



Determinación de la causa de la formación de espumas en el aceite del alternador de los generadores diésel de emergencia durante su funcionamiento



INTRODUCCIÓN

Descripción suceso

El día 19 de enero de 2015, durante la ejecución del Procedimiento de Vigilancia de Operación del Generador Diésel de Emergencia (GDE) de la Unidad II se detecta presencia de una capa de espumas de 10-12 centímetros en el interior del tanque de aceite del alternador. Se detiene la ejecución de la prueba y se realizan varios arranques para pruebas por parte de mantenimiento. Se toman distintas muestras del aceite para analizar la causa de la formación de espumas y se drena totalmente el aceite del tanque y del circuito y se carga con aceite nuevo.

El aceite que se encontraba en el circuito cuando se formaron las espumas era nuevo ya que se había cambiado durante la última Recarga. El aceite utilizado había pasado satisfactoriamente los ensayos para dedicación.

En consecuencia de este suceso se abre una *Condición Anómala*.

ANTECEDENTES

El aceite usado en el circuito del alternador es un aceite mineral parafrínico y de

alto grado de refino, que en su formulación incluye aditivos inhibidores de la oxidación, la herrumbre y antiespumantes, siendo adecuado para la utilización en compresores y bombas. Este aceite además, minimiza la formación de cenizas para un mejor mantenimiento de los equipos.

Habitualmente este aceite se muestrea y se analiza una vez por ciclo, normalmente entre uno y dos meses antes de Recarga, para comprobar el estado del aceite, y programar intervenciones en consecuencia de los resultados durante la Recarga.

El día 19 de mayo de 2014, tras la revisión y mantenimiento del motor del Generador Diésel de Emergencia A de la Unidad I durante la 23ª Recarga, se realiza un arranque del mismo. Después de aproximadamente una hora se debe detener el motor por fuga en un cojinete del alternador, lado motor 2, causada por la formación de espumas en el circuito de lubricación del alternador.

Se decide drenar el aceite que produce espumas, y tomar muestra para análisis físico-químico, y se decide reponer con aceite nuevo el circuito.



JORDI ESPAÑOL VILLAR

Jefe Oficina Técnica de Química de C.N. Ascó.
Ingeniero químico e ingeniero en Organización Industrial.

MARIO BORONAT MEDICO

Jefe Química y Radioquímica de C.N. Ascó.
Licenciado Ciencias Químicas.

Al día siguiente, se volvió a arrancar el Generador Diésel A sin observarse presencia de espumas, por lo que se continúa con las operaciones de arranque del generador, y posterior ejecución de la prueba sin detectarse ninguna anomalía.

En las muestras de aceite analizadas, no se encuentra ningún parámetro fuera de especificaciones, excepto una concentración de calcio de entre 14 y 15 ppm; valor superior a lo habitual. El aceite usado, en su formulación de fabricación no se aditiva con calcio, por lo que se determina que los valores de calcio analizados, corresponden a un contaminación.

El aceite que se encontraba en el circuito cuando se formaron las espumas era nuevo ya que se había cambiado durante la 23ª Recarga y había pasado satisfactoriamente los ensayos para dedicación.

En aquel momento en base a estos resultados obtenidos, se relacionó la contaminación por calcio con el uso de detergentes para limpieza, ya que estos contienen calcio; por lo que se transmite a Mantenimiento la no conveniencia de uso de productos detergentes para la limpieza de tanques y equipos que contengan aceite, ya que podría ser la causa de la formación de espumas.

Posteriormente, el día 4/12/2014 durante la realización de las ESFAS del Generador Diésel A (GDE-A) en la 22ª Recarga de Grupo 2, se reproduce otro episodio de espumas. En esta ocasión se generó una capa de espuma en el tanque que dificultaba la evacuación de aire de la cajera, hasta el punto de rebosar, provocando la entrada de aceite en el interior del alternador por el lado motor.

Se paró el GDE-A y se drenó el aceite, se tomaron muestras del aceite y de las espumas; y se limpiaron los restos de espumas.

El aceite, que se encontraba en el circuito cuando se formaron las espumas era nuevo ya que se había cambiado durante la última Recarga de la misma forma que en el Grupo 1 y había pasado satisfactoriamente los ensayos para dedicación.

Las muestras de aceite tomadas fueron analizadas, sin encontrarse ningún parámetro físico-químico alterado, excepto una contaminación por calcio de 11 y 16 ppm, siendo de 21 ppm en las muestra de espumas recogidas.

Al no encontrarse la causa raíz de la formación de espumas, y de la posible fuente de calcio, ya que Mantenimiento asegura la no utilización de detergentes o jabones, se sospecha que podría existir alguna pequeña entrada aire, por lo que Mantenimiento realiza un revisión exhaustiva de todo los componentes del circuito sin encontrar ninguna anomalía.

A continuación se decidió volver a llenar el tanque y el circuito con aceite nuevo, y se hicieron distintos arranques para pruebas del motor sin observar espumas en el aceite del alternador, por lo que se da el equipo como operable y finalizan las ESFAS del GDE-A, siguiendo con los trabajos programados de la Recarga.

ANÁLISIS QUÍMICOS REALIZADOS Y EVALUACIÓN DE RESULTADOS

Análisis químicos realizados al aceite

Al detectarse la presencia de espumas se toman muestras del tanque del circuito de lubricación del alternador, de los siguientes puntos:

- Cojinetes alternador (cajera).
- Tanque aceite.
- Depósito lado aspiración bombas.
- Tres muestras de aceite nuevo.

Estas muestras se mandaron a dos laboratorios externos especializados en el análisis de aceites (uno de ellos el del fabricante del aceite) y se realizan los ensayos físico-químicos para determinar si las propiedades del aceite eran correctas, así como determinar si existían impurezas o contaminantes.

De los resultados de estos análisis se desprende que los parámetros físico-químicos se encuentran dentro de los rangos normales, excepto la presencia en todas de calcio, según la Tabla 1.

Por otra parte, se toma muestra de los tres bidones de aceite nuevo utilizados para renovar el aceite del circuito y del tanque para asegurar que cumple con los criterios de fabricación, aunque este ya se había analizado químicamente y validado para su dedicación.

De estos análisis se desprende que el aceite nuevo cumple con las características especificadas por el fabricante en cuanto a propiedades físico-químicas así como de aditivación, siendo destacable que en el aceite nuevo no se detecta presencia de calcio.

Evaluación de resultados de análisis de aceite

Una vez obtenidos los datos de los ensayos realizados de los que *a priori* no se observa ningún parámetro fuera de especificación, se empieza una evaluación profunda de los resultados, así como un estudio bibliográfico para intentar determinar la causa raíz de la formación de espumas.

Como primera actuación, siguiendo la experiencia operativa ajena de la central nuclear de Calvert Cliffs 1 [5] se solicitó al fabricante del aceite, que informara si se había realizado algún cambio en la composición o aditivación del aceite, a lo que se respondió indicando que el aceite no había sufrido ninguna variación en su formulación desde 2006. Teniendo en cuenta esta información se descarta que la problemática de las espumas fuese causada por un cambio en la formulación del aceite, tal y como se apuntaba en la experiencia operativa ajena de Calvert Cliffs 1.

Una vez descartado un posible cambio en la formulación del aceite, se sigue buscando la causa raíz del fenómeno de formación de espumas.

Como punto de partida para la determinación de la causa de las espumas, se toma la guía EPRI *Oil Lubrication Guide for Rotating Equipment* [1], que indica en el punto 4.2.6 *Air Contamination and Foaming* que las posibles causas de la formación de espumas en un aceite son:

- Aireación del lubricante debido a problemas mecánicos.
- Sobreagitación.
- Flujos de drenaje elevados.
- Mezcla de lubricantes incompatibles (puede inhibir el antiespumante).
- Exceso de antiespumante.
- Agua en el lubricante.
- Partículas en el lubricante.
- Impactos de temperatura.
- Otras actividades de mantenimiento.

Teniendo en cuenta que tras la revisión por parte de Mantenimiento Mecánico no se determina aireación, ni sobreagitación, no existe flujos de drenaje elevados, ni impactos de temperatura, ni ninguna actividad de mantenimiento que pueda relacionarse con la formación de espumas, y que el contenido en agua de las muestras analizadas en todos los casos está muy por debajo del máximo establecido en el 0.1 % (1.000 ppm), se considera que la posible causa de la formación de espumas podría ser debido a la contaminación por otro lubricante, grasa, etc., o por partículas.

Observando las analíticas, se pone de manifiesto que en las muestras analizadas de aceite del alternador se detecta la presencia de calcio, elemento que no aparece en el aceite nuevo y no es un aditivo de este aceite.

Cojinetes Alternador (cajera)	Tanque Aceite	Depósito lado aspiración bombas
Concentración calcio = 1,70 ppm	Concentración calcio = 16,1 ppm	Concentración calcio = 16,4 ppm

Tabla 1. Concentración de calcio en las muestras de aceite.

Para poder ver si el calcio tiene una relación directa con la formación de espumas se elabora una tabla con los valores de calcio de las muestras analizadas en el sucesos anteriores de la unidades I y II, así como otras muestras que se realizaron como extensión de causa y muestras de aceite nuevo.

Tal y como se observa en la Tabla 2, se confirma que existe una relación entre la formación de espumas y la concentración de calcio.

Una vez demostrado que parecía existir una relación causa-efecto entre la presencia de calcio y la formación de espumas, se debía discernir cuál era el origen de este calcio, y qué efecto producía el calcio sobre el aceite y la formación de espumas.

Partiendo del punto de inicio de que después del suceso de formación de espumas en el en la Unidad I, se prohibió el uso de jabones y detergentes para la limpieza del tanque y otros componentes que contengan aceite como fluido de lubricación, se entrevistó al personal de Mantenimiento Mecánico, para consultar sobre si podía existir alguna contaminación con alguna grasa (grasas cálcicas), u otro aceite, por ejemplo el aceite usado en los motores de los Generadores Diésel de Emergencia, y que contiene calcio en su formulación, al ser uno de sus aditivos.

El personal de Mantenimiento entrevistado indicó únicamente que se usa una bomba de trasvase que se limpia previamente antes de usarla con el propio aceite a trasegar y que no hay ningún contacto entre los dos tipos de aceite.

Paralelamente revisando la bibliografía, se encontró en el artículo *Controlling Oil Aireation and Foam* de la revista *Lubrication Management* [2], el siguiente párrafo:

“Las partículas actúan como semillas o puntos de nucleación donde las burbujas se forman. Los aditivos antiespumantes pueden ser también atraídos a su superficie, lo que reduce su eficacia en el aceite. En particular, el polvo de cemento puede causar espuma abundante. No sólo el polvo actúa como un punto de nucleación para las burbujas, sino que también el calcio puede capturar al aditivo antiespumante, lo que hace que sea menos eficaz.”

A partir de esta referencia bibliográfica, se decidió realizar un conteo de partículas del aceite que había producido las espumas en la Unidad II, y además filtrar dicho aceite mediante un filtro de 0.45 micras, para retener las partículas y poder determinar su composición y morfología, ya que el calcio observado en el análisis de aceite podría proceder de cemento o de polvo de obra civil, ya que es uno de sus componentes mayoritarios, en forma de carbonato cálcico o sulfato cálcico;

Muestra	Fecha	Concentración calcio (ppm)	Formación de Espumas
Unidad 1 - Diésel A	22/01/2015	2	NO
Unidad 2 - Diésel A	22/01/2015	0	NO
Unidad 1 - Diésel B	26/01/2015	1	NO
Unidad 2 - Diésel B	19/01/2015	17	SI
Unidad 2 - Diésel B	19/01/2015	16	SI
Unidad 2 - Diésel B	19/01/2015	16	SI
Aceite nuevo	20/01/2015	0	N/A
Aceite nuevo	20/01/2015	0	N/A
Aceite nuevo	20/01/2015	0	N/A
Unidad 2 - Diésel A	04/12/2014	11	SI
Unidad 2 - Diésel A	04/12/2014	21	SI
Unidad 2 - Diésel B	04/12/2014	16	NO (*)
Unidad 2 - Diésel A	10/12/2014	0	NO

(*) NOTA: En este motor se formaron espumas en el siguiente arranque el 19/01/2015.

Tabla 2. Tabla comparativa entre distintas muestras de aceite, contaminación por calcio y la formación de espumas

cico; y teniendo en cuenta la elevada concentración de obra civil ejecutada en el emplazamiento, debido a la modificación del circuito contra-incendios sísmico, que ha requerido la apertura de múltiples zanjas, coincidiendo con la 23ª Recarga de Ascó I y la 22ª Recarga de Ascó II.

El conteo de partículas del aceite determina en primer lugar que existe una elevada contaminación por partículas, que parte de estas partículas son metálicas, pero que además existe un número muy elevado de partículas no metálicas. De las no metálicas se consigue aislar alguna de ellas y observarla en el microscopio electrónico, observándose que se trata de partículas sólidas con un aspecto similar al carbonato cálcico (Ca CO₃).

Este hecho hace pensar que el calcio presente en el aceite, está en una forma sólida y no disuelta, que sería el caso de una contaminación por grasas y, además, que al no ser un calcio en forma orgánica dicho calcio no podría proceder de otro aceite, ya que en los aceites el calcio se aditiva mediante un compuesto orgánico. Esta última afirmación también es corroborada por el fabricante de los aceites.

Análisis por microscopía electrónica con microanálisis de partículas

La contaminación por calcio de las partículas de cemento procedente de las distintas obras realizadas en el emplazamiento, podría ser la causa de la formación de las espumas, siendo esto verosímil, ya que acoplados al rotor del alternador hay ventiladores que evacúan aire a través de rejillas, siendo esta una posible entrada de polvo al sistema y además reforzado por el hecho que las rejillas de aspiración de aire de las unidades

ventilación de las salas de los GDE no disponen de filtros y que durante la ejecución del mantenimiento de los GDE las persianas del edificio se encuentran subidas, facilitando la entrada de polvo a las salas.

Una vez obtenida esta conclusión, para poder demostrar que las partículas de calcio que se encontraron en el aceite del alternador eran de polvo de cemento, se decidió realizar ensayos mediante la técnica de microscopía electrónica con microanálisis (EDS-SEM) de las partículas filtradas de la muestra de aceite.

Adicionalmente para poder corroborar que las partículas contaminantes del aceite correspondían a polvo de cemento y que este polvo de cemento debería coincidir con el polvo presente en las salas de los Generadores Diésel de Emergencia, para así corroborar la entrada del mismo a dichas salas durante las actividades de recarga, se intentó tomar muestra de polvo de las superficies de los GDE.

Inicialmente, dado que se encontró que los GDE se habían limpiado exteriormente no era posible obtener muestra de dicho polvo. Por este motivo, y aprovechando un andamio montado en la sala del sala GDE-A de la Unidad 2, para acceder a superficies no accesibles durante la limpieza de los GDE, se consiguieron tomar dos muestras de polvo de la superficie de la cajera de la persiana.

Estas muestras se enviaron a analizar conjuntamente con el filtro utilizado para filtrar aceite y del resultado del análisis SEM- EDS se obtuvieron los siguientes resultados:

- En ambas muestras de polvo obtenido de la cajera de la persiana del GDE-A, se detecta presencia de los siguientes elementos: calcio, oxígeno, carbono, magnesio, aluminio, silicio, azufre,

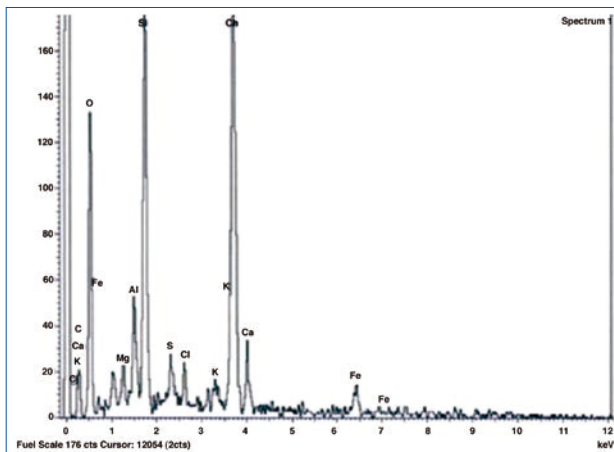


Figura 1. Espectro EDS partícula de polvo ambiental obtenida en caja persiana.

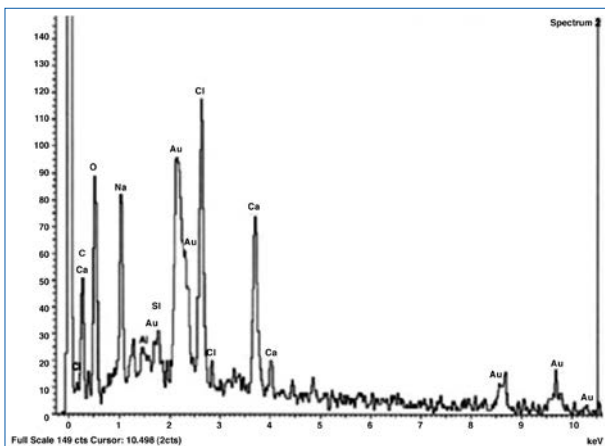


Figura 3. Espectro EDS partícula filtrada del aceite.

y hierro, siendo compatibles con la composición de partículas de hormigón o cemento.

En la Figura 1 se muestra el espectro EDS de una de las partículas analizadas donde se observa la presencia mayoritaria de calcio juntamente con otras especies (Figura 1).

- En las muestras de varias partículas filtradas del aceite del tanque del alternador, se detectan partículas con la presencia de los siguientes elementos: calcio, carbono, oxígeno, magnesio, aluminio, silicio, calcio y hierro. Estas partículas son similares a las analizadas en las muestras de polvo obtenido en la sala del GDE, y coinciden pues en definitiva, con la composición del cemento o hormigón (Figura 2).

En la Figura 3 se muestra el espectro EDS de una de las partículas aisladas del aceite del alternador, donde también se detecta el calcio como uno de los elementos mayoritarios, corroborando su similitud con las partículas de polvo analizadas.

- En las muestras de otras partículas filtradas del aceite del tanque del alternador, se detectan partículas con

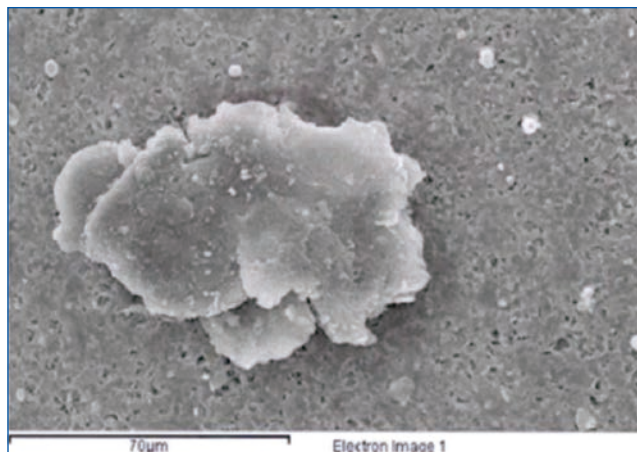


Figura 2. Imagen al microscopio de unas de las partículas aisladas en el aceite.

la presencia de los siguientes elementos: hierro y oxígeno, deduciendo que se trata de óxido de hierro. Se detecta un gran número de partículas con esta composición, indicando que en el aceite existía un gran número de partículas, tal y como ya se había apuntado en el conteo de partículas anteriormente citado.

CONCLUSIONES

A través de los distintos análisis y ensayos realizados, así como de la búsqueda bibliográfica realizada y de la información aportada por el fabricante del aceite, y de la evaluación de resultados realizada, se pueden obtener las siguientes conclusiones:

- La formación de espumas en el aceite del circuito de lubricación del alternador de los GDE, se debe a la presencia de partículas con calcio como contaminante del aceite, ya que actúa como partícula de nucleación para la formación de burbujas y además puede inhibir el mecanismo de actuación del aditivo antiespumante presente en la formulación del aceite.
- La contaminación por partículas con calcio del aceite procede del polvo de cemento o hormigón, producido por las distintas obras en curso en el emplazamiento, que llega a introducirse en el circuito de lubricación del alternador a través de las rejillas existentes en el sistema durante el mantenimiento de los GDE y durante sus arranques al estar en funcionamiento las unidades de ventilación de las salas de los GDE que captan aire del exterior.

- Existe un gran número de partículas en el aceite del alternador del GDE-B de la Unidad II que corresponden a óxidos de hierro, que podrían ser debidos a la limpieza de circuitos de aceite con agua.

ACCIONES RECOMENDADAS

A raíz de las conclusiones obtenidas han derivado las siguientes acciones:

- Aplicar acciones para la prevención de la entrada de polvo de obras civiles, en especial de hormigón y cemento, en las salas de los GDE, en especial durante sus arranques y trabajos de mantenimiento en recarga: restringir las obras cerca de la zona de los diésel durante los arranques, mejorar el confinamiento de las salas de los diésel, etc.
- Monitorizar la presencia de calcio y otros contaminantes, con una frecuencia semestral, mediante análisis químico. Crear una tarea de mantenimiento preventivo para el muestreo de aceite de dicho sistema.
- Revisar las prácticas limpieza de los circuitos de lubricación con aceites, evitando el uso de agua, y procurando no eliminar la capa de pasivación que crea el aceite, con el fin de evitar la corrosión de los materiales metálicos, en especial del acero al carbono.

REFERENCIAS

- [1] TR-1019517 EPRI- "Nuclear Maintenance Applications Center: Oil Lubrication Guide for Rotating Equipment". December 2009.
- [2] Artículo "Controlling Oil Aeration and Foam" de Machinery Lubrication Magazine. Nov. de 2011
- [3] Resultados Analíticos realizados en Laboratorio Químico de la C.N. Ascó
- [4] Resultados Analíticos realizados en Laboratorios Externos
- [5] Experiencia Operativa- Calvert Cliffs Unit 1: "Foaming of the Emergency Diesel EO18731- Generator Engine Oil During Post Maintenance Testing". Fuente: WANO. ■