

ANÁLISIS DE FALLAS DE LUBRICACION EN MOTORES A GAS

Ing. Marcelo E. Martins – Ingeniero de Lubricación Senior
Esso Petrolera Argentina S.R.L.- Una empresa de ExxonMobil Corp.

ABSTRACT

El autor sostiene que las técnicas tradicionales de mantenimiento ya no son efectivas para asegurar máxima disponibilidad de equipos. Uniendo las mismas con el análisis de modos de falla y sus efectos, es posible anticiparse a los problemas antes que se desarrollen y provoquen un deterioro del desempeño del equipo. Se hace especial hincapié en cómo las condiciones de operación y mantenimiento de un motor a gas afectan directamente la vida útil tanto del lubricante como del equipo, y cómo las técnicas predictivas deben considerar estos parámetros para poder ser efectivas.

La utilización del análisis de modos de falla de lubricación y sus efectos permite integrar el mantenimiento tradicional con el análisis sistemático de las condiciones anormales que conducen a las fallas más comunes de motores a gas, estableciendo así parámetros de control que evitarán la aparición de causas raíces de falla, maximizando la disponibilidad de la maquinaria.

INTRODUCCION

Hace ya una docena de años desde que por primera vez abracé la profesión de ingeniero de lubricación, años durante los cuales tuve la oportunidad de observar y analizar una gran cantidad de fallas de motores a gas, así como de otro tipo de maquinaria. Esto me ha permitido sacar varias conclusiones, que con el tiempo se han convertido en máximas para mi trabajo. El más importante de todos es "cuando se trata de analizar fallas siempre verifique con sus propios ojos y no asuma nada". Otra igualmente importante es "los técnicos de los fabricantes de equipos no siempre saben de lo que hablan, y aún cuando saben no siempre tienen razón".

Estas simples máximas me han ayudado, a través de los años, a reconocer y comprender los mecanismos de fallas que se desarrollan en motores a gas, sus causas y consecuencias.

También he aprendido que el análisis de fallas es una disciplina no muy utilizada, y que se limita comúnmente a la experiencia de los líderes de mantenimiento de las empresas, sin poseer muchas veces una metodología sistematizada para su evaluación y documentación.

En muchas empresas se utilizan técnicas como el análisis de causa raíz de fallas, pero se la emplea para fallas puntuales y con criterios de uso subjetivos, en lugar de aplicarla con sentido estratégico y como parte de una filosofía de mantenimiento. A veces los encargados de aplicar esta técnica buscan las causas de problemas entre un sinnúmero de eventos de baja o nula probabilidad (ejemplo: la influencia de la alineación de los planetas sobre la metalurgia superficial, o una partida de lubricante con un valor de cenizas sulfatadas 5% encima de su valor promedio, etc., etc.) con el objetivo de satisfacer su ego de ingenieros devenidos a científicos, dejando de lado las causas más obvias (que son las que siempre tienen mayor probabilidad de ocurrencia) como los errores humanos, la mala operación o el mantenimiento, pues no ejercitan la mente de un ingeniero (en otras palabras: "cualquiera puede darse cuenta de esas causas, y yo no soy cualquiera pues soy un profesional").

Esto me ha llevado a tomar como propia una máxima sobre la que una vez leí: "Sin un programa de análisis de fallas, los esfuerzos de mantenimiento se asemejan al juego del gallito ciego", a la cual le agregaría una máxima propia: "El ego de los ingenieros muchas veces hace que las causas reales de fallas pasen desapercibidas y se haga foco en causas de baja o nula probabilidad" (¡y esto lo dice otro ingeniero!).

El resultado final es que se termina discutiendo sobre temas que nada tienen que ver con la causa de una falla, se dedican valiosos recursos para investigar estas causas, y en consecuencia el problema real sigue sin descubrirse.

Lubricación de motores a gas

Pero como el presente artículo no pretende ser un tratado general sobre análisis de fallas, sino versar sobre su aplicación a motores a gas estacionarios, comencemos a ir al grano.

No entraremos en los detalles de selección de lubricantes para motores a gas natural, ya que escapa al alcance del trabajo. Sólo diremos lo siguiente: En lo que concierne a la selección de lubricantes para motores a gas, no existen especificaciones ampliamente aceptadas en la industria para definir los requisitos de desempeño. Aunque hay especificaciones para motores de combustión interna impulsados con gasolina o diesel, estas especificaciones no aplican a los motores a gas. Los motores que operan con combustibles gaseosos, al contrario de los motores automotrices convertidos que usan GNC o GLP, requieren aceites lubricantes diseñados y formulados para satisfacer los requisitos únicos de un motor a gas. Tanto las bases como la combinación de aditivos son críticas en el balanceo de las necesidades de desempeño de estos motores.

Ahora, una vez seleccionado el lubricante, aún cuando la selección haya sido correcta, no estamos exentos de la aparición de fallas de lubricación. Un diagnóstico correcto de las mismas nos permitirá validar la selección efectuada y/o modificar las condiciones de operación de los equipos.

DESARROLLO

Antecedentes

Antes de ir de lleno al punto que nos ocupa, repasemos algunos antecedentes importantes, que nos ayudarán a sentar las bases para los postulados que haremos.

La bibliografía de análisis de fallas es extensa, y en todos los casos los autores empiezan por categorizar los tipos de falla de acuerdo con los patrones característicos que los agrupan.

Así, asistimos a diferentes clasificaciones, de las cuales extraeré dos:

El Ing. Heinz P. Blochⁱⁱ, clasifica los modos de falla de la siguiente manera:

Deformación - plástica, elástica, etc.

Fractura - fisuras, fracturas por fatiga, picado (o pitting), etc.

Una anécdota para ilustrar:

En una oportunidad presencié una disertación de aproximadamente una hora sobre las consecuencias de la nitración en un aceite, soportada por artículos escritos por profesionales reconocidos y estadísticas muy interesantes, con el objetivo de presentarla como la causa de un desgaste por cavitación hallado en un cojinete. Todo porque se había hallado en el historial de análisis de aceite un par de valores cercanos, pero no superiores, a los límites de nitración permitidos.

El disertante era un ingeniero que se desempeñaba como técnico de servicio de un importante fabricante de motores a gas, y lo escuchábamos 6 ingenieros del cliente dueño del motor y yo.

Luego de escuchar atentamente su brillante disertación sobre nitración, mi respuesta fue:

"Estimado señor, estamos todos de acuerdo con que el cigarrillo provoca cáncer, pero lamentablemente este hombre se murió de un disparo en la cabeza".

Inmediatamente saqué un artículo publicado por el propio fabricante al que representaba este profesional, explicando las causas del desgaste por cavitación (donde la nitración del aceite no tiene nada que ver) y aseverando que se trata siempre de un desgaste superficial por el cual el usuario no debe preocuparse.

¡Qué pérdida de tiempo y recursos en una discusión estéril!

Cambios superficiales - cavitación, desgaste, etc.
Cambios materiales - contaminación, corrosión, desgaste, etc.
Desplazamiento - aflojamiento, rotura, tolerancia excesiva, etc.
Fuga
Contaminación

Esta clasificación nos permite sentar las bases para un análisis de los componentes fallados, ya que cada modo de falla implica causas diferentes, así como mecanismos de falla característicos.

Alineado con la nueva doctrina de mantenimiento proactivo, el Dr. Fitchⁱⁱⁱ postula que existen 5 (cinco) tipos de fallas, a saber:

Falla condicional: una condición de operación que se desvió de sus parámetros regulares, y que si persiste eventualmente conducirá a una falla

Falla incipiente: una condición donde se notan los primeros signos de degradación de materiales por los medios de detección usuales, pero aún no se percibe un cambio de desempeño del motor

Falla inminente: una condición de degradación evidente de material, donde ya ha ocurrido un serio deterioro del desempeño

Falla precipitada: una condición de degradación acelerada tanto del equipo como del desempeño, que resulta en un impedimento parcial de su función

Falla catastrófica: una condición de cese repentino y completo de la operación del equipo, y total impedimento de seguir cumpliendo con su función.

Esta clasificación es sumamente interesante, ya que agrega un nuevo tipo de falla, condicional, que hasta el momento no se tomaba en cuenta. Esto es, todavía no se ha notado ningún cambio en el desempeño del equipo, o algún tipo de modificación en la estructura del componente, pero al haber habido un cambio de condición de operación es muy probable que la misma conduzca en el futuro a una falla. Es decir, para que exista una deformación plástica primero debe existir una fuerza, provocada quizás por una condición de sobrecarga, la cual en este caso constituye la falla condicional pues el equipo no debería trabajar sobrecargado.

Además a todas las clasificaciones existentes le podríamos sumar una causa de falla esencial. **Cuando la misma falla se repite una y otra vez, el problema es del tipo gerencial.**

Se dice que los humanos poseemos un horizonte de aprendizaje, que hace que cuando el tiempo transcurrido entre la aparición de una causa de falla (por ejemplo, una condición de sobrecarga) y la observación del síntoma es demasiado extenso, no se asocie causa con síntoma y, por lo tanto, la organización no aprenda de los problemas. Lo mismo es válido cuando tratamos con soluciones, si las mismas no son documentadas (conocimiento explícito) dependemos de la memoria de las personas (conocimiento implícito), que como sabemos es bastante limitada, por lo que las acciones correctivas implementadas en el pasado son fácilmente olvidadas.

El Análisis de Modos de Falla y sus Efectos (A.M.F.E.) es una técnica desarrollada inicialmente por el ejército de EE.UU., y documentada por primera vez en el año 1949. Luego fue adoptada por la industria automotriz, y finalmente se difundió a todos los tipos de industria. La ventaja de este enfoque es que provee una metodología estructurada para minimizar o eliminar la ocurrencia de fallas potenciales, priorizándolas en base a criterios de riesgo, probabilidad de ocurrencia y probabilidad de detección.

Esta técnica constituye una herramienta sumamente adecuada, en combinación con la clasificación del Dr. Fitch, para generar ahorros gigantescos en el mantenimiento de motores a gas.

Análisis de fallas de lubricación

Haremos aquí una importante distinción entre fallas de lubricación y fallas de lubricante. Las primeras se refieren a un deterioro en alguna condición específica de lubricación que impacta sobre el desempeño del equipo, y no necesariamente involucran una falla de lubricante, que es cuando el aceite deja de cumplir su función por un defecto intrínseco del mismo (mala aditivación, incorrecta selección, calidad pobre o defectos de fabricación).

Ejemplos concretos de fallas de lubricación^{IV} en motores a gas son:

- Depósitos en la cámara de combustión
- Depósitos en el cárter
- Depósitos en el turbo
- Corta vida útil de bujías
- Corta vida útil de aceite y filtros de aceite
- Motores sucios
- Válvulas quemadas
- Válvulas pegadas
- Aros desgastados
- Camisas desgastadas
- Fisura de tapa de cilindros
- Rayado
- Corrosión
- Formación de barnices
- Recesión de válvulas
- Rotura de válvulas

Mientras que causas concretas de fallas de lubricación son:

- Fugas de glicol
- Fugas de agua
- Condensación de humedad
- Relación Aire/Combustible
- Cargas
- Servicio (Paradas y arranques)
- Combustible
- Avance de la ignición
- Preignición
- Detonación
- Temperatura de aceite
- Temperatura de agua
- Depósitos en el sistema de enfriamiento
- Alto consumo de aceite
- Extensión de los intervalos de cambio
- Filtración inadecuada del aceite
- Aros desgastados
- Filtración de aire
- Aceite sucio a cilindros de potencia (2 tiempos)
- Problemas en el sistema de ignición
- Sellos de guías de válvulas desgastados
- Balance del motor

Como podrán apreciar, la gran proliferación de problemas y causas torna muy difícil la identificación de la causa raíz adecuada para cada falla presente en un motor a gas. Es usual observar que la aparición de una falla particular tiene varias causas asociadas, y también que cada causa provoca más de un tipo de falla.

Sin embargo, utilizando un enfoque de análisis sistémico podremos concluir que la aparente confusión en realidad no es tal.

En términos prácticos, podemos decir que un lubricante puede dejar de cumplir su función, por alguno de los siguientes motivos:

Contaminación: Con polvo del medio ambiente, agua, glicol, combustible, etc.

Degradación química: Fundamentalmente oxidación y/o nitración del aceite

Degradación física: Fundamentalmente cambios de viscosidad

Ahora, ¿qué provoca que un aceite de buena calidad y bien seleccionado deje de cumplir su función? Las causas concretas que enumeramos en las páginas anteriores.

Tradicionalmente, el enfoque utilizado en las oficinas de mantenimiento de la mayoría de las empresas así como en los departamentos de servicio de los proveedores de lubricantes, se centra en la detección de cambios físicos y químicos en los lubricantes, a partir de lo cual se decide sobre la vida útil de los aceites así como sobre las intervenciones a realizar en los equipos.

Ahora, si bien sabemos que todo lubricante sufrirá cambios durante su vida útil, también sabemos que condiciones anormales de operación como las ya enumeradas como causas de fallas de lubricación provocarán una degradación acelerada del lubricante. Conociendo el impacto que cada condición de operación tiene sobre la degradación química, degradación física y la contaminación de un aceite, podremos establecer valores de control para las mismas, previniendo de lleno su desviación y, de esta manera, la degradación anormal de las condiciones de lubricación.

Así, evitando la aparición de las denominadas fallas condicionales, podremos minimizar las paradas no programadas de equipos debidas a fallas de lubricación.

El Análisis de Modos de Falla y sus Efectos nos brinda una metodología sencilla desde la cual encarar el problema, uniendo los distintos conceptos y clasificaciones hasta aquí enumerados.

| Modo de falla relacionado con lubricación | Efectos posibles | Criticidad | Causas posibles | Mecanismos de detección | Intervalo P-F |
|--|------------------------------|---|--|----------------------------------|--|
| ¿Cuál es la naturaleza de la falla? | ¿Qué podría pasar si ocurre? | ¿Cuál es la importancia y probabilidad de ocurrencia? | ¿Cuáles causas raíz provocaron la falla? | ¿Cómo puede detectarse la falla? | ¿Qué alerta proveen los mecanismos de detección? |

En la tabla previa se nos presentan una serie de preguntas a responder, las cuales aplican a cualquier tipo de falla, ya sea una fisura de tapa de cilindros como soplado de válvula o desprendimiento de material de cojinetes.

Ejemplo: Oxidación del aceite y sus consecuencias

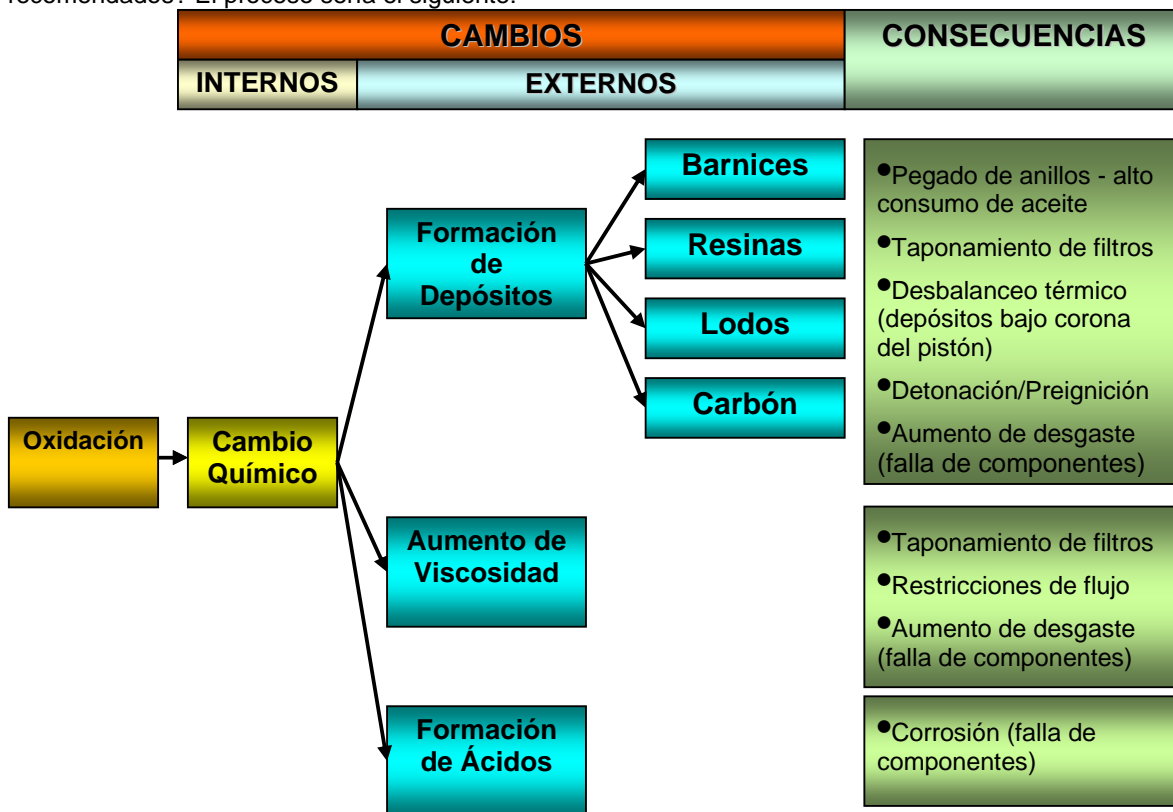
Veamos un ejemplo de lo expuesto:



Según un fabricante de equipos (no aplica a todos):

- Los extremos de temperaturas afectan la severidad de trabajo del aceite
- Temperaturas encima de 88°C (190°F) promueven la rápida oxidación del aceite
- Temperaturas debajo de 57° - 60°C (135°F - 140°F) previenen que el agua y óxidos de nitrógeno se vayan, favoreciendo la nitración
- Temperatura de aceite óptima: 66°C - 77°C (150° - 170°F)

¿Qué sucede, por ejemplo, si la temperatura del aceite se encuentra por encima de los valores recomendados? El proceso sería el siguiente:



La oxidación es una reacción normal entre el aceite y el oxígeno durante el proceso de combustión. La oxidación de los aceites lubricantes es usualmente el factor que limita su vida útil. Los metales de desgaste y los contaminantes pueden filtrarse y el agua puede removerse por varios métodos, pero la oxidación no puede ser removida del aceite ya que es un cambio químico que le sucede a la base.

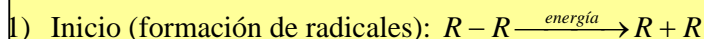
Las principales causas de oxidación anormal del aceite en motores a gas son sobrecalentamiento, excesivo soplado, intervalos de cambio de aceite sobreextendidos, puntos calientes localizados y fugas de glicol (refrigerante). Una vez que se inicia el proceso de oxidación, ocurren cinco cambios en el aceite:

- El color se torna más oscuro, hasta el punto de una total opacidad
- El olor se vuelve muy fuerte, o acético, debido a la presencia de ácidos orgánicos en exceso
- Aumenta la acidez (aún cuando este no es un proceso inmediato)
- Aumenta la viscosidad

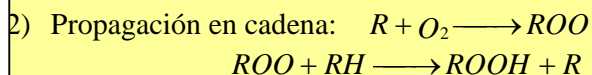
Los insolubles precipitan, produciendo depósitos negros y pesados en el cárter, el área de los anillos del pistón, las tapas de cilindros, las válvulas, guías de válvulas y cubierta superior.

Nota de mi profesor de química:

El mecanismo químico por el cual ocurre la oxidación actúa como un proceso de 4 etapas detallado más abajo (donde R representa un funcional alquil, o radical libre derivado de un hidrocarburo):

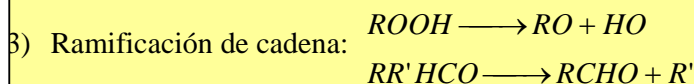


El inicio de la oxidación ocurre debido a una fuente de energía tal como calor, luz, o esfuerzo de corte mecánico. Este proceso puede ser catalizado (acelerado) por la presencia de iones metálicos (metales de desgaste). Las moléculas no saturadas o las aromáticas son las más susceptibles a este corte de la unión debido a la menor estabilidad de las uniones contenidas en estas moléculas.

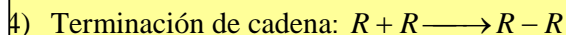


El radical alquil formado en la etapa inicial reacciona irreversiblemente con una molécula de oxígeno para formar un radical alquil peroxi. Este radical peroxi extrae entonces un átomo de hidrógeno de otra molécula de hidrocarburo y forma otro radical alquil. Esto puede continuar indefinidamente, y es la causa por la cual se dice que la oxidación es una "reacción en cadena". El factor limitante en este paso es la presencia de oxígeno, por eso el aire atrapado puede acelerar rápidamente la oxidación al aumentar el área superficial del lubricante expuesta a moléculas de oxígeno. También note que la molécula ROOH formada es un ácido carboxílico, que es la causa del aumento del TAN de un aceite oxidado.

El valor de oxidación reportado en un análisis de aceite es una medida del pico C=O en un espectro IR comparado contra los datos del lubricante nuevo.

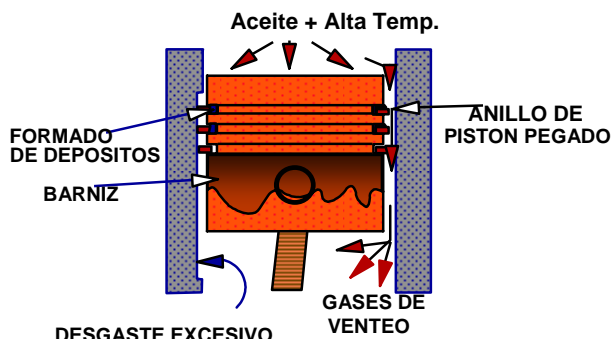


Existen muchos mecanismos diferentes que tienen lugar en esta etapa. El resultado final pueden ser cadenas de hidrocarburos reordenadas, más radicales alquil y alcoxi, alcoholes, agua, aldehídos y cetonas. Las etapas de ramificación de cadena son sólo significativas a temperaturas por encima de 150 °C, ya que la etapa 1 de esta reacción posee una gran energía de activación. Las cetonas y aldehídos que se forman como se vio en la etapa 2 de esta reacción condensarán para formar productos poliméricos de degradación que provocan que la viscosidad del aceite aumente. Estos materiales poliméricos eventualmente se convertirán en depósitos de lodos y barnices.



La terminación de la cadena ocurrirá cuando se combinen dos radicales, formando una molécula estable de hidrocarburo.

La estabilidad a la oxidación varía no sólo con el grado de viscosidad del aceite sino también con la calidad del aceite básico y los aditivos seleccionados.



Veamos ahora las consecuencias de la oxidación del aceite sobre pistones y camisas. La formación de *depósitos de carbón* puede conducir a un elevado desgaste abrasivo de camisas (partículas de carbón) debido a la formación de depósitos en las áreas de ranuras de anillos que pueden forzar a los anillos contra las paredes del cilindro. El deterioro de la función de sello de los anillos permite el paso de los gases de venteo, que provocan una mayor degradación del

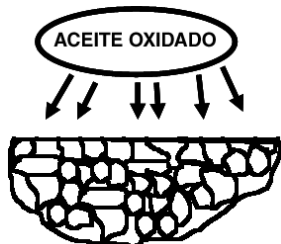
aceite por nitración. Un aumento del consumo de aceite, así como de combustible, son consecuencias directas de lo expuesto.

En el caso de cojinetes, el mecanismo sería:



granular

1. La superficie del cojinete tiene estructura



2. Agente corrosivo penetra y debilita la estructura de grano



superficial

3. Granos removidos de la superficie... mayor debilitamiento

Nota de mi profesor de metalurgia:

En este caso los agentes corrosivos son ácidos orgánicos de características débiles (similares al vinagre, por ejemplo), que atacan a los cojinetes (trimetálicos o bimetálicos) por medio de un mecanismo de corrosión selectiva de plomo.

1. Un mayor debilitamiento superficial degenera en sobrecargas localizadas, que finalmente provocan una falla por fatiga.
2. La fatiga, en cojinetes, se manifiesta por el desprendimiento de material, que puede rayar al cigüeñal, así como provocar taponamiento de los conductos de lubricación.

Ejemplo continuación: Oxidación del aceite y sus causas

Como ya mencionamos, las causas más comunes de oxidación son (separadas o combinadas entre sí):

1. Altas temperaturas de agua y/o aceite (sobrecalentamiento)
2. Formación de incrustaciones en agua de camisa.
3. Puntos calientes localizados.
4. Pequeñas fugas de refrigerante.
5. Sobreextensión del servicio.

Aclaración: Excluimos entre estas causas las que tienen que ver con conductas humanas (mezcla de aceites, errores de aplicación, etc.), con el aceite mismo (mala calidad, partida defectuosa, etc.) o las condiciones de operación (temperatura ambiente, posición de la admisión de aire, detonaciones, etc.) para simplificar el análisis.

Altas temperaturas conducirán a la oxidación del aceite luego de largos períodos de tiempo. Mucha gente cree que temperaturas en cárter mayores de 200 °F (93,3 °C) son elevadas. Esto es elevado para grandes motores de transmisoras de gas pero es común de ver en algunos de los motores de alta velocidad y 4 tiempos que operan en cogeneración y otros servicios.

Aunque temperaturas de cárter superiores a 200 °F (93,3 °C) disminuirán la vida útil del aceite, esta no es la alta temperatura que consideramos cuando hablamos de las causas de degradación temprana del aceite. Las temperaturas que más nos preocupan son las de las camisas, las áreas de anillos y bajo la corona de los pistones, donde las películas de aceite se verán expuestas a temperaturas de más de 400 °F (204,4 °C) por períodos breves de tiempo. Las temperaturas en estas áreas se verán exageradas sobremanera por altas cargas en el motor, preignición o detonación, combustión desbalanceada y malas condiciones del sistema de refrigeración, por mencionar algunas. Además, las finas películas de aceite en las áreas de anillos y parte superior de camisa están expuestas a subproductos de la combustión, principalmente ácidos orgánicos y compuestos de nitrógeno y, si el combustible posee azufre o cloro, pueden formarse ácidos inorgánicos fuertes durante la combustión que reaccionarán con las películas delgadas de aceite que luego serán arrastradas al aceite del cárter.

La segunda causa requiere un análisis más profundo, usualmente incluyendo una parada de equipo, y probablemente se debe a problemas de mantenimiento del sistema de refrigeración.

La tercer causa puede ser rastreada a diferentes fuentes, tales como composición del gas combustible, operación del motor (avance de la ignición, relación aire-combustible, etc.) y calidad del aceite lubricante. Usualmente involucra alta formación de depósitos en la corona del pistón, de manera que puede ser descubierta mediante una inspección boroscópica.

Respecto de la cuarta causa podemos decir que el glicol es veneno para el aceite, ya que provoca la degradación acelerada del mismo así como la precipitación de sus aditivos. Mínimas cantidades de glicol en aceite (menor de 0,5%) pueden tener consecuencias desastrosas sobre un motor a gas.

Finalmente, si los períodos de cambio de aceite se extienden demasiado, el efecto acumulativo de la oxidación causará la formación de depósitos.

Un enfoque sistémico: Aplicando A.M.F.E. a motores a gas

En nuestro ejemplo, revisamos cómo la aparición de diversas desviaciones en las condiciones de operación de un motor conducen a una oxidación acelerada del aceite y, si la condición persiste, a problemas de desempeño del equipo.

Ya contamos con todos los elementos necesarios para realizar un A.M.F.E. parcial para el ejemplo planteado. Asumamos una sola de las consecuencias de la oxidación del aceite, en este caso corrosión de cojinetes:

| Modo de falla relacionado con lubricación | Efectos posibles | Criticidad | Causas posibles | Mecanismos de detección | Intervalo P-F |
|--|-------------------------------------|--|---|---|--|
| ¿Cuál es la naturaleza de la falla? | ¿Qué podría pasar si ocurre? | ¿Cuál es la importancia y probabilidad de ocurrencia? | ¿Cuáles causas raíz provocaron la falla? | ¿Cómo puede detectarse la falla? | ¿Qué alerta proveen los mecanismos de detección? (asignar valor de 1 a 10*) |
| Oxidación del aceite | Corrosión de cojinetes | Asignar valor a ambos (de 1 a 10) 1: menos importante (sin riesgo y gasto nulo), o con baja probabilidad de ocurrencia 10: alto riesgo y/o costo y alta ocurrencia | Altas temperaturas de agua y/o aceite | Monitoreo de temperaturas | 3 (2100 hs) |
| | | | Formación de incrustaciones en agua de camisa. | Análisis de refrigerante y circuito | 1 (6500 hs) |
| | | | Puntos calientes localizados. | Inspecciones boroscópicas | 7 (720 hs) |
| | | | Pequeñas fugas de refrigerante. | Análisis de aceite usado | 3 (2100 hs) |
| | | | Sobreextensión del servicio. | Análisis de aceite usado | 9 (240 hs) |

* Con valores en aumento cuando la anticipación que provee el mecanismo de detección es menor

Plan de acción

La finalización del análisis de modos de falla y sus efectos debe incluir necesariamente un plan de acción detallado, con cursos de acción recomendados, fechas y responsables de los mismos.

Las prioridades del plan de acción deben hacerse en función de los valores resultantes del Número de Prioridad de Riesgo (NPR), calculado así:

$NPR = \text{Importancia} \times \text{Probabilidad de Ocurrencia} \times \text{Detección}$
Ordenados de mayor a menor.

| NPR | Causa raíz | Detección | Curso de acción de recomendable | Responsable |
|-----|--|-------------------------------------|---|--------------------|
| X | Altas temperaturas de agua y/o aceite | Monitoreo de temperaturas | Fijar parámetros de control de las temperaturas de agua y aceite, asegurarse que las temperaturas se tomen siempre en el mismo lugar (entrada y salida del motor, para evaluar el salto térmico) y verificar periódicamente la calibración de los equipos medidores. | Juan Pérez |
| X | Formación de incrustaciones en agua de camisa. | Análisis de refrigerante y circuito | Seleccionar un proveedor de refrigerante que, además de proveer un producto de buena calidad, brinde un servicio de análisis. Monitorear los parámetros del refrigerante en forma periódica (definir período) y asegurarse que el circuito de refrigeración esté sellado y presurizado. Inspeccionar los equipos de manera de evaluar la condición actual del circuito de refrigeración y programar limpiezas químicas de ser necesario. | John Galíndez |
| X | Puntos calientes localizados. | Inspecciones boroscópicas | Programar inspecciones periódicas de los motores, y documentar los hallazgos. | Roger Injustiniano |
| X | Pequeñas fugas de refrigerante. | Análisis de aceite usado | Seguir de cerca los valores de sodio, potasio y boro en el aceite usado. Ante bruscas variaciones investigar la ubicación de la fuga de refrigerante y repararla de inmediato. Documentar todo el proceso. | Sergio Flowers |
| X | Sobreextensión del servicio. | Análisis de aceite usado | Establecer períodos de cambio donde el aceite del 100% de los equipos llegue a menos del 80% de sus límites condensorios. Nunca extender los períodos de cambio sin una buena razón (cambio de tecnología de aceite, cambio de condiciones operativas del motor, etc.). | Sergio Flowers |

Finalmente, una vez entregados los informes de los responsables de cada curso de acción, es hora de la implementación. Esto involucra:

- 1) Generar procedimientos escritos a partir de los informes de cada responsable
- 2) Establecer métricas por las cuales se medirán los resultados (ejemplo: tiempo medio entre fallas, dinero gastado en repuestos, etc.)
- 3) Capacitar al personal que se encargará de implementar cada procedimiento
- 4) Establecer mecanismos de control para las tareas, con nuevas recompensas y castigos basados en estos procedimientos renovados
- 5) Documentar los avances logrados así como los ahorros conseguidos, de manera de tener un apoyo irrefutable en las reuniones gerenciales

CONCLUSIONES

La utilización del Análisis de Modos de Falla y sus Efectos aplicado a la lubricación de motores a gas permite aplicar los conceptos de mantenimiento proactivo a estos equipos, eliminando así las fallas condicionales que eventualmente degeneran en la degradación temprana del lubricante, y permitiendo así recuperar el máximo de su inversión en lubricación.

De esta manera, se puede actuar sobre las causas raíces de las fallas más usuales, lo cual nos brinda un gran espacio de tiempo para poder planificar las intervenciones a los equipos y evitar que sean ellos quienes fijen nuestra agenda con sus paradas repentinas.

La utilización de esta metodología por parte de los departamentos de mantenimiento y operaciones, y el apoyo de un proveedor de lubricantes con conocimiento experto sobre tecnología de lubricación, permitirá avanzar un paso más allá en el camino del mejoramiento continuo.

BIBLIOGRAFIA

ⁱ Tribology Detectives, por Nancy J. Demarco

ⁱⁱ Machinery Failure Analysis and Troubleshooting, por Heinz P. Bloch y Fred K. Geitner

ⁱⁱⁱ Proactive Maintenance for Mechanical Systems, por E.C.Fitch

^{iv} Publicación interna ExxonMobil Research & Engineering

El autor:

Marcelo E. Martins es ingeniero metalúrgico egresado de la Universidad Nacional de La Plata, y posee un título de Master en Administración de Empresas otorgado por I.D.E.A. (Instituto para el Desarrollo Empresarial de la Argentina). Actualmente se desempeña como Ingeniero de Lubricación Senior en Esso Petrolera Argentina S.R.L., una compañía perteneciente a ExxonMobil Corp.. Se ha especializado en lubricación industrial, y más precisamente lubricación de motores a gas, siendo en la actualidad un referente mundial en su especialidad. Es además docente asociado en el programa de posgrado de Gestión del Mantenimiento de la Universidad Austral (Argentina), docente asociado al Centro Argentino de Tribología y miembro del Comité Técnico de la Cámara Argentina de Lubricantes.

Ha dictado conferencias en varios países latinoamericanos, incluyendo Argentina, Venezuela, Colombia, Perú, Ecuador, Brasil y Bolivia entre otros, y es el principal autor del nuevo Programa de Servicio para Motores a Gas, una iniciativa global de ExxonMobil Corporation.

Es autor de las siguientes publicaciones internas de ExxonMobil Corp., traducidas a varios idiomas, "Manual de Aplicación de Grasas", "Tratado de Análisis de Aceites Usados", "Lubricantes Sintéticos y su Aplicación", "Inspecciones Boroscópicas de Motores a Gas", "Análisis de Fallas en Motores a Gas", así como de artículos para la publicación oficial de la Cámara Argentina de Lubricantes.