

Determinación de la causa raíz de falla ocurrida en equipo hidráulico con brazo aislado para izaje de personal

Enrique Gutierrez¹, Fernando Jurado², Ricardo Chavez, Rommel Hernandez C. y Hugo Escalera³

Laboratorio de Alta Corriente LAPEM CFE¹, Maestría en Ingeniería eléctrica²
Comisión Federal de electricidad¹, Instituto Tecnológico Superior de Irapuato ITESI²
Universidad Politécnica del Bicentenario
Irapuato, Gto, México

enrique.gutierrez@cfe.mx, fernando.jp@irapuato.tecnm.mx, hescalera@upbicentenario.edu.mx

Abstract— Hydraulic equipment with insulated arm for lifting personnel is widely used for the execution of operation, maintenance and construction maneuvers in facilities of the Federal Electricity Commission FEC, for which it is important to keep them up to scratch operating conditions and guaranteeing the safety of the operator. To ensure that the equipment works, it must periodically undergo evaluation and diagnostic tests such as acoustic emission tests, dielectric tests, and visual and operational inspection. In the present investigation, break down the importance those tests to avoid failures that can even cause the death of the operator.

Keyword— Hydraulic equipment, maintenance, test crew.

Resumen— Los equipos hidráulicos con brazo aislado para izaje de personal son utilizados ampliamente para ejecución de maniobras de operación, mantenimiento y construcción en instalaciones de la Comisión Federal de Electricidad CFE, por lo que es muy importante mantenerlos en excelentes condiciones operativas y garantizando la seguridad del operador. Para lograr el funcionamiento de los equipos se deben someter periódicamente a análisis de evaluación y diagnóstico como pruebas de emisiones acústicas, dieléctricas e inspección visual y operativa. En esta investigación se analizará la importancia de dichas pruebas para evitar fallas que incluso pueden ocasionar el deceso del operador.

Palabras claves— Equipo hidráulico, mantenimiento y pruebas de rutina.

I. INTRODUCCIÓN

Los equipos hidráulicos con brazo aislado para izaje de personal en el caso particular el modelo **XL4045** consta de tres extensiones de brazo, el brazo principal consta de elementos de acero que aloja a dos extensiones, soporta al cilindro hidráulico de elevación y a la barrena, la segunda extensión del brazo es de acero y se aloja en el brazo principal y es de accionamiento hidráulico, la tercera extensión es de material dieléctrico y se aloja en la segunda extensión, el nivel mínimo de aislamiento de esta tercera extensión (brazo aislado) debe ser de 46 kV clase C de fase a tierra y debe ser probado a 80 kV, en equipos de uso, la tensión eléctrica de trabajo es de 38 kV como máximo.

Las pruebas que realiza el laboratorio periódicamente o después de algún mantenimiento mayor son las siguientes: Inspección visual, prueba dieléctrica, de emisiones acústicas, estas se describen a continuación.

Inspección Visual es una revisión a sus componentes tales como: puntos de lubricación, mangueras, pernos cilindros estructura del equipo, soldaduras, controles y sistema de seguridad además se operan los controles y todas sus funciones para buscar posibles facturas, daños estructurales, desgastes en los componentes, fugas de aceite y fallas en el funcionamiento del equipo [1].

Prueba dieléctrica: se realiza para determinar el grado de aislamiento del brazo aislado y consiste en la aplicación de tensión en la parte metálica del brazo aislado con referencia a tierra, inyectando 80 kV

durante 3 minutos durante este lapso no debe haber una corriente de fuga mayor a 1 mA en caso que se exceda de ese valor de corriente de fuga es indicativo de daño del brazo aislado o alguno de sus componentes que pueden ser las mangueras, aceite, contaminación del brazo o presencia de humedad.

Prueba de Emisiones Acústicas: Consiste en determinar posibles fracturas, fisuras de los materiales o componentes estructurales de los brazos o extensiones del equipo hidráulico, las fracturas en ocasiones son poco visibles por lo que con la ayuda de sensores acústicos, con rango de frecuencia de 20 a 200 kHz, es posible detectar fracturas que no se aprecian durante la inspección visual, la prueba consiste en sacar todas las extensiones del equipo hidráulico y poner una carga de 1.5 a 2 veces la carga nominal teniendo todas las extensiones fuera y en posición horizontal y se deja por 4 minutos, durante este tiempo se observa la actividad acústica registrada por los 10 sensores instalados a lo largo de las extensiones de la grúa, se determina que el equipo hidráulico no tiene fracturas si la magnitud y frecuencia de la actividad acústica es menor a 70 db y 150 hits respectivamente, de lo contrario se suspende la prueba y se busca que sensor tuvo mayor actividad y se realiza una inspección más a detalle del componente hasta determinar el origen de la actividad acústica detectada [2].

II. DESARROLLO

La división de distribución de la CFE solicita al laboratorio el análisis de la causa raíz que origino la falla del equipo hidráulico modelo XL4045, ocasionando la ignición del equipo y la combustión a lo largo del brazo, esta falla ocurrió mientras se realizaban trabajos de cambio de aislamiento en línea viva de 23 kV. Se realizó la visita al sitio donde tenían resguardada la grúa, y el área proporciona al laboratorio la siguiente evidencia fotográfica como se puede observar en la Figura 1. En la Figura 2, se observan la zona del equipo hidráulico con presencia de carbonización y en la Figura 3 se observa la proximidad de la guarda de los controles superiores a una de las fases de la línea de distribución.



Figura 1. Presencia de fuego en zona de transición metal con la fibra de vidrio del brazo aislado.



Figura 2. Zona Afectada.



Figura 3 Estado de la caja de controles.

En la campo realizando la inspección visual por parte del laboratorio. Se realizó mediante el equipo hidráulico para observar por medio del análisis de la causa raíz de la falla, la evidencia que se encontró para su análisis fue la siguiente, como se puede observar en la Figura 4 se presenta alto grado de carbonización con mangueras severamente dañadas por el fuego, se observa al inicio y al final de la guarda restos de mangueras hidráulicas color naranja [3]. En la inspección se logró visualizar el mayor daño en la zona de transición del brazo, fibra-metal, donde se presenta la deformación permanente de la canaleta telescópica, esto se puede apreciar en la Figura 5 [4].



Figura 4 Interior de la guarda metálica del brazo (1ra y 2da extensión).



Figura 5, Zona de transición metal fibra de vidrio dañada

En las Figuras 6 y 7 se pueden apreciar los daños ocurridos en los controles superiores del hidráulico.



Figura 6, Falla en la consola de control superior



Figura 7, Daño en área de control superior en la canastilla.

III. PRUEBAS EN LABORATORIO.

En base a la revisión de campo en el al área usuaria para la inspección visual del equipo hidráulico, se tomaron muestras de mangueras hidráulicas del brazo en color negro y color naranja, así mismo se recibe del área usuaria, una muestra de aceite recolectada del equipo hidráulico en el lugar del incidente, se realizaron las siguientes pruebas a las evidencias encontradas en el equipo hidráulico:

A. - Prueba de rigidez dieléctrica y punto de inflamación al aceite hidráulico

Tabla I. Prueba de rigidez dieléctrica al aceite hidráulico

| Espécimen | Tipo de electrodos utilizados | Valor de rompimiento esperado (kV) | Valor de rompimiento obtenido (kV) | Observaciones |
|-------------------|-------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|--|
| Aceite hidráulico | Planos | ≥25 | 25.6 | El aceite rompió dieléctricamente al valor promedio esperado para un aceite en servicio. |

B. - Prueba de inflamación del aceite hidráulico

Tabla II. Prueba de punto de inflamación del aceite hidráulico

| Espécimen | Flash point (°C) | Fire point (°C) | Método de prueba utilizado | Observaciones |
|-------------------|------------------|-----------------|----------------------------|--|
| Aceite hidráulico | 227 | 261 | A copa abierta. | La temperatura de inflamación que el aceite ensayado presentó corresponde a lo adecuado para un aceite mineral en servicio |

En relación a los resultados obtenidos en las pruebas al aceite hidráulico recolectado, se puede determinar que el aceite presenta características de aislamiento y de inflamación adecuadas para utilizarse en el equipo hidráulico en trabajos de línea viva.

C. – Inspección visual de las mangueras recolectadas.

Se inspeccionaron dos tipos de manguera una de color naranja y otra naranja se muestran en las Figuras 8 y 9.



Figura 8, Manguera naranja, compuesta de 3 elementos, el recubrimiento plástico, la malla de nylon y el núcleo.

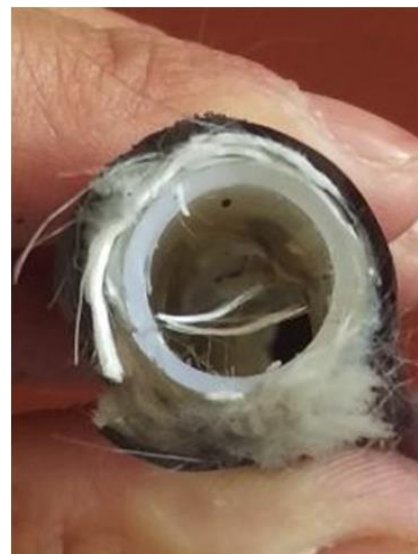


Figura 9 Manguera negra, compuesta de 3 elementos, el recubrimiento plástico, la malla de nylon y el núcleo.

D) Prueba de aguante a la tensión de 60 Hz @ 1 min en seco.

El ensayo se realizó en tramos de manguera recolectados de la inspección en sitio, obteniendo los siguientes resultados los cuales se pueden apreciar en la Tabla 3.

Tabla III. Prueba de aguante a la tensión

| Espécimen | Tensión de Prueba (kV) $U_m / \sqrt{3}$ | Tiempo de aguante (s) | Medición de corriente de fuga (μA) | Observaciones |
|------------------|---|-----------------------|---|---|
| Manguera Negra | 10 | 20 | 125-153 | Se observa descarga superficial y desprendimiento de humo. |
| | 15 | 25 | 250-300 | Se observa descarga superficial e inicio de flama. |
| | 40 | ***** | ***** | No se pudo realizar el ensayo por la falla presentada a los 15 kV |
| Manguera Naranja | 10 | 60 | 4.3 | Durante el ensayo a la muestra no se observa actividad superficial en los niveles de tensión aplicados. |
| | 15 | 120 | 6.5 | |
| | 40 | 300 | 21.6 | |

Es importante mencionar que el ensayo se llevó a cabo en dos tramos de manguera en condiciones de deterioro y contaminadas con humo y aceite hidráulico, incrementando la tensión de prueba en forma gradual; iniciando con la tensión fase tierra ($U_m / \sqrt{3}$), pasando por la tensión de diseño (U_m) hasta llegar a la tensión de prueba (U_W). En la Tabla 4 se observa las acciones sobre la prueba de flamabilidad.

E) Prueba de Flamabilidad

Tabla IV. Prueba de flamabilidad

| Espécimen | Tiempo de aplicación de la flama | Tiempo de auto extinción de la flama | Numero de aplicaciones de la flama | Observaciones |
|------------------|----------------------------------|--------------------------------------|------------------------------------|---|
| Manguera negra | 10 | No se auto extinción | 1 | La combustión del espécimen continuó una vez retirada la flama. |
| Manguera Naranja | 10 | No se auto extinción | 1 | La combustión del espécimen continuó una vez retirada la flama. |

De tal forma al ensayo previo este se llevó a cabo en dos tramos de manguera en condiciones de deterioro y contaminadas con humo y aceite hidráulico. A los 30 segundos de retirar la flama del espécimen de prueba y al seguir la combustión de este, se extinguió la flama en el espécimen manualmente.

IV. CONCLUSIONES

Con base en la evidencia encontrada en la inspección visual en sitio y en las pruebas de laboratorio realizadas, se concluye que la falla presentada en el equipo hidráulico se originó por la combinación de dos factores:

1. El equipo hidráulico tenía instalada una manguera sin las características dieléctricas necesarias para operar en línea energizada.

2. La guarda de los controles superiores estuvo en contacto directo con una de las fases de la línea dando lugar a un potencial de fase a tierra.

Bajo estas condiciones se generó una corriente de fuga que propicio a la formación de caminos de carbonización fenómeno conocido como “tracking”, el cual a su vez elevo la temperatura en la manguera indicada hasta que se presentó la ignición de esta en la transición entre el metal y la fibra de vidrio del brazo.

Una vez originada la flama, al no tener propiedades de auto extinción las mangueras instaladas propiciaron que el fuego se propagara a lo largo de todo el brazo fungiendo como combustible, junto con el aceite hidráulico.

V. RECOMENDACIONES

Se recomienda que cada que se realice un cambio de mangueras o refacciones a los equipos hidráulicos se verifique que sean las que indique el fabricante o en su defecto alguna otra que cumpla con las especificaciones recomendadas por el fabricante. Así mismo realizar periódicamente las pruebas mencionadas.

Por otra parte, se recomienda tener en cuenta siempre lo siguiente:

Cuando se esté trabajando sobre o cerca de conductores energizados, la fibra de vidrio de la última extensión proporcionará un alto grado de aislamiento eléctrico entre la canastilla y el camión, sin embargo, existen tres condiciones donde no lo tendrá;

1. **No proveerá** protección de fase a fase.
2. **No proveerá** protección de tierra a fase a través de líneas estáticas.
3. **No protegerá** al vehículo de ser energizado si los brazos de acero contactan una línea energizada a un nivel inferior.

VI. REFERENCIAS

- [1] H. C. Rommel., «Procedimiento para prueba de gruas hidráulicas aisladas mediante la técnica de emisión acústica,» *Revista CFE*, vol. 1, n° 1, pp. 110-125, 2015.
- [2] Enrique E. Hernandez, «Especificación brazo hidráulico de telescopio con barrena y canastilla,» *Revista CFE*, vol. 1, n° 1, pp. 101-121, 2016.
- [3] J. B. a. D. G, «Manual of responsibilities for dealers, Users, operators,» *ANSI/SIA*, vol. 2, n° 1, pp. 92-122, 2009.
- [4] D. Derrick, «Manual de Mantenimiento,» *TEREX TELELECT USA*, vol. 1, n° 1, pp. 51-71, 2002.