\frac{slug}{ft^3} \right)$ [20].

2.12. Densidad relativa

La densidad relativa se la denomina como la densidad de un fluido entre la densidad del agua a una temperatura de 4°C la densidad del agua es de 1000 $\frac{kg}{m^3}$, se define la densidad relativa como:

$$\rho_r = \frac{\rho}{\rho_{H2O 4^\circ C}} \quad [\text{Ec5}]$$

Donde ρ es densidad de un fluido y $\rho_{H2O 4^\circ C}$ se define como densidad específica.

2.13. Presión

Es una magnitud física que se representa con la letra P, donde este se refiere a la fuerza ejercida de manera perpendicular sobre una área o superficie. Se expresa de la siguiente manera.

$$P = \frac{F}{A} \quad [\text{Ec6}]$$

Donde P es presión igual a la fuerza F sobre la A que se aplica, de esta forma para el cálculo del esfuerzo cortante se ocupa el diámetro de una tubería o paso, siendo este el área y las revoluciones para llegar a un cálculo de la fuerza, de esta forma se relaciona con la fórmula de presión.

3. MATERIALES Y METODOS

3.1. METODO

Mediante la aplicación del método inductivo, por ser un procedimiento que basa su actuar en la investigación, permite estudiar los datos obtenidos mediante estudios relacionados al tema central del presente artículo. La investigación actual se va realizo en tres momentos, el primero un estudio teórico sobre lubricantes de transmisiones de vehículos, en el segundo la búsqueda de estudios relacionados que

permita la obtención de datos que beneficien al proceso comparativo, mientras que el tercero es el análisis comparativo mediante los datos obtenidos de pruebas específicas de los artículos relacionados.

Para la obtención de los datos de investigaciones relacionadas, se obtuvo como variables independientes la temperatura que se somete en el funcionamiento del actuar de la caja de cambios. Por otra parte, se determinó como variables dependientes a la viscosidad cinemática a 100 °C y densidad 15 °C como comparativa de ATF con aceites GL 4 y GL5.

3.2. MATERIALES

3.2.1. Cajas de Cambio

Se realizan las pruebas en cajas de cambio manuales con presencia de materiales tales como: Cobre, Aluminio, Hierro, Plomo. Específicamente se realizó la prueba en una transmisión manual ZF 16 S 221, la cual es utilizado en una gran cantidad de vehículos de transporte pesado de gama media.

En relación al análisis teórico del funcionamiento ATF en general de las transmisiones automáticas.

3.2.2. Aceite

Para la presente investigación se implementó el uso de aceites para transmisiones manuales como GL4 (75w80, 75w90) y GL5 (80w90, 85w140), donde en las siguientes tablas se especifica las características que tiene estos tipos de lubricantes.

Tabla 7 Aceite API GL-4.

SAE	75w80	75w90
Densidad a 15°C (kg/l)	0.8867	0.8974
Viscosidad Cinemática CST a 100 °C	14.2	25
Viscosidad Brookfield CP a -12°C		81.500
Viscosidad Brookfield CP a -26°C	70.000	
Índice de viscosidad	95	95

Fuente: [7]

En la tabla 7 se presentan los datos como densidad, viscosidad cinemática, brookfield y índice de viscosidad que tiene el GL – 4 al igual que estos datos se presentan en la tabla 8 del GL – 5, se toma en cuenta que son datos netamente teóricos. En las dos tablas mencionadas se determina que la densidad, viscosidad y índice de viscosidad son iguales pero su diferenciación es en la viscosidad de brookfield donde el GL – 5 es superior en este de un 58% a – 12 °C. y a -26 °C el aceite GL-4 es superior de un 32 %.

Tabla 8 Aceite API G-L5.

SAE	80w90	85w140
Densidad a 15°C (kg/l)	0.8867	0.9003
Viscosidad Cinemática CST a 100 °C	14.2	25
Viscosidad Brookfield CP a -12°C		128.600
Viscosidad Brookfield CP a -26°C	53.900	
Índice de viscosidad	95	95

Fuente: [7]

Finalmente, también se implementa el uso de ATF de transmisiones automáticas que permitirá realizar la comparativa entre estos aceites.

3.2.3. Equipo de medición

a. Viscosímetro- densímetro

Permite calcular el índice de viscosidad de forma automática, este equipo mide la variación de la viscosidad cinemática a relación de los cambios de temperatura de 40°C y 100 °C al igual que mide simultáneamente la densidad a 15 °C, para la utilización de este equipo se rige en la normativa ASTM D2270 que especifica a que temperatura se mide los parámetros mencionados anteriormente.

b. Picnómetro

Consiste en medir la densidad de cualquier fluido mediante la aplicación de gravimetría que se refiere en determinar la cantidad de un fluido midiendo su peso en función de la temperatura, para la utilización de este equipo en función de la medición de la densidad de un aceite se rige a la normativa INEN 810 1986-11.

3.2.4. Normativa

La presente investigación se centra en la normativa ASTM D2270, que especifica los procedimientos para el cálculo del índice de viscosidad de productos derivados del petróleo, esto a partir de las viscosidades cinemáticas medidas a 40°C y 100°C [21].

Al igual el estudio se basa en la normativa ASTM D445, que determina el método de prueba para la obtención de la viscosidad cinemática de productos basados de petróleo líquidos mediante la aplicación de un equipo denominado viscosímetro [22].

La normativa ASTM D2983, donde especifica la medición de la viscosidad de un líquido basado en productos petroleros a baja temperatura medida con un viscosímetro Brookfield, la cual esta medida de la denomina viscosidad Brookfield [23].

La norma ASTM D4052 explica el método de prueba para determinar la densidad, densidad relativa y gravedad API de productos derivados del petróleo y aceites viscosos, con la utilización de un equipo de inyección de muestra manual o automatizado, realizando a una temperatura estándar de 15°C [24].

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Proceso.

El proceso de obtención de datos se dio en base a la continua investigación de artículos-tesis que reflejen datos relacionados a la presente investigación, en cuanto a cifras específicas de densidad y viscosidad. Los estudios relacionados tienen temas específicos del uso, desgaste y variación de los componentes de transmisiones tanto manuales como automáticas, así mismo, la variación del fluido lubricante, siendo este último la razón del estudio y para lo cual se obtuvieron los datos comparativos.

El cálculo se realizó con los datos obtenidos de viscosidad cinemática, revoluciones por minuto y tolerancia entre engranajes. Se tuvo presente en el modelo matemático el uso de valores teóricos y reales, para encontrar el esfuerzo cortante que se comparen entre los fluidos de las cajas de transmisión manual y automática,

determinando así cual es el fluido más eficiente en cuanto a prestaciones relacionadas con la viscosidad y densidad para su uso cotidiano en una transmisión manual.

Tabla 9 Datos de entrada.

Transmisión.	
Revoluciones	4500 rpm
	2500 rpm
	800 rpm
Piñón Másico	179,57 mim
Tolerancia	0,2 mim
Aceites.	
API GL-4	75w80-75w90
API GL-5	80W90-85W140
Tolerancia	0,2 mm mín.

Fuente: [7], [25]

4.2. Resultados de laboratorio

4.2.1. Viscosidad

Se comparó los datos reales de viscosidad según pruebas [7] en relación a valores teóricos propuestos por fabricantes de aceites, de donde se tiene la comparación de valores de diferentes GL y su viscosidad cinemática a 100°C.

Tabla 10 Viscosidad Cinemática Aceite GL-4.

ACEITE GL-4	VISCOSIDAD CINEMATICA (CST a 100°C)	
	DATOS TEORICOS	DATOS DE LABORATORIO
75w80	9.5	8.21
75w90	15.9	14.81

Fuente: [7]

En la tabla 10 se puede observar que los valores teóricos son mayores, tanto en 75w80, mayor en un 13.5% y 70w90, mayor en un 6,9%, dando entender que los valores de los aceites varían en diferentes escenarios y nunca van hacer constantes permitiendo entender el comportamiento que estos tiene según su aplicación y a qué condiciones se le pone a prueba.

Tabla 11 Viscosidad Cinemática Aceite GL-5.

ACEITE GL-5	VISCOSIDAD CINEMATICA (CST a 100°C)	
	DATOS TEORICOS	DATOS DE LABORATORIO
80w90	14.2	14.33
85w140	25	24,74

Fuente: [7]

En la tabla 11, en donde el valor de viscosidad del aceite 80w90, real de pruebas de laboratorio es mayor al teórico, en un 0,9%, a diferencia del 85w140 es menor, en un 1,04%.

Tabla 12 Viscosidad Cinemática Aceite ATF.

ACEITE ATF	VISCOSIDAD CINEMATICA (CST a 100°C)	
	DATOS DE LABORATORIO	
ATF-1	7.670	
ATF-2	7.647	
ATF-3	7.382	
ATF-4	6.836	
Dexron III	7.9	
Mercon V	7.4	

Fuente: [26]

Los ATF, Dexron y Mercon, tiene valores reales de laboratorio mucho menores a aceites de grado SAE, donde se evidencia que el hecho de tener menor viscosidad es debido a su uso común en sistemas hidráulicos, no tiende a ser necesario una viscosidad más alta que garantice que el aceite se adherir a las superficies.

4.2.2. Densidad.

Se comparó los datos reales de densidad según pruebas en relación a valores teóricos propuestos por fabricantes de aceites.

A continuación, se visualizan las densidades de diferentes aceites a 15°C, tanto GL como ATF, donde se puede denotar que no existe una diferencia significativa, esta variación casi nula representa la capacidad de todos los lubricantes de no variar su estructura química, lo cual variaría su densidad en cuanto al contenido presente en el aceite como tal, como pueden ser partes del

desgaste de piñones o estructura interna de una transmisión. La densidad que tiene un fluido es importante para calcular el esfuerzo cortante que puede tener dentro de un sistema, para poder determinar qué efectos se genera dentro de una caja de cambios o entre los componentes de la misma.

Tabla 13 Densidad 15°C de aceites GL-4, GL-5, ATF.

ACEITE GL-4	DENSIDAD a 15°C, kg/l
75w80	0.87
75w90	0.86

ACEITE GL-5	DENSIDAD a 15°C, kg/l
80w90	0.8867
85w140	0.9003

ACEITE ATF	DENSIDAD a 15°C, kg/l
DATOS DE LABORATORIO	
ATF	0,902

Fuente: [7], [27]

Se realizó el cálculo del esfuerzo cortante a diferentes revoluciones para lo cual se tenía el valor teórico de fichas técnicas y bibliografía de la viscosidad a 100 °C, de esta forma se realizó el cálculo de la viscosidad cinemática utilizando el dato ya obtenido de viscosidad dinámica, de esta forma se ocupa los diámetros del piñón, tolerancia entre piñones y la revoluciones del motor que se ven reflejados en el funcionar de la caja de cambios para en consecuencia calcular la velocidad del piñón y así determinar la pendiente del área (tubería).

En la tabla 13 se presenta a continuación se observa los valores de esfuerzo cortante analizados en diferentes regímenes de motor, donde se realizó una comparativa entre los aceites analizados, permitiendo así determinar su comportamiento en una caja de cambios manual, en la tabla se observa que existen diferencias

significativas entre el GL-4, GL-5 y ATF. Se evidencia que los GL-4 generan mayor presión entre los componentes de una caja de cambios a comparación de los GL-5 y ATF, esto permitió determinar los efectos de presión que tiene cada uno de los aceites analizados.

Tabla 14 Esfuerzo Cortante en KPa.

	Aceites	4500 rpm	2500 rpm	800 rpm
GL-4	75w80	300,40	166,89	53,40
	75w90	537,34	298,52	95,53
GL-5	80W90	5,38	2,99	0,96
	85W140	9,42	5,23	1,68
ATF	ATF-1	2,93	1,63	0,52
	ATF-2	2,92	1,62	0,52
	ATF-3	2,82	1,57	0,50
	ATF-4	2,61	1,45	0,46
	DEXRON III	3,02	1,68	0,54
	MERCON V	2,82	1,57	0,50

Fuente: Sánchez, Cevallos, 2022.

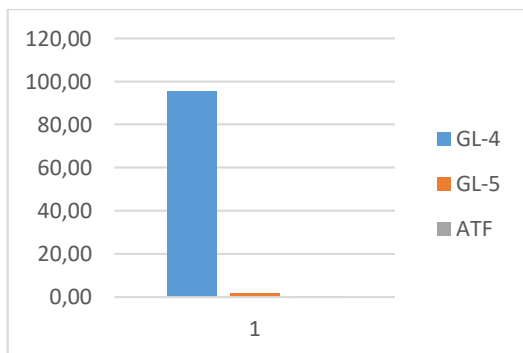


Gráfico 1 Esfuerzo Cortante a 800 RPM.

Fuente: Sánchez, Cevallos, 2022.

Después de presentar la tabla de esfuerzo cortante de cada uno de los aceites analizados, se dividió el análisis comparativo según cada régimen establecido, el gráfico (1) de barras representa la diferencia que tiene cada uno a 800 rpm, donde se observa una diferencia abismal, los GL-4 presentan un mayor esfuerzo cortante comparado con el GL-5 y ATF. La diferencia principal entre el GL-4 y GL-5 es del 98,24% y entre el ATF es del 99,43%, esto hace entender que los GL-4 analizados generan mayor esfuerzo cortante lo que se traduce en una mayor presión generada entre componentes, se

puede determinar que para el GL-4 al generar una mayor presión entre los componentes se traduce a una mayor temperatura dentro del sistema provocando efectos desfavorables tanto para el aceite, en función de su vida útil, al igual que aumentar la fatiga de los componentes de la caja de cambios provocando un mayor desgaste entre los mismo. Comparando con los GL.5 y ATF donde estos tiene valores sumamente inferiores en esfuerzo cortante, lo que permite no generar los inconvenientes mencionados anteriormente del GL-4, en consecuencia presentando una mejor lubricación de los componentes, debido a que estos no llegan a generar mayor temperatura permitiendo mantener su viscosidad constante., debido a que la temperatura es un factor que afecta la viscosidad del lubricante [28], también se tiene la ventaja que el uso de estos al aumentar la vida útil de los componentes debido a que se requiere menos esfuerzo para mover el aceite hacia los componentes como tal [7].

Para un mejor análisis se requiere separar en los diferentes regímenes de motor establecidos en el cálculo para así entender de mejor forma el comportamiento que tiene los aceites dentro de una transmisión manual.

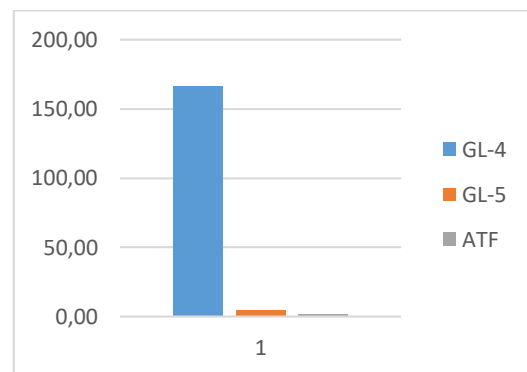


Gráfico 2 Esfuerzo Cortante a 2500 RPM.

Fuente: Sánchez, Cevallos, 2022.

En el grafico (2) que se presenta se analizó los aceites en el régimen de motor a 2500 rpm, donde esto nos presenta los siguientes indicadores, la tendencia del GL-4 en generar un mayor esfuerzo cortante comparado a los GL-5 y ATF, el GL-4 genera una presión superior a 160 KPa a comparación de los otros que generan una presión inferior a 10 KPa , dando así una diferencia de presión entre los aceites

comparado al GL-4 entre el 96,8% de los demás.

En este caso se sigue presentando los mismos inconvenientes que genera un GL-4 a comparación del GL5 y ATF, donde estos, al generar menor presión permite que el funcionamiento de la caja de cambios sea idóneo aumentando su vida útil donde sus componentes no ejercen un mayor esfuerzo para mover el aceite, permitiéndoles tener una mejor lubricación entre elementos.

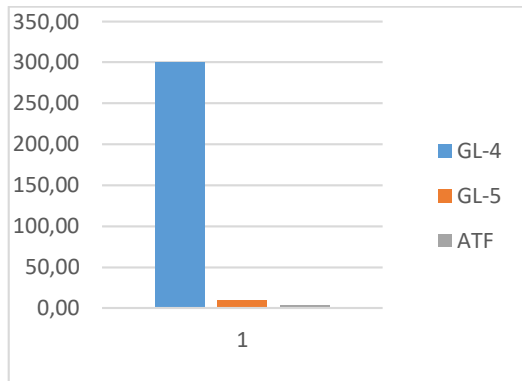


Gráfico 3 Esfuerzo Cortante a 4500 RPM.

Fuente: Sánchez, Cevallos, 2022.

En el régimen de motor a 4500 rpm, se presenta las siguientes cifras (3) permitiendo determinar una constante donde al aumentar los rpm del motor (velocidad) el esfuerzo cortante aumenta, esto se debe a que al ser un fluido newtoniano el esfuerzo cortante siempre será proporcional al gradiente de velocidad, esto es una medida de la viscosidad aparente del fluido analizado. Al aumentar la el esfuerzo cortante y el gradiente de velocidad la viscosidad del aceite será mayor [20].

Al presentar estos indicadores, permite comprender que el GL.4 al generar mayor esfuerzo cortante o presión en una caja de cambios, este va presentar un mayor degradación del aceite en sí, puesto que presenta valores superiores a comparación de los otros, al tener una degradación más rápida provoca que la viscosidad aumente, provocando un efecto negativo en los componentes, estos presentarán una mayor fatiga del trabajo debido a que no van a ser lubricados correctamente, porque se requiere un mayor esfuerzo para desplazar el lubricante hacia lo elementos.

A diferencia del GL-5 y ATF estos presentan valores sumamente bajo a comparación del GL-4 donde esto superan

los 10 KPa de esfuerzo cortante, permitiéndoles que su degradación sea más prolongada, debido a que no generan una mayor temperatura en los sistemas, en consecuencia, no perderá sus propiedades de refrigeración, limpieza y lubricación de forma prematura. Esto garantiza que su viscosidad se mantendrá estable al funcionar en una caja de cambios.

La vida útil de los GL-5 y ATF, al usarlos en una caja de cambios manual, no se verá afectada, ya que el esfuerzo cortante podrá aumentar, al ser relativamente bajo en comparación al GL-4, permitiendo un funcionamiento correcto debido a la presión que cada aceite necesita para trasladarse dentro del sistema y cumplir sus funciones de lubricante.

5. CONCLUSIONES.

El uso de ATF en una caja de cambios estará ligado al cumplir las características de limpieza, refrigeración y lubricación, óptimas para el cuidado de la misma, por eso se debe utilizar aceites ATF de última generación que cumplen estas características que logran ofrecer una mayor ventaja a la hora usar este tipo de aceite.

Se evidencia que al aumentar la velocidad de los componentes dinámicos la misma provocara que el esfuerzo cortante también aumente permitiendo determinar que el esfuerzo cortante es directamente proporcional a la velocidad. El GL – 4 al generar un mayor esfuerzo cortante superior al 90% a 800 RPM comparado con los GL-5 y los ATF, lo que genera que los componentes dinámicos de la caja de cambios realicen un mayor esfuerzo para producir su movimiento en consecuencia tendrán que realizar más esfuerzo los elementos internos de la caja al utilizar el aceite GL-4 a comparación a los aceites GL-5 y ATF donde su carga disminuye considerablemente más del 89%.

El uso de GL-4 en caja de cambios manual genera mayor presión dentro del sistema provocando un deterioro acelerado del aceite y de los componentes dinámicos del 80 %, debido a que el uso de este aceite por la presión generada, el aumento de

fatiga y temperatura dentro de la caja de cambios provoca que su vida útil disminuya considerablemente, lo que lleva a periodos de cambios del aceite sea más cortos.

6. Referencias

- [1] Coche Español, «Automotriz Mobi,» 1 Abril 2021. [En línea]. Available: <http://www.automotriz.mobi/coches/car-maintenance/general-car-maintenance/127103.html>. [Último acceso: 22 Junio 2021].
- [2] Total, «Total Energies,» 1 Enero 2012. [En línea]. Available: <https://www.totalenergies.cl/tips/cambio-de-aceite/cambio-del-liquido-de-transmision/>. [Último acceso: 22 Junio 2021].
- [3] ENEOS, «ENEOS,» 2020. [En línea]. Available: <https://www.eneos.mx/blog/cuales-son-las-funciones-de-los-diferentes-fluidos-de-transmision/>. [Último acceso: 22 Junio 2021].
- [4] Widman International SRL, «Widman International SRL,» 1 Enero 2021. [En línea]. Available: <https://www.widman.biz/mantenimiento/transmisiones.php>. [Último acceso: 22 Junio 2021].
- [5] A. D. J. Gavilánez, «Universidad Tecnica de Ambato,» Marzo 2014. [En línea]. Available: <https://repositorio.uta.edu.ec/handle/123456789/7376>. [Último acceso: 22 Junio 2021].
- [6] J. A. Carvalho Toral y P. X. Dávila Vintimilla, «Repositorio Institucional,» 2011. [En línea]. Available: <http://dspace.uazuay.edu.ec/bitstream/datos/6068/1/08409.pdf>. [Último acceso: 22 Junio 2021].
- [7] A. P. V. Vásquez, «Análisis Físico-Químico de las propiedades mecánicas de aceites lubricantes GL4 - GL5 en metales de transmisión duros y blandos.,» p. 97, 2020.
- [8] M. R. Sánchez, Mantenimiento de sistemas de refrigeración y lubricación de los motores térmicos, 6 ed., Elearning S.L, 2012, p. 333.
- [9] Pochteca, «México Pochteca,» 2 Marzo 2018. [En línea]. Available: <https://mexico.pochteca.net/diferencia-entre-aceite-semisintetico-sintetico-y-mineral/>. [Último acceso: 16 Agosto 2021].
- [10] A. S. Tejdor, «Química Organica Industrial,» 2021. [En línea]. Available: <https://www.eii.uva.es/organica/qoi/tema-13.php>. [Último acceso: 15 Septiembre 2021].
- [11] P. R. A. AGUILLON, Tribología y Lubricación, Medellín, 2007, p. 178.
- [12] J. Carlos Borja, J. Fenoll y J. Seco de Herrera, Sistemas de Transmisión y Frenado, Macmillian Iberia S.A., 2009, p. 265.
- [13] Bosch, Manual de la técnica del automóvil, 4 ed., 2005.
- [14] Roshframs, «Roshframs,» Enero 2019. [En línea]. Available: https://www.roshframs.com/documentos/fichasTecnicasySeguridad/29_HDT_GEAR_OIL_API_GL-1.pdf. [Último acceso: 15 Septiembre 2021].
- [15] Wolfoil, «Wolfoil,» 2 Junio 2015. [En línea]. Available: https://www.wolfoil.com/TDS/tds_3006_woc_es_es_20160708080605_lr.pdf. [Último acceso: 15 Septiembre 2021].
- [16] R. Legaz Berbel, «Estudio de la viscosidad y densidad de diferentes aceites para su uso como biocombustible,» Junio 2010.
- [17] J. D. Maldonado, «Introducción a la Mecánica de fluidos,» p. 6.
- [18] A. M. Domingo, Apuntes de Mecánica de Fluidos, Madrid, 2013, p. 99.

- G. Masoliver Marcos, M. Pérez Sánchez y A. López Jiménez,
- [19] «Modelo experimental para estimar la viscosidad de fluidos no newtonianos,» p. 14, Enero 2017.
- [20] R. L. Mot, *Mecánica de fluidos*, Sexta ed., P. M. G. Rosas, Ed., 2006, p. 647. ASTM, «ASTM International,» 27 Diciembre 2016. [En línea]. Available:
[21] <https://www.astm.org/d2270-10r16.html>. [Último acceso: 20 Diciembre 2021].
ASTM, «ASTM International,» 27 Enero 2020. [En línea]. Available:
[22] <https://www.astm.org/d0445-19.html>. [Último acceso: 20 Diciembre 2021].
ASTM, «ASTM International,» 2 Diciembre 2021. [En línea]. Available:
[23] <https://www.astm.org/d2983-21.html>. [Último acceso: 20 Diciembre 2021].
ASTM, «ASTM International,» 7 Febrero 2019. [En línea]. Available:
[24] <https://www.astm.org/d4052-18.html>. [Último acceso: 20 Diciembre 2021].
Trakker, Euro, «PDF Coffe,» 2007. [En línea]. Available:
[25] <https://pdfcoffee.com/manual-de-reparaciones-caja-de-cambios-zf-5-pdf-free.html>. [Último acceso: 15 Enero 2022].
W.-S. Moon y S.-W. Yang, «Korea Science,» 2001. [En línea]. Available:
[26] <https://www.koreascience.or.kr/article/CFKO200111921195844.page>. [Último acceso: 10 Diciembre 2021].
A. D. JiménezGavilánez, 2014. [En línea]. [Último acceso: 9 Diciembre 2021].
L. Heli, L. Huaiju, Z. Caichao y R. Parkerb, «Science Direct,» Marzo 2020. [En línea]. Available:
[28] <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0094114X19323079?via%3Dihub#preview-section-recommended-articles>. [Último acceso: 23 Enero 2022].

7. Anexos

7.1. Anexos (Introducción). –

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA

ESTUDIO DE LA COMPOSICIÓN RELATIVA ENTRE UN LUBRICANTE MINERAL CON LUBRICANTES ORGÁNICOS Y SU INFLUENCIA EN EL COMPORTAMIENTO DE LA DENSIDAD Y VISCOSIDAD A DIFERENTE TEMPERATURA

Autor: Alex Daniel Jiménez Gavilánez

Tutor: Ing. Mg. Henry Vaca

RESUMEN EJECUTIVO

La presente investigación se refiere al estudio de las propiedades físicas de los lubricantes en combinación relativa, específicamente viscosidad y densidad. Para lo cual se seleccionó un lubricante mineral y tres lubricantes orgánicos, como lubricante mineral se tomó un aceite de transmisión automática (ATF) y como lubricantes orgánicos se seleccionó al aceite de palma, aceite de soya, y aceite reciclado de frituras.

Para la realización del estudio se seleccionaron casos de combinación relativa, en los que se combinan el aceite orgánico con el aceite mineral, estas proporciones son 10/90, 20/80, 30/70, 40/60, y 50/50, además las pruebas de viscosidad como de densidad se realizaron a las temperaturas de 40, 60, 80 y 100 °C.

Una vez terminadas las mediciones se procedió a registrarlas en fichas, de los mismos datos se obtuvieron gráficas de variación de las propiedades respecto a la temperatura, y comparándolas con el lubricante original se aprecian interesantes variaciones así como también conservaciones dentro de las distintas composiciones relativas, estos resultados se pueden apreciar en el capítulo V de este documento.

presiones en M y N serán igual $p_{atm} + \gamma_A dA$ y a la atmosférica p_{atm} respectivamente por lo que claramente $p_M > p_N$. En líquidos no miscibles las presiones a la misma altura son en general distintas. El esquema de la figura nos permite obtener la densidad relativa de los dos fluidos”[1](Austin Martín, 2011, p.14)

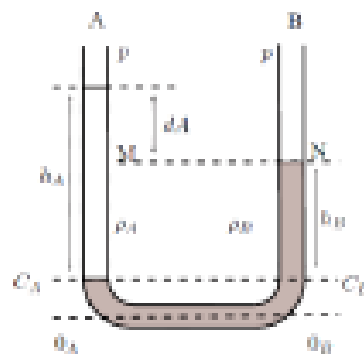


Figura 2.6. Presión en un tubo en U caso de fluidos no miscibles Fuente: Agustín Martín Domingo. Apuntes de Mecánica de Fluidos

2.4.3.2 Lubricación

La lubricación se da cuando los lubricantes se interponen entre las dos superficies en movimiento para de esta manera formar una película separadora o película lubricante que evita el contacto directo entre ellas y por tanto el desgaste. Esta película lubricante no elimina totalmente el rozamiento, aunque sí lo disminuye notablemente. Esta disminución del rozamiento es la definición de lubricación. El rozamiento por contacto directo entre las superficies es sustituido por otro rozamiento interno mucho menor, entre las moléculas del lubricante.

Tipos de lubricación.

La lubricación puede darse de tres formas distintas:

- Lubricación hidrodinámica
- Lubricación límite o de contorno

- **Lubricación hidrostática.**

Lubricación hidrodinámica. Se da cuando las superficies están separadas por una película de lubricante que proporciona estabilidad. No se basa en introducir lubricante a presión, si no que exige un caudal de aceite, la presión se genera por movimiento relativo. Se habla también de lubricación de película gruesa, fluida, completa o perfecta.

Lubricación límite. La película de lubricante es tan fina que existe un contacto parcial metal-metal. La acción resultante no se explica por la hidrodinámica.

Puede pasarse de lubricación hidrodinámica a límite por caída de la velocidad, aumento de la carga o disminución del caudal de aceite, es decir que cuando el movimiento relativo entre las piezas en contacto se detiene el caudal de lubricante también y el restante que aún estaba sobre las piezas forma esta capa. En este tipo de lubricación más que la viscosidad del lubricante es más importante la composición química.

Lubricación hidrostática. Se obtiene introduciendo a presión el lubricante en la zona de carga para crear una película de lubricante. Al ser estática no es necesario el movimiento relativo entre las superficies, se emplea en cojinetes lentos con grandes cargas, puede emplearse aire o agua como lubricante.

2.4.3.3 Lubricantes

Son sustancias sólidas, semisólidas o líquidas de origen animal, vegetal, mineral o sintético, que pueden utilizarse para reducir el rozamiento entre piezas y mecanismos en movimiento. Como lubricantes sólidos podemos citar el grafito o el bisulfuro de molibdeno. Se utilizan principalmente en aquellas condiciones en donde los lubricantes líquidos son incompatibles o de difícil aplicación en especial con trabajo a muy bajas presiones, altas temperaturas, piezas lubricadas de por vida entre otras.

El ejemplo más común de lubricante líquido, son los aceites ampliamente utilizados en automoción y muchas aplicaciones industriales.

Las grasas, en las que un aceite líquido es retenido por un agente espesante, son los lubricantes semisólidos más conocidos y empleados.

2.4.3.4 Funciones de los lubricantes

Los lubricantes a más de disminuir el rozamiento entre los materiales, también desempeñan otras importantes funciones para asegurar un correcto funcionamiento de la maquinaria, manteniéndola en estas condiciones durante mucho tiempo. Entre estas otras funciones, se presentan a continuación:

- Refrigerante
- Eliminador de impurezas
- Sellante
- Anticorrosivo y antidesgaste
- Transmisor de energía

El lubricante correctamente aplicado consigue:

- Evitar el desgaste por frotamiento
- Ahorrar energía, evitando que se pierda en rozamientos inútiles que se oponen al movimiento, y generan calor.

Refrigeración

El aceite contribuye a mantener el equilibrio térmico de la máquina, disipando el calor que se produce en la misma como consecuencia de frotamientos, combustión. Esta función es especialmente importante, en aquellos casos en que no exista un sistema de refrigeración, o éste no tenga acceso a determinados componentes de la máquina, que únicamente puede eliminar calor a través del aceite

Eliminación de impurezas

En las máquinas y equipos lubricados se producen impurezas de todo tipo; algunas por el propio proceso de funcionamiento como la combustión en los motores de explosión, también en partículas procedentes de desgaste o corrosión y contaminaciones exteriores como polvo, agua, etc.

El lubricante debe eliminar por circulación estas impurezas, siendo capaz de mantenerlas en suspensión en su seno y llevarlas hasta los elementos filtrantes apropiados.

Podemos decir que el lubricante se ensucia para mantener limpia la máquina.

Anticorrosivo y antidesgaste

Los lubricantes tienen propiedades anticorrosivas y reductoras de la fricción y el desgaste naturales, que pueden incrementarse con aditivos específicos para preservar de la corrosión diversos tipos de metales y aleaciones que conforman las piezas y estructuras de equipos o elementos mecánicos.[7](Gluf. Manual Técnico de Lubricantes)

Sellante

El lubricante tiene la misión de hacer estancas aquellas zonas en donde puedan existir fugas de otros líquidos o gases que contaminan el aceite y reducen el rendimiento del motor. La cámara de combustión en los motores de combustión interna y los émbolos en los amortiguadores hidráulicos son dos ejemplos donde un lubricante debe cumplir esta función.

Transmisor de energía

Es una función típica de los fluidos hidráulicos en los que el lubricante además de las funciones anteriores, transmite energía de un punto a otro del sistema.[18](WHITE, 2008, p. 32)

2.4.3.5 Composición de los lubricantes

Los lubricantes se componen de aceites base y una serie de aditivos modificadores de las propiedades de estos aceites.

Los aceites base pueden provenir del refinado del petróleo o bien de reacciones petroquímicas. Los primeros son los denominados aceites minerales y los segundos son conocidos como aceites sintéticos.

Bases minerales

Están constituidos por tres tipos de compuestos: parafínicos, nafténicos y aromáticos, siendo los primeros los que se encuentran en mayor proporción (60 - 70%), por tener las mejores propiedades lubricantes, pero siempre hay compuestos nafténicos y aromáticos que aportan propiedades que no tienen las parafinas.(Gluf. Manual Técnico de Lubricantes)

Bases vegetal

Las bases lubricantes vegetales tienen tasas de biodegradación más altas, por esto estas base lubricantes son usadas para producir "aceites verdes" o aceites más biodegradables que el aceite mineral. Estos aceites combinados con los aditivos correctos pueden ser biodegradables y no tóxicos.[2](Bulles, 2010, p.7-8)

Base sintética

Las bases lubricantes sintéticas son fabricadas por procesos especiales para realizar funciones específicas, lo cual les otorga una mayor uniformidad en sus propiedades.

Carvalho Toral, Juan Arturo

Dávila Vintimilla, Pedro Xavier

Trabajo de Graduación

Ing. Pablo Segarra C.

Junio del 2011

***PLAN DE CAPACITACIÓN EN EL MANTENIMIENTO Y UTILIZACIÓN
ADECUADA DE LUBRICANTES PARA TRANSMISIONES AUTOMÁTICAS DE
VEHÍCULOS LIVIANOS***

INTRODUCCIÓN

En la actualidad los vehículos provistos con una transmisión automática son más comunes que hace algunos años atrás. Los modelos y tipos varían de acuerdo al fabricante y las necesidades a las que va a estar exigido cada modelo de vehículo, así que el presente proyecto de investigación permite tratar y profundizar más con el tema.

En esta monografía se puede encontrar el funcionamiento de una transmisión, los elementos que la conforman y su función dentro del conjunto mecánico; también ilustra los tipos de transmisiones que se han fabricado desde los inicios de estos mecanismos en el campo automotriz y sus aplicaciones, así como las pruebas de comprobación del estado de la misma y el mantenimiento correcto que se debe brindar, a través una guía práctica para manipular correctamente los lubricantes, de acuerdo a las características de la transmisión.

Es de suma importancia conocer sobre el tema, en especial cuando se va a trabajar con este tipo de mecanismos, ya que el mantenimiento preventivo que se brinda a una transmisión automática es esencial para conservar su vida útil y obtener un óptimo desempeño de la misma. Se debe tomar en cuenta que en el mercado existen varios tipos de lubricantes hidráulicos para transmisiones automáticas, los mismos que fueron

CAPÍTULO 1

ACEITES HIDRAULICOS PARA TRANSMISIONES AUTOMÁTICAS

1.1. La transmisión automática

El vehículo está conformado de muchos mecanismos, varios de los cuales trabajan de forma cinemática, como es el caso del conjunto: motor – tren de transmisión – neumáticos; que son los encargados de producir el movimiento del mismo.

El motor se encarga de generar el par y transmitirlo a la caja de cambios, en la misma se originan las diferentes relaciones de transmisión, de acuerdo a las condiciones requeridas para que el motor no se fatigue o desmaye, así como la marcha de reversa; el movimiento pasa al grupo diferencial y de este a las ruedas motrices.

La caja de cambios es la encargada de transmitir el par motor y adaptarlo a las condiciones de carga y marcha del vehículo. En las cajas de cambio automáticas esto se realiza sin necesidad de que el conductor actúe directamente sobre los mecanismos del cambio, si bien el conductor puede intervenir, con distintas actuaciones, en el funcionamiento de la caja de cambios automática.

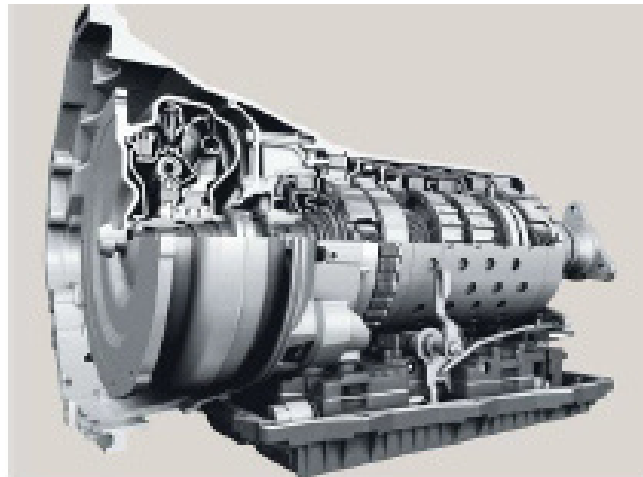


Figura 1.1.1 La Transmisión Automática

Fuente: Cajas-Automáticas, mecánica-información, EEUU, 2010

www.blauparts.com/audi/audi_fluid/audi_automatic_transmission_fluid.shtml

La transmisión automática tiene la misma función que la transmisión manual: proveer alto torque y poca velocidad en la partida, y alta velocidad para desplazamiento en carretera. Las diferencias que encontramos entre las mismas son:

- La transmisión manual depende del conductor para apretar el embrague (desconectando el motor de la transmisión) y mover una palanca para escoger cada marcha, según su criterio.
- La transmisión automática depende de válvulas o sensores electrónicos combinados con una computadora para programar el cambio. En ese momento, los embragues y bandas internas se deslizan y los pistones empujan discos dentro de un juego de engranajes planetarios para cambiar la relación de torque y velocidad.

Una transmisión automática esta compuesta básicamente por los siguientes elementos:

- Un convertidor de torque (par motor).

- Un juego de engranajes planetarios.
- Bandas de material de fricción específica para prensar partes del juego de planetarios.
- Un juego de embragues que transmite el torque directo a otras partes del juego de planetarios. Algunas también tienen embragues “lock-up” para asegurar la turbina a la bomba una vez que ambas llegan a ciertas velocidades para eliminar la pérdida de fuerza y mejorar el consumo de combustible.
- Un sistema hidráulico complejo que pasa presión a los diferentes embragues, bandas, pistones, válvulas, etc.
- Una bomba de aceite que presuriza, lubrica y enfría todas estas piezas, llevando el aceite al enfriador (generalmente como parte del radiador del motor).

1.1.1 Engranajes Planetarios

Los engranajes planetarios o tren epicicloidal permiten pasar de una relación de transmisión a otra sin tener que efectuar un cambio de marcha.

Los engranajes de transmisión automática siempre están enganchados. Los juegos de engranajes planetarios son accionados por embragues o bandas sumergidos en el aceite y accionado por válvulas hidráulicas reaccionando a las presiones del aceite, una computadora en la transmisión, la computadora del motor, o una combinación de estas en respuesta a los sensores electrónicos de presión y velocidad. Estas válvulas accionan el juego de planetarios en la velocidad y fuerza correctas en el momento.

Los controles más sofisticados permiten al usuario hacer sus cambios en el punto deseado como si se tratara de una transmisión manual, sin embrague, con la palanca en línea sin el movimiento en “H”. A veces esta palanca es situada en el volante, donde se realizan los cambios apretando una o dos

Engine	Ade Ratio	GVWR (lbs.)	4x2		4x4		4x2		4x4		4x2		4x4			
			120° Wb	140° Wb	120° Wb	140° Wb	140° Wb	160° Wb	120° Wb	140° Wb	140° Wb	160° Wb	120° Wb	140° Wb	160° Wb	180° Wb
4.0L 3-Valve V6	3.55	10,400	5,200	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		10,600	-	5,300	-	-	5,300	-	-	-	-	5,200	5,100	-	-	-
	3.73	10,600	5,300	-	5,700	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		11,100	-	6,000	-	5,800	5,800	-	-	5,500	-	3,700	5,600	-	-	-
4.6L 3-Valve V8	3.31	13,100	-	8,000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		13,500	-	-	-	-	8,100	-	-	-	-	4,100	8,000	-	-	-
	3.55	13,500	-	-	7,700	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		13,100	-	-	-	7,700	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	13,500	-	-	-	-	-	-	-	7,900	-	-	-	-	7,700	7,600	
	13,000(†)	-	8,400	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	14,900(†)	-	-	-	-	9,500	-	-	-	-	4,400	9,300	-	-	-	
	3.73(†)	13,300	-	-	8,000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		13,600	-	-	-	8,200	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		15,100	-	-	-	-	-	-	-	9,400	-	-	-	9,200	9,200	
5.4L 3-Valve V8	3.15	13,200	-	8,000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
		14,000	-	-	-	-	8,600	-	-	-	-	4,500	8,400	-	-	
	3.31	13,000	-	-	7,700	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
		13,200	-	-	-	7,700	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	14,000	-	-	-	-	-	-	-	8,300	-	-	-	8,100	8,000		
	3.55	13,900	-	-	8,600	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
		15,000	-	9,800	-	9,500	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
		15,200	-	-	-	-	9,800	-	-	-	-	-	-	-	-	
		15,300	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4,800	4,700	-	-	
		15,400	-	-	-	-	-	-	-	9,700	-	-	-	-	-	
	15,500	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	9,600	9,500		
	3.73	11,200(2)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3,300	-	5,100	-	
		16,700(3)(4)	-	11,300	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
		16,900(4)	-	-	-	-	11,300	-	-	-	-	11,300	-	-	-	
		17,000	-	-	-	11,300(3)(4)	-	-	-	-	-	-	11,300(4)	-	-	
	17,100	-	-	-	-	-	11,300(3)(4)	-	11,200(4)	11,100(3)(4)	-	-	-	11,200(4)	11,100(4)	
3.73(5)	13,900	-	-	8,600	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
	15,000	-	-	-	9,500	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
	15,400	-	-	-	-	-	-	-	9,700	-	-	-	-	-		
	15,500	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	9,600	9,500		
17,100(4)	-	-	-	-	-	-	-	11,200	-	-	-	11,200	11,100			
4.10(6)	17,300	-	-	-	-	-	-	8,000	-	-	-	-	-			

Tabla 1.2.3 Maximum Loaded Trailer Weight (Lbs.) – Automatic Transmission

Trailer Weight (Lbs.) – Automatic

Fuente: www.fordvehicles.com/assets/pdf/10FLMrvF150sep09.pdf

1.3. Características de un aceite hidráulico para transmisiones automáticas

El aceite es el encargado de transmitir las presiones del circuito hidráulico de la transmisión, mantener lubricados todos los componentes y formar una película entre los mismos para evitar desgaste por rozamiento, además actúa como detergente retirando todas las impurezas.

Un aceite para una transmisión automática debe ser muy resistente a la oxidación, a los cambios de viscosidad por las temperaturas y el uso, y debe

poseer características de fricción correctas para cada tipo de caja. Además, tiene que mantener todas las superficies, los contactos y las válvulas limpias y libres de barniz.

Es posible que el líquido de la transmisión automática contenga aire en tres formas: disuelto, insuflado (aeración) y espuma. El aceite que contiene aire no es de mucha ayuda, la lubricación y la transferencia de calor resultan afectadas y las presiones son inestables. Los aditivos anti espuma se utilizan para controlar y limitar los efectos del aire en el líquido.

Este problema ha sido controlado exitosamente y las mejoras obtenidas han sido del 150%, en la siguiente figura podemos observar una prueba de laboratorio entre dos aceites de una misma marca.

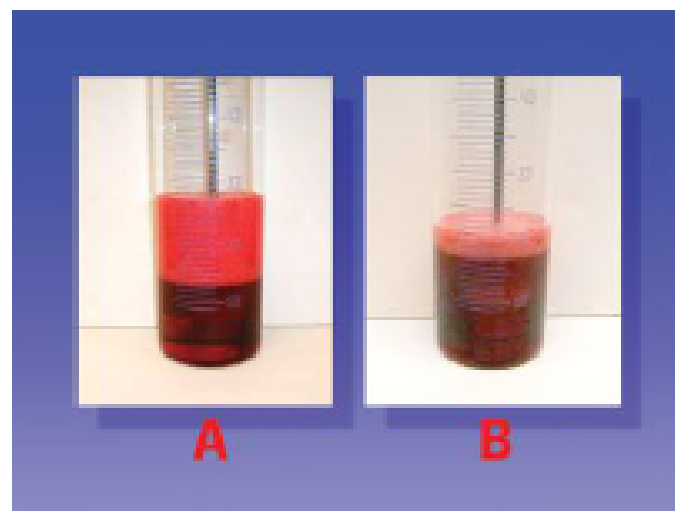


Figura 1.3.7 A Prueba de espuma de DEXRON-III
B Prueba de espuma de DEXRON-VI

Fuente: WIDMAN, Richard, Transmisiones Automáticas, Aceites hidráulicos para transmisiones automáticas, EEUU, 2005.

Resistencia al óxido mejorada en 100%; la oxidación describe el tiempo que tarda un líquido en llegar al final de su vida útil. La oxidación generalmente ocurre de manera más rápida a temperaturas más altas, el aceite en la transmisión automática sufre por el calor, la alta velocidad de circulación y la fuerza que la transmisión exige. Esta característica se corrigió con la

finalidad de extender los intervalos entre cada cambio de aceite y garantizar la vida útil de la transmisión.

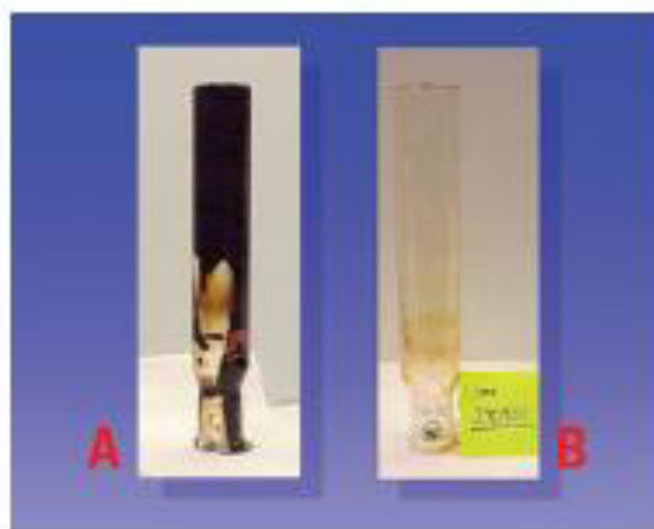


Figura 1.3.8 A Prueba de oxidación del líquido de mercado secundario

B Prueba de oxidación de DEXRON-VI

Fuente: WIDMAN, Richard, Transmisiones Automáticas, Aceites hidráulicos para transmisiones automáticas, EEUU, 2005.

Estabilidad de fricción describe cómo se comporta el líquido cuando se acoplan los embragues o bandas de la transmisión. Un líquido con características de fricción deficientes ocasiona aprisionamiento, vibración y deslizamiento. Los aceites pueden ser diseñados para el coeficiente de fricción necesario. Los ingenieros pasan mucho tiempo buscando la combinación de aditivos, aceite básico y viscosidad correcta para obtener el mínimo de desgaste y el máximo de vida útil con un esfuerzo mínimo de parte del operador.

7.2. Anexos (Fundamentación Teórica). -

1.1. Los lubricantes, tipos, propiedades y características, clasificación e intervalos de mantenimiento

Antes de comenzar, aclaremos algunos conceptos básicos para la comprensión de esta unidad didáctica, como qué son los lubricantes, para qué se utilizan y qué ciencia se encarga de su estudio y diseño.



Lubricante. Un elemento lubricante es una sustancia que crea una película entre dos superficies con movimiento relativo, ayudando a reducir la fricción entre ellas, facilitando el movimiento y reduciendo el desgaste de ambas superficies.

Fricción. Se denomina fricción a la fuerza de rozamiento entre dos superficies en contacto, que se origina debido a las imperfecciones microscópicas de dichas superficies. Actúa oponiéndose tanto al movimiento entre ambas superficies (fuerza de fricción dinámica) como al inicio del deslizamiento (fuerza de fricción estática).

Desgaste. Se denomina desgaste de una superficie al proceso mediante el cual se genera un daño en la misma por rotura o desprendimiento de material.

Tanto la fricción como el desgaste no son solamente una propiedad del material, sino una respuesta integral del sistema. Está demostrado que aproximadamente el 75% de los fallos mecánicos se deben al desgaste de las superficies en rozamiento, con lo cual se puede deducir que para aumentar la vida útil de una máquina se debe disminuir el desgaste todo lo posible, lo cual se trata de conseguir con la utilización de los lubricantes.

Los lubricantes son un elemento imprescindible a utilizar dentro de una máquina o motor, ya que entre otras funciones que cumplen están las de disolver y transportar al filtro las partículas que se desprenden de la combustión y el desgaste, distribuir la temperatura desde la parte inferior a la superior actuando como un refrigerante, evitar la corrosión por óxido en las partes del motor o máquina, evitar la condensación de vapor de agua y sellar determinados componentes actuando como una junta.

La misión de cualquier motor es producir movimiento mediante el uso de energía externa o combustible, sea de combustión interna, eléctrico, etc.⁹

Un buen ejemplo de piezas móviles en continuo contacto, y por lo tanto, generando una fricción y un desgaste importante, son los sistemas de ruedas dentadas o engranajes.



Sistema de engranajes



Aunque los lubricantes cumplan varias funciones en un motor como las que hemos comentado anteriormente, no debemos olvidar que la propiedad principal del lubricante es la de reducir la fricción entre partes en movimiento, ya que esto es lo que se conoce como **Lubricación**.

La lubricación es básica y necesaria para el correcto funcionamiento de casi todas las maquinarias que se utilizan en el mundo. Sin lubricación, las máquinas no funcionarían, o funcionarían poco tiempo antes de romperse.

Las grandes industrias y fabricantes de lubricantes buscan constantemente mejorar y cambiar sus productos a medida que cambia el mercado de las maquinarias. Se estudian nuevos procesos químicos y de destilación persiguiendo conseguir los mejores lubricantes para cada necesidad.

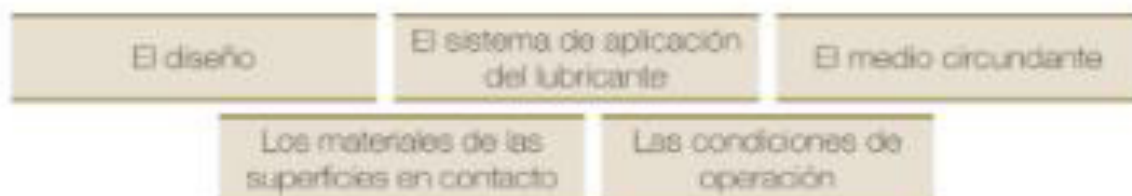
La ciencia que estudia la lubricación es la Tribología, término procedente del griego **tribō**, que significa "frotar o rozar".



Tribología. La tribología es la ciencia que estudia la fricción, el desgaste y la lubricación que tienen lugar durante el contacto entre superficies sólidas en movimiento relativo.

La tribología como ciencia y tecnología, estudia la fricción y sus efectos asociados, como el desgaste, tratando de prevenirlos mejorando los diseños y prácticas de lubricación.

La tribología considera entre otros, los siguientes aspectos de la maquinaria industrial:



Se puede decir que el concepto de tribología es relativamente moderno.

Tiene su origen en Inglaterra en 1966, cuando un estudio demostró las pérdidas económicas que se originaban en el país debido únicamente a la fricción y el desgaste en sus maquinarias.

Atendiendo a su composición y presentación, existen distintas sustancias lubricantes, que pueden ser:

- **Líquidos.** De origen vegetal o mineral. Se emplean en la lubricación hidrodinámica y se usan comúnmente en la industria, en la lubricación de motores, etc.
- **Semisólidos.** De origen vegetal o mineral. Se trata de las tradicionales grasas, que normalmente se mezclan con varios tipos de lubricantes sólidos.
- **Sólidos.** Son materiales cuya composición ofrece una mínima resistencia molecular interna, por lo que nos aporta óptimas condiciones de lubricación sin necesidad de añadir un lubricante líquido o semisólido.

Se utilizan principalmente en condiciones de trabajo en las cuales los lubricantes líquidos resultan incompatibles o de difícil aplicación. El más utilizado es el Grafito, aunque también se utilizan Bisulfuro de Molibdeno y Litio.

1.1.2. Características de los lubricantes



El uso de los lubricantes ya se tenía en cuenta hacia el año 4000 a.C.

En aquel entonces, los egipcios utilizaban la grasa para evitar problemas de fricción en sus carruajes. Las primeras grasas se elaboraban con cal mezclada con grasas animales y algunas veces con aceites vegetales. Una de estas grasas animales, muy utilizada, fue el aceite de ballena, que se obtenía de forma totalmente artesanal a partir de la grasa de diversas especies de cetáceos.

Este tipo de sustancias (con bastantes limitaciones en su uso) fueron utilizadas hasta mediados del siglo XIX, cuando las primeras grasas sólidas a base de aceites minerales fueron desarrolladas y utilizadas como lubricantes en las vagonetas de las minas y en las máquinas industriales, que en aquel entonces funcionaban con bastante lentitud.

Esta grasa, llamada "briqueta", fue utilizada de forma intensa hasta mediados del siglo XX, y en la actualidad aún continúa siendo empleada en algunas partes del mundo.

4.1.1. Definición

La viscosidad, es la propiedad de un fluido al oponerse a su flujo cuando se aplica una fuerza. Los fluidos de alta viscosidad presentan una cierta resistencia a fluir y los de baja viscosidad fluyen con facilidad. La fuerza con la que una capa de fluido en movimiento arrastra consigo a las capas adyacentes de fluido determina su viscosidad. (45)

Las condiciones ambientales, especialmente la temperatura y la presión afectan a la viscosidad.

La medida de la viscosidad se expresa comúnmente con dos sistemas de unidades SAYBOLT (SUS) o en el sistema métrico CENTISTOKES (CST). (41)

4.1.2. Material necesario

- Viscosímetro Cannon-Fenske de rutina para líquidos transparentes. (50)



ASTM D445 - ASTM D446 - ISO 3104 - ISO 3105 - IP 71

Adecuado para líquidos transparentes.

Con certificado de calibración.

Constantes a 40 °C y 100 °C.

Longitud total 250 mm.

Aforos permanentes en color ámbar.

Figura 2. Viscosímetro
Cannon-Fenske

1.3. Propiedades de los fluidos.

1.3.1. Densidad ρ

La densidad se define como la masa por unidad de volumen. La unidad de densidad en el sistema internacional es el $[\text{kg}/\text{m}^3]$. Para un fluido homogéneo, la densidad no varía de un punto a otro y puede definirse simplemente mediante

$$\rho = \frac{V}{m} \quad (1-1)$$

Por el contrario, en el caso general de un fluido inhomogéneo, la densidad ρ varía de un punto a otro. Por tanto tenemos que definir la densidad en un punto como la masa por unidad de volumen en un elemento infinitesimal de volumen[†] en torno a ese punto:

$$\rho = \rho(x, y, z, t) = \frac{dm}{dV} \quad (1-2)$$

Nótese que esto es posible gracias a la continuidad. En los líquidos, al tener baja compresibilidad, la densidad depende de la temperatura, pero apenas depende de la presión, $\rho = \rho(T)$. Para los fluidos compresibles, la densidad

[†]En este contexto de paso del medio real al medio continuo equivalente, hablamos de un elemento de volumen muy pequeño del medio real que aún contiene un número de partículas suficiente para que se puedan obtener propiedades promedio en dicho elemento de volumen, en vez de un elemento de volumen estrictamente infinitesimal, que significaría infinitamente pequeño.

[‡]Sin embargo, si ya estamos trabajando con el medio continuo y con las magnitudes macroscópicas asociadas al mismo, ya podemos hablar de un elemento de volumen infinitesimal que será efectivamente un elemento de volumen infinitesimal del medio continuo y no de la materia real discreta, con lo que utilizaremos el cálculo infinitesimal en la forma matemática habitual en la confianza de que a partir del mismo obtendremos las magnitudes macroscópicas.

[§]Nótese que es un elemento infinitesimal de volumen en el medio continuo, que corresponde a un elemento de volumen muy pequeño en el medio real que aún contiene una gran cantidad de partículas y en el que por tanto podemos definir propiedades promedio.

en general depende tanto de la presión como de la temperatura, $\rho = \rho(p, T)$. Para el caso concreto de un gas ideal, con una ecuación de estado $pV = nRT$, la densidad tiene la forma concreta:

$$\rho(p, T) = \frac{\overline{M}p}{RT} \quad (1-3)$$

1.3.2. Peso específico γ

El *peso específico* se define como el peso por unidad de volumen. La unidad de peso específico en el sistema internacional es el $[N/m^3]$. Para un fluido homogéneo $\gamma = mg/V = \rho g$, mientras que para el caso más general de un fluido inhomogéneo el peso específico es

$$\gamma = \gamma(x, y, z, t) = g \frac{dm}{dV} = \rho g \quad (1-4)$$

donde g es la aceleración de la gravedad. Nótese que $\gamma = \rho g$ en todos los casos.

1.3.3. Volumen específico v

Se denomina *volumen específico* al volumen ocupado por la unidad de masa. Para un fluido homogéneo éste se define como $v = V/m = 1/\rho$, mientras que en el caso general de un fluido inhomogéneo tendremos que hablar de su valor en cada punto,

$$v = v(x, y, z, t) = \frac{dV}{dm} = \frac{1}{\rho}. \quad (1-5)$$

En todos los casos, $v = 1/\rho$. La unidad de volumen específico en el sistema internacional es el $[m^3/kg]$.

1.3.4. Viscosidad.

Como se ha dicho en la introducción, la *viscosidad* refleja la resistencia al movimiento del fluido y tiene un papel análogo al del rozamiento en el movimiento de los sólidos. La viscosidad está siempre presente en mayor o menor medida tanto en fluidos compresibles como incompresibles, pero no siempre es necesario tenerla en cuenta.

El modelo más simplificado es el modelo denominado de *fluido perfecto o no viscoso*, en el que no se tiene en cuenta el efecto de las fuerzas viscosas mientras que el modelo denominado de *fluido real o viscoso* es más complejo al tener en cuenta de alguna forma la acción de las fuerzas viscosas. El modelo de fluido perfecto funciona bien cuando el efecto de la viscosidad es muy pequeño y puede despreciarse mientras que cuando no es así es necesario utilizar el modelo de fluido real, salvo que se quiera una primera aproximación al problema con un error mayor.

En el caso del agua a veces se habla del *flujo del agua seca* para el flujo no viscoso del agua y del *flujo del agua mojada* para el flujo viscoso.

1.3.5. Presión.

La *presión* en un punto se define como el valor absoluto de la fuerza por unidad de superficie a través de una pequeña superficie que pasa por ese punto y su unidad en el sistema internacional es el *Pascal* ($1 \text{ Pa} = 1 \text{ N/m}^2$). Mientras que en el caso de los sólidos en reposo, las fuerzas que actúan a través de una superficie pueden tener cualquier dirección, en el caso de los fluidos en reposo estas fuerzas deben ser siempre perpendiculares a la superficie, ya que si hubiera una componente tangencial, el fluido fluiría. En el caso de un fluido en movimiento, si éste es no viscoso tampoco aparecen componentes tangenciales de la fuerza, pero si se trata de un fluido viscoso sí que aparecen fuerzas tangenciales de rozamiento.

De este modo, un fluido en reposo que se encuentra a una presión p ejerce una fuerza $-pd\vec{S}$ sobre cualquier superficie plana arbitraria en contacto con el fluido en el punto, definida por un vector unitario $d\vec{S}$ perpendicular a la superficie. En general, la presión en un fluido depende del punto, $p = p(x, y, z)$. Así, para un fluido en reposo la presión se define como la fuerza normal por unidad de superficie.

2. Marco Teórico

Un fluido se define como una sustancia que presenta una deformación continua ante un esfuerzo cortante (todos los líquidos y gases entre otros). La relación de proporcionalidad entre el esfuerzo cortante aplicado y el gradiente de velocidades que presentan las partículas del fluido, se conoce como viscosidad y es el parámetro que estudiaremos a continuación (White, 2008).

Supongamos una porción de fluido con sección rectangular con superficie libre (no confinado). En dicha superficie libre colocamos una lámina, la cual transmitirá sobre el fluido un esfuerzo cortante, si un agente externo aplica una fuerza en dirección paralela a la superficie libre del fluido. Al actuar dicho esfuerzo cortante, aparecerá un gradiente de velocidades en el fluido, siendo la velocidad de la lámina igual a la de las partículas en contacto con ella (condición de adherencia) como se aprecia en la Figura 1.

La viscosidad es la propiedad del fluido en movimiento, por la cual éste ofrece resistencia a las tensiones de cortadura. Se define como la relación entre el esfuerzo cortante aplicado y el gradiente de velocidades. Esta propiedad podría compararse con la fricción en el caso de los sólidos. La viscosidad depende de varios factores; el nivel de cohesión de las partículas del fluido (que puede ser variable) y la temperatura (inversamente proporcional), entre otros (Streeter, 1963).

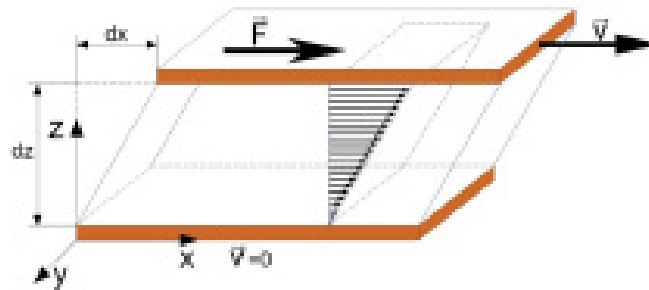


Figura 1: La viscosidad definida desde la visión de Newton. Fuente: elaboración propia.

Se distingue entre fluidos newtonianos y no newtonianos en base a la linealidad de la relación entre el gradiente y el esfuerzo aplicado. Los fluidos newtonianos siguen Expresión (1):

$$\tau = \mu \frac{dv}{dz}, \quad (1)$$

donde τ es el esfuerzo cortante, μ la viscosidad y $\frac{dv}{dz}$ el gradiente de velocidades que se crea paralelo a las superficies de contacto. Una primera clasificación de los fluidos en función de la viscosidad, permite definirlos en fluidos newtonianos, aquellos que su viscosidad es constante y por tanto, la relación entre el esfuerzo cortante y gradiente de velocidad es lineal; y fluidos no newtonianos, en los cuales su viscosidad no es constante y varía en función del esfuerzo cortante aplicado. Dentro de los fluidos no newtonianos se encuentran los fluidos pseudoplásticos y dilatantes. En la Figura 2, se muestran las curvas tipo “Esfuerzo cortante vs Gradiente de Velocidad” que definen dichos fluidos en función de su naturaleza (Streeter, 1963; White, 2008).

1.1. Introducción

La *Mecánica de Fluidos* estudia las leyes del movimiento de los fluidos y sus procesos de interacción con los cuerpos sólidos. La Mecánica de Fluidos como hoy la conocemos es una mezcla de experimento y teoría que proviene por un lado de los trabajos iniciales de los ingenieros hidráulicos, de carácter fundamentalmente empírico, y por el otro del trabajo teórico de básicamente matemáticos, que abordaban el problema desde un enfoque analítico. Al integrar en una única disciplina las experiencias de ambos colectivos, se evita la falta de generalidad derivada de un enfoque estrictamente empírico, con análisis válidos únicamente para cada caso concreto, y al mismo tiempo se permite que los desarrollos analíticos matemáticos aprovechen adecuadamente la información experimental y eviten basarse en simplificaciones artificiales alejadas de la realidad.

La característica fundamental de los fluidos es la denominada *fluidéz*. Un fluido cambia de forma de manera continua cuando está sometido a un esfuerzo cortante por muy pequeño que éste sea, es decir, un fluido no es capaz de soportar un esfuerzo cortante sin moverse durante ningún intervalo de tiempo. Unos fluidos se moverán más lentamente que otros, pero ante un esfuerzo cortante se moverán siempre. La medida de la facilidad con que se mueve vendrá dada por la *viscosidad* que se trata más adelante, relacionada con la acción de fuerzas de rozamiento. Por el contrario en un sólido se produce un cambio fijo γ para cada valor de la fuerza cortante aplicada. En realidad algunos sólidos pueden presentar ambos comportamientos, cuando la tensión aplicada está por debajo de un cierto umbral presenta el

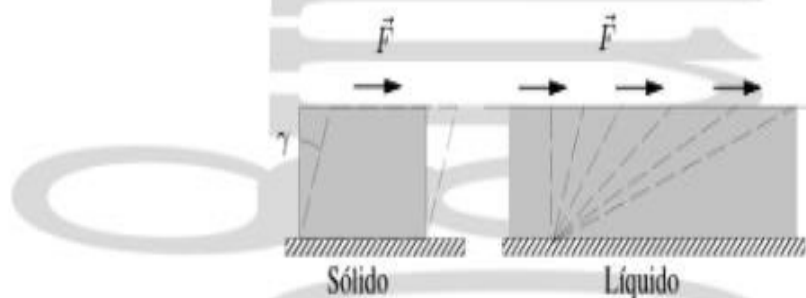


Figura 1-1: Diferencias entre los comportamientos de un líquido y de un sólido frente a una fuerza cortante aplicada.

CC: aceites para motores Diesel de aspiración sometidos a poco esfuerzo.

CD: aceites para motores Diesel de aspiración y turbo; en 1994 se desprendió de la API CF.

CD-2: requisitos de acuerdo con la API CD con requisitos adicionales de motores Diesel de 2 tiempos.

CF-2: aceites con propiedades especiales de 2 tiempos (desde 1994).

CE: aceites con la eficacia de CD con ejecuciones de test adicionales en motores americanos Mack y Cummins.

CF: desde 1994, sustituye a la especificación API CD. Especialmente para la inyección indirecta incluso si el contenido de azufre en el combustible es $> 0,5\%$.

CF-4: como API CE, pero con un test estricto en el motor turboDiesel Caterpillar de un cilindro.

CG-4: para motores Diesel sometidos a esfuerzos máximos. Supera la API CD, CE. Contenido de azufre en el combustible $< 0,5\%$. Imprescindible para motores con una normativa en materia de gases de escape conforme a la de 1994.

CH4: desde 1998, aceite moderno para motores de vehículos industriales. Supera la CG-4 en cuanto a los requisitos referidos al desgaste, al hollín y a la viscosidad. Intervalos de cambio de aceite más largos.

ILSAC GF-3

Estándar común de General Motors, DaimlerChrysler, de la Unión de Constructores de Automóviles Japoneses y la Unión de Fabricantes de Motores Americanos. Adicionalmente a la clase API-SL, la norma exige un test de economía de combustible.

Grados de viscosidad SAE

(ISO/DIS 10369, SAE J300, DIN 51512, SAE J306c)

La clasificación SAE (Society of Automotive Engineers, Sociedad de Ingenieros de Automoción), de vigencia internacional, sirve para identificar la viscosidad. No expresa nada sobre la calidad del aceite. Se distingue entre aceites monogrado y aceites multigrado. En la actualidad, los aceites que se han impuesto en general son los aceites multigrado. La identificación se realiza con dos series (véase la tabla 2 y 3), donde la letra W (Winter, invierno) describe un comportamiento definido de la fluidez con tiempo frío. La grados de viscosidad que llevan la letra W se clasifican según la viscosidad máxima a temperaturas muy bajas, la temperatura máxima de bombeo límite y la

viscosidad mínima a 100°C , mientras que los grados de viscosidad sin la letra W sólo se clasifican según la viscosidad a 100°C .

Aceites multigrado

Los aceites multigrado son aceites con una menor dependencia de la viscosidad a la temperatura. Reducen el rozamiento y el desgaste, se pueden utilizar durante todo el año y proporcionan una rápida afluencia del aceite hacia todas las piezas del motor en caso de un arranque en frío.

Aceites de gran fluidez

Aceites con características multigrado, una reducida viscosidad en frío y unos aditivos especiales que disminuyen el rozamiento. Una marcha del motor con muy poco rozamiento en todas las condiciones de funcionamiento reduce el consumo de combustible.

Aceites para engranajes

El tipo de engranaje y el esfuerzo al que se somete en todas las condiciones de funcionamiento determinan la calidad del aceite para engranajes. Los requisitos (elevada capacidad de absorción de la presión, pequeña dependencia de la viscosidad a la temperatura, alta resistencia al envejecimiento, poca tendencia a la formación de espuma, compatibilidad con material para juntas) solamente se pueden satisfacer con aceites con aditivos. A diferencia de los aceites para motores, los aceites para engranajes no contienen aditivos detergentes o, de contenerlos, sólo son pocos; contienen unas proporciones básicas considerablemente pequeñas y, en la mayoría de los casos, no llevan agentes que mejoran la viscosidad (sufrirían un cizallamiento en su proporción más importante y quedarían inactivos). Los daños típicos que sufren los engranajes causados por un aceite de calidad inadecuada o reducida son los daños en los cojinetes y en los flancos de los dientes.

También la viscosidad debe estar adecuada a la aplicación. Para engranajes de vehículos, la norma DIN 51512 o bien SAE J306 indica los grados de viscosidad (véase la tabla 3).

Para exigencias especiales, se utilizan cada vez más aceites sintéticos (p.ej., poli- α -olefina). Estos aceites presentan ventajas en el comportamiento viscosidad-temperatura y, en comparación con los aceites minerales, son más resistentes al envejecimiento.

Clasificación API de aceites para engranajes
 GL-1-GL-3: actualmente, no tienen ningún significado práctico especial.

GL-4: aceites para engranajes hipoides y engranajes sometidos a un esfuerzo medio que trabajan en condiciones de funcionamiento con elevadas velocidades y esfuerzos por choques, un número de revoluciones alto y un par bajo o bien un número de revoluciones bajo y un par alto.

GL-5: aceites para engranajes hipoides sometidos a un gran esfuerzo en turismos y otros vehículos bajo una carga a sacudidas con un elevado número de revoluciones, un número de revoluciones alto y un par bajo o bien un número de revoluciones bajo y un par alto.

GL-6: aceites para engranajes hipoides con un elevado decalaje axial y altas cargas.

MT-1: caja de cambio no sincronizada en vehículos industriales americanos.

Muchos fabricantes de camiones y de componentes han elaborado sus propias especificaciones y ya no confían en API.

Aceites para cambios automáticos

(ATF: Automatic Transmission Fluid, lubricante para transmisiones automáticas)

En los cambios automáticos, al contrario que en los cambios manuales, además de la transmisión de fuerzas hidrodinámica y en arrastre de forma, predomina adicionalmente la transmisión de fuerza accionada por adherencia; por eso, el comportamiento de rozamiento tiene una gran importancia al utilizar los aceites lubricantes ATF. Los ámbitos de aplicación se subdividen preferentemente según los diferentes comportamientos de rozamiento:

General Motors: ya no son válidos; tipo A, su-
 fijo A, DEXRON[®], DEXRON[®]B, DEXRON[®]II C,
 DEXRON[®] II D.

DEXRON[®] II E (válido hasta finales de 1994).
 DEXRON[®] III F/G. Válido desde el 1-1-1994
 con unos estrictos requisitos relativos a la es-
 tabilidad frente a la oxidación y la constancia
 del coeficiente de rozamiento.

Ford: MERCON[®] (válido desde 1987).

Otros fabricantes: de acuerdo con las pres-
 cripciones de las sustancias de servicio.

Aceites lubricantes

Los aceites lubricantes se componen de un
 aceite base y un aditivo (sustancia activa).
 Los aditivos mejoran las propiedades de los
 aceites base, p.ej., en cuanto a la estabilidad
 frente a la oxidación, la protección contra la
 corrosión, la protección contra el gripado o el
 comportamiento viscosidad-temperatura. Ade-
 más, se optimizan las propiedades de sistema
 como el rozamiento (estático) y el desgaste en
 la dirección deseada.

Existe una gran variedad de identificaciones
 en forma de cifras y letras (p.ej., DIN 51 502)
 para las más diversas aplicaciones (p.ej., acei-
 tes hidráulicos:

HL: líquido comprimido con base de aceite
 mineral con aditivos para mejorar la protec-
 ción contra la corrosión y la resistencia al en-
 vejecimiento.

HLP: como HL, pero con aditivos adicionales
 de protección contra el gripado; HVLP: como
 HLP con agentes adicionales para mejorar el
 índice de viscosidad).

Tabla 4: Composición de la grasa lubricante

Aceites base	Espesantes	Aditivos
Aceites minerales	Jabones metálicos	Inhibidores de la oxidación
- Parafínicos	(Li, Na, Ca, Ba, Al)	iones de Fe y de Cu, formador de complejos
- Nafténicos	normal	Inhibidores de la corrosión
- Aromáticos	hidróxido- complejo	Aditivos de alta presión (aditivos EP)
Poliolefinas	Policarbamidas	Aditivos para la protección contra el desgaste (aditivos contra el desgaste)
Substancias alquilaromáticas		Reductores del rozamiento (modificador del rozamiento)
Aceites diéster	PTFE	Agente para mejorar la adherencia
Poliolefinas	PE	Detergentes, dispersantes
Silicona	Bentonita	Agentes que mejoran el VI
Fenoléter	Gel de sílice	Lubricantes sólidos
Poliéter perfluorado		

Para cada par de rozamiento se puede desarrollar un lubricante de alto rendimiento a partir de la variedad de componentes lubricantes.

1.3
CONCEPTOS
FUNDAMENTALES
INTRODUCTORIOS

- **Presión.** La presión se define como la cantidad de fuerza que se ejerce sobre una unidad de área de una sustancia, o sobre una superficie. Se enuncia por medio de la ecuación:

$$p = \frac{F}{A} \quad (1-1)$$

Los fluidos están sujetos a variaciones grandes de presión, en función del sistema en el que se utilizan. La leche contenida en un vaso se halla a la misma presión que ejerce el aire sobre ella. El agua, en el sistema de tuberías doméstico, está a una presión más grande que la atmosférica para que salga con rapidez del grifo. Es común que en un sistema de fluido de potencia, el aceite se mantenga a una presión elevada que permita ejercer una enorme fuerza, para que el equipo de construcción o los dispositivos automáticos de una fábrica actúen. Con frecuencia almacenamos gases como el oxígeno, nitrógeno y helio en cilindros muy resistentes a presión alta, para permitir que haya una cantidad grande en un volumen relativamente pequeño. También es frecuente que en las estaciones de servicio y de manufactura utilicemos aire comprimido, para operar herramientas o inflar llantas. En el capítulo 3 profundizaremos en el tema de la presión.

- **Líquidos y gases** Los fluidos pueden ser líquidos o gases.

Si un líquido se almacena en un contenedor, tiende a adoptar la forma de éste, y cubre el fondo y las paredes laterales. La superficie, en contacto con la atmósfera, mantiene un nivel uniforme. Cuando el contenedor se inclina, el líquido tiende a derramar.

Si se mantiene un gas a presión en un recipiente cerrado, tiende a expandirse y llenarlo por completo. Si el contenedor se abriera, el gas tendería a expandirse aún más y a escapar de él.

Además de estas diferencias familiares entre los gases y los líquidos, existe otra que es importante mencionar en el estudio de la mecánica de fluidos. Piense en lo que pasa a un líquido o gas cuando se incrementa la presión a que están sujetos. Si hay aire (un gas) dentro de un cilindro equipado con un émbolo móvil y muy ajustado, es posible comprimirlo con mucha facilidad si se le empuja. Tal vez usted haya empleado alguna vez una bomba de mano para inflar las llantas de una bicicleta, una pelota de playa, un colchón de aire o un balón de básquetbol. Conforme se oprime el émbolo,

1.11 DENSIDAD, PESO ESPECÍFICO Y GRAVEDAD ESPECÍFICA

Debido a que el estudio de la mecánica de fluidos, por lo general tiene que ver con fluidos que circulan en forma continua o con una cantidad pequeña de ellos que permanece en reposo, es más conveniente relacionar la masa y el peso del fluido con un volumen dado de éste. Por ello, las propiedades de la densidad y el peso específico se definen así:

Densidad es la cantidad de masa por unidad de volumen de una sustancia.

Por tanto, si se denota la densidad con la letra griega ρ (rho), se tiene

$$\rho = m/V \quad (1-5)$$

donde V es el volumen de la sustancia que tiene masa m . Las unidades de la densidad son kilogramos por metro cúbico, en el SI, y slugs por pie cúbico en el Sistema Tradicional de Estados Unidos.

La *ASTM International (American Society for Testing and Materials)* ha publicado varios métodos estándar de prueba para medir la densidad, la cual se obtiene con recipientes que miden volúmenes con precisión, llamados *picnómetros*. En ellos se prescribe cómo llenar, manipular, controlar la temperatura y leer, en forma apropiada. Existen dos tipos de equipos; el *picnómetro de Bingham* y el *picnómetro bicapilar de Lipkin*. Los estándares también exigen que se determine la masa precisa de los fluidos que llenarán

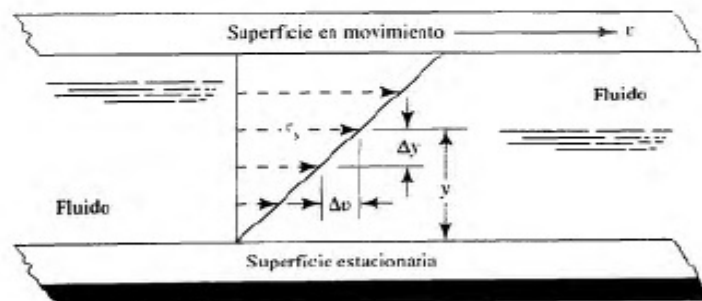


2.3 VISCOSIDAD DINÁMICA

Conforme un fluido se mueve, dentro de él se desarrolla un esfuerzo cortante, cuya magnitud depende de la viscosidad del fluido. Se define al *esfuerzo cortante*, denotado con la letra griega τ (tau), como la fuerza que se requiere para que una unidad de área de una sustancia se deslice sobre otra. Entonces, τ es una fuerza dividida entre un área, y se mide en las unidades de N/m^2 (Pa) o lb/ft^2 . En fluidos como el agua, el alcohol u otros líquidos comunes, la magnitud del esfuerzo cortante es directamente proporcional al cambio de velocidad entre las posiciones diferentes del fluido.

La figura 2.1 ilustra el concepto de cambio de velocidad en un fluido con el esquema de una capa delgada de fluido entre dos superficies, una de las cuales es estacionaria, en tanto que la otra está en movimiento. Una condición fundamental, cuando un fluido real está en contacto con una superficie de frontera, es que el fluido tenga la misma velocidad que ésta. Entonces, en la figura 2.1 la parte del fluido en contacto con la superficie inferior tiene una velocidad igual a cero, y aquella en contacto con la superficie superior tiene una velocidad v . Si la distancia entre las dos superficies es pequeña, entonces la tasa de cambio de la velocidad con posición y es lineal. Es decir, varía en forma lineal. El *gradiente de velocidad* es una medida del cambio de velocidad, y se define como $\Delta v/\Delta y$. También se le denomina *tasa cortante*.

FIGURA 2.1 Gradiente de velocidad de un fluido en movimiento.



El hecho de que el esfuerzo cortante en el fluido sea directamente proporcional al gradiente de velocidad se enuncia en forma matemática así:

$$\tau = \eta(\Delta v/\Delta y) \quad (2-1)$$

donde a la constante de proporcionalidad η (letra eta, en griego) se le denomina *viscosidad dinámica* del fluido. En ocasiones se emplea el término *viscosidad absoluta*.

Usted puede visualizar la interpretación física de la ecuación (2-1) si mueve un fluido con una vara. La acción de moverlo hace que en éste se cree un gradiente de

de fluidos, así como los instrumentos para medir la viscosidad, la expresan en unidades de mPa·s, más convenientes, donde

$$1.0 \text{ mPa}\cdot\text{s} = 1.0 \times 10^{-3} \text{ Pa}\cdot\text{s}$$

Observe que la unidad antigua del centipoise equivale numéricamente a mPa·s. Entonces, el rango anterior, expresado en mPa·s, va de

$$1.0 \times 10^{-4} \text{ Pa}\cdot\text{s} = 0.10 \times 10^{-3} \text{ Pa}\cdot\text{s} = 0.10 \text{ mPa}\cdot\text{s}$$

a

$$60.0 \text{ Pa}\cdot\text{s} = 60\,000 \times 10^{-3} \text{ Pa}\cdot\text{s} = 60\,000 \text{ mPa}\cdot\text{s}$$

Observe que el valor de 60 000 mPa·s corresponde al aceite lubricante de motores a temperaturas bajas en extremo, como se aprecia en la tabla 2.4 de la sección 2.8, donde se estudia las mediciones de la viscosidad SAE de aceites para motores. Ésta es la viscosidad dinámica máxima que se acepta en condiciones iniciales de frío, para asegurar que el aceite pueda fluir hacia su bomba en el motor.

2.4 VISCOSIDAD CINEMÁTICA

Muchos cálculos de la dinámica de fluidos involucran la razón de la viscosidad dinámica en la densidad del fluido. Por conveniencia, la viscosidad cinemática ν (letra nu, en griego) se define como

$$\nu = \eta/\rho \quad (2-3)$$

Debido a que η y ρ son propiedades del fluido, ν también es una propiedad.

2.4.1 Unidades de la viscosidad cinemática

Las unidades para la viscosidad cinemática en el SI se obtienen con la sustitución de las unidades antes desarrolladas para η y ρ :

$$\begin{aligned} \nu &= \frac{\eta}{\rho} = \eta \left(\frac{1}{\rho} \right) \\ \nu &= \frac{\text{kg}}{\text{m}\cdot\text{s}} \times \frac{\text{m}^3}{\text{kg}} \\ \nu &= \text{m}^2/\text{s} \end{aligned}$$



VISCOSIDAD CINEMÁTICA

7.3. Anexos (Métodos y Materiales). –

7.3.1. Artículo (Análisis Físico-Químico de las propiedades mecánicas de aceites lubricantes GL4-GL5 en metales de transmisión duros y blandos). -

Análisis Físico-Químico de las propiedades mecánicas de aceites lubricantes GL4-GL5 en metales de transmisión duros y blandos.

Ing. Guillermo Gorky Reyes Campaña MSc., gurevesca@uide.edu.ec,
Ana Paula Vásquez Vásquez, anvasquezva@uide.edu.ec

RESUMEN

La lubricación es importante en partes sujetas a fricción, considerar su uso previene daños a los elementos involucrados. En vehículos de carga pesada su correcto empleo garantiza la marcha de su trabajo. Existen varios tipos de lubricación y el análisis de lubricante determina causas de afectación y se avanza en cuanto a tecnología y mejoras. Los lubricantes de transmisión se categorizan en escala API-GL la cual depende de su carga de trabajo y materiales que los constituyen. La categoría API GL aumenta según su porcentaje de aditivo de extrema presión. El método inductivo estableció resultados y conclusiones técnicas sobre el desgaste por utilizar lubricantes no apropiados en sistemas de transmisión. Estos resultados fueron posibles por equipos de laboratorio con especificaciones técnicas, normativas y ensayos que analizan los tipos de muestras. Es sumamente importante conocer lo que el fabricante especifica en el manual de uso de cada equipo automotor y de igual manera la especificación técnica de materiales empleados en los mismos, sin embargo, existe apertura a la realización de pruebas para conocer mejor la razón de las cosas. Un número mayor representa una mejora del número que antecede, pero en este estudio no necesariamente. Si bien el lubricante API GL5 tiene en mayor porcentaje de un aditivo para la extrema protección que el lubricante API GL4 no sería 100 por ciento correcto su sustitución ya que, a sometidos los elementos a altas temperaturas y presiones, API GL5 tiene efectos desfavorables sobre superficies metálicas fabricadas de cobre que componen sistemas de transmisión.

Palabras clave: Lubricación, transmisión, API GL4 y GL5, protección, daños abrasivos.

ABSTRACT

Lubrication is important in parts subject to friction, considering its use prevents damage to the elements involved. In transportation vehicles, its correct use guarantees the progress of their work. There are several types of lubrication and the analysis of lubricant determine causes of affectation making progress in terms of technology and improvements. Lubricating for transmission are categorized on an API-GL scale, which depends on its workload and the materials that make it up. The API GL category increases according to its percentage of extreme pressure additive. The inductive method established results and technical conclusions about the wear by using inappropriate lubricants in transmission systems. These results were possible by to laboratory equipment with technical specifications, standards and tests that analyze the types of samples. It is extremely important to know what the manufacturer specifies in the manual of use of each automotive equipment and likewise the technical specification of materials used in them, however, there is openness to testing to better understand the reason for things. A higher number in most cases represents an improvement on the above, but not necessarily in this study. Although the lubricant API GL5 has a higher percentage of an additive for extreme protection than lubricant API GL4, its replacement would not be 100 percent correct since. When elements are subjected to high temperatures and pressures, API GL5 has unfavorable effects on metallic surfaces made of copper that make up transmission systems.

Keywords: Lubrication, transmission, API GL4 and GL5, protection, abrasive damage.

1. INTRODUCCION

La lubricación es primordial para el funcionamiento mecánico, juega un papel importante en el cuidado y vida útil de los componentes. Razón por la cual se examinará la destitución de aceites API GL en cajas de cambios y diferenciales cuyos efectos afecten a componentes internos ocasionando problemas de operación. Al delimitar su comportamiento se podrá evitar fallos y prolongar la vida útil de los sistemas.

La presente investigación establecerá un aporte técnico a la comunidad sobre un cuidado más minucioso a los elementos de los sistemas de transmisión automotrices. Añadiendo a las posibles causas de daños prematuros de sobre esfuerzo o mala conducción, el uso inapropiado de aceite.

Los vehículos de carga pesada sujetos a estudio son unidades de trabajo donde cada hora extra del tiempo planificado para mantenimiento genera pérdida de viajes e ingresos. El inconveniente para empresas se presenta al momento que los operarios reportan dificultades operativas de los sistemas de transmisión. En cajas de cambios respecto a su operación mientras que en diferenciales reportan daños de componentes por fatiga y ruptura de sus elementos colaterales.

El estudio establece parámetros de buena Gestión de Lubricación [1] Existen pruebas ASTM para determinar el estado del aceite, ASTM 2896 para aceite nuevo y ASTM 4397 para un usado. [2] El análisis de aceite usado informa según los componentes metálicos encontrados, qué partes están sufriendo un mayor desgaste. [3]. Investigaciones sobre fallas mecánicas en cuerpos móviles reflejan que un 75% se debe al desgaste producto del rozamiento y que la presencia de agua puede acortar la vida útil hasta el 1%. [4]

Una prueba para evaluar el aditivo de presión extrema se llama L-42, realizada en todo el eje trasero del camión. En cuanto a viscosidad, acides y solubilidad se coloca el lubricante en una caja de engranajes rectos y se opera 50 minutos a 163 ° C en presencia de un catalizador de cobre mientras el aire burbujen a través del aceite. [5]

Por otro lado, con un aparato de cuatro bolas y un probador de desgaste de cilindro cruzado se determina los niveles de rendimiento API GL para engranajes automotrices sobre la base de la prueba Brugger. [6]

En un ensayo de temperaturas con un pirómetro láser en sistemas con SAE 85W-140 se reemplazó por SAE 80W-90 reduciéndose la temperatura de 94°C a 56°C. [7]. Sin embargo, esto depende de la carga. Entre más alta sea la fuerza que resiste, más alta la protección. En un aceite GL-1 su protección es máximo de 5 libras, mientras los GL-5 protegen entre 30 y 75 libras Así, se definió que vehículos recolectores de basura en la ciudad de Cuenca, hacen uso de aceite GL4 con viscosidad 80w90 en sus cajas de cambios y GL5, 85w140 en sus diferenciales.

Tomando en cuenta estas pruebas de aceite, la investigación se desarrolló por medio del método inductivo. Partiendo del desgaste de partículas en lubricantes con diferente cantidad de aditivos usados en sistemas de engranajes cuya composición de metales es variada, acero y cobre para establecer conclusiones sobre su empleo. Se empezó por observar las partículas de desgaste para un registro, en este caso mediante pruebas de laboratorio, los resultados se clasificaron y se estudiaron. Dentro de este estudio se comparó la degradación de componentes metálicos por el uso y funcionamiento según el lubricante aplicado para delimitar el problema.

2. FUNDAMENTACION TEORICA

2.1 Antecedentes

Cada reporte de funcionamiento inadecuado en sistemas de transmisión tiene como consecuencia el desarmado del mismo para identificar las piezas afectadas y su causa de ruptura o avería. Y, la mayor cantidad de daños registrados en varias empresas es mal estado en el conjunto sincronizador de cajas de cambios. Ver anexos, informes técnicos.

Un aporte muy fundamental para notar el desgaste presente en sistemas con lubricación es el análisis de aceite empleado, de esta manera se puede tener un reporte interno del comportamiento de sus partes, predecir cualquier anomalía y poder tomar medidas de acción como mejoras tecnológicas en cuanto a refuerzos en materiales de lubricante y piezas.

2.2 Sistemas de transmisión caja de cambios

La caja de cambios se constituye por grupos de engranajes accionados por la palanca, disponiendo de varias desmultiplicaciones de velocidad para aprovechar al máximo el rendimiento del motor, sin ella las RPM se transmitirían directamente a las ruedas. Las cajas de cambios son diseñadas con fin de obtener un par motor necesario dependiendo de las condiciones.

Los elementos que constituyen la caja de cambios son cojinetes, elementos de sincronización y trenes de engranajes. Los cuerpos de sincronización aceleran o frenan el eje primario y árbol de entrada con el eje intermedio para igualar sus velocidades al seleccionar una marcha. [8]

2.3 Sistemas de transmisión diferenciales

El diferencial se constituye por planetarios, caja de satélites, semipalier, corona, satélites y un piñón de ataque cuya función es minimizar las revoluciones desde la caja de cambios e incrementar la fuerza de movimiento. Cuando

el vehículo gira el diferencial absorbe la diferencia de rotación de las ruedas, es decir, en una curva los semiejes giran a distintas velocidades y el diferencial ajusta el giro de cada rueda según corresponda. Así mismo, las irregularidades en línea recta, las diferencias de presión de inflado de los neumáticos, diferentes terrenos, y demás son absorbidas por el diferencial. [9]

2.4 Lubricación de sistemas de transmisión

El lubricante se introduce entre superficies en movimiento, evitando el contacto directo. Su objetivo es disminuir el desgaste y ruido, facilitar el arranque en frío, disipar un 10 a 25% de calor generado, eliminar impurezas, prevenir la herrumbre y anticorrosión, sellar y transmitir energía.

Los principales tipos de lubricación son: límite, hidrodinámica, mezclada y elasto-hidrodinámica. El tipo de lubricación que se presente depende de la presión entre componentes, la velocidad relativa, la viscosidad del lubricante y otras. [8]

2.4.1 Lubricación límite

Ocurre en velocidades bajas al no tener una capa completa de aceite protegiendo completamente los componentes. En esta situación existe contacto físico, por ende, desgaste.

2.4.2 Lubricación hidrodinámica

Ocurre cuando el lubricante cubre completamente los componentes y la presión del mismo mediante el bombeo del aceite impide el contacto. El espesor del lubricante depende del balance entre la entrada y la salida de aceite el cual puede modificarse por: aumento de carga o temperatura, que expulsa aceite.

2.4.3 Lubricación mezclada

Ocurre cuando la velocidad y esfuerzo de los componentes varía por ejemplo al aumentar la temperatura el lubricante puede quemarse, permitiendo así la lubricación mezclada, entre lubricación limitrofe e hidrodinámica lo que producirá mayor desgaste.

2.4.4 Lubricación elasto-hidrodinámica

Ocurre cuando dos superficies se deforman elásticamente debido a la presión del lubricante, esta presión aumenta la viscosidad que separa ambas superficies. El efecto del incremento en la carga es deformar las superficies e incrementar el área de contacto, antes que disminuir el espesor de la capa de lubricante.

2.5 Aceites Lubricantes API GL

El sistema de clasificación API (American Petroleum Institute) diseña nomenclaturas según el tipo de sistema al que se le aplique un lubricante. API con letras GL (Gear lubricant) son aceites para transmisión y diferenciales. Cuanto mayor es el aditivo de extrema presión, mayor es la categoría GL. [10]

GL-1: Aceite mineral puro posiblemente con antioxidantes y anti espuma diseñado para engranajes con cargas ligeras y uniformes. Para servicio poco severo bajo condiciones normales. Obsoleto.

GL-2: Aceite mineral sin aditivos EP, contiene materiales grasos, antioxidantes y anti espuma para condiciones severas de carga. Obsoleto.

GL-3: Aceite con aditivos anti desgaste y presión extrema moderados. Para aplicaciones severas de cargas. Obsoleto.

GL-4: Sustituye a GL-1, GL-2 y GL-3. Aceite hasta con 4% de aditivos de presión extrema, protección contra la herrumbre y la corrosión, buena estabilidad térmica, resistente a oxidación a temperaturas elevadas y buena lubricación a temperaturas bajas. Para aplicaciones de moderada a severas de velocidad y carga, pero sin carga de choque.

Pueden ser para transmisiones sincronizadas y diferenciales con engranajes cónicos espirales e hipoides.

GL-5: Aceite con hasta 6.5% de aditivos de presión extrema, contiene compuestos de azufre para evitar la soldadura en puntos de contacto metal-metal adicional de fósforo y base de plomo. Para aplicaciones de grandes ejes bajo varias combinaciones de alta velocidad y carga de choque y condiciones de alto par a baja velocidad. No para cambios sincronizados, no supe a GL-4.

GL-6: Aceite para diferenciales cuyos engranajes son hipoides con grandes distancias entre ejes de la corona y del piñón. Obsoleto.

MT-1: Aceite con protección contra la degradación térmica, desgaste y deterioro del sello. Para aplicaciones cuyas cajas de cambio manual no sean sincronizadas y trabajen con servicio muy severo. Menor oxidación y mayor vida útil que un GL-4 o GL-5.

Tabla 1. Viscosidades de lubricantes para transmisiones

	Sintético/Semisintético	Mineral
GL4	75W80/75W90	80W90
GL5	75W90/80W140	80W90 85W90 85W140

Fuente. [11] Viscosidades

La viscosidad establece el fabricante según el clima de utilización: demasiado baja no proveerá lubricación hidrodinámica y habrá mayor desgaste. Demasiado alta causará problemas de circulación, calentará la transmisión y los cambios serán más duros. [11]

Internamente cada equipo de análisis de aceite esta diseñado para entregar los resultados según algoritmos matematicos cumpliendo las normas especificas dependiendo el analisis a realizar. En pruebas de viscosidad, el aceite es calentado a temperatura de trabajo para analizar sus propiedades despues de cierto

tiempo de servicio, a continuación las gráficas a diferentes rangos de temperatura.

El aceite de caja y diferencial tiene que fluir al arrancar a bajas temperaturas y continuar con su lubricación, por lo cual la curva debe ser lo más plana posible. La grafica corresponde al rango de 20° a 100° presente en montañas o alto tráfico.

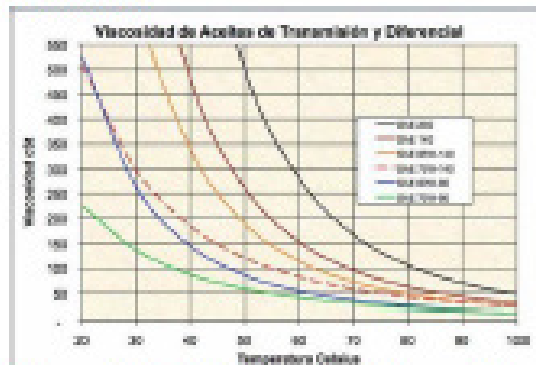


Figura 1. Viscosidad de aceites de transmisión y diferencial de 20°C a 100°

Fuente: [12] Comparación de viscosidad

En viajes y operatividad normal, la caja y el diferencial se calientan por la fricción de los rodamientos, engranajes, y la resistencia del aceite. Su temperatura normalmente es entre 50° y 75°.

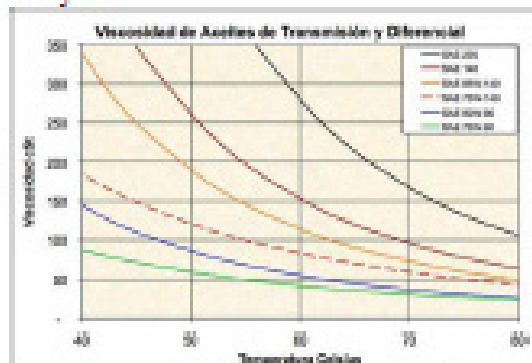


Figura 2. Viscosidad de aceites de transmisión y diferencial de 40°C a 80°

Fuente: [12] Comparación de viscosidad

En ciudad y viajes cortos, la caja y el diferencial trabajan entre 20° y 50°. A estas temperaturas, se requiere un aceite que circule y desplace las piezas para sincronizar los engranajes.

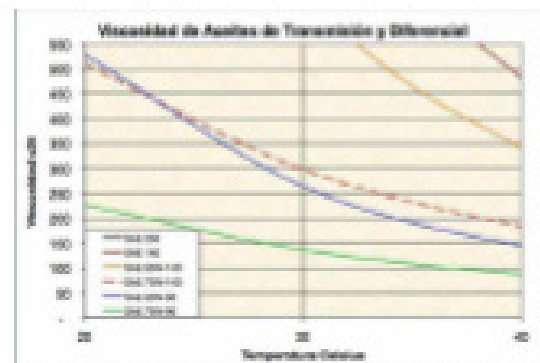


Figura 3. Viscosidad de aceites de transmisión y diferencial de 20°C a 40°

Fuente: [12] Comparación de viscosidad

3. MATERIALES Y METODOS

3.1 Método

El desarrollo del método inductivo, guió la investigación para establecer conclusiones sobre la comparación del desgaste de partículas en lubricantes cuya cantidad de aditivos varía. Los resultados indican mayor desgaste de ciertos metales cuando estos trabajan con aceites lubricantes no ideales disminuyendo su vida útil, con probabilidad alta de perjudicar a los demás componentes del sistema.

Este método inicia identificando el problema, en este caso el desgaste prematuro de componentes metálicos para emitir una pre hipótesis que contenga las causas y razones del mencionado deterioro. Al tener claro la estructura teórica y objetos a estudiar, se construyó un criterio para la seleccionar muestras de aceite lubricante, teniendo como resultado una explicación e interpretación sustentable de uso apropiado.

3.2 Materiales

3.2.1 Lubricante

Los materiales físicos sujetos a análisis fueron aceites lubricantes API GL4 y GL5 dispuestos en cajas de cambios con sincronizados y diferenciales. Los resultados de laboratorio

válidos para el análisis comparativo fueron parámetros de viscosidad, degradación química, desgaste, contaminantes y aditivos.

Tabla 2. Especificaciones de aceite en pruebas

	Límite API GL4	Límite API GL5
Viscosidad a 100°C, est	18.5-24	13.5-18.5
Degradación Química		
Oxidación	18 Abs/cm	18 Abs/cm
Desgaste		
Aluminio	Max 30	Max 30
Cromo	Max 15	Max 15
Cobre	Max 80	Max 80
Hierro	Max 300	Max 300
Plomo	Max 80	Max 80
Contaminantes:		
Humedad	Positivo	Positivo
Silicio	Max 60	Max 60

Fuente: Formato de comparación resultados de aceite Total Lubricantes

3.2.2 Características del lubricante

Los aceites lubricantes para transmisiones manuales y diferenciales del equipo automotor se clasifican según el grado SAE y API.

Tabla 3. Pruebas típicas lubricante API GL4.

Grado SAE	80W90	85W140
Densidad a 15°C, kg/l	0.8867	0.8974
Viscosidad cinemática	134	359
CST a 40°C		
Viscosidad cinemática	14.2	25
CST a 100°C		
Viscosidad Brookfield	-	81.500
CP a -12°C		
Viscosidad Brookfield	70.000	-
CP a -26°C		
Índice de viscosidad	95	95
Punto de inflamación °C	180	180
Punto de fluidez °C	-37	-19

Fuente: Caltex aceite, producida por Chevron lubricantes.

Los valores de la tabla anterior corresponden a datos de pruebas típicas de aceite nuevo, en

perfecto estado de un lubricante API GL4 dependiendo sus grados de viscosidad.

Tabla 4. Pruebas típicas lubricante API GL5.

Grado SAE	80W90	85W140
Densidad a 15°C, kg/l	0.8867	0.9003
Viscosidad cinemática	145	341
CST a 40°C		
Viscosidad cinemática	14.2	25
CST a 100°C		
Viscosidad Brookfield	-	128.600
CP a -12°C		
Viscosidad Brookfield	53.900	-
CP a -26°C		
Índice de viscosidad	95	95
Punto de inflamación °C	218	226
Punto de fluidez °C	-35	-12

Fuente: Caltex aceite, producida por Chevron lubricantes.

Los valores de la tabla anterior corresponden a datos de pruebas típicas de aceite nuevo, en perfecto estado de un lubricante API GL5 dependiendo sus grados de viscosidad.

3.2.3 Equipo

Existen varios equipos y análisis de laboratorio para evaluar lubricantes. Total Lubricantes por ejemplo desarrolla el Análisis ANAC, siglas correspondientes a análisis comparativo de límites de desgaste, en el cual se emplean las siguientes máquinas: viscosímetro-densímetro, un equipo de plasma o espectrometría de emisión para aditivos y desgaste en aceite usados, equipos de simulador de arranque en frío, espectros infrarrojos para características cualitativas, un titulador para el TBN correspondiente, hasta estabilizadores de oxidación y método de crepitación. [12]



Figura 4. Viscosímetro-densímetro

Fuente: Direct Industry, Virtualexpo group

Se calcula automáticamente el índice de viscosidad según la ASTM D2270: con variación en la viscosidad cinemática debido a cambios en la temperatura de un producto de petróleo entre 40 °C y 100 °C. [13]

Mide la viscosidad cinemática del lubricante a 40 °C, mientras mide la densidad simultáneamente a 15 °C, en un volumen de muestra de 2.5 ml. [14]



Figura 5. Equipo de plasma o espectrometría de emisión

Fuente: Monica Optoelec Co., Ltd.

Especificaciones técnicas

- Rango de contenido de muestra líquida: 0.01ppm ~ varios miles de ppm
- Rango de contenido de muestra sólida o en polvo: 0,001% ~ 70%
- Velocidad de prueba: 5 ~ 8 elementos / min.
- Frecuencia: 27.12MHz [15]
- Entrada de energía: 110 VCA o 220 VCA
- Elementos medibles: desde azufre hasta uranio (76 elementos en total)
- Tiempo de prueba: 30 segundos
- Estabilidad de frecuencia: <0,05% [16]



Figura 6. Titulador TBN

Fuente: Aceite Lubricante Tan Tbu Potenciómetro Titulador

El TBN se rige según la norma ASTM D2896. ASTM D2896 fue diseñado exclusivamente para determinar la reserva de alcalinidad en lubricantes nuevos, mide el producto de titulación para determinar la fuerza de la reserva alcalina. [17]

En funcionamiento normal:

- Temperatura ambiente: (5,0 ~ 35,0) °C;
- Humedad Relativa: 80 80%;
- Fuente de alimentación: (100-240) V
- Frecuencia: (50/60) Hz;

3.2.4 Normativa

La segunda revisión de la normativa NTE **INEN 2028:2011** se denomina: Productos derivados del petróleo, aceites lubricantes para transmisiones manuales y diferenciales de equipo automotor. La misma que establece los requisitos a cumplir y los ensayos para aceites lubricantes en transmisiones manuales y diferenciales de equipo automotor. Se aplica a lubricantes bajo condiciones de las categorías API GL-4, GL-5, GL-6, MT-1 y posteriores. [18]

La normativa se guía por las siguientes normas, para viscosidad la **ASTM D 445** y **ASTM D 2983**; índice de viscosidad, **ASTM D 2270**; ensayo de espuma, **ASTM D 892**; determinación del punto de escurrimiento, **ASTM D 97**; determinación del punto de inflamación, **ASTM D92**; ensayo de corrosión, **ASTMD 130**; contenido de aditivo,

ASTM D 4951, D 4047, D 1091; materiales en suspensión, ASTM D 2273. [19] Pruebas de aceites tribológicas y fisicoquímicas SAE J2360; Método 4 bolas, T-02; capacidad del aceite, aditivos a resistir de presiones, ASTM D2782. Para prueba de corrosión y determinar el azufre empleado en aceite con aditivos de extrema presión se usa el experimento Franja de Cobre con normativa ASTM D130.

Especificaciones Técnicas de la normativa ASTM D130

- Exactitud de temperatura: 0.02°C
- Volumen del baño: 16 litros
- Altura del baño: 480mm
- Temperatura mínima: 5°C
- Temperatura máxima: 250°C

3.2.5 Ensayo

Franja de cobre: Una tira de cobre es sumergida en el líquido a 40 °C y luego a 100 °C. Los resultados varían desde 1a hasta 4c, si el resultado está en el área de 1b a 2a, quiere decir que los metales amarillos en cajas de engranajes podrían estar en riesgo de ataque químico. [20]

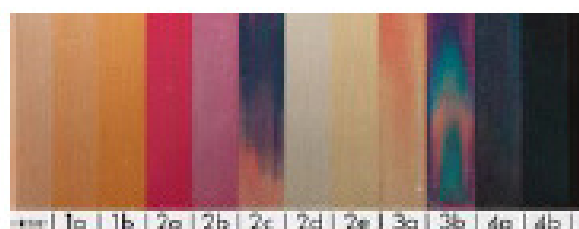


Figura 7. Franja de Cobre
Fuente: Libertucci 2013 [20]

Al estudiar un aceite GL-1 se evidencia que su protección contra extrema presión llega a las 5 libras, mientras los aceites GL-5 protegen de 30 a 75 libras. [21]

Al analizar temperaturas con un pirómetro láser, se encontró que transmisiones de camiones recomendadas a usar SAE 80W90 utilizaban SAE 85W-140. El cambio de

viscosidad provoca aumento de temperatura que adelgaza el aceite, por lo cual se reemplazó a lo indicado y su temperatura se redujo de 94°C a 56°C. [21]



Figura 8. Pirómetro láser
Fuente: PCE Instruments

El pirómetro PCE-670 indica en pantalla la temperatura instantánea a la medición en objetos calientes, peligrosos o de difícil acceso.

- Rango de medición IR: -33 ... 500 °C
- Precisión: ± 2 % del valor o ± 2 °C
- Unidades: °C o °F
- Óptica de 9:1

3.2.6 Escenarios de extracción

Las muestras de lubricante para enviar a análisis se extraen por el tapón de drenaje de cada sistema preferiblemente cuando el lubricante está a temperatura elevada para que arrastre consigo la mayor cantidad de alimaya y poder determinar con mayor exactitud su estado interno, existen dos formas de extracción.

3.2.6.1 Válvulas de drenaje: se utilizan para extraer pequeñas muestras de lubricante de cajas de transmisión o depósitos sin tapones o líneas de retorno.



Figura 9: Válvulas de drenaje
Fuente: Kos&Kiel, Comercializadora internacional.

3.2.6.2 Bombas de vacío: se utilizan para analizar las propiedades fisicoquímicas del aceite usado, y determinar la condición del aceite. [22]

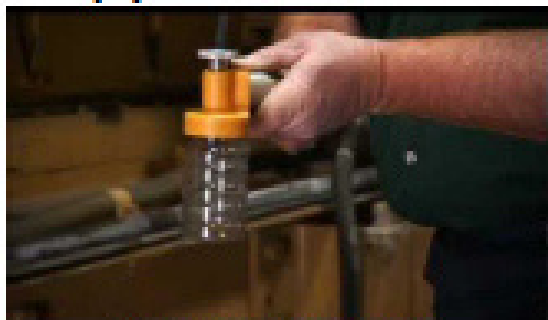


Figura 10. Bombas de vacío
Fuente: [23] Caterpillar-Wilbort Encomendados

3.2.7 Características de las muestras

Un correcto envasado de muestras favorece al análisis de resultado. Las muestras deben estar claramente etiquetadas en su envase con el modelo de equipo, la marca, tipo de aceite, viscosidad, tiempo de servicio del lubricante, tiempo de servicio del equipo, fecha de muestra y el envase relleno y sellado.

3.2.8 Sistema de Transmisión

La lubricación en sistemas de transmisión: caja y diferenciales consideradas para análisis fueron de **vehículos pesados de carga marca Kenworth y DAF** cuyas cajas de cambios tengan componentes de cobre y diferenciales componentes de acero y sean sujetos a alta carga de trabajo.

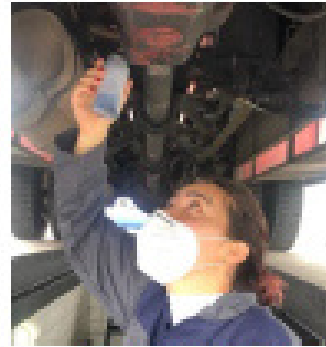


Figura 11: Extracción de muestras
Fuente: Autores

4. RESULTADOS Y DICUSION

El procedimiento para la obtención de resultados fue obtener extracciones de muestras completando correctamente el etiquetado con los siguientes parámetros para ser evaluado en laboratorios: fecha de recepción de la muestra, fecha de muestreo, cliente, equipo, marca, modelo, tiempo de servicio del equipo, tipo de lubricante, tiempo de servicio del lubricante y observaciones. Partiendo de estos parámetros como datos de entrada, se obtiene los siguientes resultados como datos de salida: **degradación química del lubricante, cantidad de desgaste, presencia de contaminantes y alteración en porcentaje de aditivos.**

4.1 Pruebas de laboratorio con aceite comúnmente usado.

En la actualidad, alrededor del mundo se comercializa lubricantes automotrices de calidad API hasta la generación GL-5 para los ejes traseros. Sin embargo, en países asiáticos y otros en desarrollo aún se utilizan aceites API GL-4 para pruebas de carga y uso normal en transmisiones. [24]

El diferencial es el sistema que aplica el torque final, razón por la cual no es necesaria tanta protección EP en la transmisión, donde hay aproximadamente un 30% menos de torque aplicado. En caso de que sea elevada la protección EP para parar el giro de los

engranajes y lograr sincronizarse se toma un tiempo bastante largo.

4.2 Pruebas de laboratorio con aceite recomendado por el fabricante.

En condiciones normales, el aditivo de lubricante Extrema Presión crea una capa negra sobre los engranajes y componentes sometidos a temperatura y presión. Al girar los engranajes, en lugar de gastarse la capa es removida de los engranajes. Esta situación es admisible en engranajes de acero, pero al haber presencia de superficies de bronce o metales blandos la capa es más fuerte por lo cual, cada vez que se pela se lleva consigo ciertos micrones del bronce que protegía. [25]

El descubrimiento que el azufre/fosforo, considerado como azufre activo causa corrosión del bronce y otros metales blandos utilizados en los diferenciales y cajas dio apertura a mayores investigaciones sobre los efectos de los elementos y su resistencia al desgaste de los revestimientos. A continuación, unos ejemplos. Esferas de borato inorgánico se adhiere eléctricamente a superficies metálicas para rodar y causar resbalamiento de piezas. Este diseñado para proteger bronce y hierro, y proveer el doble de vida útil. La combinación de zinc y fósforo no provee el mismo nivel de protección para engranajes, pero no es ofensivo para metales amarillos. La mezcla de molibdeno rociado con plasma se utiliza para los anillos sincronizadores con el objetivo de mejorar la resistencia al desgaste.

Tabla 5. Características mecánicas del aceite

Característica	Aceite usado GL4	Aceite recomendado GL5
Viscosidad a 100°C, cSt	13,5-18,5	24-32,5
Oxidación, Abs/cm	18	18
Aditivos	Calcio, Magnesio, Fosforo y Zinc	Calcio, Magnesio, Fosforo y Zinc

Fuente: Resultados de análisis de aceite

4.3 Comparativa de resultados

Al usar mayor protección EP se habla de un aceite API GL-5 y, al usar este lubricante en una transmisión que requiere un API GL-4 da como resultado de desgaste mayor cantidad de partículas de cobre lo cual genera un acelerado deterioro en los componentes fabricados del mencionado material, es decir, los sincronizados, al punto de no tener contacto entre sí interrumpiendo su función de frenado entre engranajes. [25] Por otro lado, si el GL-4 no cubre suficiente protección, su resultado de desgaste será mayor en partículas de hierro. Esto quiere decir que lubricantes API GL5 restan de a poco partículas de bronce a las arandelas cuando tienen contacto con el engranaje de acero. Estas arandelas tienen terminación cónica en la sección que se fricciona con el engranaje y, a mediano plazo la parte cónica será más amplia, es decir, menor contacto en el engranaje impidiendo sincronizar las velocidades de entrada y salida generando resultados de sonidos bruscos y dureza al seleccionar la marcha. [26]

4.4 Discusión de pruebas según variables

Los aditivos Extrema Presión habitualmente son elaborados del compuesto azufre/fósforo que se adhiere a superficies metálicas por medio de atracción polar y al someterse a calor y/o presión, ataca químicamente a los metales amarillos. Esto se debe a que la mezcla de calor y cobre forma sulfuro de cobre y a

extrema presión, disulfuro de cobre. Ambas creaciones del cobre son muy duras y pueden provocar daño abrasivo a las superficies de la máquina. La segunda opción de tipo de azufre usado para aditivos Extrema Presión es azufre inactivo el cual tiene menor probabilidad de enlace a las superficies y reacción químicamente desfavorable. [20]

Los fabricantes de engranes, proporcionan orientación sobre el lubricante a usar, mas no publican temas sobre la condición de desgaste o límites de advertencia. Por ejemplo, hacen énfasis en la viscosidad que es un indicador independiente de la clasificación API de lubricante para engranajes. API varía según los aditivos para mayor Extrema Presión mientras que la viscosidad recomendada por el fabricante depende del clima donde circula la unidad.

Los resultados de análisis de aceite tienen como objetivo conocer la salud del mismo y alertar condiciones anormales. Los siguientes compuestos son proactivos, ya que se dirigen a las causas raíz de falla.

- Aditivos del lubricante: Bario, Calcio, Magnesio, Fosforo, Boro.
- Contaminantes: Silicio, Sodio, Potasio, Bario.
- Por otro lado, hay presencia de compuestos predictivos que se dirigen a la principal causa de desgaste de la maquinaria y falla del lubricante.
- Metales de Desgaste: Hierro, Cobre, Plomo, Plata, Aluminio, Niquel.

Progreso del desgaste mecánico

Lento: presencia de pocas partículas pequeñas

Incipiente: presencia de más partículas más grandes.

Avanzado: presencia de numerosas partículas grandes.

Falla catastrófica: presencia de densa población de partículas y extremadamente grandes.

Al pasar de partículas de tamaño de 50 micrones a partículas de 20 micrones, la vida del engranaje se extiende por 4,5. [4]

Unidades a analizar individualmente:

Marca DAF, Modelo CF85, Placas: PAB5072, PAA3356

Marca Kenworth, Modelo T800, Placas: PAA3338, TAA1978, PAC7639, PAC6820

Marca International, Modelo 9200, Placas: TAU0992, PAA2350

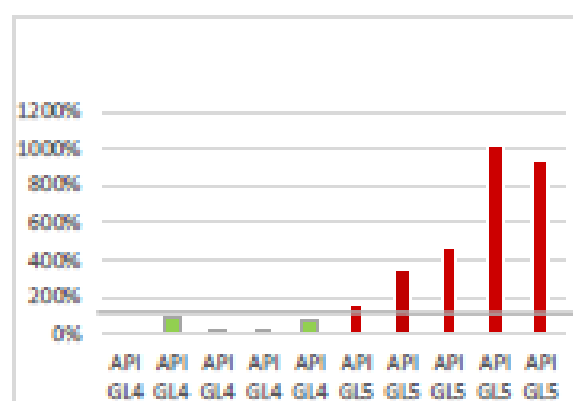


Figura 12. Porcentaje de desgaste de partículas de cobre según aceite aplicado

Fuente: Autores

Se ha colocado aleatoriamente aceite GL4 y GL5 en cajas de cambio y diferenciales en las unidades previamente mencionadas durante un periodo de servicio del lubricante de aproximadamente 60.000km teniendo como resultados los siguientes:

Para que un aceite sea favorable a la caja de cambios su desgaste de partículas de cobre permisible es máximo hasta 80ppm.

El desgaste de cobre hace referencia al desprendimiento de partículas de los componentes fabricados a base de cobre, y su medida es tomada en cuenta para determinar el deterioro de los mismos componentes.

Desgaste de cobre PPM (mg/kg) Max 80ppm, figura 12.

Tabla 6. Unidades dentro de los parámetros análisis con aceite GL4 en cajas de cambios

Placa de la unidad	PPM de cobre	# de Medición
PAB5072	68	1
PAA3338	63	1
TAU0992	19	1
TAU0992	17	2
PAA2350	4	1

Fuente: Resultados de análisis de aceite

Las cajas de cambio analizadas en las unidades previamente mencionadas utilizaron un aceite API GL4 recomendando por el fabricante

Tabla 7. Unidades fuera de los parámetros análisis con aceite GL5 en cajas de cambios.

Placa de la unidad	PPM de cobre	# de Medición
TAA1978	820	1
TAA1978	754	2
PAC7639	378	1
PAC7639	286	2
PAA3356	129	1

Fuente: Resultados de análisis de aceite

Las cajas de cambio analizadas en las unidades previamente mencionadas utilizaron un aceite API GL5.

La línea gris corresponde al límite máximo permitido considerado como el 100% de partículas admisibles

Un aceite GL-5, es desfavorable para sincronizadores ya que rompe la película de aceite por presencia de partículas de metal. Al tener partículas de metal en aceite API GL4 o GL5, el lubricante se vuelve muy viscoso, no se desplaza, dificulta los engranajes, aumenta la fricción y la temperatura de los mecanismos de igual manera se eleva producto del roce oxidando el aceite y provocando daños al sistema completo.

Para que un aceite sea favorable al diferencial su desgaste de partículas de hierro permisible máximo es hasta 300ppm.

El desgaste de hierro hace referencia al desprendimiento de partículas de los componentes fabricados a base de hierro, y su medida es tomada en cuenta para determinar el deterioro de los mismos componentes.

Desgaste de hierro PPM (mg/kg) Max 300ppm, figura 13.

Tabla 8. Unidades fuera de los parámetros análisis con aceite GL4 en diferenciales.

Placa de la unidad	PPM de hierro	# de Medición	Diferencial
TAA1978	2200	1	Primer
TAA1978	1759	2	Primer
TAA1978	530	1	Segundo
TAA1978	425	2	Segundo
PAC5072	1657	1	Primer
PAC5072	696	2	Primer
PAC7639	1056	1	Primer
PAC7639	971	2	Primer
PAC6820	410	1	Primer
PAA3356	451	1	Primer
PAA2350	414	1	Primer
PAA3338	363	1	Primer

Fuente: Resultados de análisis de aceite

Los diferenciales analizados en las unidades previamente mencionadas utilizaron un aceite API GL4.

Tabla 9. Unidades dentro de los parámetros análisis con aceite GL5 en diferenciales.

Placa de la unidad	PPM de hierro	# de Medición	Diferencial
PAA3338	179	1	Primer
PAA2350	73	1	Primer
PAB2353	163	1	Primer
PAC6820	146	1	Primer
TAU0992	178	1	Primer
TAU0992	85	2	Primer
TAU0992	63	1	Segundo
TAU0992	55	2	Segundo

Fuente: Resultados de análisis de aceite

Los diferenciales analizados en las unidades previamente mencionadas utilizaron un aceite API GL5 recomendando por el fabricante.

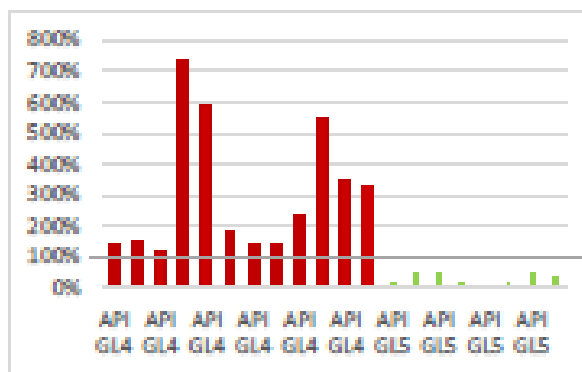


Figura 13. Porcentaje de desgaste de partículas de hierro según aceite aplicado
Fuente: Autores

La línea gris corresponde al límite máximo permitido considerado como el 100% de partículas admisibles

Por otro lado, un aceite GL-5 es el recomendado y diseñado para diferenciales cuyos componentes son netamente metales duros y sujetos a presión extrema y soporte de alta carga de trabajo lo cual protege a los elementos de sobre esfuerzo y fatiga de trabajo. Cuando existe alguna ruptura instantánea de algún eje de este sistema el reporte de daño es por causa de sobre esfuerzo del material y poco soporte de la carga del momento aludiendo este problema a modo de conducción. Sin embargo, al aportar un buen lubricante a engranajes de transmisión se mantienen las propiedades del material y prolonga la vida útil brindando al operario la capacidad de carga y peso al cual fue diseñada la unidad en análisis.

A pesar de que existan resultados que dupliquen el valor permisible. Tabla 8. Es poco posible establecer un tiempo exacto para que una falla catastrófica ocurra dentro del sistema, sin embargo, es un valor indicativo para estar alerta y mejorar el cuidado del mismo.

5. CONCLUSIONES

Para lubricantes de sistemas de transmisión como caja y diferencial, al tratar términos de aditivos para protección de engranajes en

Extrema Presión es válida la afirmación que un lubricante GL-5 puede cubrir las necesidades de un GL-4. Pero se debe tomar en cuenta otros parámetros como el material del cual están fabricados los engranajes sujetos a dicha lubricación. El aditivo Extrema Presión compuesto por azufre/fosforo no tiene mayor impacto en engranajes de metales duros, sin embargo, al evitar este compuesto se brinda protección y cuidado a metales blandos, en particular a los sincronizadores de ciertas cajas de cambios.

En un aceite con mayor porcentaje de extrema presión como aditivo, es decir, categoría API GL5, la presencia de partículas de cobre en el lubricante empleado en cajas de cambio con sincronizadores de cobre es mayor, aumenta la viscosidad del aceite y los componentes de este material se ven reducidos. Como porcentaje en promedio de partículas de cobre desprendidas con un aceite adecuado para metales amarillo se obtiene un 43% mientras que el promedio de partículas de cobre desprendidas con un aceite extremo para metales amarillos se obtiene un 592%.

En un aceite con menor porcentaje de extrema presión como aditivo, es decir, categoría API GL4, la protección a componentes de componentes de hierro a altas cargas no es tan buena, lo cual provoca acelerada fatiga del material y aparece de igual manera mayores partículas de hierro en el lubricante, o lo que es peor su ruptura instantánea y por ende de igual manera aumenta la viscosidad del aceite. Como porcentaje en promedio de partículas de hierro desprendidas con un aceite no adecuado para alta carga se obtiene un 304% mientras que el promedio de partículas de hierro desprendidas con un aceite extremo para alta carga se obtiene un 39%.

datos de pruebas típicas

Aceite para engranajes GL-4	RESULTADOS	
Grado SAE	80W-90	85W-140
Número de producto	516296	516297
Densidad a 15 ° C, kg / L	0.8867	0.8974
Viscosidad cinemática		
cSt a 40 ° C	134	359
cSt a 100 ° C	14.2	25
Viscosidad Brookfield		
cP a -12 ° C	-	81.600
cP a -26 ° C	70000	-
Índice de viscosidad	95	95
Punto de inflamación, ° C	180	180
Punto de fluidez, °C	-37	-19

Aceite para engranajes GL-5	RESULTADOS	
Grado SAE	80W-90	85W-140
Número de producto	516294	516295
Densidad a 15 ° C kg / L	0.8867	0.9003
Viscosidad cinemática		
cSt a 40 ° C	146	341
cSt a 100 ° C	14.2	25.0
Viscosidad Brookfield		
cP a -12 ° C	-	128.600
cP a -26 ° C	53.900	-
Índice de viscosidad	95	95
Punto de inflamación, ° C	218	226
Punto de fluidez, °C	-35	-12

REPORTE DE ENSAYOS

ENGRANAJE
TAA-1978
KENWORTH
T-800
75W90

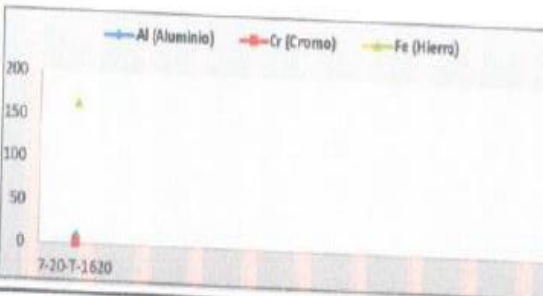
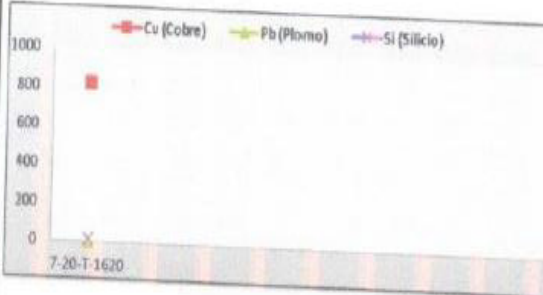
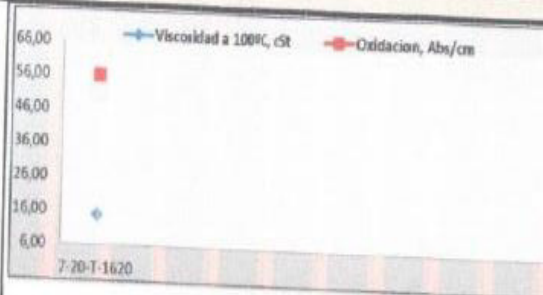
Evaluación de última muestra

PARÁMETROS ANORMALES

Rango	13,5 - 18,5
Límites Condicionales	18 Abs/cm

Límites Condicionales	
Max. 30	
Max. 15	
Max. 80	
Max. 300	
Max. 80	

Límites Condicionales	
POSITIVO	
Max. 60	



REPORTE DE E

Activar
Ve a Cont



NOMBRE DEL CLIENTE
AUTEC

Compartimento:
Máquina:
Marca:
Serie:
Modelo:
Lubricante:
Marca del Lubricante:

INFORMACION DE LA MUESTRA

Numeración de muestra	7-20-T-1620						
Fecha de Muestras	2020-05-26						
Fecha del Informe	2020-07-27						
Equipo HORAS	575889						
Acetas HORAS							
Viscosidad a 100°C, cSt	14,81						

DEGRADACION QUIMICA

Oxidación, Abs/cm	55,00						
-------------------	-------	--	--	--	--	--	--

ELEMENTOS - PPM (mg/kg)

Desgaste

Al (Aluminio)	9						
Cr (Cromo)	1						
Cu (Cobre)	520						
Fe (Hierro)	163						
Pb (Plomo)	0						

Contaminantes

Humedad	NEGATIVO						
Si (Silicio)	16						

Aditivos

Ca (Calcio)	50						
Mg (Magnesio)	6						
P (Fosforo)	1186						
Zn (Zinc)	20						

ELABORADO POR:

Analista Autorizado
Dpto. Laboratorio
Lubricantes Internacionales S.A.
FPG1101D, Versión 4, 2019-JUNIO-25

REPORTE D



NOMBRE DEL CLIENTE

AUTEC

Compartimento:

Máquina:

Marca:

Serie:

Modelo:

Lubricante:

Marca del Lubricante:

Activar Web
Ver a Configuración

INFORMACION DE LA MUESTRA

Numeracion de muestra	7-20-T-1620	8-20-T-1925					
Fecha de Muestreo	2020-05-26	2020-07-13					
Fecha del Informe	2020-07-27	2020-08-18					
Equipo HORAS	578889	589762					
Aceite HORAS							
Viscosidad a 100°C, cSt	14,81	14,76					

DEGRADACION QUIMICA

Oxidacion, Abs/cm	35,90	37,10					
-------------------	-------	-------	--	--	--	--	--

ELEMENTOS - PPM (mg/kg)

Desgaste

Al (Aluminio)	9	8					
Cr (Cromo)	1	1					
Cu (Cobre)	820	754					
Fe (Hierro)	153	149					
Pb (Plomo)	0	0					

Contaminantes

Humedad	NEGATIVO	NEGATIVO					
Si (Silicio)	16	15					

Aditivos

Ca (Calcio)	50	53					
Mg (Magnesio)	6	6					
P (Fosforo)	1186	1103					
Zn (Zinc)	20	35					

ELABORADO POR:

Analista Autorizado
 Depto. Laboratorio
 Lubricantes Internacionales S.A.
 FPG1101D. Versión 4, 2019-JUNIO-25

REPORTE DE ENSAYOS

ENGRANAJE
TAA-1978
KENWORTH
T-800
75W90

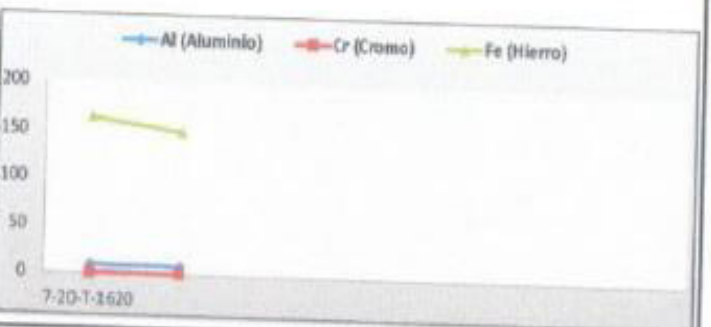
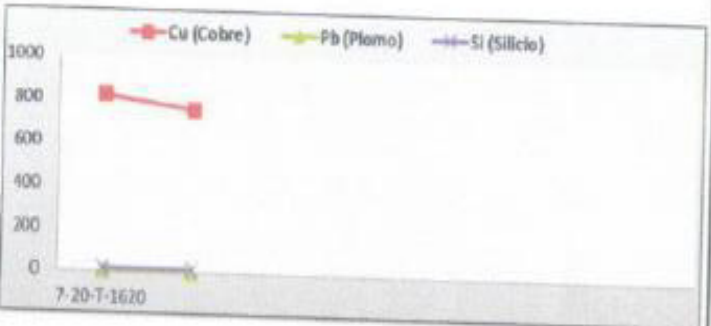
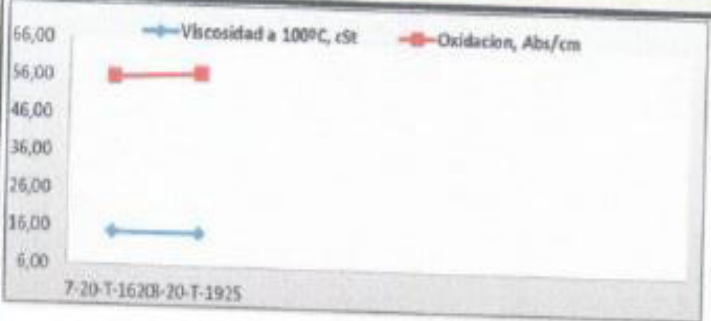
Evaluación de última muestra:

PARÁMETROS NORMALES

Rango	13,5 - 18,5
Límites Condensatorios	18 Abs/cm

Límites Condensatorios	Max. 30
	Max. 15
	Max. 80
	Max. 300
	Max. 80

Límites Condensatorios	POSITIVO
	Max. 60



REPORTE DI



NOMBRE DEL CLIENTE

AUTEC

Compartimento:

Máquina:

Marca:

Serie:

Modelo:

Lubricante:

Marca del Lubricante:

INFORMACION DE LA MUESTRA

Numeración de muestra	8-20-T-1926					
Fecha de Muestreo	2020-07-10					
Fecha del Informe	2020-08-18					
Equipo HORAS						
Acerte HORAS	100000					
Viscosidad a 100°C, cSt	8,21					

DEGRADACION QUÍMICA

Oxidación, Abt/cm	33,05					
-------------------	-------	--	--	--	--	--

ELEMENTOS - PPM (mg/kg)

Desgaste

Al (Aluminio)	29					
Cr (Cromo)	2					
Cu (Cobre)	68					
Fe (Hierro)	251					
Pb (Plomo)	1					

Contaminantes

Humedad	NEGATIVO					
Si (Silicio)	13					

Aditivos

Ca (Calcio)	522					
Mg (Magnesio)	5					
P (Fosforo)	474					
Zn (Zinc)	24					

ELABORADO POR:

Analista Autorizado

Dpto. Laboratorio

Lubricantes Internacionales S.A.

FP01101D Versión 4, 2019-JUNIO-25

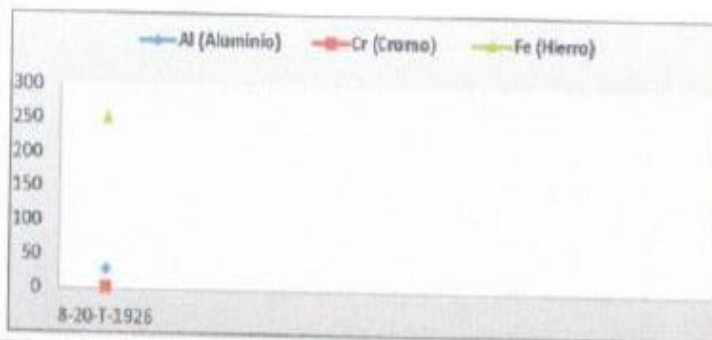
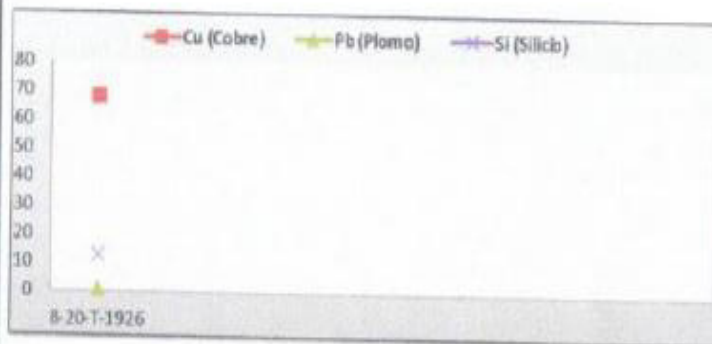
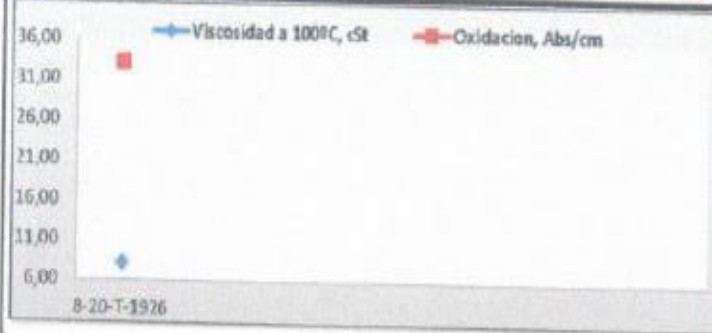
DE ENSAYOS

ENGRANAJE	Evaluación de última muestra: PARÁMETROS NORMALES
PAB-5072	
CAJA	
75W80	

Rango
7 - 11.
Límites Condensatorios
18 Abs/cm


Límites Condensatorios
Max. 30
Max. 15
Max. 80
Max. 300
Max. 80

Límites Condensatorios
POSITIVO
Max. 60



REPORTE DE

Activar y ver a configuración

	NOMBRE DEL CLIENTE		Compartimento:
	AUTEC		Máquina:
Marca:			
Serie:			
Modelo:			
Lubricante:			
Marca del Lubricante:			

INFORMACION DE LA MUESTRA			
Numeración de muestra	5-26-T-1246	8-20-T-1934	
Fecha de Muestreo	2020-02-27	2020-07-08	
Fecha del informe	2020-05-20	2020-08-18	
Equipo HORAS	466371	847433	
Aceña HORAS		100000	
Viscosidad a 100°C, cSt	14,33	14,25	

DEGRADACION QUIMICA			
Opalescencia, Abs/cm	46,10	46,20	

ELEMENTOS - PPM (mg/kg)			
Sedimento			
Al (Aluminio)	5	6	
Cr (Cromo)	1	1	
Cu (Cobre)	236	178	
Fe (Hierro)	96	105	
Pb (Plomo)	2	1	

Contaminantes			
Humedad	NEGATIVO	NEGATIVO	
Si (Silicio)	18	18	

Aditivos			
Ca (Calcio)	54	55	
Mg (Magnesio)	19	18	
P (Fósforo)	1272	1206	
Zn (Zinc)	27	24	

ELABORADO POR:

Análisis Autorizado
 Dpto. Laboratorio
 Lubricantes Internacionales S.A.
 EPG1101D Versión 4, 2019-JUNIO-25

DE ENSAYOS

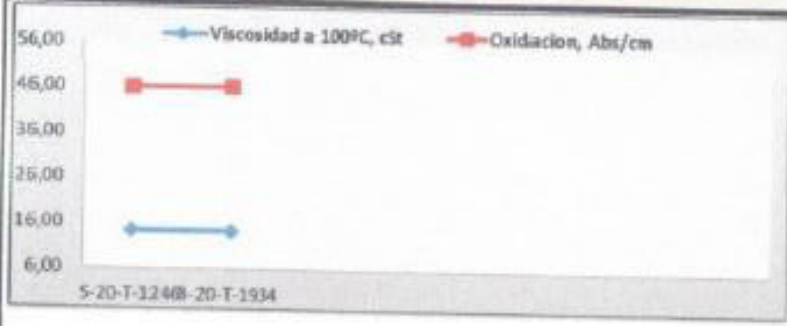
Activar
ve a Conf

PAC-2639
KENWORTH
CAJA DE CAMBIOS
T-800
80W90

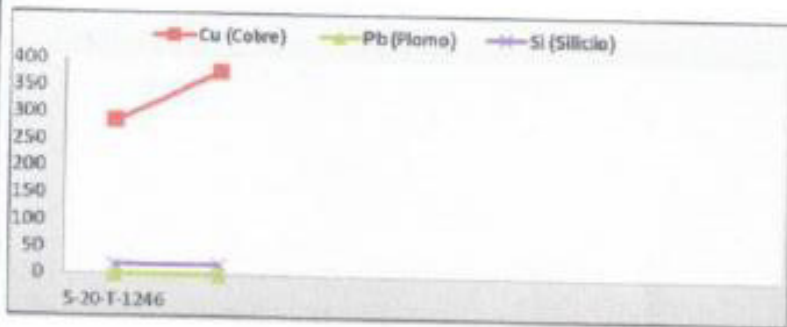
Evaluación de última muestra:

PARÁMETROS ANORMALES

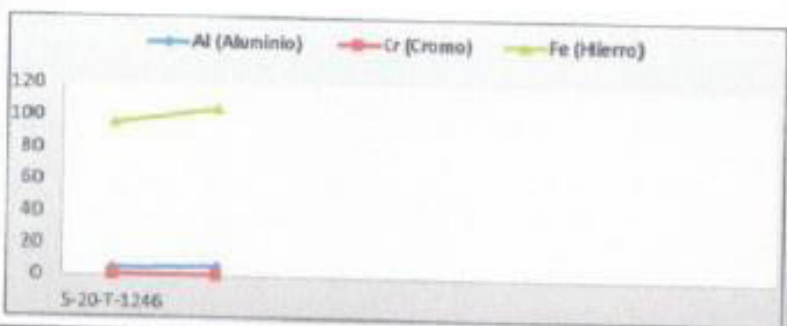
Rango
11,5 - 18,5
Limites Condensatorios
18 Abs/cm




Limites Condensatorios
Max. 30
Max. 15
Max. 80
Max. 300
Max. 80



Limites Condensatorios
POSITIVO
Max. 60



REPORTE DE

	NOMBRE DEL CLIENTE	Compartimento:
	AUTEC	Máquina: Marca: Serie: Modelo: Lubricante: Marca del Lubricante:

INFORMACION DE LA MUESTRA							
Numeración de muestra	7-20-T-1619						
Fecha de Muestreo	2020-07-01						
Fecha del Informe	2020-07-27						
Equipo HORAS							
Acete HORAS							

Viscosidad a 100°C, cSt	14,80						
-------------------------	-------	--	--	--	--	--	--

DEGRADACION QUIMICA							
Oxidacion, Aba/cm	51,90						

ELEMENTOS - PPM (mg/kg)							
Desgasta							
Al (Aluminio)	5						
Cr (Cromo)	1						
Cu (Cobre)	63						
Fe (Hierro)	109						
Pb (Plomo)	0						

Contaminantes							
Humedad	NEGATIVO						
Si (Silicio)	27						

Aditivos							
Ca (Calcio)	94						
Mg (Magnesio)	8						
P (Fosforo)	1103						
Zn (Zinc)	45						

ELABORADO POR:

Analista Autorizada
 Dpto. Laboratorio
 Lubricantes Internacionales S.A.
 FPG1101D, Versión 4, 2019-JUNIO-25

DE ENSAYOS

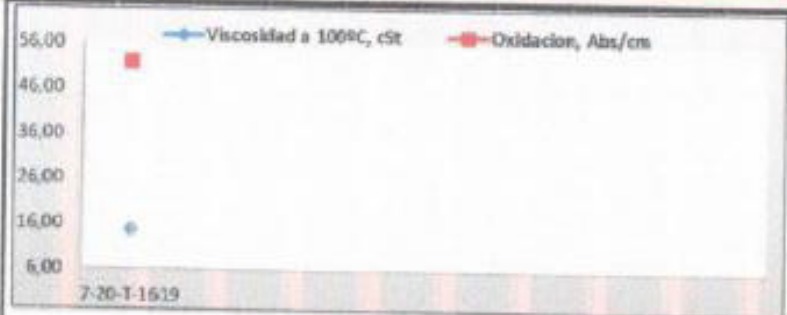
ACIVBI
Mo n Coe

PAA-333B
KENWORTH
CAJA
T-800
75W80

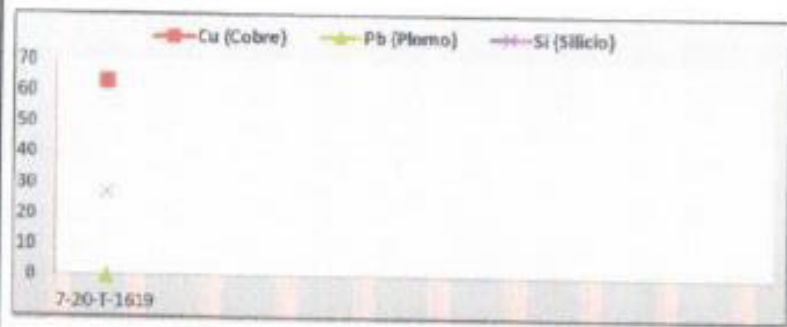
Evaluación de última muestra:

PARAMETROS ANORMALES

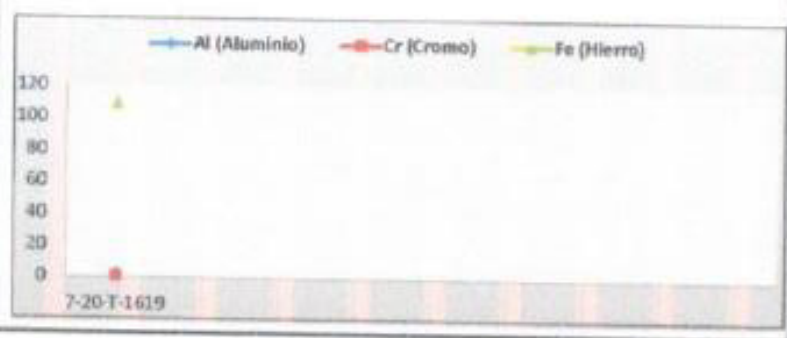
Rango
7 - 11
Limites Condicionarios
18 Abs/cm




Limites Condicionarios
Max. 30
Max. 15
Max. 80
Max. 300
Max. 80



Limites Condicionarios
POSITIVO
Max. 60



		NOMBRE DEL CLIENTE		Compartimento:	
		AUTEC		Máquina:	
Marca:					
Serie:					
Modelo:					
Lubricante:					
		Marca del Lubricante:			

INFORMACION DE LA MUESTRA						
Numeración de muestra	8-20-T-1924					
Fecha de Muestreo	2020-07-06					
Fecha del Informe	2020-08-18					
Equipo HORAS	259300					
Acebe HORAS						

Viscosidad a 100°C, cSt	14,40					
-------------------------	-------	--	--	--	--	--

DEGRADACION QUÍMICA						
Oxidación, Abj/cm	44,00					

ELEMENTOS - PPM (mg/kg)						
Desgaste						
Al (Aluminio)	6					
Cr (Cromo)	4					
Cu (Cobre)	129					
Fe (Hierro)	241					
Pb (Plomo)	0					

Contaminantes						
Humedad	NEGATIVO					
Si (Silicio)	5					

Aditivos						
Ca (Calcio)	26					
Mg (Magnesio)	4					
P (Fosforo)	710					
Zn (Zinc)	134					

ELABORADO POR:

Analista Autorizado
 Dpto. Laboratorio
 Lubricantes Internacionales S.A.
 FPG1101D. Versión 4. 2019-JUNIO-25

DE ENSAYOS

ENGRANAJE
PAA-3356
75W90

Evaluación de última muestra:

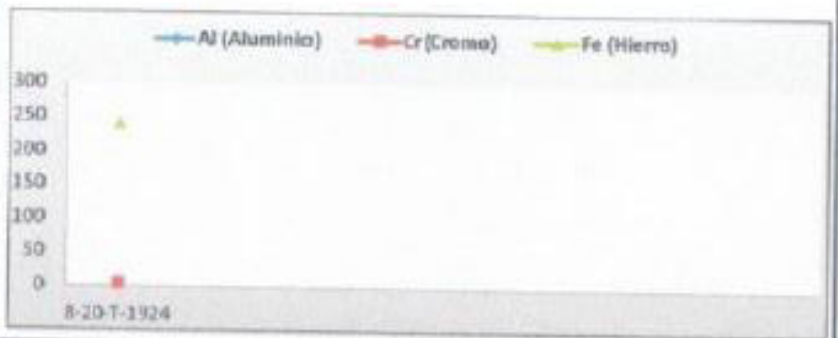
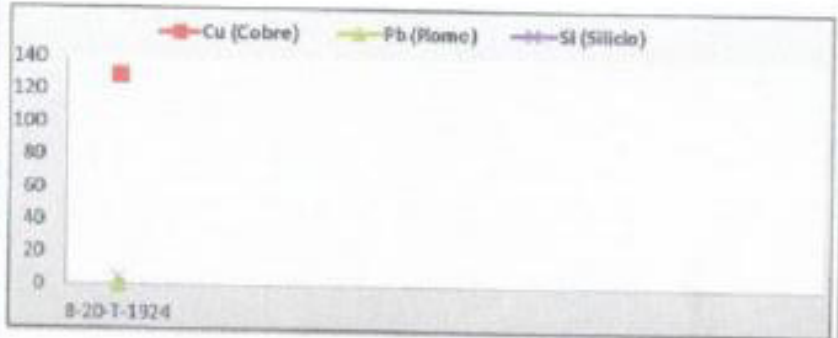
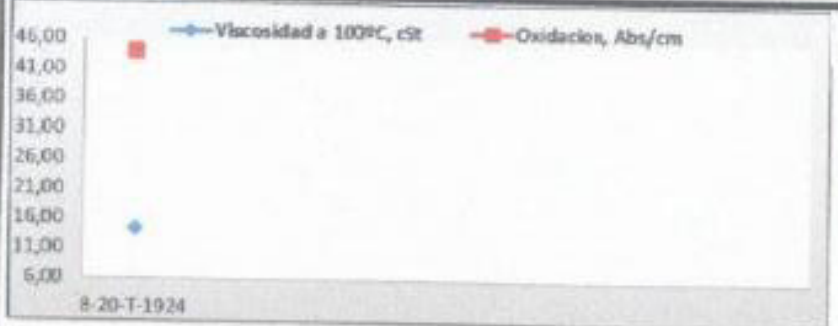
PARÁMETROS NORMALES

Rango
13,5 - 18,5


Límites Condicionales
18 Abs/cm

Límites Condicionales
Max. 30
Max. 15
Max. 80
Max. 300
Max. 80

Límites Condicionales
POSITIVO
Max. 60



REPORTE D

	NOMBRE DEL CLIENTE		Compartimento:			
	AUTEC		Máquina:			
Marca:						
Serie:						
Modelo:						
Lubricante:						
		Marca del Lubricante:				

INFORMACION DE LA MUESTRA						
Numero de muestra	5-20-T-1250	5-20-T-1258	5-20-T-1261	8-20-T-1918		
Fecha de Muestreo	2020-02-27	2020-03-03	2020-03-03	2020-07-08		
Fecha del Informe	2020-05-20	2020-05-20	2020-05-20	2020-08-17		
Equipo HORAS	466371			48		
Acelta HORAS						
Viscosidad a 100°C, cSt	25,11	25,18	25,05	24,92		

DEGRADACION QUÍMICA						
Oxidacion, Abs/cm	54,20	60,30	55,90	48,80		

ELEMENTOS - PPM (mg/kg)						
Desgaste						
Al (Aluminio)	6	12	17	7		
Cr (Cromo)	2	3	4	2		
Cu (Cobre)	1	22	3	2		
Fe (Hierro)	464	1050	905	804		
Pb (Plomo)	2	0	1	1		

Contaminantes						
Humedad	NEGATIVO	NEGATIVO	NEGATIVO	NEGATIVO		
Si (Silicio)	101	81	153	87		

Aditivos						
Ca (Calcio)	21	23	42	33		
Mg (Magnesio)	3	3	8	19		
P (Fosforo)	747	858	1045	653		
Zn (Zinc)	6	8	9	45		

ELABORADO POR:

Analista Autorizado
 Dpto. Laboratorio
 Lubricantes Internacionales S.A.
 FPG1101D, Versión 4, 2019-JUNIO-25

DE ENSAYOS

ACIVAL
Ve a Con

PAC-7639
KENWORTH
DIFERENCIAL 2
85W140

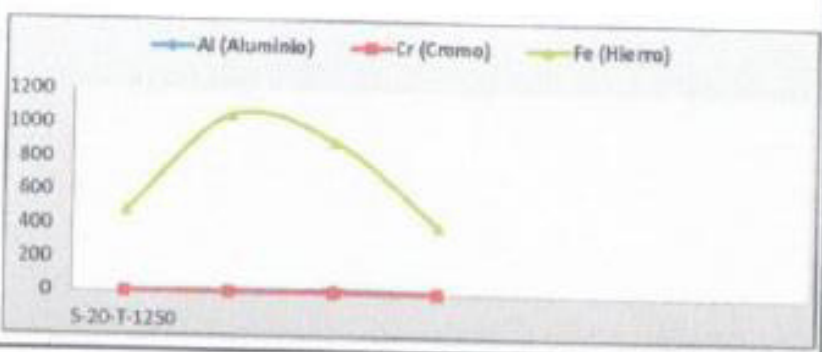
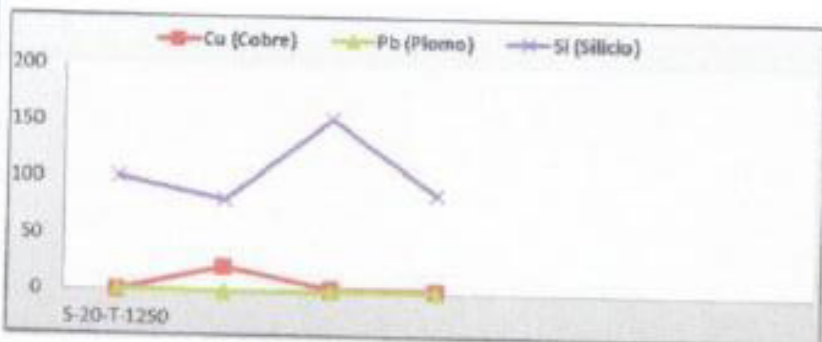
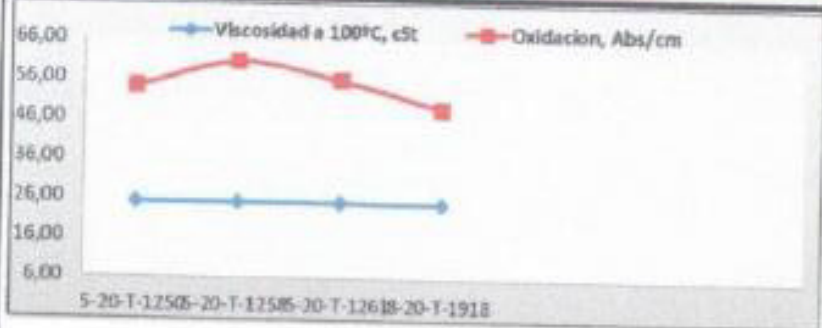
Evaluación de última muestra:

PARÁMETROS ANORMALES

Rango
24 - 32,5
Limites Condicionarios
18 Abs/cm

Limites Condicionarios
Max. 30
Max. 15
Max. 80
Max. 300
Max. 80

Limites Condicionarios
POSITIVO
Max. 60



REPORTED

NOMBRE DEL CLIENTE

AUTEC

Compartimento:

Máquina:

Marca:

Serie:

Modelo:

Lubricante:

Marca del Lubricante:

Activar W
Ve a Configuración

INFORMACION DE LA MUESTRA

Numeración de muestra	8-20-T-1923						
Fecha de Muestreo	2020-07-14						
Fecha del Informe	2020-08-17						
Equipo HORAS	559772						
Acaba HORAS	100000						
Viscosidad a 100°C, cSt	21,22						

DEGRADACION QUÍMICA

Oxidación, Abs/cm	24,30						
-------------------	-------	--	--	--	--	--	--

ELEMENTOS - PPM (mg/kg)

Desgaste

Al (Aluminio)	3						
Cr (Cromo)	2						
Cu (Cobre)	17						
Fe (Hierro)	410						
Pb (Plomo)	0						

Contaminantes

Humedad	NEGATIVO						
Si (Silicio)	19						

Aditivos

Ca (Calcio)	63						
Mg (Magnesio)	25						
P (Fosforo)	509						
Zn (Zinc)	45						

ELABORADO POR:

Analista Autorizado

Dpto. Laboratorio

Lubricantes Internacionales S.A.

FPGI101D. Versión 4, 2019-JUNIO-25

DE ENSAYOS

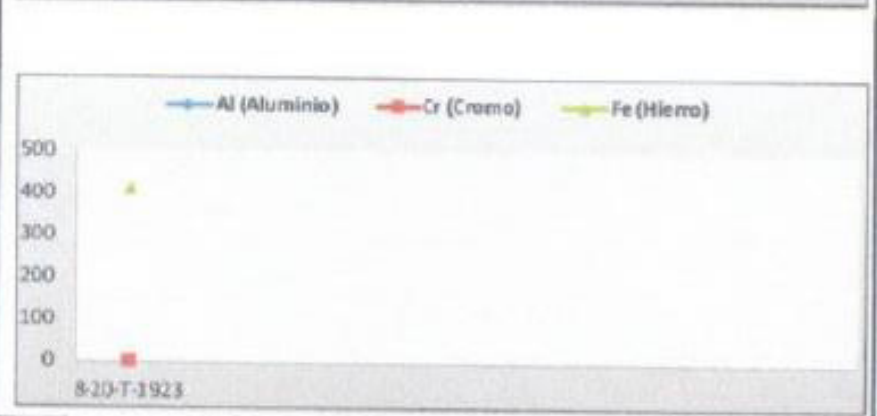
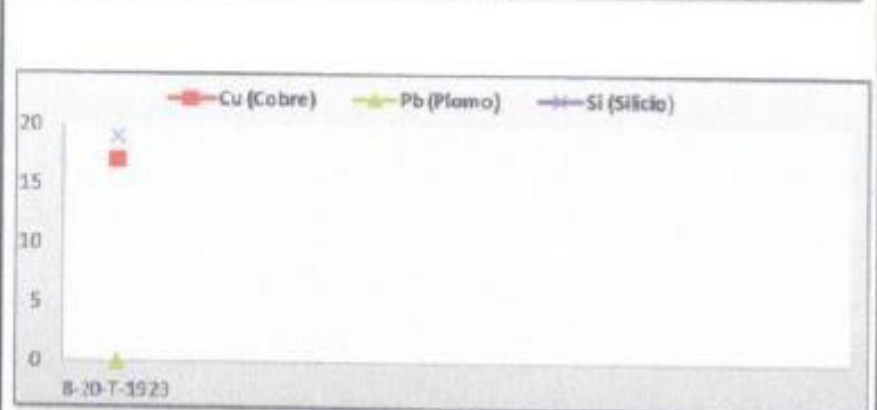
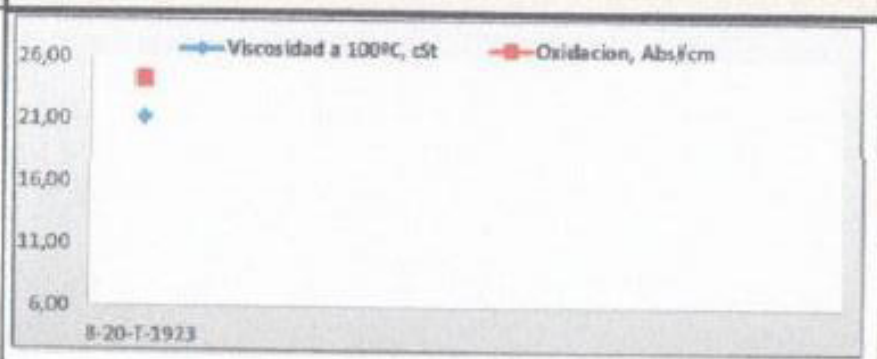
ENGRANAJE
PAC-6820
80W140

Evaluación de última muestra:

PARÁMETROS ANORMALES

Activar Win
de configuración

Rango	24 - 32,5
Límites Condensatorios	18 Abs/cm
Límites Condensatorios	
	Max. 30
	Max. 15
	Max. 80
	Max. 300
	Max. 80
Límites Condensatorios	
POSITIVO	
	Max. 60



7.3.2. Artículo (Effect of base oils characteristics on ATF performance). -

EFFECT OF BASE OILS CHARACTERISTICS ON ATF PERFORMANCE

Woo-Sik MOON and Si-Won YANG

SK Corporation, 140-1, Wonchoon-dong, Yuseong-gu, Taejeon, Korea

Performance requirements for automatic transmission fluids have been changing to reflect the design changes of automatic transmission. The major purpose for these design changes is to improve fuel economy and drivability. The use of special base oils like API Group III and IV base oils has increased in order to formulate high performance ATF. In this study, the effect of base oils characteristics on ATF performance is investigated, mainly regarding differences in frictional characteristics with deterioration. Moreover, low-temperature fluidity, oxidation stability, and seal compatibility are also compared for four different ATFs. From the investigation, it was found that the use of Group III and IV base oils in ATF has several benefits in low temperature viscosity, oxidation stability and SAE No.2 friction characteristics.

Keywords: Base oils, Automatic Transmission Fluid, Friction Characteristics, Deterioration, Oxidation

1. INTRODUCTION

Recent trend in vehicle transmission designs has mainly been focused on energy saving and easy driving. Introduction of new designs and mechanisms simultaneously requires new high-performance lubricants for them, as they generally impose more severe conditions on lubricants.

In order to improve fuel efficiency of AT, requirements for ATF have become stringent regarding anti-shudder and torque capacity. Moreover, low-temperature fluidity and frictional characteristics are also important for the sake of easy driving. In addition, requirements for maintenance-free transmissions necessitate ATFs of high performance which can function without trouble for a long period under the conditions of high temperature and high shear, etc.

Therefore, it has been required to improve oxidation stability, shear stability, friction durability and seal compatibility. In order to formulate the high performance ATFs which can satisfy the recent requirements, additive formulation technology is very important especially for friction control but should be well balanced and optimized with base oils technology. Now, the use of high-quality base oils in ATFs is well established, particularly to improve low-temperature fluidity and oxidation stability, etc.

The effect of base oils characteristics on ATF performance is not fully understood, perhaps because

the formulation of ATF is very complex and also different according to vehicle designs, operating conditions and properties of base oils and additives. Moreover, it is very difficult to separate factors influenced by base oils from the ones by additives as the deterioration process of ATF is very complicated during endurance performance tests.

Anyway, the following two factors are mainly related to the deterioration and performance of ATF: 1) depletion of additives and 2) deterioration of base oils. In this study, the effect of base oils characteristics on ATF performance is investigated, mainly regarding differences in frictional characteristics with deterioration. Moreover, low-temperature fluidity, oxidation stability, and seal compatibility are also compared for four different ATFs.

2. ATFS AND THEIR CHARACTERISTICS

ATFs are prepared with different base oils and their physico-chemical properties are determined with simple bench analysis. Deterioration of ATFs is conducted in both an oxidation bench tester and the SAE No.2 machine. Changes in the characteristics are followed up by sampling and analyzing the deteriorated oils. Deterioration in general oil performances is discussed in relation to the changes in the physico-chemical properties.

Table 1 Physico-chemical properties of four fresh ATF's used in the experiments

Properties	ATF-1	ATF-2	ATF-3	ATF-4	Dexron III	Mercon
					Specification	Specification
Specific Gravity	0.8848	0.8828	0.8838	0.8809		
Kinematic Viscosity @40°C, cSt	37.65	38.73	38.42	39.47		
	@100°C, cSt	7.878	7.847	7.382	6.898	
Viscosity Index	175	184	188	204		
Brookfield Viscosity @-25°C, cP	1428	1578	1078	878	Max. 1,500	Max. 1,500
	@-30°C, cP	8238	6148	3578	Max. 5,000	
	@-40°C, cP	28338	44338	8588	Max. 25,000	Max. 20,000
Pour Point, °C	-47.5	-45.0	-32.5	-33.5		
Aniline Point, °C	188.8	188.8	118.8	118.8		
TAN, mgKOH/g	0.78	—	—	—		

2.1 Preparation of lubricants

Physico-chemical properties of four fresh ATF's used in the experiments are summarized in Table 1. ATF-1, 2, 3 and 4 were blended at the same treat rate with an additive package which satisfies the requirements of GM Dexron III and Ford Mercon and is composed of anti-oxidant, anti-wear agent, dispersant, detergent and modifiers of friction and viscosity, etc. However, the base oils in them are different for each ATF. As shown in Table 2, various base oils, BO-1, 2, 3 and 4, are blended at the same treat rate for each ATF, respectively. All the base oils are 100 neutral grade with viscosity of about 4 cSt at 100°C but they are different each other in the quality and classified as Group I, II, III and IV, respectively, according to the recent API base oil classification.

Table 2 Properties of base oils

API Base Oil Group	I	II	III	IV
Properties	BO-1	BO-2	BO-3	BO-4
Specific Gravity	0.884	0.885	0.884	0.818
Kinematic Viscosity @ 40°C, cSt	30.08	30.28	18.87	17.10
	@100°C, cSt	4.13	4.18	4.33
Viscosity Index	198	197	122	127
Flash Point, °C	228	218	218	228
Pour Point, °C	-10	-18	-15	-57
Sulfur, wt%	0.38	0.33	0.26	0.33
Aromatics by HPLC, vol%	37.7	3.3	9.6	5.6
Aniline Point, °C	188	188	113	118

2.2 Low-temperature fluidity and seal compatibility

Low-temperature fluidity is very important because high viscosity at low temperature could cause slow operation of transmission and poor startability of torque converter. As shown in Table 1, the low-temperature viscosities, determined at -20, -30, -40°C, are better with ATF 3 and 4 satisfying the requirements of Dexron III and Mercon. Figure 1 gives changes in low-temperature viscosities with decreasing temperature from -10 to -50°C, which were determined using a scanning Brookfield viscometer. The oil ATF-4 also gives the best low

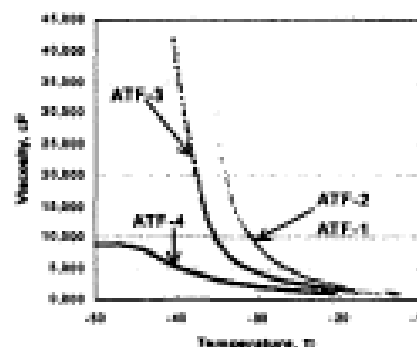


Fig.1 Low-temperature viscosities with decreasing temperature from -10 to -50°C

temperature fluidity, while ATF-3 is better than ATF-1 and 2.

Because various seal materials are used in the hydraulic systems of automatic transmissions, seal compatibility of ATF is important for proper operation. With respect to six seal materials which satisfy the specification of Dexron III, their volume changes were determined after aging at 150°C for 70 hours. In Fig.2, their differences are compared among five oils including a reference oil REO, which satisfies the Dexron III specification. While the volume changes with ATF-1 and 2 are very similar to the REO, the ones with ATF-3 and 4 are considerably less than ATF-3 and 4. These results indicate that minor reformulation of base oils and/or additives is necessary for ATF-3 and 4.

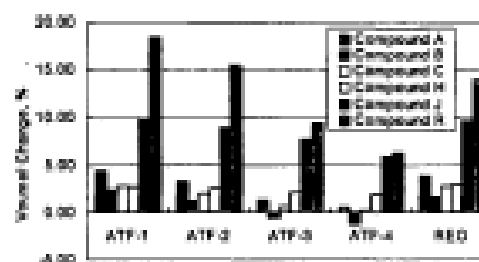


Fig.2 Volume change of six Dexron III materials with 4 ATF's and REO

Table 1 Physico-chemical properties of four fresh ATF's used in the experiments

Properties	ATF-1	ATF-2	ATF-3	ATF-4	Dexron III	Mercon	
					Specification	Specification	
Specific Gravity	0.8649	0.8505	0.8438	0.8309			
Kinematic Viscosity @40°C, cSt	37.83	36.73	33.42	29.41			
	@100°C, cSt	7.676	7.647	7.382	6.836		Min. 6.8
Viscosity Index	179	184	186	204			
Brookfield Viscosity @-30°C, cP	1420	1370	1070	670	Max. 1,500	Max. 1,500	
	@-30°C, cP	5230	6140	3570	1620	Max. 5,500	
	@-40°C, cP	26500	44350	9380	4150	Max. 20,000	Max. 20,000
Pour Point, °C	-47.5	-48.0	-52.5	< -52.5			
Aniline Point, °C	105.8	105.6	115.5	119.6			
TAN, mgKOH/g	0.78	—	—	—			

2.1 Preparation of lubricants

Physico-chemical properties of four fresh ATF's used in the experiments are summarized in Table 1. ATF-1, 2, 3 and 4 were blended at the same treat rate with an additive package which satisfies the requirements of GM Dexron III and Ford Mercon and is composed of anti-oxidant, anti-wear agent, dispersant, detergent and modifiers of friction and viscosity, etc. However, the base oils in them are different for each ATF. As shown in Table 2, various base oils, BO-1, 2, 3 and 4, are blended at the same treat rate for each ATF, respectively. All the base oils are 100 neutral grade with viscosity of about 4 cSt at 100°C but they are different each other in the quality and classified as Group I, II, III and VI, respectively, according to the recent API base oil classification.

Table 2 Properties of base oils

API Base Oil Group	I	II	III	IV
Properties	BO-1	BO-2	BO-3	BO-4
Specific Gravity	0.864	0.855	0.834	0.819
Kinematic Viscosity @ 40°C, cSt	20.88	20.20	19.57	17.10
	@100°C, cSt	4.13	4.16	4.23
Viscosity Index	168	167	122	127
Flash Point, °C	220	214	218	224
Pour Point, °C	-10	-10	-15	-57
Sulfur, wt%	0.58	0.33	0.09	0.00
Aromatics by HPLC, vol%	27.7	3.5	6.6	0.6
Aniline Point, °C	109	158	113	116

2.2 Low-temperature fluidity and seal compatibility

Low-temperature fluidity is very important because high viscosity at low temperature could cause slow operation of transmission and poor startability of torque converter. As shown in Table 1, the low-temperature viscosities, determined at -20, -30, -40°C, are better with ATF 3 and 4 satisfying the requirements of Dexron III and Mercon. Figure 1 gives changes in low-temperature viscosities with decreasing temperature from -10 to -50°C, which were determined using a scanning Brookfield viscometer. The oil ATF-4 also gives the best low

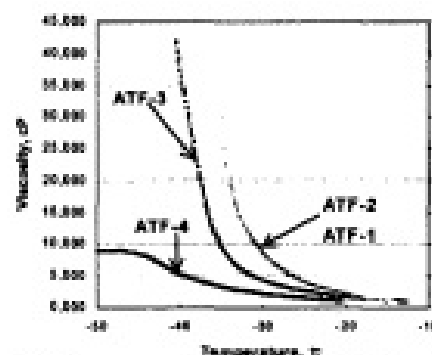


Fig.1 Low-temperature viscosities with decreasing temperature from -10 to -50°C

temperature fluidity, while ATF-3 is better than ATF-1 and 2.

Because various seal materials are used in the hydraulic systems of automatic transmissions, seal compatibility of ATF is important for proper operation. With respect to six seal materials which satisfy the specification of Dexron III, their volume changes were determined after aging at 150°C for 70 hours. In Fig.2, their differences are compared among five oils including a reference oil REO, which satisfies the Dexron III specification. While the volume changes with ATF-1 and 2 are very similar to the REO, the ones with ATF-3 and 4 are considerably less than ATF-3 and 4. These results indicate that minor reformulation of base oils and/or additives is necessary for ATF-3 and 4.

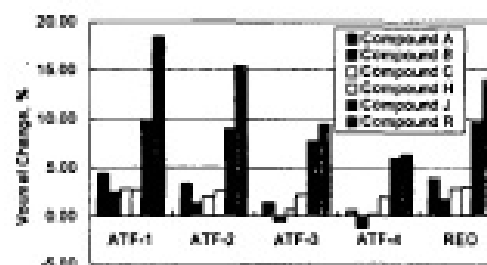


Fig.2 Volume change of six Dexron III materials with 4 ATF's and REO

2.3 Oxidation stability

Among the performances required for ATF, the oxidation stability is very important as over 70 % of automatic transmission failures were known to be related to fluid oxidation (1). As ATF undergoes deterioration during service under the oxidative conditions, sludge and varnish can be deposited on the transmission parts and deteriorated materials can corrode bearings and bushings and also harden the various elastomeric seals. Recent design changes make the fluid temperature even higher and it has been reported that fluid life is primarily limited by oxidation during severe service (2).

Oxidation processes in transmission can be simulated by a Ford method, ABOT (Aluminum Beaker Oxidation Test), only if the test conditions are carefully controlled (3). In order to evaluate oxidation stability, the test conditions, shown in Table 3, were selected, which are similar to ABOT method. During the deterioration process, we took samples and determined total acid number (TAN) and viscosity at 40 °C.

Table 3 Test conditions of Beaker Oxidation Test

Item	BOI	ABOT
Temp., °C	155	165
Catalyst	Cu/Fe Wire	Aluminum Beaker Cu/Al Strip
Air, L/Hr	10	0.3
Oil Volume, ml	400	350
Time, Hr	432	300

As shown in Fig.3(a), TAN of ATF 1 and 2 increases steadily with increasing oxidation time but the increasing rate is higher with ATF 1 than with ATF 2. However, TAN of ATF 3 and 4 levels off at about 2 mg/KOH after 144 hours. This indicates that more oxidation products be generated with ATFs blended with conventional base oils, BO-1 and 2.

Viscosity at 40°C shows almost no changes until 288 hours for all the oils, as shown in Fig.3(b). After 360 hours, the viscosity increases rapidly with ATF-1 and 2 but stays unchanged with ATF 3 and 4.

3. FRICTIONAL CHARACTERISTICS

Frictional characteristics of ATFs are investigated through friction tests which are conducted using SAE

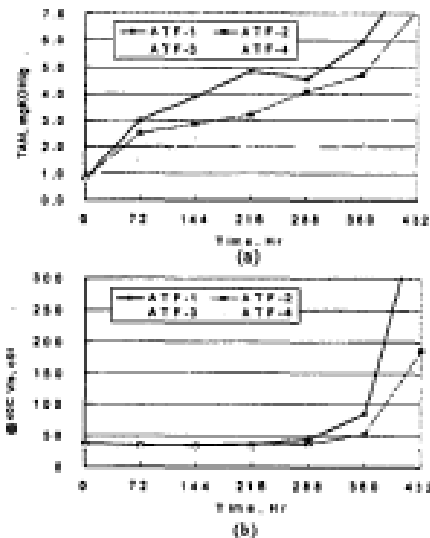


Fig.3 Beaker Oxidation Test results
(a) TAN change (b) Viscosity change

No.2 machine with various lubricants, both fresh and deteriorated under different conditions.

3.1 Experimental

A general view of the SAE No.2 machine is shown in Fig.4 and testing conditions in Table 4 are compared with other standard methods. This machine is often used in specification tests including Dexron III and Mercon.

The present experiments are different in its severity which can be defined as follows (4):

Severity Index

$$= \frac{(\text{Energy per Cycle}) \times (\text{Number of Cycles}) \times (\text{Fluid Temperature})}{(\text{Net Surface Area}) \times (\text{Fluid Volume})}$$

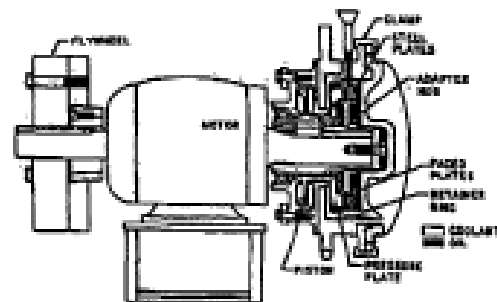


Fig.4. General view of SAE No.2 machine

Table 4 Comparison of SAE No.2 test conditions

Item	Condition A	Condition B	GM Dexron III	Ford Mercon	JSAO
Friction Material	SD 1777E	—	SD 1777	SD 1777	SD 1777
Friction Material Size(o.d./i.d.), mm	127/104	—	125.4/98.5	125.4/98.5	125.5/105
Plate Arrangement(F= Friction Plate, S= Steel Plate)	S-F-S- S-F-S	—	S-F-S-S-F-S	S-F-S-S-F-S	S-F-S-F-S-F-S
Fluid Volume, L	0.30	—	0.65	0.30	0.60
Fluid Temperature, °C	125	140	140	115	100
Energy, J	16,869	—	15,700	20,740	24,350
Inertia, kgm ²	0.343	—	—	—	0.343
Dynamic Test Speed, rpm	3,600	—	3,600	3,600	3,600
Static(Breakaway) Test Speed, rpm	0.7	—	0.72	4.37	0.72
Apply Pressure, kPa	441	—	345	275	785
Gross Friction Area, mm ² (per surface)	4,171	—	5,920	6,310	3,910
Groove Type	grooved	—	none	grooved	none
Net Friction Area, mm ²	13,328	—	23,680	16,384	23,460
Cycle Length, s	30	—	30	30	30
Test Cycle	10,000	—	18,000	15,000	5,000
Test Duration, h	63.3	—	100	63.3	41.7
Energy per Total Net Friction Area, J/mm ²	1.013	—	0.663	1.266	1.038
Energy per ATF Volume, J/L	56,400	—	24,200	69,100	40,600
Cumulative Energy Absorbed During Complete Test, kJ	169,060	—	282,600	311,160	121,750
Test Severity Index *	5.11	5.97	2.57	7.28	0.86
Catalyst(Metal Naphthenate)	—	Cu/Fe 40ppm	—	—	—

Figure 5 shows typical data taken from the machine, which include μ_s , μ_o , μ_d , μ_o/μ_d and stop time. During a run of 10,000 cycles, the friction data are continuously determined and oil samples are periodically taken for analysis.

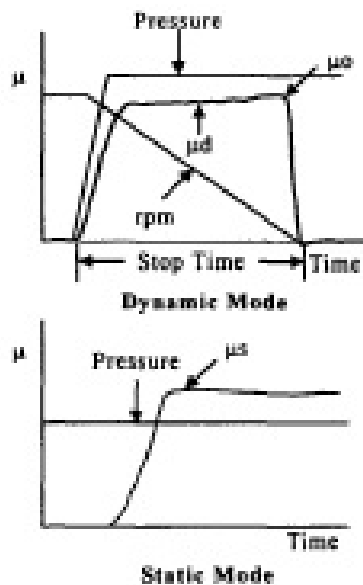


Fig.5 Typical data taken from SAE No.2

3.2 Effect of base oils and test conditions on friction characteristics

The variations of frictions μ_s and μ_d , the ratio μ_o/μ_d and stop time with testing cycles are shown in Figs.6(a)-(d) for experiments under the conditions A with four ATF 1-4, respectively. The data of each friction, the ratio and stop time in the figures are drawn from the original records at every cycle.

The static friction μ_s with ATF-4, Fig.6(a), shows considerable differences from other oils ATF 1-3. The friction of all the oils ranges from 0.11 to 0.12 at the initial and early stages. Then the friction increases gradually and exceeds 0.12 for ATF 1-3 after runs of about 3,000 cycles, but for ATF-4 after 6,000cycles.

The dynamic friction μ_d stays at the same level for all the runs of 10,000 cycles and its behavior is basically the same for all the oils tested, as shown in Fig.6(b). Figure6(c) shows the changes in the friction ratio μ_o/μ_d with testing cycles. After slight decreasing at the initial stage, they increase slowly with cycles but stay at acceptable levels even at the end of the runs. The stop time also shows no considerable differences among the oils as shown in Fig.6(d).

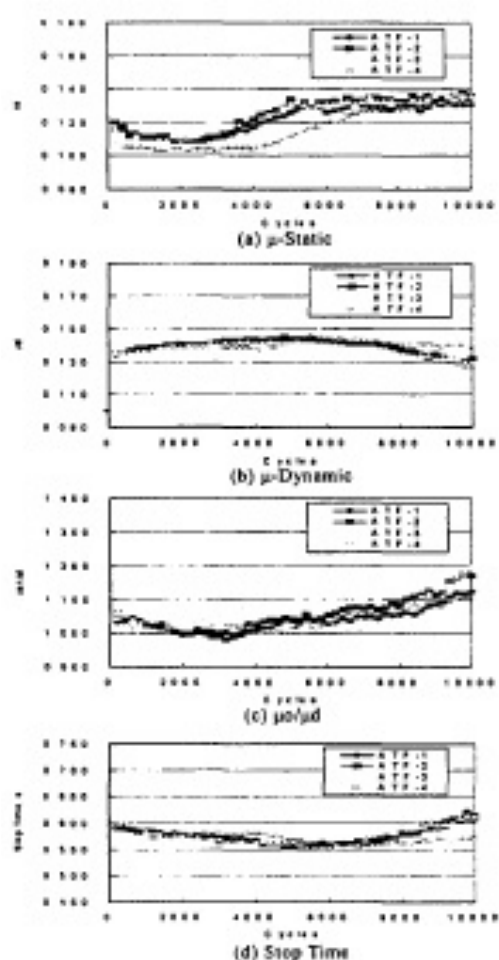


Fig.6 Test results of SAE No.2 by Condition A

As the testing temperature 120 °C is not high enough to deteriorate the base oils and additives in the ATFs, it is considered that deterioration of oils is very mild even after the runs of 10,000 cycles. In order to increase the severity of test conditions, we increased temperature to 140°C and added soluble iron and copper catalysts to the level of 40 ppm.

As no changes were observed in static friction μ_s even under the conditions B, dynamic friction μ_d , the friction ratio μ_0/μ_d and stop time are compared in Figs. 7(a)-(c). Even though differences were found among the oils at the conditions A, big differences exist between ATF-1(A) and ATF-1(B), between ATF-3(A) and ATF-3(B) and between ATF-1(B) and ATF-3(B). After about 5,000 cycles, ATF-1(B) and ATF-3(B) start to change with respect to all three

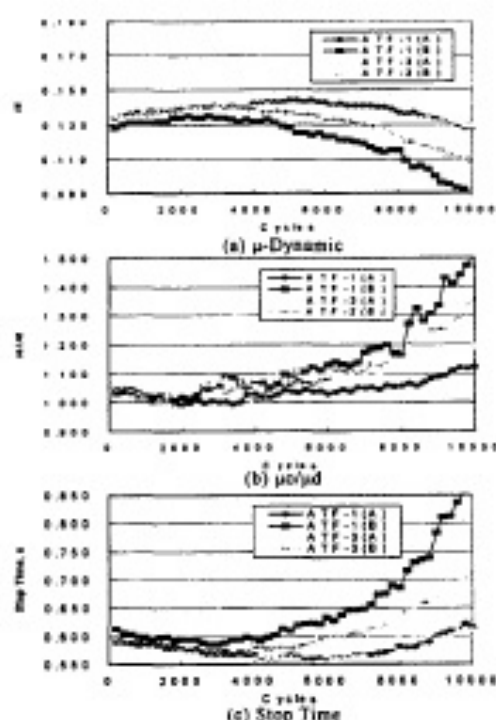


Fig.7 Test results of SAE No.2 by Condition A and B

parameters but the change are more severe with ATF-1(B).

As shown in Fig.8, the increase of total acid number is higher at the high temperature during the testing. This indicates that the increase of oxidation products in oils has correlation with deterioration of their friction characteristics.

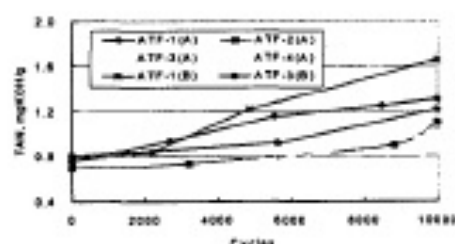


Fig.8 Change of TAN in SAE No.2 test

3.3 Effect of oxidation on friction characteristics

Fresh ATFs 1-4 was deteriorated for 72 hours at the conditions described in Table 3. The deteriorated oils are designated as OATFs 1-4, of which total acid numbers were 3.0, 2.5, 1.7, 1.5 mg/KOH, respectively.

Figures 9(a)-(c) show the changes of μ_d , μ_0/μ_d and stop time for OATFs 1-4. Clear differences exist between OATF 1,2 and OATF 3,4.

At the early stages of the runs, the frictional characteristics are almost the same for all the oxidated oils, but the differences between the two groups grow bigger and bigger with increasing cycles. From the fact that in spite of their different degree of oxidation the friction is almost the same at the initial stages of the runs for all the oils, it is clear that deterioration of friction materials is more important than the frictional property of deteriorated ATF.

When TAN was determined after the runs, it decreased from 3.0 to 1.9, from 2.5 to 0.9, from 1.7 to 0.8 and from 1.5 to 1.0mgKOH/g for OATF 1-4, respectively. These results indicate that oxidation products have deteriorated the friction surfaces and consumed during the runs. From the fact that increase in TAN was very little as discussed in Fig.8, the oxidation of oils is considered to be very mild during the runs under the conditions A.

4. CONCLUSIONS

In this paper, in order to extend the understanding of the effect of base oils characteristics on ATF performance, low temperature viscosities, seal compatibility, oxidation stability and SAE No.2 test with several conditions were evaluated and following conclusions are obtained.

- (1) Low temperature properties of ATFs within use of same additives are restricted by those of base oils
- (2) Oxidation Stability of ATF-3 and 4 formulated with Group III and Group IV is better than that of ATF-1 and 2 formulated with Group I and II.
- (3) In SAE No.2 test, frictional characteristics are similar under mild conditions among base oils, but under severe conditions frictional characteristics significantly different between high quality base oils and conventional base oils.
- (4) For the better friction performance of AT, protection of friction surfaces is more important than the property of deteriorated oils themselves.

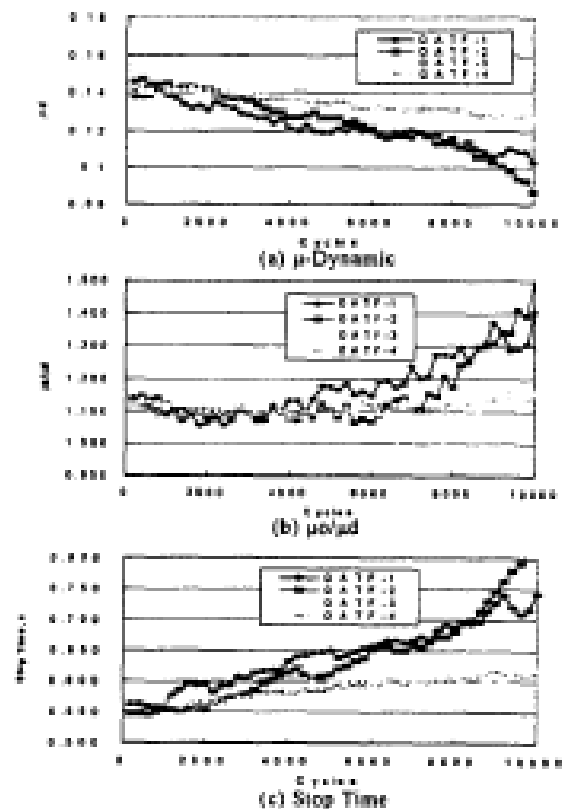


Fig.9 Test results of SAE No.2 of deteriorated ATFs by Condition A

5. REFERENCES

- (1) D. Borden, "Field and Laboratory Evaluations of Automatic Transmission Fluids", SAE Paper 660099.
- (2) C.W. Cornish, "Basestock Requirements of Evolving Automatic Transmission Fluid Specifications", NPRA AM-96-34.
- (3) P.A. Willmet, "The Prediction of ATF Service Life from Laboratory Oxidation Test Data, SAE Paper 801363
- (4) James L. Linden, "A Comparison of Methods for Evaluating Automatic Transmission Fluid Effects on Friction Torque Capacity-A Study by the International Lubricants Standardization and Approval Committee (ILSAC) ATF Subcommittee", SAE Paper 982672.



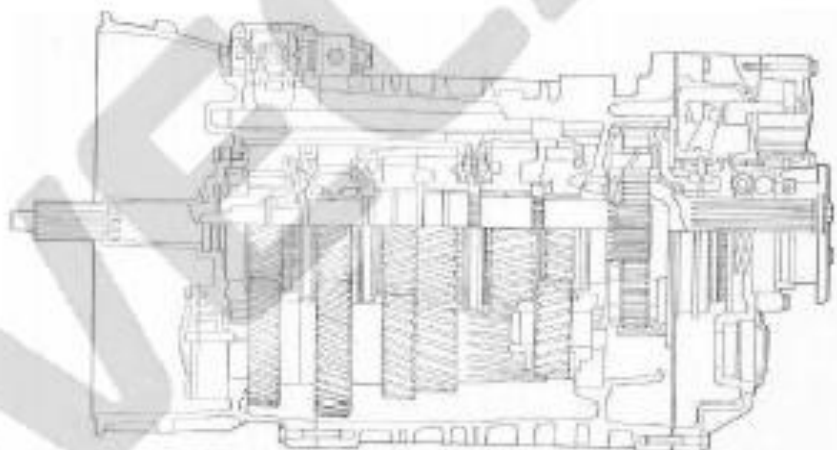
IVECO

**Manual de
Reparaciones**

MR 4 2007-07-31
EuroTech
EuroTrakker
Stralis
Cajas de Cambio ZF



Cajas de Cambio ZF 16 S 221 y ZF 16 S 221 O.D.


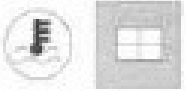





**EuroTech 740E42TZ / 440E42TZ/P
EuroTrakker
Stralis**




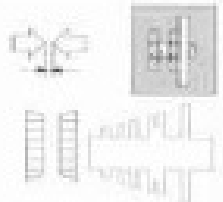
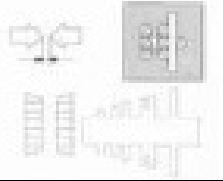



**Descripción de Reparaciones
y Funcionamiento**










Características y datos

		ZF 16 S 221	ZF 16 S 221 O.D.	
	Relaciones de transmisión			
		L	1:16,47	1:13,8
	1ª marcha	R	1:13,79	1:11,55
		L	1:11,32	1:9,59
	2ª marcha	R	1:9,48	1:8,02
		L	1:7,79	1:6,81
	3ª marcha	R	1:6,52	1:5,70
		L	1:5,48	1:4,58
	4ª marcha	R	1:4,58	1:3,84
		L	1:3,59	1:3,01
	5ª marcha	R	1:3,01	1:2,52
		L	1:2,47	1:2,09
	6ª marcha	R	1:2,07	1:1,75
		L	1:1,70	1:1,49
	7ª marcha	R	1:1,42	1:1,24
		L	1:1,20	1:1,00
	8ª marcha	R	1:1,00	1:0,84
	L	1:15,42	1:13,17	
Marcha-atrás	R	1:12,91	1:11,03	
	L - Relación lenta R - Relación rápida			
	Tipo de aceite Cantidad	Tufeta ZC 90 9 kg (10 litros)		
G.R.E. - Grupo Reductor Epicioidal				

		ZF 16 S 221	ZF 16 S 221 O.D.
	Rodamientos de los ejes primario y secundario	De rodillos cónicos	
	Temperatura de montaje de la brida de salida de movimiento	70°C máx.	
	Temperatura de montaje de los engranajes del eje secundario	160 - 180°C	
	Temperatura de montaje de los cubos fijos y de los rodamientos de los ejes primario y secundario	100°C	
	Holgura axial: Rodamiento del eje porta-satélites del G.R.E. Segmento del cubo fijo del G.R.E. Segmento del rodamiento del eje porta-satélites del G.R.E. Segmento del rodamiento del eje secundario	0 - 0,1 mm	
	Holgura axial del engranaje del eje de entrada del movimiento: 1ª, 2ª, 3ª y 4ª marchas	0,2 mm mín.	
	Holgura axial del engranaje de la 4ª marcha	0,05 mm mín.	

G.R.E. = Grupo Reductor Epicicloidal

		ZF 16 S 221	ZF 16 S 221 O.D.
	Holgura axial entre el porta-satélites y los satélites del G.R.E.	0,4 - 1,3 mm	
	Holgura axial de los rodamientos de los ejes primario y secundario del lado de entrada del movimiento	0 - 0,1 mm	
	Holgura axial del segmento del rodamiento trasero del eje primario	0 - 0,05 mm	
	Cota de control del límite de desgaste de los anillos de los sincronizadores: 1ª / 2ª marchas 3ª / 4ª marchas G.R.E.	1,5 mm hasta 50 N (5 kg) 0,8 mm 1,2 mm	
	Holgura axial del engranaje reventador de la marcha-atrás	0,15 - 0,70 mm	
	Holgura axial o pre-carga de los semianillos de los ejes primario y de entrada de movimiento	- 0,05 a + 0,05 mm	
G.R.E. = Grupo Reductor Epicycloidal			

		ZF 16 S 221	ZF 16 S 221 O.D.																
	Cota para la determinación de la arandela de ajuste del cuerpo de acople de engrane del engranaje del rango rápido	$19,2 + 0,2 \text{ mm}$																	
	Espesor de la arandela de resalto (Y) del rodamiento en el engranaje de la 4ª marcha, determinado con base en el espesor de la arandela de ajuste (X) del cuerpo de acople de engrane del engranaje de las marchas rápidas	<table style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <thead> <tr> <th>X</th> <th>Y</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>3,0</td><td>7,5</td></tr> <tr><td>3,2</td><td>7,7</td></tr> <tr><td>3,4</td><td>7,9</td></tr> <tr><td>3,6</td><td>8,1</td></tr> <tr><td>3,8</td><td>8,3</td></tr> <tr><td>4,0</td><td>8,5</td></tr> <tr><td>4,2</td><td>8,7</td></tr> </tbody> </table>		X	Y	3,0	7,5	3,2	7,7	3,4	7,9	3,6	8,1	3,8	8,3	4,0	8,5	4,2	8,7
X	Y																		
3,0	7,5																		
3,2	7,7																		
3,4	7,9																		
3,6	8,1																		
3,8	8,3																		
4,0	8,5																		
4,2	8,7																		
  	Cota de ajuste de la holgura de las pastillas de la horquilla de mando del splitter en el respectivo útil deslizando	$94,1 \text{ mm}$																	
 	Holgura de las pastillas de las horquillas en las respectivas sedes sobre los útiles deslizantes	$1 - 2,5 \text{ mm}$																	
 	Cota de montaje del anillo de compresión de doble ala en la tapa trasera	$12,5 + 1,0$																	
G.R.E. = Grupo Reductor Epicioidal																			

- 7.3.4. Tesis (Estudio de la composición relativa entre un lubricante mineral con lubricantes orgánicos y su influencia en el comportamiento de la densidad y viscosidad a diferente temperatura). -

4.3 EVALUACIÓN DE LA DENSIDAD EN LAS DISTINTAS MEZCLAS

4.3.1 EVALUACIÓN ACEITE DE TRANSMISIÓN AUTOMÁTICA

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA				
Datos informativos:				
Muestra:	ATF	Fecha de realización:	13/11/13	
Lugar de realización:	Laboratorio de físico química e instrumentación –FCIAL			
Realizado por:	Egdo. Alex Jiménez	Autorizado por:	Ing. Mg. Henry Vaca	
Identificación de parámetros				
Norma aplicable:	INEN 810 1986-11			
Instrumento principal:	PICNÓMETRO 25ml			
Resultados				
Determinación de la densidad				
Fórmula aplicable: $\rho = \frac{m}{V}$: Ecuación 2.19				
DENSIDAD ATF				
TEMP.	Masa Picnómetro (g)	Masa pic.+ ATF(g)	Masa ATF (g)	Densidad (g/ml)
40°C	23,934	46,05	22,116	0,885
	23,934	46,049	22,115	0,885
	23,934	46,05	22,116	0,885
	23,934	46,049	22,115	0,885
	23,934	46,049	22,115	0,885
	23,934	46,049	22,115	0,885
PROM.	23,934	46,049	22,115	0,885
DENSIDAD ATF				
TEMP.	Masa Picnómetro (g)	Masa pic.+ ATF(g)	Masa ATF (g)	Densidad(g/ml)
60°C	23,934	45,699	21,765	0,871
	23,934	45,702	21,768	0,871
	23,934	45,701	21,767	0,871
	23,934	45,701	21,767	0,871
	23,934	45,701	21,767	0,871
	23,934	45,701	21,767	0,871
PROM.	23,934	45,701	21,767	0,871

Continúa

<u>Continuación</u>				
DENSIDAD ATF				
TEMP.	Masa Picnómetro (g)	Masa pic.+ ATF(g)	Masa ATF (g)	Densidad(g/ml)
80°C	23,934	45,387	21,453	0,858
	23,934	45,388	21,454	0,858
	23,934	45,388	21,454	0,858
	23,934	45,388	21,454	0,858
	23,934	45,388	21,454	0,858
	23,934	45,388	21,454	0,858
PROM.	23,934	45,388	21,454	0,858
DENSIDAD ATF				
TEMP.	Masa Picnómetro (g)	Masa pic.+ ATF(g)	Masa ATF (g)	Densidad(g/ml)
100°C	23,934	45,062	21,128	0,845
	23,934	45,063	21,129	0,845
	23,934	45,063	21,129	0,845
	23,934	45,063	21,129	0,845
	23,934	45,063	21,129	0,845
	23,934	45,063	21,129	0,845
PROM.	23,934	45,063	21,129	0,845

7.4. Anexos (Resultados y Discusión). –

The screenshot shows an Excel spreadsheet with the following data:

	A	B	C	D	E	F	G	H
13	0,0002	m	0,0001	m				
14	Velocidad (m/s)	42,31						
15		23,51						
16		7,52						
17								
18		Aceites	Viscosidad a 100°C	m²/s	Densidad	Viscosidad dinamica (kg/m*s)		
19	GL-4	75w80	8,21	0,000008210	87000	0,71427		
20		75w90	14,81	0,000014810	86000	1,27366		
21	GL-5	80W90	14,33	0,000014330	886,7	0,012706411		
22		85W140	24,74	0,000024740	900,3	0,022273422		
23	ATF	ATF-1	7,670	0,000007670	902	0,00691834		
24		ATF-2	7,647	0,000007647		0,006897594		
25		ATF-3	7,382	0,000007382		0,006658564		
26		ATF-4	6,836	0,000006836		0,006166072		
27		DEXRON III	7,9	0,000007900		0,0071258		
28		MERCON V	7,4	0,000007400		0,0066748		
29								
30								
31		Viscosidad dinamica (N*s/m²)	Esfuerzo Cortante 4500 rpm					

Autoguardado **Calculo de Resultados.xlsx** SANCHEZ SERRANO DYLLAN NIKOLAI

Archivo **Inicio** Insertar Disposición de página Fórmulas Datos Revisar Vista Ayuda Comentarios Compartir

Pegar Times New Roman 12

Portapapeles Fuente Alineación Número Estilos Celdas Edición Análisis

G17

	A	B	C	D	E	F	G	H
28		MERCON V	7,4	0,00007400		0,0066748		
29								
30								
31		Viscosidad dinamica (N*s/m^2)	Esfuerzo Cortante 4500 rpm					
32		0,71	300402,06	300,40				
33		1,27	537338,89	537,34				
34		0,01271	5377,62	5,38				
35		0,02227	9422,47	9,42				
36		0,00692	2927,86	2,93				
37		0,0069	2919,40	2,92				
38		0,00666	2817,86	2,82				
39		0,00617	2610,54	2,61				
40		0,00713	3016,71	3,02				
41		0,00667	2822,09	2,82				
42		Pa	Kpa					
43								
44								
		Esfuerzo Cortante 2500 rpm		Esfuerzo Cortante 800 rpm				

Hoja1 **Hoja3** Hoja2

Listo Accesibilidad: es necesario investigar 96%

Archivo Inicio Insertar Disposición de página Fórmulas Datos Revisar Vista Ayuda Comentarios Compartir

Times New Roman 12

Portapapeles Fuente Alineación Número Estilos Celdas Edición Análisis

G17

	A	B	C	D	E	F	G	H
40		0,00713	3016,71	3,02				
41		0,00667	2822,09	2,82				
42		Pa	Kpa					
43								
44								
45		Esfuerzo Cortante 2500 rpm		Esfuerzo Cortante 800 rpm				
46		166890,03	166,89	53404,81	53,40			
47		298521,60	298,52	95526,91	95,53			
48		2987,57	2,99	956,02	0,96			
49		5234,71	5,23	1675,11	1,68			
50		1626,59	1,63	520,51	0,52			
51		1621,89	1,62	519,00	0,52			
52		1565,48	1,57	500,95	0,50			
53		1450,30	1,45	464,10	0,46			
54		1675,95	1,68	536,30	0,54			
55		1567,83	1,57	501,70	0,50			
56		Pa	Kpa	Pa	Kpa			
57								
58								

G17

	A	B	C	D	E	F	G	H
58								
59								
60		Esfuerzo Cortante (Kpa)						
61		Aceites	4500 rpm	2500 rpm	800 rpm			
62	GL-4	75w80	300,40	166,89	53,40			
63		75w90	537,34	298,52	95,53			
64	GL-5	80W90	5,38	2,99	0,96			
65		85W140	9,42	5,23	1,68			
66	ATF	ATF-1	2,93	1,63	0,52			
67		ATF-2	2,92	1,62	0,52			
68		ATF-3	2,82	1,57	0,50			
69		ATF-4	2,61	1,45	0,46			
70		DEXRON III	3,02	1,68	0,54			
71		MERCON V	2,82	1,57	0,50			
72								
73								
74								
75								
76								
77								
78								
79								

