

Protocolo de pruebas mecánicas para la evaluación, diagnóstico de equipos hidráulicos con brazo aislado para izaje de personal



Colaboración

Juan Carlos Méndez Gutiérrez; Miguel Ángel Esquivel Sánchez; Julio César Méndez Gutiérrez; Fernando Jurado Pérez; Juan Martín Álvarez Ibarra, Tecnológico Nacional de México / campus Irapuato

Fecha de recepción: 08 de abril de 2024

Fecha de aceptación: 05 de junio de 2024

RESUMEN: El presente caso de estudio está enfocado en la seguridad del operador que utiliza equipos hidráulicos con brazo aislado para izaje, los cuales son utilizados para ejecución de maniobras de operación, mantenimiento y construcción, estos deberán cumplir excelentes condiciones operativas y de funcionamiento. El presente protocolo de pruebas engloba un diagnóstico concreto que destaca la seguridad de operación de equipos hidráulicos con brazo aislado para izaje. Estas pruebas se verifican mediante la inspección visual, pruebas operativas, dieléctricas, emisión acústica y retención de carga por el equipo hidráulico. Así dictaminando mediante el estudio y su análisis las características que debe cumplir para la clasificación de la categoría de cada uno de los equipos. Es importante destacar que los equipos de deben someter periódicamente a análisis de evaluación y diagnóstico.

PALABRAS CLAVE: Emisión Acústica, Pruebas Operativas, Prueba dieléctrica, Verificación de Sistema Hidráulico, Categoría, Seguridad.

ABSTRACT: This case study is focused on the safety of the operator who uses hydraulic equipment with isolated arm for lifting, which is used to execute operation, maintenance and construction maneuvers, these must meet excellent operating and operating conditions. This test protocol encompasses a specific diagnosis that highlights the safe operation of hydraulic equipment with an isolated lifting arm. The tests are verified through visual inspection, operational tests, dielectrics, acoustic emission and load retention by the hydraulic equipment. Thus, ruling through the study and analysis of the characteristics that must be met for the classification of the category of each of the teams. It is important to highlight that the equipment must periodically undergo evaluation and diagnostic analysis.

KEYWORDS: Acoustic Emission, Operational Tests, Dielectric Test, Hydraulic System Verification, Category, Safety.

INTRODUCCIÓN

Los equipos hidráulicos con brazo aislado utilizados para el izaje y giro de personal, son equipos de vital importancia para el desarrollo y desempeño en el sistema eléctrico la importancia en las maniobras de desarrollo operativas, de mantenimiento correctivo. En la actualidad se cuentan con 3 tipos de equipos hidráulicos de brazo aislado dentro de la suministradora con características muy singulares para casos específicos. Articulada canasta sencilla (sin accesorio de carga), Articulada doble canasta con accesorio de carga suplementaria (aguilón) y telescópica con barrena excavadora. La importancia de evaluar, ejecutar y diagnosticar las condiciones de los equipos es vital mediante una serie de

pruebas, destacando la caracterización y categorización de cada equipo [1].

El tren de pruebas de verificación de la sanidad en los materiales se describe a continuación: pruebas de Inspección Visual, prueba Operativa, Dieléctrica, Emisión Acústica, forman parte de la ejecución del análisis y del expertise técnico. A través del análisis y verificación se asigna una categoría de estado por equipo bajo prueba, siendo estas:

- Categoría 4 (Buen estado general).
- Categoría 3 (En condiciones de operación)
- Categoría 2 (Uso limitado).
- Categoría 1 (No operar).

Inspección Visual.- es la revisión de los componentes como: puntos de lubricación, mangueras, pernos cilindros estructura del equipo, soldaduras, controles y sistema de seguridad además de operan controles y el análisis de posibles facturas, daños estructurales, desgastes en componentes, fugas de aceite y fallas en el funcionamiento del equipo entre otro.

Prueba Dieléctrica.- se lleva a cabo para la determinar del grado de aislamiento del brazo aislado consistiendo básicamente en aplicar tensión en la parte metálica del brazo aislado con referencia a tierra, inyectando 80 kV por un lapso de 3 minutos durante este tiempo no debe contener una corriente de fuga que supere 1 mA en caso que se exceda de ese valor indicativo de daño de alguno de sus componentes en donde entran el brazo, mangueras, aceite, contaminación del brazo o presencia de humedad etc.

Emisiones Acústicas.- Consiste básicamente 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, en el rango de frecuencia de 20 a 200 kHz, es posible detectar fracturas que no se aprecian durante la inspección visual, esta 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, se deja por 4 minutos, durante este tiempo se observa la actividad acústica registrada por los 10 sensores instalados en lo largo a 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 verifica 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]. En base a lo descrito se dictamina las categorías para el estado de las grúas, por ejemplo la viabilidad de los equipos, la categoría 4 aplica si el equipo no presentan observación o bien presenta una sanidad viable,

para el caso de la categoría 3 entran los equipos con observaciones básicas pero mantienen la capacidad de operación funcionándoles generalmente todos los mandos y sin poner riesgo la integridad física de los operadores y del propio equipo, la categoría 2, es un equipo presenta condiciones que limitan su uso de riesgo del usuario como puede ser una corriente de fuga, siendo la indicación no operar en líneas electrificadas, o también si presenta fallo de freno de potencia denominado mico, se indica que no puede ser operada en actividades donde el plano sea inclinado, las observaciones detectadas de esta índole requieren atención inmediatamente mediante servicios de mantenimiento preventivo programado [3].

No operar / categoría 1, aplica al equipo cuando presentan condiciones inoperables, como el caso de fracturas en los elementos que componen los brazos de elevación, falta de barra estabilizadora, canastilla de acceso al operador quebrada o faltante de tornillería de sujeción, etc. Todos estos detalles imposibilitan el uso del equipo hidráulico al poner en riesgo al operador de la grúa, y esta debe ser atendida de manera inmediata para realizar el mantenimiento correctivo. En la Figura 1 se puede observar un equipo hidráulico de elevación de 12 m de canastilla simple.

MATERIAL Y MÉTODOS

El diagnóstico de sistemas hidráulicos como es conocido se enfoca en la inspección visual, pruebas operativas, capacidad dieléctrica o determinación de corriente de fuga, en donde se destaca la prueba de emisión acústica a la par con prueba de capacidad de retención de carga del equipo hidráulico.



Figura 1. Equipo hidráulico de brazo aislado.

Fuente: Elaboración propia.

La inspección visual técnica para la detección a simple vista asegurar el funcionamiento hidráulico, neumático, mecánico o bien eléctrico de los equipos. Detectar fallas, fugas para el caso específico en las conexiones,

falta de torque en las juntas, uniones etc., así como fracturas y discontinuidades de material en los brazos aislados y metálicos en las canastillas de acceso al operador [4].

En el presente estudio se detectó el buje de la Catarina inferior del sistema de nivelación de canastilla con desgaste, en la Figura 2 se puede apreciar el desgaste del buje en donde se percibe la posición por la presencia del seguro omega, y estando en condición de dar seguimiento considerando que de no ser atendido la canastilla giraría sin sentido y en donde al estar operando podría tirar al operador durante la elevación y uso del equipo.



Figura 2. Bujes de Catarina de sistema de nivelación de canastilla con desgaste severo.

Fuente: Elaboración propia.

Existen observaciones que no son del todo críticas y en primera instancia suelen aparentar ser del orden estético, pero con el paso del tiempo pueden llegar a convertirse en factor crítico, como sería el caso de herrumbre que al no ser atendido se pierde material progresivamente, lo que lo lleva al material a perder propiedades dieléctricas y mecánicamente ser concentrador de esfuerzos en la Figura 3 se puede observar un equipo operable con las características antes descritas [5].



Figura 3. Brazo metálico presentando herrumbre en su estructura.

Fuente: Elaboración propia.

En las pruebas operativas es conveniente ejecutar todas las funciones del equipo hidráulico cuya finalidad es poder verificar la correcta funcionalidad del sistema, desde mandos inferiores accionando todos, realizando una secuencia de ciclos del sistema para que este regule la presión y temperatura del aceite hidráulico.

La operación desde mandos superiores a la canastilla verificando el funcionamiento en su totalidad el equipo también desde estos mandos, revisando para el caso de las grúas de doble canasta, la apertura de estas, la funcionalidad de las herramientas auxiliares tales como el malacate, herramientas hidráulicas, levante de aguilón para la carga, y durante el giro del sistema se revisa la sujeción de la junta rotatoria, la sujeción de la plataforma al chasis y para el caso de las grúas sin actuadores estabilizadores, el correcto funcionamiento de la barra estabilizadora, en el caso de las barrenas el correcto uso de la broca perforadora, la operación de las guías de postes. En la Figura 4 se puede apreciar lo antes descrito dentro del monitoreo de la grúa.



Figura 4. Operación de giro de un equipo hidráulico de elevación de canastilla sencilla.

Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 5 se puede apreciar la operación de un equipo hidráulico telescópico con broca perforadora y malacate sintético para izaje de cargas, en donde se presenta la extensión de sus brazos el metálico y el de material aislante, a la vez comprobando la funcionalidad del malacate y la función de elevar el brazo en su totalidad.

Derivado del estudio se encontró una fuga considerable de aceite hidráulico en el block de válvulas de mandos superiores, la cual entorpece la realización del tren de pruebas, en la Figura 6 se observa lo descrito.



Figura 5. Operación de giro de un equipo hidráulico de elevación de canastilla sencilla.

Fuente: Elaboración propia.



Figura 6. Fuga de aceite hidráulico durante la prueba operativa en un equipo hidráulico de elevación de doble canasta.

Fuente: Elaboración propia.

La prueba dieléctrica comprende el aseguramiento del equipo con relación en las propiedades dieléctricas donde este debe contar con los aislamientos necesarios para la integridad del operador electrocutado o víctima de descargas eléctricas que pongan en riesgo su seguridad, dentro de la normativa de seguridad y de los mecanismos los cuales se pueden validar con la especificación ANSI A92.2 2021 y ANSI A10.31 2019 [4].

En los datos de placa de los equipos hidráulicos se puede visualizar el voltaje de operación, el tipo de aislamiento para el caso de brazo aislado es 46 kV, sin embargo, en operación en media tensión el voltaje máximo es de 38 kV, siendo una tensión menor a la de diseño, asegurando la condición inyección de voltaje. En corriente alterna, para el caso de estas grúas de brazo aislado de 60 kV, por un lapso de 60 segundos, teniendo en cuenta que como regla general de seguridad se

puede obtener una corriente de fuga no mayor a 1 mA. En la Figura 7 es posible percibir la inyección de corriente mediante la consola en donde se observa el potencial de inyección a 60 kV y la corriente de fuga obtenida que presenta el equipo hidráulico probado en el periodo de 60 segundos.



Figura 7. Inyección de voltaje y corriente de fuga durante la prueba dieléctrica a un equipo hidráulico de canastilla sencilla.

Fuente: Elaboración propia.

En el caso grúas tipo barrenas o derrick, estos equipos con inserto doble de aislamiento en sus brazos y la doble canasta cuentan con mayor aislamiento operando en tensiones de hasta 69 kV y de manera particular en el presente estudio se inyectó un voltaje al orden de los 80 kV implementado la misma técnica al aplicar esta tensión, durante 60 segundos leyendo corrientes de fuga no mayores a 1 mA.

En la Figura 8 se muestra la inyección de corriente destacando la prueba dieléctrica observando el voltímetro a una escala de inyección de 80 kV y obteniendo una corriente de fuga menor a 1 mA en el periodo de 60 s.



Figura 8. Inyección de voltaje y corriente de fuga durante la prueba dieléctrica a un equipo hidráulico con barrena.

Fuente: Elaboración propia.

En diversos ensayos la lectura de corriente de fuga cuando es mayor a 1 mA puede existir diversas causas por lo cual se determina para este tipo de casos en particular que el equipo no cuenta con las propiedades dieléctricas [6].

A continuación, se puede percibir en la Figura 9 el caso particular de un ensayo dieléctrico del brazo aislado, realizando una inyección de voltaje y determinando la corriente de fuga al término del material aislante.



Figura 9. Inyección de voltaje en un brazo aislado para determinar sus propiedades dieléctricas
Fuente: Elaboración propia.

Por otro lado, si el valor de corriente de fuga obtenido es mayor a lo permitido se concluye que el brazo aislado se encuentra contaminado por lo cual se puede recomendar que se retire la capa de recubrimiento y se aplique una capa nueva de material aislante.

RESULTADOS

Del análisis de los casos prácticos de diagnóstico en los cuales fue posible realizar las pruebas, además de determinar la sanidad de los equipos y de la revisión de la prueba de emisión acústica en la cual se determina y se verifica la integridad de los materiales que conforman las partes y componentes principales de la grúa, determinando así los posibles daños o la disminución de la capacidad mecánica de los materiales [7].

A través de ensayos no destructivos se puede identificar cualquier imperfecto que interfiera con la correcta ejecución. Los sensores utilizados para realizar el ensayo de emisión acústica estuvieron perfectamente unidos con el elemento a evaluar para el caso de estudio equipo hidráulico, siendo necesario que estén acústicamente acoplados, utilizando cualquiera de los tres métodos implementados para la sujeción de los sensores.

El acoplamiento del sensor acústico conlleva a la evaluación por medio del acoplante acústico, el cual tiene la función de expulsar las burbujas de aire las cuales

puedan existir entre el sensor y el elemento de prueba [8].

Al instalar sensores en superficies curvas no es posible obtener buenos resultados esto es debido a que se pierde la linealidad del área de contacto, estos sensores son de conteo de baja frecuencia que son capaces de censar el número total de eventos detectados durante la prueba de esfuerzos utilizados para fibra de vidrio y en el caso de las superficies metálicas se utilizan los sensores de conteo de alta frecuencia de amplitud.

El adquirente de datos que se emplea para esta técnica adquiere una señal y la transduce en forma de gráfica en el cual se presenta el número de eventos durante la prueba por canal, determinando para aquellos mayores a 40 dB de amplitud son denominados de bajo umbral y mayores a 70 dB de amplitud alto umbral.

La configuración del mecanismo de levante aéreo está determinada por el tipo de construcción de la grúa, esta configuración es detallada por los métodos ASTM F914 (canastilla sencilla), ASTM F1430 (canastilla doble o equipo con auxiliar de carga, aguilón) y ASTM F1797 (telescópica una barrana y canastilla) para cada tipo de grúa.

En la Figura 10 se observa la aplicación de la carga con la ayuda de un polipasto de cadena el cual se une a la grúa en un extremo y en el otro a una celda de carga. Por medio de la celda de carga se monitorea y controla la aplicación de carga, se aplica después de dar un periodo de relajación al material de 2 minutos.



Figura 10. Aplicación de la carga generando un esfuerzo al equipo para ensayo de emisión acústica.
Fuente: Elaboración propia.

La secuencia de aplicación de carga se muestra en la Figura 11 de acuerdo con las recomendaciones del método ASTM F914-91.

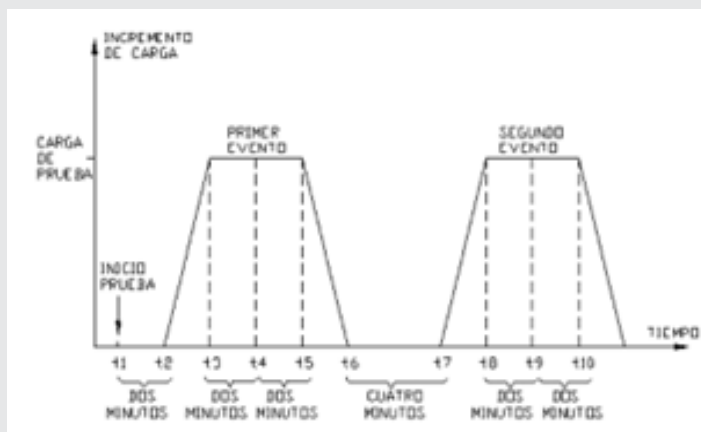


Figura 11. Aplicación de carga para generar el esfuerzo al equipo hidráulico durante el ensayo de Emisión acústica.

Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 12 se observa instrumentada una grúa a 90° a la cual se le aplicaron los escalones de carga y cuenta con los sensores debidamente instalados para la prueba de emisión acústica.



Figura 12. Instrumentación del ensayo de Emisión acústica a un equipo hidráulico.

Fuente: Elaboración propia.

En base a las pruebas de emisiones acústicas las cuales fueron debidamente instaladas y ejecutadas determinando si existía ruido de fondo, este ruido pudiera ser de otra fuente y debe ser eliminado o tomar en cuenta las frecuencias con que se produce el ruido para la interpretación de los resultados. En la capacidad de retención de carga del equipo hidráulico se determina la pérdida de carga la cual no debe ser mayor al 20%, después de iniciar el decremento de carga, se toma un reposo de cuatro minutos y posteriormente se procede a cargar. Los datos deben ser analizados para determinar si existen fisuras, fracturas u otro mecanismo de daño ocurriendo en la estructura; definiendo así la integridad estructural del mecanismo aéreo.

CONCLUSIONES

En el análisis de estudio se desarrolló la conjunción de diversas técnicas para poder realizar una serie de ensayos normalizados a través de determinar las ca-

racterísticas de operación de un equipo hidráulico de brazo aislado, y a su vez determinar una categoría de sanidad siendo de vital prioridad para garantizar la seguridad del equipo y del operador, este tipo de técnica diagnósticas, ayudan a realizar mantenimientos programados semestrales y poder atender de manera continua los defectos y condiciones inseguras que pueden impactar por completo la seguridad, y a través de estas revisiones poder mejorado las condiciones de los equipos hidráulicos y reducido considerablemente los accidentes, siendo vital importancia en la operación del sistema eléctrico nacional.

BIBLIOGRAFÍA

[1] L. Gambilongo, A. Barontini, R. A. Silva, and P. B. Lourenço, "Evaluation of non-destructive techniques for mechanical characterisation of earth-based mortars in masonry joints," *Constr Build Mater*, vol. 392, Aug. 2023, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2023.131960.

[2] M. C. Cavalli et al., "Review of advanced road materials, structures, equipment, and detection technologies," *Journal of Road Engineering*, vol. 3, no. 4. KeAi Publishing Communications Ltd., pp. 370-468, Dec. 01, 2023. doi: 10.1016/j.jreng.2023.12.001.

[3] C. Chen, H. Fu, Y. Zheng, F. Tao, and Y. Liu, "The advance of digital twin for predictive maintenance: The role and function of machine learning," *Journal of Manufacturing Systems*, vol. 71. Elsevier B.V., pp. 581-594, Dec. 01, 2023. doi: 10.1016/j.jmsy.2023.10.010.

[4] Z. Mian et al., "A literature review of fault diagnosis based on ensemble learning," *Eng Appl Artif Intell*, vol. 127, Jan. 2024, doi: 10.1016/j.engappai.2023.107357.

[5] F. TAO et al., "makeTwin: A reference architecture for digital twin software platform," *Chinese Journal of Aeronautics*, vol. 37, no. 1, pp. 1-18, Jan. 2024, doi: 10.1016/j.cja.2023.05.002.

[6] S.-L. Jamsa-Jounela, T. Kuitunen, C. Quiroz, and J. Kampe, "FAULT DIAGNOSIS AND REMOTE SUPPORT SYSTEM FOR THE VARIABLE VOLUME PRESSURE FILTER."

[7] Y. You, C. Chen, F. Hu, Y. Liu, and Z. Ji, "Advances of Digital Twins for Predictive Maintenance," in *Procedia Computer Science*, Elsevier B.V., 2022, pp. 1471-1480. doi: 10.1016/j.procs.2022.01.348.

[8] A. Mardalizad, M. Caruso, A. Manes, and M. Giglio, "Investigation of mechanical behaviour of a quasi-brittle material using Karagozian and Case concrete (KCC) model," *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering*, vol. 11, no. 6, pp. 1119-1137, Dec. 2019, doi: 10.1016/j.jrmge.2019.01.005.