

La Importancia del Coeficiente de Fricción

Por Richard Widman

Muchas de las preguntas que recibimos en cursos o por correo electrónico son consultas y preguntas sobre el uso de un determinado aceite en alguna aplicación específica, o sobre el ¿por qué? del requerimiento o la recomendación de un aceite sobre otro en esa aplicación. Aunque a veces la razón es la viscosidad que requiere ese equipo, es más justificable por el coeficiente de fricción específica que requiere ese equipo para minimizar el desgaste y el calor generado, maximizando la vida útil del equipo.

Este es el Boletín #49 de nuestro programa de Boletines Informativos mensuales. Todos los boletines están disponibles en formato Acrobat pdf en www.widman.biz

Las características del aceite

Muchos asumen que el aceite debería ser lo más “resbaloso” posible para evitar desgaste, con el máximo de aditivos posible. Cuando hablamos de evitar fricción entre piezas que estarían en contacto donde no queremos contacto, esto es correcto. El motor es el mejor ejemplo de esto.

Motores: Las piezas metálicas en el motor no deberían tener contacto directo entre si. Queremos mantener una película de aceite, en forma líquida (lubricación hidrodinámica) o sólida (lubricación elastohidrodinámica). Cuando no podemos mantener esa película, como en los cilindros donde usamos anillos para raspar los cilindros y eliminar la película de aceite antes de la combustión, nos quedamos con la protección de aditivos polares anti-desgaste (zinc, fósforo, molibdeno, etc.) para proveer una lubricación límite. En otros términos, queremos el mínimo de fricción, con el aceite más “resbaladizo” y resistente posible.

Transmisiones automáticas, equipo pesado o tractores agrícolas con discos de embragues o frenos sumergidos en el aceite: Estos equipos necesitan el máximo de lubricación en la mayoría de sus piezas, pero requieren que el aceite tenga una característica especial cuando la diferencia de velocidad entre los embragues o discos se acerca al cero. En ese momento, necesitamos que se deje trabajar como lubricante y actúe casi como pegamento, evitando el resbalamiento o patinado de los discos. Si utilizamos un aceite de motor o un aceite “súper-resbaloso” en estos equipos, los discos quedarán patinando, gastándose y calentándose. Cada material utilizado y cada ángulo o canal de drenaje o agarre requiere un coeficiente de fricción diferente. Cada uno está diseñado para un torque (par) específico a un diferencial de velocidad específica. El objetivo aquí es encontrar una combinación de aceite, materiales y diseño que puede frenar discos que están moviendo a 70 metros por segundo sin destrozarse ni afectar el mecanismo o incomodar a los pasajeros. El próximo mes hablaremos en detalle de las transmisiones automáticas, su funcionamiento y su cuidado.



Transmisiones manuales de autos y camiones: Estas transmisiones normalmente llevan mayor carga y no requieren tanta compatibilidad de materiales para frenar tan suavemente como la transmisión automática, pero tienen sus sincronizadores que deben frenar para enganchar sin daños. Aceites que no se desplazan, sea por viscosidad o aditivos, causan cambios bruscos y alto desgaste de los puntos, dientes o ralladuras del sincronizador, eventualmente evitando su llegada al otro disco para frenarlo. El sincronizador



de esta foto que tiene tanto desgaste que topa contra el engranaje antes de frenar en el cono del engranaje, evitando su frenado y sincronización.

El detalle no es obvio

Cuando movemos la palanca para hacer un cambio en la transmisión manual, el anillo sincronizador resbala sobre su eje hacia su contraparte, apretándolo y forzándolo a desplazar el lubricante de su lugar. Entre más viscoso el aceite, más tarda en salir, causando mayor fuerza en la palanca y mayor desgaste de los puntos del sincronizador. Por esto no se recomienda aceites SAE 140, SAE 85W-140 u otros aceites viscosos en autos y camionetas. Solamente en ciertos camiones con sincronizadores grandes.

En esta foto podemos ver el desgaste y daño de los engranajes de enganche del sincronizador.



Una vez que el lubricante ha sido expulsado y se queda con lubricación límite, las características de los aditivos anti-desgaste o extrema presión determinan cuanto más tardará la sincronización y cuán suave será. Si tarda mucho, se gastarán los puntos que están entrando en contacto y se romperán los puntos de enganche. Si el aceite es muy resbaloso, como un GL-5, este proceso será más lento, causando mayor desgaste. Si el aceite tiene un bajo coeficiente de fricción en el momento de poca diferencia en velocidad, el enlace y enganche será casi instantáneo.

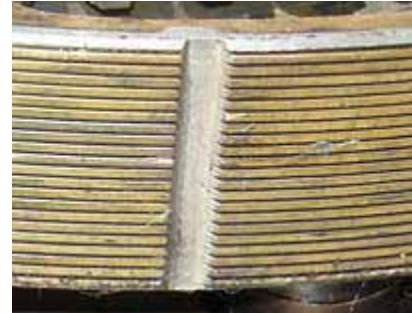
En la próxima foto podemos ver el desgaste de los puntos (o dientes) de bronce y sus impresiones en el acero. Este ya no logra frenar el engranaje para sincronizar.



También podemos ver en estas fotos que ésta transmisión estaba con un aceite GL-5 con un paquete de aditivos EP de azufre/fósforo. Esto produjo un cambio químico en la superficie, pelando el bronce cuando la fuerza aplicada superó su resistencia de película. Las partes donde se mantiene el azufre/fósforo continúan negras. Donde se peló se ve el color natural del bronce.

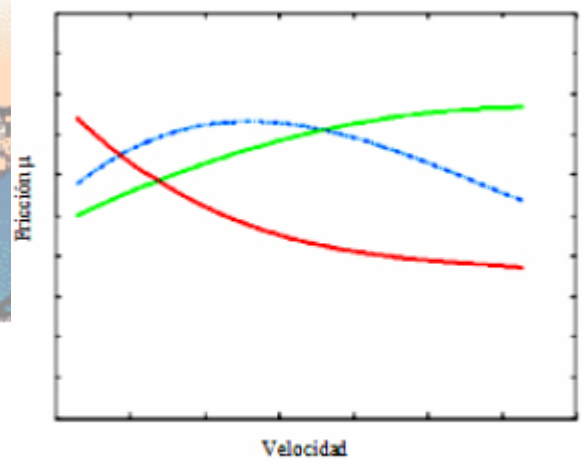


En la foto a la derecha podemos ver el desgaste de un sincronizador de cerca. Ya no tiene sus ralladuras o dientes de agarre. Solo puede patinar y calentarse. Al operar esta transmisión con tanto desgaste, se calentó y destrozó varias piezas.



Diseño del coeficiente de fricción

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. En el siguiente gráfico podemos ver las curvas de coeficiente de fricción de 3 aceites diseñados para propósitos muy diferentes. Mientras uno reduce su fricción con la velocidad, otro aumenta y otro empieza a aumentar y después cae. Así, con diferentes combinaciones de aditivos, pueden modificar el coeficiente de fricción de acuerdo a los materiales y ángulos de los dientes y canales de drenaje de los sincronizadores para mejorar su comportamiento. Esto es particularmente importante en los frenos mojados y transmisiones automáticas.



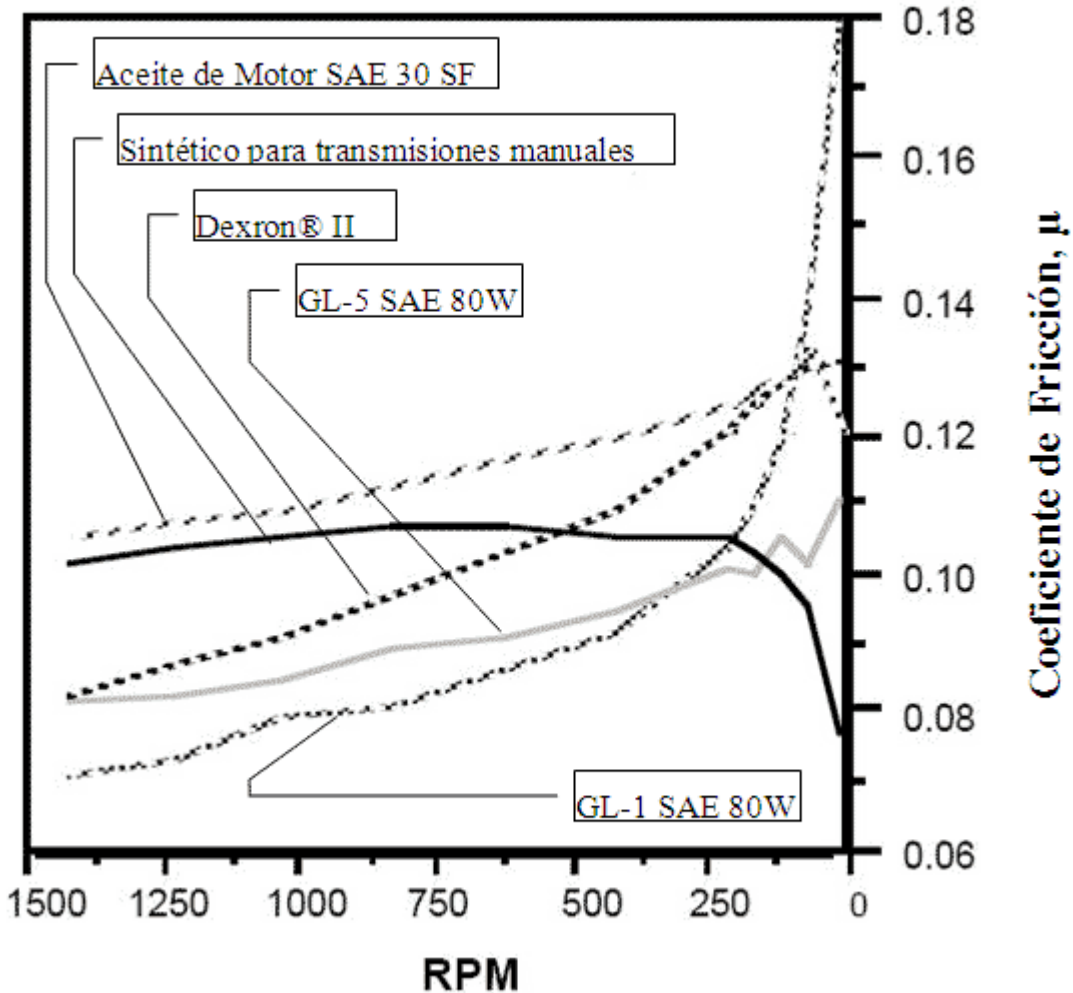
Curvas de fricción de tres aceites

Basado en estas técnicas de modificar las características de fricción se está desarrollando transmisiones de cambio continuo, utilizando bolas de diferentes tamaños en lugar de engranajes y aceites que logran hacer tracción entre ellas para pasar el torque variable con 100% de eficiencia. Aceites que lubrican o hacen tracción, todo de acuerdo a las diferencias en superficies y velocidades.

Podemos notar en el próximo Gráfico como se comportan varios aceites cuando la relación entre las velocidades se acerca a cero (coeficiente de fricción dinámico). Lo que necesitamos en la transmisión manual es un aceite cuyo coeficiente de fricción cae dramáticamente al acercarse a cero diferencia de velocidad entre las dos partes del sincronizador.

Este problema del coeficiente de fricción puede ser variable o constante, resbalando y agarrando, causando más desgaste todavía. Esto es el caso del GL-5, donde hay mucha variación en este coeficiente por el azufre/fósforo, su desplazamiento y su adherencia.

Gráfico 2



La combinación del efecto del azufre/fósforo en el bronce y su comportamiento en suavizar el enganche del sincronizador ha llevado a la mayoría de los fabricantes a no recomendar aceites GL-5 en la transmisión, donde además del sincronizador, no se aplica tanta fuerza como la que recibe la corona y el eje de fuerza.

Note en el gráfico que en altas revoluciones, el aceite de motor es el más resbaloso, (coeficiente de fricción estático) con el mayor coeficiente de fricción (menos calor y pérdida de energía). Esta es una de las razones por las que muchas marcas recomiendan aceite de motor en la transmisión manual. Diseñan sus transmisiones con sincronizadores que pueden cortar la película de protección del aceite de motor con sus aditivos polares y frenar los discos. Es más fácil cortar la película de aditivos polares anti-desgastes que la película química de azufre/fósforo.

Los problemas con aceites de motor en la transmisión son dos:

1. **Estabilidad de viscosidad:** Los polímeros tradicionalmente utilizados en gran cantidad en aceites de motor son “molidos” entre los engranajes, reduciendo la viscosidad actual dentro de unos 8000 kilómetros. Esto no es un problema con buenos aceites sintéticos (libre de polímeros), o monogrados de base API grupo II (libre de polímeros). Un aceite multigrado SAE 15W-40 API Grupo II o sintetizado utiliza de

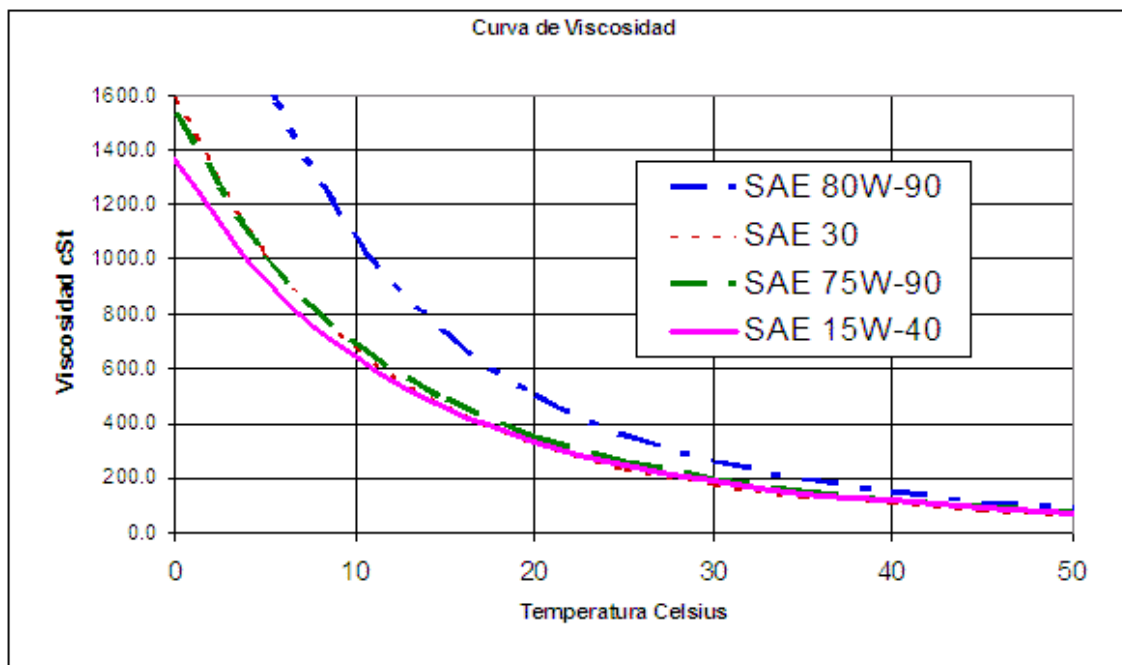
30 a 50% de los polímeros que utiliza el del Grupo I, por ende resiste más sin cizallamiento.

2. **Coefficiente de fricción en los sincronizadores:** Por lo que pueden ver en el gráfico 1, la curva de coeficiente de fricción del aceite de motor continúa en subida hasta el final. Esto causa cierto patinado del sincronizador, su calentamiento y posibles daños.

La pregunta más común cuando recomendamos aceite de motor en la caja es sobre el efecto de desgaste en los engranajes en condiciones de extrema presión. La verdad es que la transmisión no tiene presiones extremas. Mientras buscamos alta protección en el diferencial (corona) que tiene extremas presiones por sus ángulos y torque, usando la protección de un aceite API GL-5 que provee entre 45 y 75 libras de protección en prueba Timken®, un buen aceite de motor usado en la transmisión provee entre 45 y 48 libras de protección en esta prueba. Esto es suficiente para las presiones en la transmisión.

Podemos ver en el gráfico 3 que el SAE 80W-90 es muy viscoso para estas transmisiones, mientras el SAE 30 empieza un poco más viscoso a 0° C y es un poco delgado cuando su temperatura esta sobre 40° C cuando lo comparamos con el SAE 75W-90. El SAE 15W-40 tiene menos viscosidad en frío y más viscosidad en calor. **¡Pero cuidado con los polímeros!**

Gráfico 3

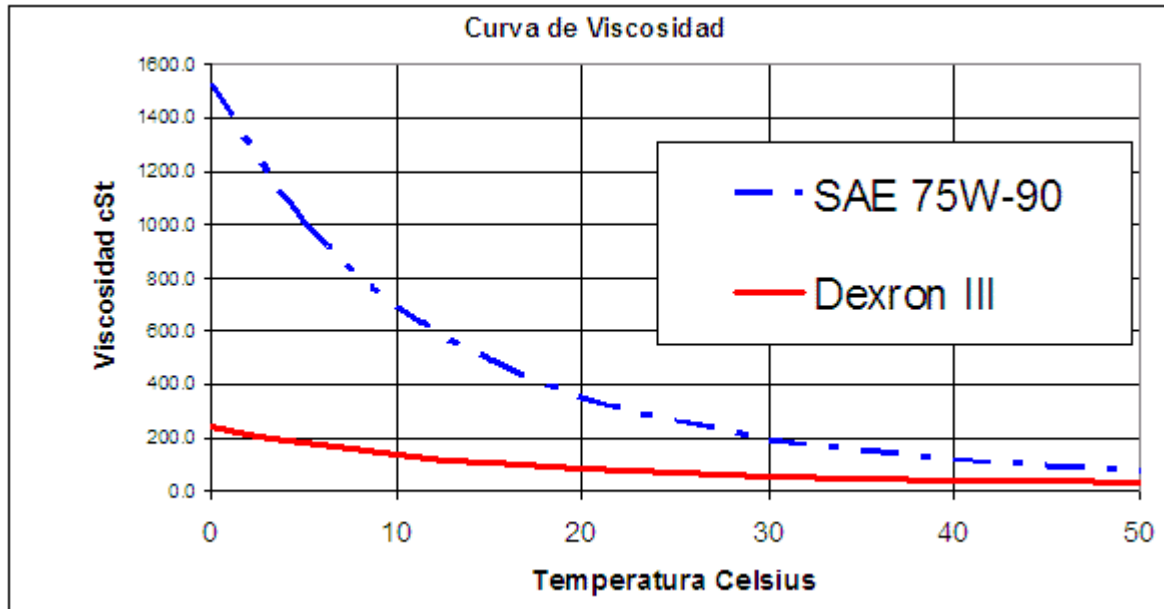


¿Por qué existen recomendaciones del uso de ATF en la transmisión manual?

Pueden ver del gráfico 2 que el ATF (Fluido para Transmisiones Automáticas) es el único aceite después del aceite especial para transmisiones manuales que actualmente pierde su coeficiente de fricción dinámico en los momentos de contacto.

Pero los aceites ATF (comúnmente llamados aceites rojos) tienen menos viscosidad. No podemos usarlos en transmisiones diseñadas para aceites más viscosos, ni aceites comunes en transmisiones diseñados para ATF.

Gráfico 4



Un aceite viscoso como el SAE 75W-90, SAE 80W-90 o algo más grueso todavía, usado en estas transmisiones no se desplazará, causando alto desgaste. Estas son transmisiones diseñadas por los ingenieros para trabajar con un aceite de esta viscosidad.

Se complica cuando el diseño del tren de impulsión combina el diferencial con la transmisión, lo que frecuentemente se llama “caja/corona integral”. Esto es típico en los autos con motores transversales. Cuando existe un solo compartimiento que tiene que liderar con el torque del diferencial y la sincronización de los engranajes, la fábrica busca el mejor producto para cumplir con ambos trabajos, diseñando sus sincronizadores para poder desplazar el aceite y cortar la película de los aditivos anti-desgaste o extrema presión para frenar los discos de sincronización, o aumentando las superficies de contacto para distribuir la carga a mayor área.

La recomendación del ATF Tipo A

Aunque fue declarado obsoleto en el año 1969, todavía llegan camiones y autos donde el manual recomienda ATF Tipo A. El problema con esta recomendación es que el aceite ATF Tipo A **no tiene una especificación clara**. Existen marcas que producen un producto con un índice de viscosidad relativamente alto (140) y marcas que lo producen con un índice de viscosidad muy bajo de 50. Existen marcas que adicionan aditivos AW (anti-desgaste), pero la mayoría no tienen ningún aditivo AW. Así que las fábricas que quieren considerarlo prueban el Tipo A de una buena marca y encuentran que da buenos resultados. Pero no prueban todas las marcas. **En general, todos los aceites ATF Tipo A que llegan a nuestros países son de baja calidad**, sin aditivos anti-desgaste, con bajo índice de viscosidad. Esto causa una caída rápida de viscosidad con el calor, espesamiento del aceite en frío y alto desgaste de los cojinetes dentro de la transmisión. Poco a poco todas estas recomendaciones son actualizadas para reconocer esta realidad. Pero el hecho de que algún catálogo o varilla indica aceite Tipo A no quiere decir que es correcto. Casi todas las recomendaciones de Tipo A y Dexron® II han sido reemplazados por la recomendación de Dexron® III. Algunas excepciones son para recomendar el uso de Mercon® V, ATF+4, u otros aceites sintéticos de mejor coeficiente de fricción dinámica.

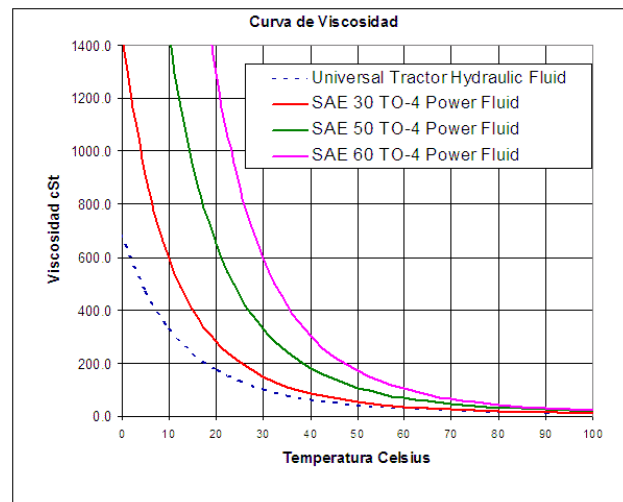
Frenos mojados de equipo pesado y tractores agrícolas

En el año 1938 se determinó que los equipos con mucha carga dinámica (inercia) y poca circulación de aire (por poca velocidad relativa) podrían ser frenados mejor si los frenos fueran enfriados con aceite. A partir de este descubrimiento hemos experimentado 69 años de mejoras en sistemas de frenos sumergidos en aceite. Además de mejoras en aceites, éstas han sido en materiales de fricción, canales de drenaje para evitar la formación de barniz o entrapamiento de aceite entre los discos. Estos materiales son mejorados constantemente para resistir la descomposición por el tipo de aceite aplicado y el agua que entra como contaminante. Pero su porosidad y sus canales de drenaje solo funcionan correctamente con el aceite correcto. Las superficies son diseñadas para aceites con ciertas características.

En los últimos meses he encontrado equipo agrícola con aceite GL-5 SAE 85W-140, aceite de motor, y aceite hidráulico ISO 68. ¿Cuál es el problema con estos productos?

- Aceite SAE 85W-140 tiene 7 veces más que la viscosidad correcta. No puede desplazarse de los discos, ni circular como debe en el sistema hidráulico. Tampoco tiene bastante anti-espumante para una circulación tan rápida como la que se encuentra en el sistema hidráulico del tractor.
- Aceite GL-5 normalmente tiene azufre/fósforo que no es compatible con los materiales de los discos. Forma una superficie EP química sobre el disco de acero, evitando que los discos de fibras especiales puedan tomarse. Además, el azufre/fósforo forma su capa química sobre las superficies de las válvulas y superficies de las bombas. Reduce la eficiencia térmica de los materiales diseñados para disipar el calor generado. Tiene aditivos para decantar el agua, permitiendo que se forme burbujas que son llevadas a los discos y las válvulas, causando cavitación, pitting y desgaste. Tampoco tiene aditivos modificadores de fricción.
- Aceite de motor es muy resbaladizo, demorando el frenado y sonando con un chillido. En muchos casos es muy viscoso. No tiene los aditivos necesarios para modificar el coeficiente de fricción.
- Aceite hidráulico ISO 68. Este aceite tiene la viscosidad correcta para la mayoría de los tractores agrícolas en clima normal, pero no tiene los aditivos para permitir su deslizamiento suave sobre el disco de frenos (causando el chillido), ni los aditivos correctos para mantener el sistema (discos, válvulas, etc.) libre de barniz. Tiene aditivos para decantar el agua, permitiendo que se forme burbujas que son llevados a los discos y las válvulas, causando cavitación, pitting y desgaste. No tiene bastante aditivos anti-desgaste para proteger los engranajes de las transmisiones y diferenciales o mandos finales.
- Ninguno de estos aceites tienen los aditivos necesarios para mantener flexibilidad y evitar excesiva expansión o contracción de los materiales de fricción en los discos o los retenes.
- Ninguno de estos aceites tiene la compatibilidad necesaria para la porosidad del material de los frenos, evitando su penetración, lubricación y frenado correcto sin calentarse y quemarse.

Basado en esta información, me preguntan entonces por qué no pueden usar el mismo aceite en el equipo pesado. En algunos casos esto es posible, aunque no es certificado para este uso. Normalmente la diferencia más grande está en la viscosidad. Pueden ver las diferencias en viscosidades en esta gráfica. El “AMERICAN Universal Tractor Hydraulic Fluid” o aceite tipo “TDH” diseñado y comprobado para tractores agrícolas, tiene mucho menos viscosidad que el SAE 30 TO-4, y aditivos levemente diferentes para los paquetes de embragues presentes en las transmisiones de equipo pesado. El equipo pesado tiene mucho más peso para arrancar y frenar que un tractor agrícola, por ende es diseñado con diferentes coeficientes de fricción.



Aditivos

Todos estos aceites para tractores no son iguales. Un tiempo atrás compramos aceites para el sistema de transmisión, diferencial e hidráulico de varias marcas para ver por qué unos reducían el desgaste y los sonidos mucho más que los otros. El problema en Bolivia era desgaste serio de embragues, frenos y engranajes de los tractores. Algunas marcas de tractores habían bajado sus garantías para compensar por el alto desgaste.

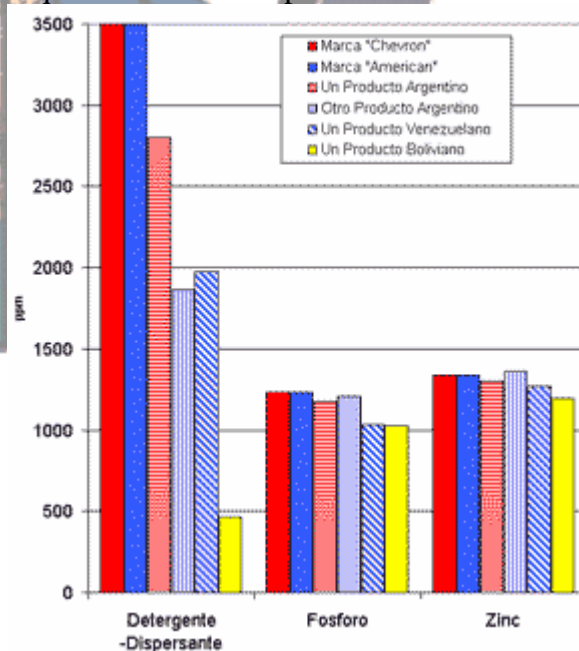
Encontramos que habían aceites vendidos para tractores agrícolas que no cumplían con las especificaciones más importantes de las diferentes marcas, mientras otros aceites proveían 70% menos desgaste que lo permitido.

Notamos que los dos que daban el mejor resultado tenían 7 veces más detergente que el más barato y casi el doble de varios otros productos.

Los modificadores de fricción no aparecen en estas pruebas por no ser aditivos organometálicos.

Aquí es importante notar que:

- El Detergente/Dispersante actúa no solo para limpiar el sistema, sino para absorber cierta cantidad de humedad y continuar protegiendo. La falta de este aditivo (Calcio o Magnesio) permite que se decante el agua y luego “chuparla” en burbujas grandes causando cavitación.
- El zinc y el fósforo actúan en conjunto en forma polar para evitar desgaste directo en cojinetes, rodamientos, engranajes, paletas y carcasa de la bomba.



- Los aditivos modificadores de fricción, por no ser organometálicos, no se muestran en este análisis, pero son críticos para el comportamiento correcto de los frenos y embragues.

El uso de aceite de motor en transmisiones/mandos finales de equipo pesado

16 años atrás las compañías Komatsu® y CAT® determinaron en estudios de la determinación de la causa-raíz de fallas o vida corta en sus transmisiones y frenos que aceites de motor, clasificados como TO-2 por CAT® para el uso en transmisiones realmente no tenían las características de fricción necesarias para garantizar una larga vida útil sin reparaciones y cambios de embragues y frenos antes de tiempo. Ambos fabricantes desarrollaron nuevas pruebas y aceites para introducir el concepto de fricción modificada a sus transmisiones y aumentar la vida útil y la satisfacción de sus clientes.

Encontramos alarmante el hecho de que hay empresas en Bolivia lanzando aceites Brasileños SAE 50 para estos equipos que no cumplen con las especificaciones CAT® TO-4 SAE 50 o Komatsu® TO50. Dicen que “*da lo mismo*”, pero sabemos que dentro de 6000 horas de trabajo estarán reparando sus transmisiones. Engañan a los que solamente leen el SAE 50, sin fijarse que requiere el cumplimiento de CAT® TO-4.

Resumen

Cuando llega el momento de cambiar el aceite de su transmisión, revise bien lo que dice el manual que llegó con el vehículo o equipo. Si no tiene el manual, busque a alguien que lo tiene o el concesionario. **Hoy en día muchos de los manuales pueden ser descargados del Internet.** Cada día termino bajando el manual de algún auto para ver sus recomendaciones correctas.

Investigue las mejoras en la ciencia de tribología. Es muy probable que los aceites de hoy sobrepasen lo que pidió el fabricante del equipo cuando era nuevo, proveyendo mayor protección y una extensión de la vida útil de la transmisión. Cuando inventan un nuevo aceite, es imposible ir para atrás y redistribuir los manuales a los dueños con la información actualizada.

No se deje engañar. Los empleados de muchas estaciones de servicio y talleres de cambio de aceite no tienen ninguna idea del aceite correcto para su transmisión. No le dan importancia al aprendizaje y actualización técnica y mucho menos a los descubrimientos en tribología.

Frecuentemente ni salieron del colegio. **¿Será que pasan sus noches estudiando aceites y actualizaciones de la ingeniería y tribología?**

Cuando alguien dice “da lo mismo”, o “cumple”, lea la ficha técnica. Una cosa es que el vendedor diga. Otra es que el fabricante de esa marca de aceite lo diga por escrito.

Vea las diferencias. El comportamiento y el desgaste de la transmisión dependen de los aditivos específicos y la calidad del aceite básico. **Puede ser que todo parezca “normal”, pero los daños se acumulan hasta un punto catastrófico.**

Widman International SRL contribuye a la capacitación de los ingenieros y usuarios en Bolivia para mejorar su competitividad. Para mayores informaciones prácticas, visite nuestra página Web: www.widman.biz

Si usted conoce a otra persona que está interesada en recibir estos boletines, favor responder al scz@widman.biz recibir estos boletines mensualmente, favor responder al scz@widman.biz con “**remover**” en el asunto.

La información de este boletín técnico, es de única y completa propiedad de Widman International S.R.L. Su reproducción solo será permitida a través de una solicitud a scz@widman.biz no permitiendo que esta altere sus características ni su totalidad.