

BOLETÍN TÉCNICO

IMPACTOS DE LA FILTRACIÓN EN EL RENDIMIENTO DE NUEVOS LUBRICANTES.

Antecedentes

Está bien establecido que garantizar la limpieza del lubricante y evitar la contaminación del lubricante es esencial para maximizar la vida útil del equipo. Las partículas abrasivas en los lubricantes reducen la vida útil de los componentes del equipo y, en el peor de los casos, pueden provocar fallas repentinas en el equipo, lo que resulta en un tiempo de inactividad no planificado y posibles problemas de seguridad.

A medida que aumenta la prevalencia de las estrategias de mantenimiento predictivo y proactivo, cada vez más operadores de equipos toman medidas para garantizar la limpieza de sus lubricantes. Establecer un estándar de limpieza para los nuevos lubricantes y realizar pruebas es el primer paso. Muchos descubren que sus nuevos lubricantes no pueden satisfacer las estrictas necesidades de limpieza de los equipos con altas presiones y tolerancias estrictas de la máquina. Por lo tanto, la filtración de lubricantes ha ganado popularidad. El método más común empleado para garantizar que se alcancen los objetivos de limpieza tanto para los lubricantes nuevos como para los que están en servicio es la filtración in situ. Identificar los parámetros de filtración que permitan que todos los equipos cumplan con las especificaciones de limpieza, sin un tiempo de proceso excesivo y sin dañar el lubricante puede ser una tarea desafiante. Este documento técnico describirá dos puntos de observación al abordar la filtración: formación de espuma y demulsibilidad.

Antes de entrar en detalles, un poco de información sobre las formulaciones de lubricantes terminados ayudará a preparar la mesa. Los lubricantes terminados contienen una variedad de aditivos en una amplia gama de tamaños. Los aditivos existen tanto disueltos como dispersos en el aceite.

Por lo general, los aditivos que están completamente solubilizados en el aceite variarán en tamaño desde menos de 1 μm hasta el rango de tamaño de 5 a 10 μm . Los que existen como dispersiones de sólidos o semisólidos también se encuentran principalmente en el rango de 1 μm a 10 μm . Sin embargo, los aditivos dispersos están presentes en tamaños superiores a 14 μm en cantidades significativas y pueden incluso superar los 20 μm [1, 2, 3, 4]. Esto se complica aún más por la temperatura. La solubilidad del aceite base aumenta con



temperatura, disolviendo temporalmente algunos de los aditivos no solubilizados. Sin embargo, el aumento de la temperatura también hace que algunas de las moléculas grandes y disueltas aumenten aún más de tamaño [5]. A medida que el lubricante se enfría, el aditivo temporalmente disuelto se precipita fuera del aceite y regresa a una dispersión.

Estos comportamientos de formulación de lubricantes son únicos para el lubricante específico. En los que la presencia de humedad u otros contaminantes puede crear más dificultades para una filtración segura y eficaz. Cuando los aditivos ácidos y básicos interactúan con contaminantes, puede ocurrir una reacción de neutralización formando una sal y agua. Los subproductos de la reacción de neutralización pueden aglomerarse y volverse susceptibles de ser eliminados por filtración.

Sin embargo, los componentes ácidos y básicos no son la única área de preocupación. Algunos aditivos, por ejemplo, los EP borados, pueden reaccionar con el agua para formar aglomerados y/o geles que luego pueden sedimentarse fuera del fluido o eliminarse por filtración.

Además, no son solo las dimensiones físicas de los aditivos las que pueden resultar en la eliminación por filtración. Los surfactantes son aditivos que son activos en un límite líquido-líquido, líquido-gas o líquido-sólido.

Los dispersantes, los inhibidores de espuma, los desemulsificantes y los inhibidores de corrosión son todos tensioactivos. Algunos tensioactivos, como los dispersantes, son moléculas con un extremo polar y otro no polar. En el caso de los dispersantes, el extremo polar de las moléculas se une a los contaminantes. Una vez que el contaminante está rodeado

por moléculas dispersantes puede permanecer en solución hasta que sea transportado al filtro y eliminado. Los inhibidores de espuma, por otro lado, no tienen un extremo no polar para mantenerlos en solución con el fluido a granel y, de hecho, tienen una mayor afinidad por los medios filtrantes que el lubricante a granel. Como resultado de su afinidad por los elementos del filtro, los inhibidores de espuma pueden eliminarse "pegándose" a los elementos del filtro incluso cuando la malla del filtro es mucho más grande que las gotas del inhibidor de espuma.

Tendencia y estabilidad de la espuma Un

aspecto crucial cuando se filtran lubricantes es el rendimiento de la espuma en términos de tendencia y estabilidad. La norma ASTM D892 proporciona un medio para evaluar las características de formación de espuma de los aceites lubricantes [6]. Se pasa aire a través de una piedra difusora en una muestra de aceite durante cinco minutos a temperatura controlada. Después de transcurridos cinco minutos, el volumen de espuma se registra en mililitros como la tendencia a la formación de espuma del aceite. Luego se deja reposar el aceite durante diez minutos. Al cabo de diez minutos el

el volumen restante de espuma se registra como la estabilidad de la espuma. La norma ASTM D892 prescribe una secuencia de tres mediciones.

El primer ensayo, la Secuencia I, se lleva a cabo a $24 \pm 0,5$ °C. Una segunda muestra, la Secuencia II, se analiza a $93,5 \pm 0,5$ °C. Para la tercera prueba, Secuencia III, la segunda muestra se vuelve a analizar a $24 \pm 0,5$ °C.

Los impactos de la filtración sobre el inhibidor de espuma se han estudiado ampliamente. Ya en 1987, TV Friesen investigó informes de fluidos hidráulicos para tractores que cumplieran con las especificaciones de rendimiento de espuma de ASTM en la producción, pero luego fallaron las pruebas de espuma después de 50 horas de funcionamiento. El estudio reveló una relación entre la filtración y el rendimiento de la espuma. Se descubrió que el fluido hidráulico del tractor circulaba a través de un filtro de papel de 25 µm durante un máximo de 93 horas y cumplía satisfactoriamente con las especificaciones de la espuma. Sin embargo, la adición de un filtro sintético de 7 µm dio como resultado un fuerte aumento en la formación de espuma y el incumplimiento de las especificaciones después de solo 24 horas de filtración [7].

Las pruebas posteriores con una selección de filtros encontraron que la pérdida en el rendimiento de la espuma se acentuaba al disminuir el tamaño de los poros del filtro y los medios filtrantes sintéticos. Finalmente, se determinó que el aumento de la formación de espuma no era específico del fluido; tres fluidos ampliamente utilizados fueron probados en condiciones idénticas. Todos los fluidos mostraron

aumentos drásticos en la tendencia a la formación de espuma y la estabilidad de la espuma, y el análisis de los filtros indicó que el aumento en la tendencia y la estabilidad de la espuma era probablemente el resultado de la eliminación del inhibidor de espuma [7].

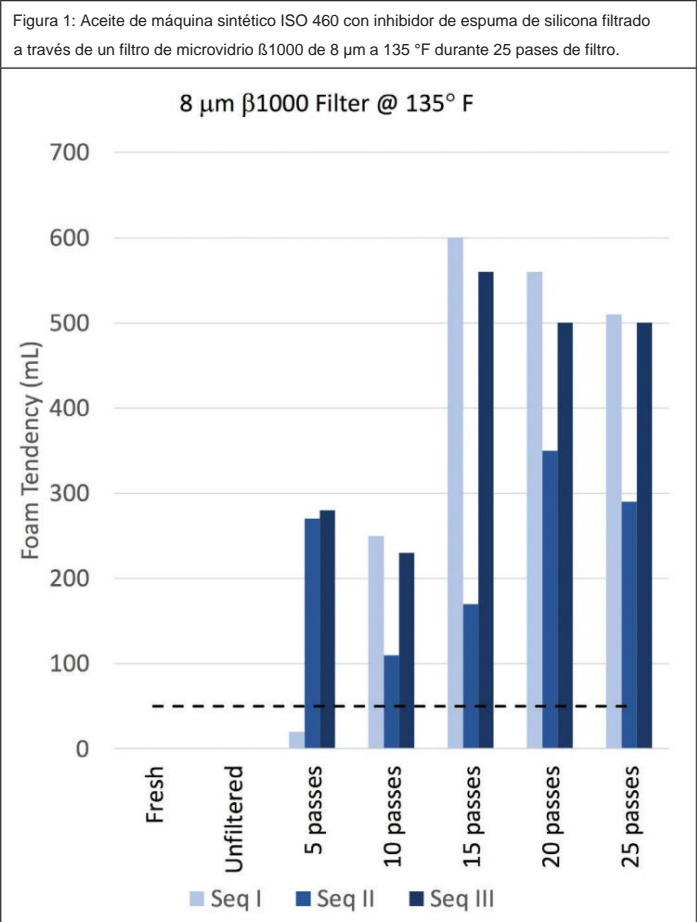
Esfuerzos para sobretratar el fluido con la esperanza de que quede suficiente silicona en el fluido, después del filtrado, para cumplir con las especificaciones de formación de espuma.

resultó fallido. Dos fluidos, uno con 10 ppm de silicona y el otro con 3000 ppm de silicona, se filtraron con un filtro sintético de 7 µm durante 24 horas. Ambos fluidos inicialmente cumplían con las especificaciones de formación de espuma. Sin embargo, después de la filtración, ninguno de los fluidos lo hizo. El estudio de Friesen de 1987 concluyó que no se debe esperar que los fluidos en uso cumplan con las nuevas especificaciones de espuma fluida y que las especificaciones deben anticipar la pérdida de rendimiento.

El problema de filtrar el antiespumante salió a la luz por primera vez con el uso de inhibidores de espuma de silicona en las formulaciones de lubricantes. Desde entonces, otras químicas inhibidoras de espuma se han vuelto más comunes en el mercado (por ejemplo, los poliacrílatos) y pueden ser más estables en los lubricantes terminados, ya que se dispersan más finamente en el aceite. Sin embargo, siguen siendo vulnerables a la eliminación por filtración.

A continuación se presentan tres ejemplos más de los impactos de la filtración en el rendimiento de la espuma de los lubricantes terminados:

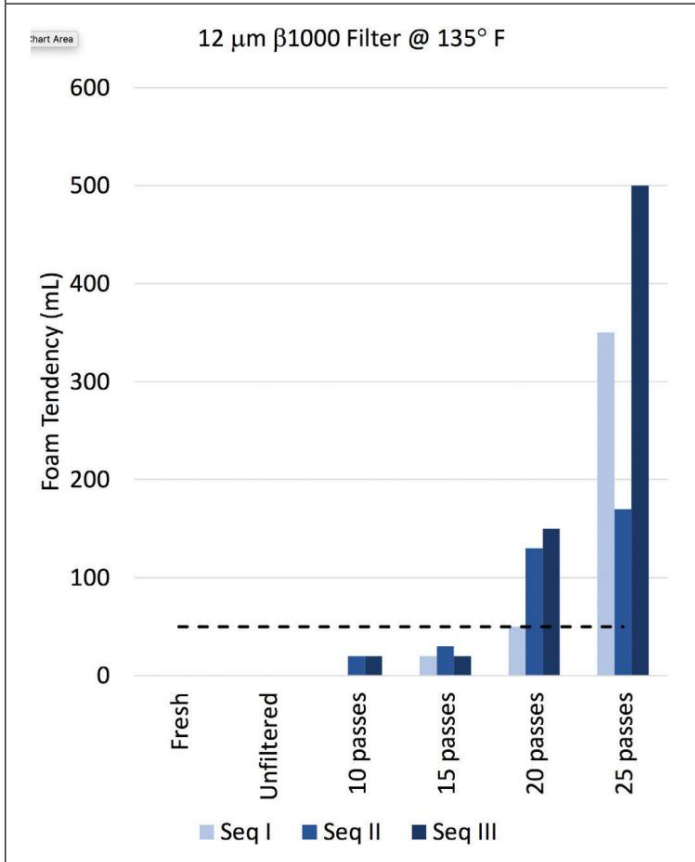
Primero, se filtró un aceite de máquina sintético ISO 460 con un inhibidor de espuma de silicona y un requisito de tendencia a la formación de espuma de ASTM D892 [6] de 50 ml o menos a través de un filtro de microvidrio β1000 de 8 µm a 135 °F durante 25 pases de filtro, donde el paso del filtro describe la cantidad de flujo requerida para que el volumen total de aceite en el equipo pase a través del filtro una vez (Figura 1).



El fluido nuevo tal como se recibió (fresco) cumple con la especificación de espuma con 0 ml de tendencia a la formación de espuma. Una muestra tomada del equipo en el arranque (sin filtrar) continúa cumpliendo con los requisitos de espuma. Dentro de 5 pases de filtro, la espuma Seq II y Seq III es más de 5 veces el límite de 50 mL y cuando el fluido ha pasado a través del filtro 25 veces, hay casi 500 mL de tendencia a la formación de espuma.

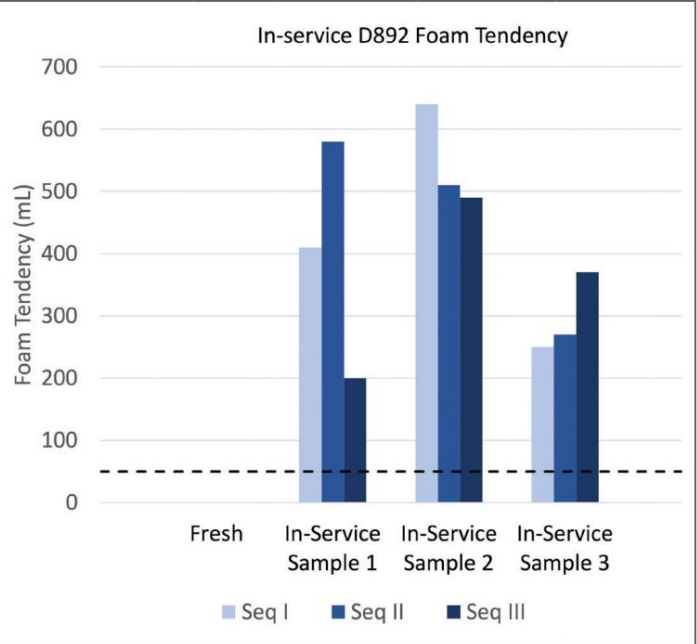
La prueba se repitió con un filtro de microvidrio β 1000 de 12 μ m a 135 °F (Figura 2). Recuerde que el inhibidor de espuma puede eliminarse de los lubricantes terminados incluso cuando es lo suficientemente pequeño como para "pasar a través" de la malla del filtro, y tenga en cuenta que el filtro más grande ralentizó, pero no evitó, la pérdida del rendimiento de formación de espuma. Cuando el fluido alcanza las 25 pasadas del filtro, los resultados de las tendencias de espuma D892 de 12 y 8 μ m son igualmente inaceptables.

Figura 2: Aceite de máquina sintético ISO 460 con inhibidor de espuma de silicona filtrado a través de un filtro de microvidrio β 1000 de 12 μ m a 135 °F durante 25 pases de filtro.



El siguiente ejemplo es donde se observó una formación excesiva de espuma en la mirilla de una caja de engranajes en una gran planta petroquímica. El operador de la planta drenó, limpió y rellenó la caja de engranajes con aceite para engranajes ISO 220 sintético fresco que empleaba múltiples tecnologías inhibidoras de espuma. Sin embargo, después de varios meses de funcionamiento sin espuma, el problema volvió. Las investigaciones causales iniciales se centraron en identificar y eliminar las posibles causas de la formación de espuma en el lubricante, incluida la contaminación, el llenado excesivo o insuficiente, etc. La unidad se puso fuera de servicio, se limpió y se rellenó tres veces en el transcurso de dos años. Cada vez que el problema volvió (Figura 3).

Figura 3: Tendencia de espuma según la norma ASTM D892 para un aceite para engranajes sintético ISO 220 en servicio con múltiples compuestos químicos inhibidores de espuma que se filtró a través de un filtro absoluto integrado de 10 μ m.



Secuencia de espuma I-III, D892	Nuevo	En servicio Muestra 1	En servicio Muestra 2	En servicio Muestra 3
Seq I (Tendencia, mL)	0	410	640	250
Seq II (Tendencia, mL)	0	580	510	270
Seq III (Tendencia, mL)	0	200	490	370

Durante la última investigación causal, se observó que el aceite parecía especialmente limpio para una caja de engranajes en servicio con una limpieza ISO 4406 [8] de 15/13/10.

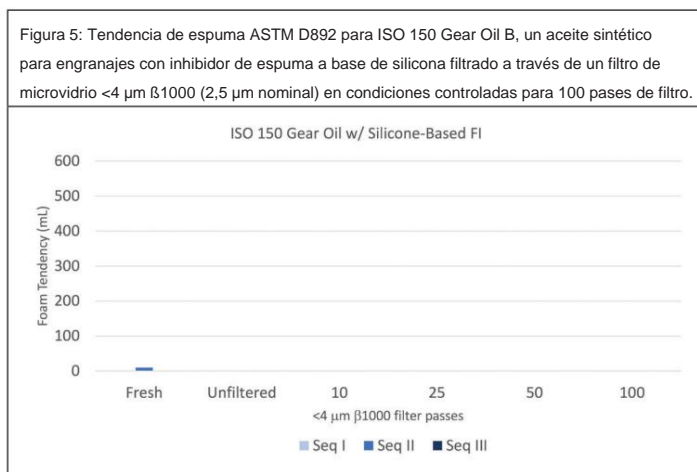
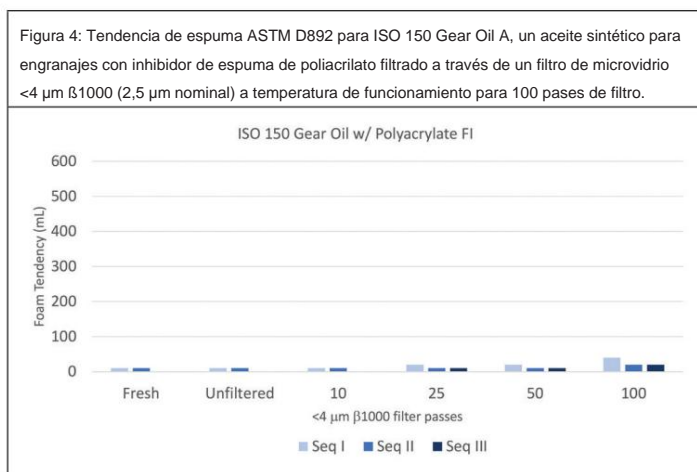
El operador de la planta estaba empleando filtración continua en bucle de riñón con un filtro absoluto de 10 μ m. Un análisis adicional confirmó que la pérdida en el rendimiento de la espuma era probablemente el resultado de la eliminación del inhibidor de espuma. En lugar de aumentar el tamaño del filtro, el operador trabajó con su proveedor de lubricantes para identificar un lubricante alternativo. Seleccionaron un aceite sintético para engranajes ISO 220 con una combinación diferente de aceite base e inhibidor de espuma. El producto de reemplazo ya ha estado en servicio, sin problemas, durante más de un año.

Si bien los dos primeros ejemplos ilustran la rapidez con la que los filtros pueden dañar un producto cuando los parámetros de filtración y la formulación no se combinan cuidadosamente, los dos siguientes ilustran instancias en las que se aprovecha el conocimiento de la formulación para reducir el riesgo de sobrefiltración.

Como se ha establecido que la reducción del tamaño de los poros del filtro aumenta la eliminación del inhibidor de espuma, a veces se emplea una filtración estricta para reducir el tiempo requerido para estresar un producto terminado. Los siguientes dos ejemplos de filtración emplean <4 μ m β 1000 (2,5 μ m nominal)

filtros para reducir el tiempo requerido para "romper" el fluido. Nuevamente, es importante recordar que el inhibidor de espuma se puede eliminar con filtros con tamaños de poro que son más grandes que las gotas del inhibidor de espuma.

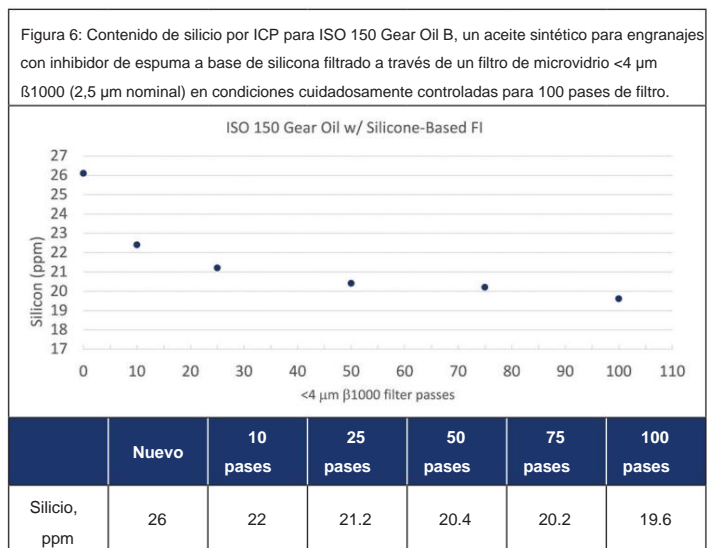
La **Figura 4** detalla la pérdida progresiva del rendimiento de la espuma para un aceite para engranajes sintético moderno ISO 150 de alto rendimiento con un inhibidor de espuma de poliacrilato (Aceite para engranajes A). Durante la filtración, se tomaron medidas para limitar la contaminación, sin embargo, la filtración se produjo a la temperatura de funcionamiento. Todas las demás condiciones de filtración (medios filtrantes, caudal, etc.) se estandarizaron y controlaron cuidadosamente. Incluso después de 100 pases de filtración de 2,5 µm, el aceite para engranajes sigue cumpliendo los requisitos de espuma (tendencia <50 ml). Un segundo aceite para engranajes (Gear Oil B, **Figura 5**), un aceite sintético para engranajes ISO 150 con un inhibidor de espuma a base de silicona, proporciona una resistencia aún mejor y no muestra pérdida del rendimiento de la espuma después de 100 pases de filtración con un filtro nominal de 2,5 µm. Se tomaron nuevamente medidas para controlar la contaminación y se emplearon parámetros de filtración estandarizados, incluida la filtración a una temperatura preseleccionada y cuidadosamente controlada durante la filtración.



Aunque ambos aceites para engranajes completaron las pruebas de filtración sin pérdida del rendimiento de la espuma, el riesgo no se eliminó por completo. La tendencia a formar espuma de la muestra que contiene poliacrilato, Gear Oil A, aumenta con los pases de filtro y alcanza los 40 ml a 100

pasa (**Figura 4**). Es razonable esperar que si la filtración hubiera continuado, el fluido no habría cumplido con la especificación de 50 ml de tendencia máxima a la formación de espuma.

Gear Oil B, con el inhibidor de espuma a base de silicona, no mostró tendencia a la formación de espuma durante la prueba. Sin embargo, una investigación adicional mostró que la filtración eliminaba gradualmente el inhibidor de espuma a base de silicona. La **figura 6** ilustra el cambio en el contenido de inhibidor de espuma del aceite para engranajes al monitorear el contenido de silicio a medida que avanza la filtración. El fluido fresco contiene poco más de 26 ppm de silicio. Con 100 pases de filtro, el contenido de silicio del aceite para engranajes se ha reducido a 19,6 ppm, una pérdida de casi el 25 %. Por lo tanto, cuando se realiza una filtración continua, es importante monitorear el lubricante de forma rutinaria para determinar el rendimiento de la formación de espuma.

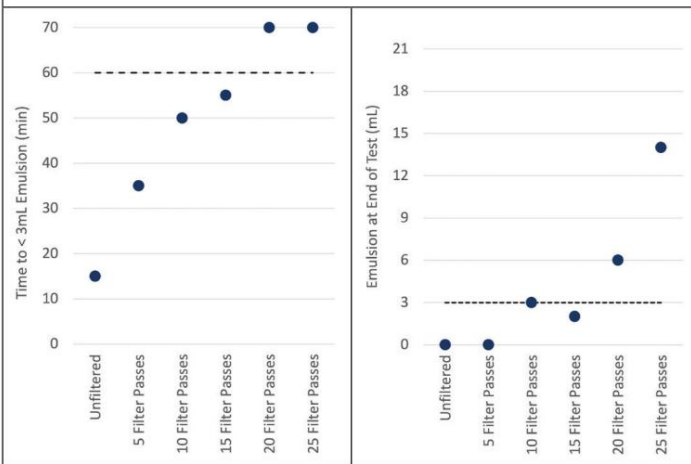


Separabilidad del agua La

filtración también puede afectar la capacidad de un lubricante para arrojar agua. Aunque hay poca literatura sobre la pérdida de demulsibilidad por filtración, un artículo de 2013 en Tribology and Lubrication Technology señala que un proveedor de lubricantes anónimo descubrió que el desemulsionante se eliminaba de un lubricante terminado con un filtro de 1 µm [2], y mientras que 1 µm la filtración no es común, las pruebas muestran que una pérdida de demulsibilidad puede resultar de filtros mucho más grandes.

En la **Figura 7** se muestra un ejemplo de este tipo. Este lubricante industrial se filtró durante 25 pases a través de un filtro de 12 µm. Se tomaron medidas para proteger contra la contaminación y se estandarizaron los parámetros de filtración. Se tomaron varias muestras y se evaluó la separabilidad del agua. El nuevo fluido, tal como se recibió, cumplió con la especificación de separabilidad del agua de la norma ASTM D1401 [9] del producto de <3 ml de emulsión en 60 minutos. Una muestra tomada del equipo en el arranque (sin filtrar) siguió cumpliendo con los requisitos de demulsibilidad, pero a medida que avanza la filtración, el tiempo para alcanzar 3 ml o menos de emulsión aumenta gradualmente hasta superar los 60 minutos en 20 pases de filtro. Pasado este punto, la emulsión que queda en el filtro.

Figura 7: Resultados de separabilidad del agua según la norma ASTM D1401 para un lubricante industrial filtrado durante 25 pases a través de un filtro de 12 μm .



La conclusión de la prueba (60 minutos) muestra un aumento de 0 mL para las muestras sin filtrar y 5 pases a 6 mL y 14 mL de emulsión en 20 y 25 pases respectivamente. Por lo tanto, después de 20 pasadas, el lubricante ya no pasó la norma ASTM D1401.

La Figura 8 y la Figura 9 presentan los resultados de separabilidad del agua según la norma ASTM D1401 para el aceite A para engranajes ISO 150 y el aceite B para engranajes ISO 150, respectivamente.

Recuerde que ambos se filtraron durante 100 pases a través de un filtro $\beta 1000$ de $<4 \mu\text{m}$ ($2,5 \mu\text{m}$ nominales) y que las filtraciones se realizaron de manera que limitaron la contaminación y parámetros de filtración estandarizados, excepto que Gear Oil A, en la Figura 8, se filtró a temperatura ambiente, mientras que Gear Oil B en la Figura 9, se filtró a una temperatura preseleccionada y cuidadosamente controlada. Gear Oil A inicialmente cumple con los requisitos de separabilidad del agua, tanto la muestra fresca como la muestra del equipo sin filtrar alcanzan $<3 \text{ ml}$ de emulsión en 60 minutos, pero la filtración afecta drásticamente el rendimiento del lubricante.

Después de solo 10 pases de filtración, Gear Oil A no arroja agua y retiene casi toda el agua añadida en forma de emulsión. Gear Oil B, por otro lado, completa con éxito la filtración, eliminando toda el agua, con 0 ml de emulsión @ solo 10 minutos, incluso después de 100 pases de filtro.

Figura 8: Resultados de separación del agua según la norma ASTM D1401 para el aceite para engranajes A ISO 150, un aceite sintético para engranajes filtrado a través de un filtro de microvidrio $<4 \mu\text{m}$ $\beta 1000$ ($2,5 \mu\text{m}$ nominal) a temperatura de funcionamiento para 100 pases de filtro.

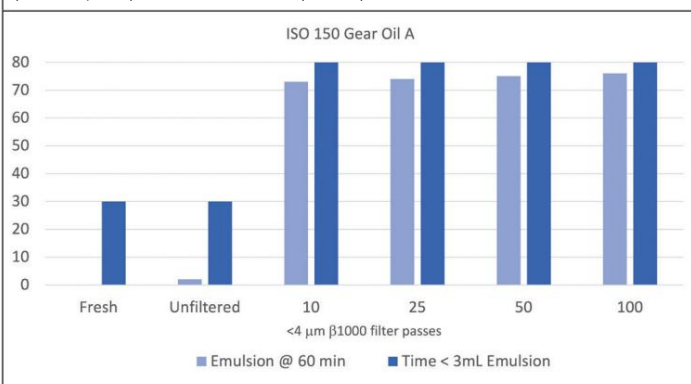
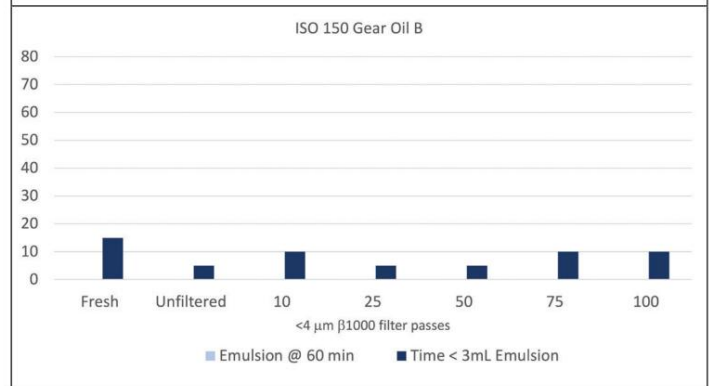


Figura 9: Resultados de separación del agua según la norma ASTM D1401 para ISO 150 Gear Oil B, un aceite sintético para engranajes filtrado a través de un filtro de microvidrio $<4 \mu\text{m}$ $\beta 1000$ ($2,5 \mu\text{m}$ nominal) en condiciones cuidadosamente controladas para 100 pases de filtro.



Conclusión

En conclusión, es tentador seleccionar un filtro de alta eficiencia de bajo micrómetro y realizar la filtración en condiciones ambientales, por ejemplo, utilizando un circuito de riñón portátil en un tanque a granel o de día. El filtro hermético y de alta eficiencia permite a los operadores alcanzar o superar los objetivos de limpieza. Sin embargo, este enfoque no considera el impacto potencial del proceso de filtración en los aditivos lubricantes y el rendimiento posterior a la filtración.

En general, los beneficios del aceite limpio se han documentado exhaustivamente y maximizar la confiabilidad del equipo exige el uso de aceites que cumplan con los requisitos de limpieza del equipo. Sin embargo, se debe tener cuidado para evitar dañar el lubricante mientras se limpia. Los filtros pueden eliminar los aditivos por bloqueo mecánico (cuando el aditivo es más grande que el filtro) o por adherencia al elemento del filtro, que puede eliminar partículas más pequeñas que la clasificación del filtro. La contaminación (agua, partículas, otros lubricantes) puede hacer que los aditivos que normalmente se disuelven en el aceite o se dispersan en un tamaño más pequeño que los poros del filtro se aglomeren, formen sales y/o geles que luego se pueden eliminar mediante filtración. Para mitigar el riesgo de eliminación de aditivos, debe comprender la química del lubricante que se filtra junto con la selección del filtro (medio, tamaño, etc.), las condiciones de operación y la temperatura del proceso. Por lo tanto, los parámetros de filtración, como la temperatura, los medios filtrantes y la tasa de flujo, deben estandarizarse y probarse exhaustivamente para garantizar que no se dañe el lubricante. Dado que los resultados de la filtración son altamente específicos para la aplicación y el producto, es importante desarrollar un proceso efectivo y asegurarse de que se repita cuidadosamente. La falta de consistencia en el proceso puede conducir fácilmente a resultados inesperados y dañar el lubricante.

Referencias

- [1] J. Sander, S. Mauritz, T. Smith, J. Turner y S. Courtney, "The Effect of Lubricant Ingredients on New Hydraulic Oil Cleanliness", Journal of ASTM International, vol. 6, núm. 1, 2009.
- [2] DN Canter, "Aditivos lubricantes: en qué grado están Eliminado por filtración", Tribology and Lubrication Technology, págs. 26 a 34, diciembre de 2013.
- [3] PW Michael, TS Wanke y MA McCambridge, "Efectos de aceite base y aditivos en contadores automáticos de partículas", Journal of ASTM International, 2007.
- [4] S. Lantz, J. Zakarian, S. Deskin y A. Martini, "Efectos de filtración en inhibidores de espuma y limpieza de fluidos detectada ópticamente", Transacciones de tribología, 2017.
- [5] US Ramasamy, S. Lichter y A. Martini, "Effect of Características de escala molecular en el tamaño de la bobina de polímero de los mejoradores del índice de viscosidad del modelo", Tribology Letters, vol. 62, no. 23, 2016.
- [6] ASTM International, "Método de prueba estándar D892-18 para las características de formación de espuma de los aceites lubricantes", West Conshohocken, PA, 2018.
- [7] TV Friesen, "Espuma de fluido hidráulico de transmisión", SAE Documento técnico 871624, 1987.
- [8] Organización Internacional de Normalización, "ISO 4406:2021 Potencia de fluidos hidráulicos: fluidos: método para codificar el nivel de contaminación por partículas sólidas", Ginebra, 2021.
- [9] ASTM International, "Método de prueba estándar D1401-19 para Separabilidad del agua de aceites de petróleo y fluidos sintéticos", West Conshohocken, Pensilvania, 2019.