



# INFORME TÉCNICO

PROLONGACIÓN DE LA VIDA ÚTIL DE LOS SISTEMAS DE FLUIDOS DE TRANSMISIÓN DE CALOR DE FASE LÍQUIDA

NEIL BUCHANAN, INGENIERO PROFESIONAL REGISTRADO, CMRP, ASESOR TÉCNICO EXPERIMENTADO  
MEDIO OESTE Y VALLES DE LOS ESTADOS UNIDOS, EN PETRO-CANADA AMERICA LUBRICANTS, INC.

VERANO DE 2016



Por encima de las normas actuales.™

# SÍNTESIS

La degradación del fluido de transmisión de calor es inevitable. Lo que no lo es, sin embargo, es el tiempo que le toma a un fluido deteriorarse. Este informe técnico examina las razones comunes por las cuales el fluido de transmisión de calor se degrada y las formas para prolongar su vida útil y mantener al máximo la productividad de todo el sistema.

Los sistemas de transmisión de calor están diseñados para transportar la energía térmica obtenida de una fuente de calor mediante el uso de un fluido de transmisión de calor. Los sistemas están diseñados y los componentes están dimensionados en torno a las propiedades físicas de los fluidos nuevos y sin contaminar. La capacidad de un sistema para mantener el rendimiento de su diseño original depende de la capacidad para conservar el fluido en una condición buena y como nueva.

El reto evidente para los operadores es que el fluido de transmisión de calor (lo que da energía al sistema) se degrada lentamente, lo que hace que se ensucien las superficies donde se produce el intercambio de calor, por lo que se necesitará más energía para mantener la temperatura del sistema, lo que causa una disminución de la productividad. El resultado inevitable: períodos de inactividad más largos necesarios para el mantenimiento, lo que cuesta mucho dinero. Cuando se produce la degradación del fluido, sus propiedades originales habrán cambiado y continuarán cambiando a medida que la gravedad de la degradación aumente.

La pregunta entonces es: ¿Cómo mantener la eficiencia y la productividad original del sistema, con un fluido que se va a degradar con el tiempo y el uso?

Este informe técnico pretende responder esa pregunta. Aunque ningún experto puede mantener la pureza del fluido de transmisión de calor para siempre, los operadores del sistema pueden prolongar la retención de las propiedades originales del fluido a fin de evitar amenazas de degradación comunes y seleccionar un fluido de mejor calidad para el uso.

## Comenzar con lo básico

Para saber cómo retener las propiedades de un fluido puro, debemos entender primero las amenazas operativas del sistema en cuanto a la eficacia del fluido.

## Temperatura volumétrica del aceite en comparación con la temperatura de la capa superficial

Hay dos temperaturas de trabajo que deben considerarse cuando un fluido circula a través del sistema. Es necesario entender las diferencias entre estas temperaturas del sistema de transmisión de calor para que el sistema funcione de manera segura y efectiva.

La primera temperatura a tener en cuenta es la temperatura volumétrica del aceite ( $T_{bulk}$ ). El usuario es quien determina su valor, como la temperatura programada que deberá tener el fluido al salir de la fuente de calor. Por ejemplo, en un horno donde el fluido de transferencia de calor fluye a través de una tubería rodeada de calor (como se muestra en el Gráfico 1), la  $T_{bulk}$  es la temperatura de las moléculas de aceite en el centro de la tubería.

GRÁFICO 1

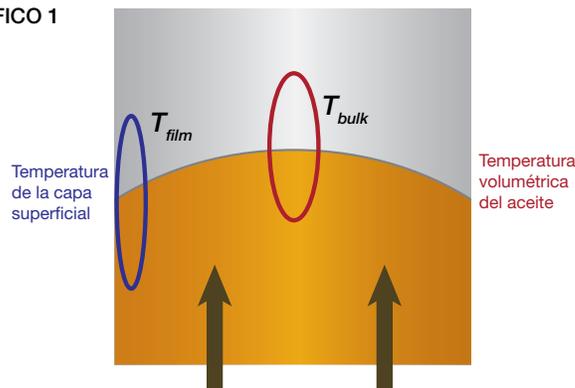


GRÁFICO 1: La temperatura volumétrica del aceite es la temperatura de salida del calentador. La temperatura de la capa superficial es la temperatura del fluido en la pared de la tubería. Use la temperatura de la capa superficial, en lugar de la temperatura volumétrica del aceite, como base para seleccionar un fluido de transferencia de calor.

La segunda es la temperatura de la capa superficial ( $T_{film}$ ). También conocida como la temperatura de la superficie de la tubería,  $T_{film}$  es la temperatura de las moléculas del fluido que están en contacto con la pared de la tubería, con el elemento de caldeo, o con cualquier superficie que separe el fluido de la fuente de calor directo.

En la mayoría de los casos, la  $T_{film}$  será mayor que la  $T_{bulk}$ , pero el flujo turbulento tratará de forzar una redistribución de calor dentro del aceite.

En los sistemas bien diseñados, donde la velocidad del flujo de aceite es suficiente (es decir, números altos de Reynolds con un flujo turbulento fuerte) y el flujo térmico es razonable (es decir 12-16 W/in<sup>2</sup> en aplicaciones calentadas eléctricamente), la  $T_{film}$  será un poco más alta que la  $T_{bulk}$ .

Sin embargo, si un fluido tiene una viscosidad elevada o si la velocidad del flujo disminuye (debido a un problema en la bomba o a una obstrucción en la tubería, por ejemplo), la energía requerida para mantener la  $T_{bulk}$  necesaria aumentará, y hará que la  $T_{film}$  sea más alta que la  $T_{bulk}$ . En esta situación, un fluido que está operando cerca del índice máximo de  $T_{bulk}$ , puede exponerse de repente a una temperatura de la capa superficial ampliamente superior a la que puede tolerar de manera segura, lo que acelera la disociación térmica (ver abajo). Lo más importante, sin embargo, es que al acercarse la  $T_{film}$  a la temperatura de autoignición del fluido (AIT), se puede generar un riesgo grave en cuanto a la seguridad.

La diferencia de temperatura entre la capa superficial y la volumétrica puede verse afectada por los parámetros del sistema (como la medida de la bomba, las condiciones del calentador, el diámetro de la tubería, etc.), las propiedades del fluido (es decir, la viscosidad, densidad, conductividad térmica, capacidad calorífica, etc.) y las condiciones de funcionamiento (es decir, la velocidad del fluido, energía térmica de la fuente de calor, etc.).

Teniendo en cuenta lo anterior, entendemos que el mejor procedimiento consiste en considerar la selección de un fluido de transferencia de calor basado en las aplicaciones de la  $T_{film}$ , en lugar de la  $T_{bulk}$ , siempre que sea posible.

## Causas principales de la degradación de un fluido de transmisión de calor

Teniendo en mente las diferencias de temperatura, podemos proceder con el análisis de las amenazas más comunes para la vida útil del fluido (y a veces para el sistema entero). Hay tres:

1. Degradación térmica
2. Degradación oxidativa
3. Contaminación externa o derivada del proceso

### 1. DEGRADACIÓN TÉRMICA O DISOCIACIÓN TÉRMICA

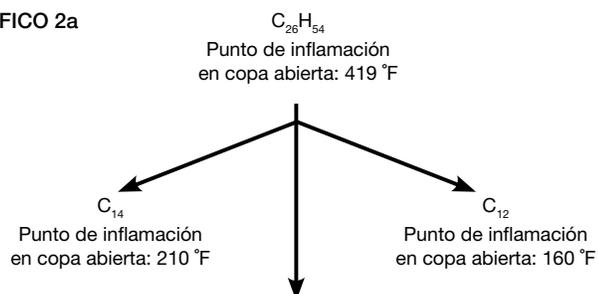
Sin importar el tipo de fluido de transferencia de calor, la degradación térmica ocurre cuando las moléculas del fluido reciben más energía térmica de la que pueden absorber y transportar en un momento determinado. El exceso de energía causa que las moléculas se degraden o se separen.

En los fluidos de transferencia de calor orgánicos, como los derivados del petróleo o los químicos aromáticos, la disociación térmica constituye la rotura de los enlaces covalentes de carbono-carbono o carbono-hidrógeno, los cuales suelen ser muy estables y necesitan una gran cantidad de energía para degradarse. La disociación térmica implica un número de pasos: iniciación, abstracción de hidrógeno, descomposición radical y luego la conclusión.

Este tipo de degradación es una función tanto de la habilidad inherente del aceite para absorber calor como del flujo térmico dentro de la fuente de calor (es decir, la cantidad de energía que el fluido recibe durante el tiempo que permanece en presencia del calor).

El Gráfico 2a ilustra un ejemplo de lo que ocurre a la molécula durante la disociación térmica. En este caso, la molécula es un fluido de transferencia de calor típico basado en aceite mineral. El exceso de energía rompe la gran molécula de hidrocarburo (la cual tiene 26 átomos de carbono) en dos moléculas más pequeñas de 12 y 14 carbonos. Estas moléculas más pequeñas se denominan calderas bajas, porque tienen un punto de ebullición menor que la molécula de 26 carbonos. Como la concentración de calderas bajas aumenta con el tiempo, la volatilidad (es decir la presión de vapor) del fluido aumenta y eso se traduce directamente como una reducción de propiedades tales como el punto de inflamación, el punto de fuego y la temperatura de autoignición.

GRÁFICO 2a



## DEPÓSITOS DE CARBÓN PESADOS

GRÁFICO 2b

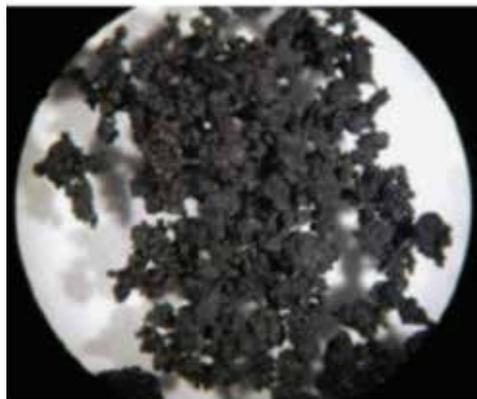


GRÁFICO 2a/b: Un hidrocarburo en un fluido de transferencia de calor de base mineral experimenta degradación térmica, lo que crea hidrocarburos más livianos con menores viscosidades y puntos de inflamación, y depósitos de carbono pesados (Gráfico 2b).

En un sistema abierto, donde el fluido caliente en funcionamiento está en contacto directo con el aire, una reducción en el punto de fuego y punto de inflamación significa un riesgo de seguridad importante, y se necesitará ventilar o cambiar el fluido.

Otra preocupación con respecto a la disociación térmica es la formación de residuos, parecidos al coque, en el sistema (como se muestra en el Gráfico 2). Esto ocurre cuando la disociación térmica forma calderas altas, que son moléculas altas en carbono y bajas en hidrógeno que pueden polimerizar o aglomerar. A medida que estas moléculas parecidas al coque crecen en tamaño y se acumulan, pueden depositarse en el sistema y obstruir las líneas y los codos. Un residuo abrasivo y de tipo carbonoso puede dañar el sistema de sellado de la bomba. En los sistemas con calor eléctrico, los residuos cubrirán los elementos eléctricos. En un horno, por ejemplo, formarán capas dentro de la resistencia. En ambos casos, esto actuará como aislador.

El residuo se convierte en un problema cuando el calentador, establecido en una determinada temperatura, debe producir más energía térmica para pasar a través de la pared de la tubería y, además, de la capa carbonosa para llegar al fluido. El calor adicional aumenta la  $T_{film}$  del sistema, lo que causa que la brecha entre  $T_{film}$  y  $T_{bulk}$  se agrande. Esto genera un ciclo de degradación térmica (ver Gráfico 3), donde el calor excesivo causa una disociación térmica del fluido de transmisión de calor, lo que genera una formación de calderas altas y la acumulación de residuos en las superficies calientes, lo que a su vez provoca que el calentador produzca más energía para mantener la  $T_{bulk}$  del fluido.

GRÁFICO 3

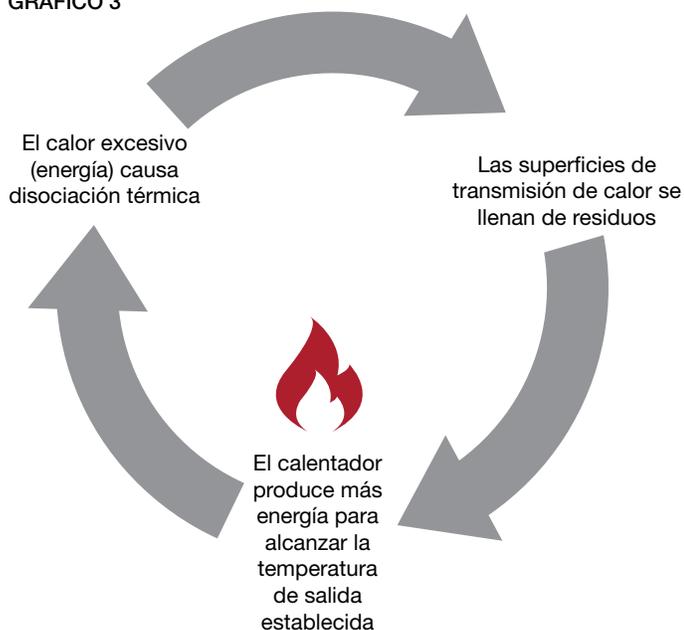


GRÁFICO 3: La disociación térmica del fluido de transmisión de calor que ocurre en la fuente de calor puede crear calderas altas, moléculas grandes que se aglomeran y coquizan en la superficie térmica de la fuente de calor o de la pared de la tubería. Con el tiempo, los residuos carbonosos forman una capa en la fuente de calor que actúa como aislante. El calentador, entonces, debe producir más energía para elevar la temperatura del fluido a la temperatura establecida, lo que a su vez genera más disociación térmica. De este modo, sucede un ciclo de degradación térmica.

Incluso cuando los sistemas trabajan a temperaturas que son consideradas relativamente leves (por debajo del máximo de temperatura volumétrica del fluido), el fluido no está exento de la degradación térmica, entonces se acorta su vida útil.

## Tratamiento de la disociación térmica

**Uso del fluido adecuado.** Elija un fluido de transmisión de calor con estabilidad térmica alta. Los fluidos a base de petróleo formulados con aceites blancos hidrotratados severamente, por ejemplo, tienen mayor estabilidad térmica en comparación con los aceites minerales tradicionales. La mayoría de los problemas asociados con la excursión de la temperatura temporal o localizada son evitables.

**Ventile apropiadamente.** La ventilación permite a los operadores liberar hidrocarburos livianos y volátiles que se forman durante la disociación térmica del fluido y del sistema. En la mayoría de los sistemas de cierto volumen, la evacuación de calderas bajas se logra mediante la circulación de algunos de los fluidos calientes hacia el tanque de expansión, de modo que las moléculas con gran presión de vapor pueden migrar de forma natural hacia la fase de gas y salir del fluido. Según el diseño del sistema, los vapores pueden liberarse a la atmósfera, o se pueden condensar y recolectar en un tambor o tanque y se pueden despachar en concordancia con las regulaciones locales.

Después de la ventilación, se deben añadir los fluidos puros para mantener el nivel de fluido. Nunca se debe realizar la adición segura de fluidos puros directamente en la corriente de aceite caliente, sino en el tanque de expansión u otros yacimientos fríos conectados al fluido del sistema. No se recomienda ventilar continuamente o por períodos extensos de tiempo ya que un aumento en la temperatura del fluido en el tanque de expansión acelerará la oxidación (lo que discutiremos más adelante) o puede generar un riesgo para la seguridad debido a que la temperatura se acerca al punto de inflamación del fluido.

Haga un buen uso del programa de análisis de aceite de su vendedor para determinar la tasa de generación de calderas bajas en cualquier operación. Mediante la ventilación y el análisis de fluidos, uno puede establecer cuán seguido y por cuánto tiempo se debe ventilar el fluido.

**Adopte los procedimientos de encendido y apagado adecuados.** Los procesos de encendido y apagado son responsables de muchas instancias de disociación térmica. Aunque se necesite un encendido apresurado, el encendido rápido y el cierre inadecuado pueden acortar drásticamente la vida del fluido y reducir la eficiencia del sistema. El encendido de un sistema en condiciones ambientales normales y el aumento de la temperatura a 204-260 °C (400-500 °F) debe tomar varias horas a fin de minimizar el flujo de calor. El aumento de la temperatura debe ser lo suficientemente leve al inicio, al menos hasta que los números de Reynolds del fluido estén lo suficientemente altos como para soportar una tasa de calor más alta.

El apagado de un sistema de transmisión de calor, también, puede tener un efecto destructivo si se apaga la bomba demasiado pronto. Incluso si se apagó el calor, los hornos que contienen materiales refractarios pueden retenerlo por muchas horas y seguir calentando el aceite estancado en la tubería lo que hace que se produzca una disociación térmica. Es muy importante mantener la circulación del fluido por varias horas después de que se apagó el calor, hasta que se haya enfriado a 65 °C (150 °F), para evitar la exposición del fluido a un calor excesivo.

Consejos para evitar la degradación térmica en el sistema:

- Supervise y controle el flujo de calor del sistema
- Realice el mantenimiento de las bombas y los filtros
- Realice un análisis de fluidos para detectar señales tempranas de degradación del aceite
- Filtre continuamente el aceite con un filtro de cristal para altas temperaturas a 10 µm por lo menos
- Adopte los mejores procedimientos para encender y apagar

## 2. DEGRADACIÓN OXIDATIVA

La degradación oxidativa, conocida como oxidación, puede ocurrir como una reacción del fluido de transmisión de calor al oxígeno en el aire. Como otra materia orgánica, la exposición al oxígeno causa la degradación del fluido.

La oxidación está muy relacionada con la temperatura. Cuanto más alta es la temperatura, más rápida será la velocidad de oxidación. Una regla empírica general es que con cada incremento en la temperatura de 10 °C (18 °F), la velocidad de oxidación se duplica. Los derivados de la degradación para el aceite mineral o los fluidos aromáticos químicos sintéticos pueden incluir sustancias como los ácidos carboxílicos, las cetonas, los aldehídos, entre otras.

La primera evidencia visible del proceso de oxidación es la decoloración gradual del fluido (ver Gráfico 4), el aumento de la viscosidad y, si se lo deja el tiempo suficiente, la formación de compuestos insolubles y lodo. Los derivados de la oxidación no son muy solubles en aceite y tienden a adherirse a superficies metálicas más frías o a asentarse en áreas de flujo bajo, como el fondo del tanque de expansión. Es muy difícil sacar completamente estos derivados con fluidos de limpieza y lavado.

GRÁFICO 4



GRÁFICO 4: La decoloración progresiva ocurre cuando un fluido de transmisión de calor está expuesto al oxígeno a lo largo del tiempo.

Drenar el fluido de transferencia de calor no removerá todo el lodo de la tubería. En este punto, solo la extracción manual o la circulación de un agente químico de limpieza a través del sistema ayudará a restaurar su eficiencia inicial. Los derivados residuales de la oxidación, a menudo de naturaleza ácida, actuarán como un catalizador para acelerar la corrosión y acortar la vida del fluido si no se remueven.

## Tratamiento de la oxidación

**Capa de gas inerte.** En los sistemas cerrados, donde los fluidos calientes circulan mientras que el aceite más frío está expuesto al aire en el tanque de expansión, la manera más efectiva de eliminar la oxidación es instalar una capa de gas inerte en el tanque de expansión. Este principio se basa en la sustitución del aire (con oxígeno) por un gas inerte en la única ubicación donde el aceite caliente puede estar en contacto con el oxígeno. Sin oxígeno que reaccione con el aceite, no hay oxidación. El gas más común usado para las capas de gas de los tanques de expansión es el nitrógeno, pero el dióxido de carbono y el argón también se utilizan. La presión del gas inerte se mantiene ligeramente superior a la presión atmosférica, generalmente cerca de 2 psig (14 kPa). Esta medida requiere inspección continua y mantenimiento a fin de prevenir fugas. Las fugas, por supuesto, anularán el propósito del sistema de capa de gas inerte y le costarán mucho dinero.

**Elección del fluido.** Otra forma de lidiar con la oxidación es seleccionar un fluido que contenga la química adecuada de inhibidores de oxidación. El tipo y número de inhibidores de oxidación usados y la calidad varían ampliamente según el producto. Algunos fluidos usan antioxidantes convencionales como aquellos encontrados en otras aplicaciones como lubricación de engranajes o sistemas hidráulicos, mientras que los fluidos de transmisión de calor más sofisticados usan químicos aditivos diseñados para resistir mejor las altas temperaturas de los sistemas de transmisión de calor. Los inhibidores de oxidación actúan de varias formas, pero usualmente reaccionan con radicales libres y compuestos de oxígeno (como el peróxido) antes de que puedan reaccionar con las moléculas de aceite. Tenga en cuenta que algunos fluidos del mercado no llevan aditivos y, por lo tanto, son más susceptibles a la contaminación y tienen una estabilidad de oxidación más baja.

Los sistemas que utilizan mucho aceite son más indulgentes porque el aceite y los antioxidantes se reponen constantemente. En ese caso, la experiencia, la comparación de mercados y los análisis regulares del aceite utilizados son importantes para juzgar si la estabilidad de oxidación ayudará en la selección del fluido de transmisión de calor.

Los sistemas abiertos permiten que el fluido caliente esté siempre en contacto con el aire, por lo que resulta importante elegir un producto robusto y con antioxidantes, y preferentemente uno que esté diseñado para lidiar con la exposición al aire. Aún así, se requieren cambios frecuentes y se debe utilizar un sistema de limpieza o lavado de forma periódica, tal vez tan a menudo como cada tercer cambio de aceite, si la eficiencia óptima es una preocupación.

### 3. CONTAMINACIÓN EXTERNA O DERIVADA DEL PROCESO

**Contaminación por el proceso interno.** La contaminación puede ser perjudicial para los componentes del sistema y para el fluido mismo. Mientras que la lógica sugiere que la contaminación es improbable, ya que la presión es mayor del lado del fluido, la experiencia muestra que el material del proceso puede ingresar en el flujo del fluido. La urgencia requerida para arreglar una fuga depende de la composición química del contaminante, del fluido utilizado y de la gravedad de la situación.

Por ejemplo, en la industria del aceite y del gas, el gas hidrógeno del proceso puede ingresar en el fluido. Este gas se mezcla muy bien con fluidos minerales o aromáticos químicos y la viscosidad de la carga entera se reducirá, mientras que la volatilidad aumentará. El asfalto es considerado comúnmente como un contaminante que puede tener el efecto contrario y aumentar drásticamente la viscosidad del aceite y el número de las calderas altas que ensucian la tubería. El vanadio es un elemento indicador, visto a menudo en los análisis de aceite, que indica el ingreso del asfalto en el sistema de aceite.

En algunos casos, el contaminante puede ser inerte para el fluido pero puede reaccionar con los rastros de humedad para formar compuestos ácidos o insolubles que amenazan con acelerar la corrosión y la degradación del fluido.

**Contaminación externa.** Además de las fugas en los procesos internos, la contaminación puede ocurrir a partir de los elementos, la condensación, los líquidos exteriores y el ingreso de aire. Para los sistemas donde el tanque de expansión está en el exterior y tiene salida a la atmósfera, es muy importante tener un tanque con una tubería de cuello de cisne de 180° en la cima. Aunque parezca simple, hubo casos en los que la cubierta de acero se cayó y el agua de lluvia se derramó en el tanque de expansión, lo que resultó en un contenido con altos niveles de agua y una circulación de polvo abrasivo en el sistema.

Otro problema común es la contaminación del sistema nuevo. Los sistemas de transmisión de calor nuevos son limpios, pero raramente se los lava antes de ponerlos en funcionamiento. En estos casos, los residuos de agentes de limpieza pueden acelerar la corrosión o la contaminación, o crear residuos insolubles. Por esta razón, los sistemas nuevos deben lavarse con el fluido adecuado y compatible.

Aunque los operadores detectan fácilmente el agua en el sistema de transmisión de calor, resulta implacable y potencialmente peligrosa, ya que se convierte en vapor. El agua afectará de diferentes maneras la composición química de varios fluidos.

En los aceites sintéticos de polialfaolefina del Grupo IV, los de base mineral o en los químicos aromáticos, la exposición prolongada al agua puede causar:

- Hidrólisis o precipitación de los aditivos del aceite (en fluidos con aditivos)
- Corrosión acelerada del sistema interno
- Degradación acelerada del aceite (oxidación)
- Cavitación y desgaste de la bomba
- Sonido de gorgoteo en el tanque de expansión y golpeteo en la tubería de aceite caliente

Según los resultados arrojados por el análisis de aceite, podemos decir que, en general, el agua no parece presentar problemas inmediatos de productividad en concentraciones menores a 500 ppm (0,05 % de peso.) aunque se han encontrado sistemas más sensibles en donde las concentraciones menores tienen un impacto visible. Los resultados por encima de 1000 ppm (0,1 % de peso.) son más alarmantes, exigen más investigación y requieren extracción.

### Tratamiento de la contaminación

**Investigue y arregle.** Todos los casos de contaminación deben ser investigados y arreglados. Además, deben reportarse al proveedor de fluidos para obtener consejos sobre el posible impacto en el aceite y los aditivos. El conocimiento de la composición química del producto ayuda a los operadores del sistema a evaluar la situación y a formular una posible solución. A veces, el contaminante puede extraerse o evaporarse.

**Prevención.** Rara vez las empresas o los constructores consideran el costo de un lavado del sistema, ya que asumen que el contratista a cargo del sistema se responsabilizará por la limpieza y el funcionamiento adecuado y no quedará ningún desecho o residuo de agua después de la prueba de presión en la tubería. Es demasiado tarde averiguar, después de que el sistema esté funcionando, que el lavado o el drenaje de los líquidos de la prueba de presión no se realizó correctamente y puede ser costoso en el camino. Los costos iniciales de lavado se consideran aún menos cuando el fluido de elección es costoso, como, por ejemplo, los fluidos de silicona o de perfluoroether. Sin embargo, es conveniente y valdrá la pena con el tiempo.

**Filtros.** Tradicionalmente, los filtros no están instalados en el sector del aceite junto al colador de la bomba, probablemente por la alta magnitud del flujo, el amplio diámetro de la tubería y el valor estimado bajo en comparación con el costo, ya que los componentes tienen cierta tolerancia a los sólidos. Sin embargo, en los últimos años, más diseños nuevos de sistemas parecen estar equipados con filtros de aceite. Mantenga un registro de recolección de sólidos encontrados en los filtros de aceite o los coladores e incluya fotografías, en caso de ser posible. El tamaño, la textura y el color de los depósitos brindan mucha información. Los depósitos deben enviarse a un centro de investigación o laboratorio con equipo sofisticado para una identificación precisa. La verificación de terceros es importante, ya que los sólidos pueden derivar de más de una fuente.

Los sólidos de fluidos anteriores pueden permanecer en el sistema por un largo período de tiempo hasta que se produzca un evento, como un trabajo en la tubería o el reemplazo parcial del fluido, que los aflojen y finalmente haga que fluyan hacia el filtro de la bomba o el filtro de aceite. Esto se ha observado cuando se compra un horno usado y se pone en funcionamiento sin ser limpiado ni lavado antes de conectarlo al sistema principal.

"Otra razón por la que deben enviarse los depósitos a un laboratorio hace referencia al hecho de que, aunque los sólidos pueden tener una textura u olor familiar, pueden resultar ser otra cosa."

Otra razón por la que deben enviarse los depósitos a un laboratorio hace referencia al hecho de que, aunque los sólidos pueden tener una textura u olor familiar, pueden resultar ser otra cosa. Lo que puede parecer una partícula abrasiva negra de carbono, puede ser sulfuro de cobre, producido por el ataque químico localizado del sulfuro (presente en el aceite base de algunos fluidos) en el cobre de las válvulas de bronce. En este ejemplo, la suposición de que los depósitos eran de carbón puede resultar en la inversión de una cantidad de dinero considerable para reemplazar los fluidos o para añadir filtración, cuando en realidad, se tenía que cambiar la construcción de la válvula o la selección del fluido mismo. El cambio hacia un mejor fluido de transmisión de calor, con aceite base altamente refinado de tipo API Grupo II, que casi no contiene ningún sulfuro activo, probó ser efectivo.

## Más mantenimiento preventivo de rutina

Además de los métodos que previenen la degradación enumerados arriba, es importante considerar otros pasos de mantenimiento rutinario recomendados para los sistemas de circulación de aceite caliente, que prolongan la vida del fluido de transmisión de calor. Lo siguiente refleja unas pocas consideraciones claves.

1. Esté atento a los eventos extraños o a las alarmas en el calentador principal, ya sea una luz roja parpadeante o una notificación en la consola del operador.
2. Si no se recogen de forma electrónica, mida los parámetros claves (magnitud de flujo, temperaturas, presiones, etc.) con medidores en diferentes lugares del sistema y asegúrese de que los resultados son consistentes con las especificaciones del diseño.
3. Realice un seguimiento del consumo de energía (electricidad, uso del combustible, etc.), de la temperatura del fluido en el calentador y de la  $T_{bulk}$  en la salida. Si la demanda de temperatura del proceso se mantiene constante pero el calentador necesita producir más calor para mantener la temperatura del fluido, puede indicar que el fluido se está disociando lentamente por la tensión térmica o que se están formando depósitos en las superficies de transmisión de calor, lo que reduce la eficacia del sistema.
4. Registre la temperatura del fluido en la entrada y la salida de la fuente de calor. La diferencia debería estar dentro de ciertas normas recomendadas por la industria y el fabricante.

5. Aunque todo funcione sin problemas, se recomienda que un empleado "controle el sistema" regularmente. Esa persona puede escuchar un motor vibrante, una bomba cavitando, detectar una fuga de aceite o algo inusual. La prevención de posibles problemas a través del mantenimiento preventivo planificado hará más que cubrir el costo requerido para realizar las inspecciones periódicas.
  6. Pruebe los fluidos periódicamente. Se habló de esto antes, pero merece una repetición. Las pruebas regulares ayudan a confirmar las propiedades físicas del fluido, incluyendo el punto de inflamación y cualquier cambio que puede estar ocurriendo. Compare los resultados con las propiedades del fluido fresco.
- Capacidad del fluido con el sistema actual (ejemplo: el sellado, el tamaño del tanque de expansión, etc.)
  - Miscibilidad con el fluido de transferencia de calor actual, si se necesita un cambio parcial
  - Nivel de cobertura de responsabilidad y experiencia que ofrece el fabricante
  - Flexibilidad del vendedor para trabajar con usted en la limpieza del sistema o proyectos de lavado, para brindar un inventario del fluido adecuado y recibir los sobrantes de fluido sin utilizar

## Selección de fluido

Como se mostró arriba, los operadores de sistemas de fase líquida tienen cierto control sobre la longevidad del desempeño del fluido en su ciclo de vida. Además del mantenimiento adecuado del sistema, una de las medidas de control más eficaces que un operador puede utilizar para ampliar la vida del fluido es seleccionar el fluido adecuado.

Hay miles de fluidos en el mercado, generalmente minerales o sintéticos, cada uno con su constitución química y perfil de rendimiento propios que lo hacen más o menos apropiado para su aplicación en un proceso específico.

El propósito de este análisis no es discutir las ventajas y desventajas de cada tipo de fluido de transmisión de calor. Sin embargo, cabe señalar que la etapa de selección es importante y vale realmente la pena, ya que el fluido seleccionado tiene un impacto importante en el éxito operacional, en la productividad y la seguridad.

**Una nota sobre la inversión.** La selección del fluido adecuado de transmisión de calor requiere el debido proceso de múltiples actores dentro de una organización, con un análisis de aplicación completo. Los compradores deben resistir la tentación de conformarse con un precio de base bajo. Sacando el hecho de que el fluido juega un rol importante en el desempeño del sistema, también es cierto que el precio más bajo puede no tenerse en cuenta en las siguientes variables:

- Costos asociados con la seguridad del trabajador, como la capacitación, el equipo y la protección contra la posible exposición al fluido (ya sea en forma líquida o de vapor)
- Gastos de transporte para el envío
- El costo asociado con la recolección, el manejo y el desecho de los aceites y tambores usados
- Desempeño del fluido demostrado más allá de los datos del fluido fresco. Los vendedores deberían poder demostrar la retención de las propiedades del fluido fresco (por ejemplo: la estabilidad térmica y los datos de oxidación)

## Cuándo probar los fluidos de transmisión de calor

Crear que el sistema está funcionando con fluidez y que no hay razones preocupantes para probarlo (es decir, para determinar qué se hizo mal), sigue siendo una buena razón para analizar el fluido regularmente. La prueba proactiva puede ayudar a detectar posibles problemas de forma temprana, antes de una reducción costosa en la productividad, o lo que es peor, una falla en el sistema. La prueba permite una mejor planificación, ya que puede indicar el marco de tiempo en el que se debe cambiar un fluido.

A continuación se presentan las pautas que indican el momento en que debe probarse el fluido de transmisión de calor:

- **Durante el primer año de operación en los sistemas nuevos.** Cualquier problema en el sistema que puede afectar al fluido aparecerá en los resultados de la prueba.
- **Después de un cambio de fluido.** Después de una o dos semanas, pruebe el fluido incluso si está usando uno de la misma marca. Para ese momento, se habrán producido suficientes cambios en las propiedades del antiguo fluido de modo que cualquier residuo se mostrará en los resultados de la prueba de la nueva carga.
- **Anualmente, al menos para sistemas grandes.** Programe una prueba anualmente como parte de la rutina de mantenimiento preventivo. Los resultados brindarán un informe actual en archivos para su compañía de seguros.

Cuando se decide cómo probar un fluido de transmisión de calor, se aconseja enviar una muestra del fluido al laboratorio del proveedor del fluido. No solo serán capaces de llevar a cabo las pruebas, sino que además interpretarán los resultados.

## Lo que miden los analistas de aceite

Los analistas miran la condición general del fluido y, hasta cierto punto, buscan cierto entendimiento de la condición dentro del sistema de circulación. La mejor forma que tienen de hacerlo es a través de la definición de tendencias a partir de muestras regulares. Los datos útiles se pueden extraer desde un punto de datos único, pero la tendencia brinda información más valiosa e incrementa la precisión del diagnóstico para propósitos de planificación.

Como mínimo, un programa de prueba para los fluidos de transmisión de calor debe contemplar las siguientes pruebas:

### Viscosidad cinemática (ASTM D445-15)

Mide la resistencia del fluido con respecto al flujo. Un aumento en la viscosidad indica la presencia de calderas altas, y una reducción en la capacidad del fluido para transmitir calor. Un descenso en la viscosidad indica lo contrario: la presencia de calderas bajas (lo que significa una caída de la temperatura rápida y una posible autoignición) y puede estar ocurriendo una disociación térmica del fluido. El límite de advertencia es un aumento >30 %. En este punto, se deben tomar medidas, como el reemplazo parcial o total del aceite.

### Número Ácido (AN) (ASTM D664-11)

Mide los compuestos ácidos y por lo tanto es un determinante indirecto del grado en que se ha oxidado el fluido. La mayoría de los fluidos frescos tienen un AN de 0,05 a 0,10 mg KOH/g. El límite condensorio está cerca de 1,0 mg KOH/g, después del cual los depósitos de lodo tienden a aumentar.

### Copa Abierta de Cleveland (COC), Punto de inflamación (ASTM D92-12)

Mide la temperatura mínima a la que el vapor del fluido se encenderá momentáneamente (cuando esté en contacto con una fuente de ignición). Cuando se reduce, a menudo indica contaminación y degradación térmica. El límite de advertencia es <150 °C / <300 °F.

### Sólidos insolubles

Determina la concentración de insolubles en el fluido después de una filtración a través de un filtro de 0,8 micrones. La medición de sólidos orgánicos indica el grado de degradación del fluido y, potencialmente, qué tan sucio está el sistema. Mientras tanto, los sólidos inorgánicos pueden indicar contaminación y corrosión del sistema. El límite de alarma para los sólidos es de >0,5 % wt.

### Contenido de agua (ASTM D1744-13)

Mide la cantidad de agua presente en el fluido. El límite de advertencia es 1000 PPM (igual a 0,1 % de peso). Si se alcanzan estos niveles, puede indicar que falta una cubierta en el tanque de expansión o que hay filtraciones en el intercambiador térmico. Además de los riesgos de seguridad del calentamiento y las salpicaduras del agua en el tanque de expansión, un contenido alto de agua puede resultar en la corrosión del sistema, en una oxidación del fluido más rápida y en la formación de sustancias ácidas y corrosivas como las descritas anteriormente. El agua es más perjudicial para fluidos aromáticos, en parte porque son sin aditivos generalmente, entonces le faltan inhibidores de corrosión y oxidación.

### Contenido de metales (ASTM D5185)

Determina la concentración de unos 26 elementos de manera simultánea mediante el plasma acoplado por inducción (ICP). Puede indicar un cambio en los niveles de aditivos o la presencia de contaminantes y metales desgastados. Los niveles de concentración muestran la corrosión y contaminación potenciales.

Obtener medidas precisas y validadas por terceros de cada una de estas variables no solo permitirá tomar mejores decisiones operativas, sino que además validarán las recomendaciones de fluidos, que pueden resultar útiles en caso de que un cambio requiera de un período de inactividad no planificado y de presupuesto.

# CONCLUSIÓN

Recuerde, el sistema se diseñó en función de las propiedades de fluidos de transmisión de calor fresco, de modo que para asegurar un funcionamiento predecible y seguro, los operadores deben intentar mantener la diferencia entre el estado actual y lo que se espera de un fluido fresco dentro de un rango estrecho. Hay muchas formas en la que los operadores pueden mantener de forma proactiva el fluido de transmisión de calor lo más puro posible durante el mayor tiempo posible, para mantener el sistema productivo y seguro, antes de los cambios inevitables y la limpieza total del sistema. Recomendamos a los operadores a que inspeccionen rutinariamente el sistema, sus componentes y el fluido, y que hagan examinar sus fluidos de forma regular en un laboratorio.