

Descripción de métodos de inspección para el análisis de falla en sellos dinámicos

Eduardo Flores Calzada [1]

[1] Alumno del Posgrado

e.florescalzada@outlook.com

Resumen:

Los sellos dinámicos de vástago en actuadores lineales se utilizan para evitar fugas del sistema de combustible. Cuando un sello dinámico falla, la determinación de la causa de la raíz no es fácil debido a los múltiples factores que intervienen en el fenómeno de sellado. Con el fin de comprender el mecanismo de falla y descartar factores que no contribuyen a la falla, es imperativo conocer los métodos de inspección y de evaluación disponibles para caracterizar y evaluar los parámetros que afectan el sellado. Los métodos de inspección descritos pueden ser utilizados durante una investigación de falla en sellos dinámicos. Utilizar el método de inspección adecuado ayudara en la determinación de la causa de falla y con ello tener una mejor idea para optimizar el diseño

Palabras clave: Sello, falla, inspección

Introducción:

La demanda existente en la industria aérea de tener motores a reacción más rápidos y eficientes ha hecho que las condiciones de operación se vean modificadas. El cambio en las condiciones de operación del motor hace que se incrementen presiones, temperaturas y ciclos de trabajo en los sistemas de combustible lo que a su vez reduce al margen de diseño en los componentes y el índice de fallas aumenta. La Figura 1 muestra un sistema de combustible típico en motores a reacción.

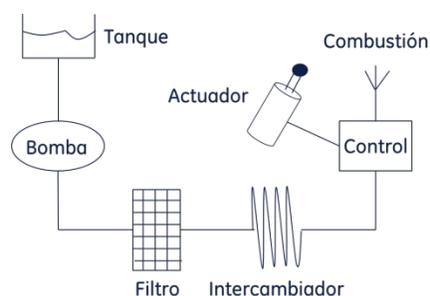


Figura 1. Sistema típico de combustible

Uno de los elementos críticos dentro del sistema de combustible son los actuadores ya que permite el control y optimización del rendimiento del motor en las diferentes etapas de operación. La falla en un actuador tiene como consecuencia la inoperatividad de algún sistema secundario y por consecuencia una reducción en el rendimiento del motor aunado a un mayor consumo de combustible lo que se traduce en pérdidas económicas para los clientes.

La función de un actuador es el de ajustar la posición de una válvula para garantizar el control adecuado de su posición por medio de combustible. El tipo de actuador que se considera en este artículo es del tipo lineal recíprocate.

El principio de operación del actuador lineal consiste en controlar el movimiento recíprocante por medio de incrementos o decrementos de presión simultáneos dentro del mismo. Este tipo de actuadores debe de diseñarse para funcionar con desplazamientos cortos y respuestas rápidas dependiendo de la condición deseada del motor, presiones de fluido altas y temperaturas extremas de operación; por su naturaleza estas condiciones de operación son transferidas a los sellos dinámicos.

El principio de funcionamiento de un sello dinámico es el de crear una barrera entre un fluido y el exterior o entre fluidos a diferentes condiciones con el objetivo de evitar fuga de fluidos y evitar la entrada de contaminantes al sistema, para lograr que el sello cumplan con su función de mejorar el sellado (disminuir la fricción y fuga) y aumentar su duración (1); es esencial considerar las siguientes características de diseño: Tener un buen acabado superficial en el interior del actuador para reducir el desgaste del sello, que el diseño tenga características que eviten el ingreso de partículas extrañas pudieran degradar al sello, que exista compatibilidad química entre el sello y el fluido y finalmente que cuente con medios para soportar cargas laterales que pudieran acelerar el desgaste (2).

Como se muestra en la Figura 2, el sistema de sellos dinámicos en una actuador lineal consta de cuatro tipos de sellos: Sello de cabeza, sello de vástago (Rod Seal), sello barredor y sello de desgaste.

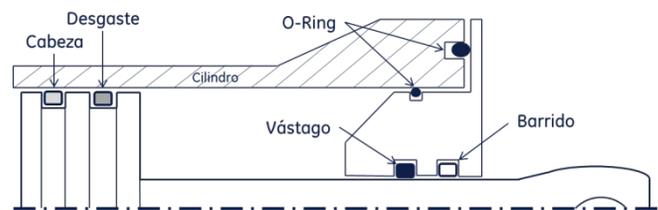


Figura 2. Configuración de sellos en actuador lineal

Fundamentos:

Como se ha mencionado anteriormente, el aumento en la demanda de motores a reacción más eficientes, las condiciones de operación en los sistemas de combustible se han hecho más exigentes, esto a su vez afecta el rendimiento de los actuadores y por consecuencia el de los sellos dinámicos.

Actualmente los proyectos de rediseño; debido fugas de combustible; en el departamento de componentes tiene que ver con actuadores lineales, de estos el 70 % de los casos se debe a fallas en algún tipo de sello dinámico. Durante las investigaciones de falla y determinación de causa raíz es

primordial el entendimiento adecuado del problema. Los materiales más utilizados en sellos dinámicos son las variaciones de Poli Tetra Fluoruro Etileno (PTFE).

Históricamente la fase que toma más tiempo en ser comprendida y completada es la que tiene que ver con la evaluación de evidencias de falla en actuadores lineales. Por estas razones, este artículo se enfocará en la descripción de métodos de inspección disponibles en el mercado para la evaluación y caracterización de las variables que provocan fallas en los sellos dinámicos como ayuda en la determinación de causa raíz en problemas de campo.

Antes de describir los posibles métodos de inspección de sellos para su evaluación y caracterización de modo de falla, se explicará brevemente el fenómeno de sellado.

Los requerimientos de diseño que motivan el desarrollo y mejora en los sellos dinámicos son los siguientes: Mayores presiones de fluido, velocidades de respuesta más corta, temperaturas de operación extremas, ciclos de operación más largos, fugas permisible mínima, fricciones bajas, vida e intervalos de mantenimiento más largos (1).

En cuanto a las limitaciones de diseño tenemos la geometría y material de los sellos, tolerancias de los procesos de manufactura, acabados superficiales en sello y cilindro. Respecto a los factores que afectan el fenómeno de sellados y que dependen del tiempo tenemos: la degradación inherente del material, cambio de dureza, compatibilidad química, cambio en propiedades de lubricación del combustible (1).

La presión del fluido es uno de los factores que limita el funcionamiento del sello, dependiendo del nivel de presión será el tipo y configuración de sello a utilizar. A mayor presión los claros radiales deben ser menores. Durante la selección del material es importante tener en cuenta la resistencia a la extrusión, fricción del material, facilidad de instalación, estabilidad a temperaturas de operación y cumplimiento con estándares industriales.

Es evidente que los factores que afectan el rendimiento de sellado son muy variados como se muestra en la Figura 3; y por ende los métodos de inspección a utilizar deben ir enfocados a cuantificar y evaluar dichos factores.

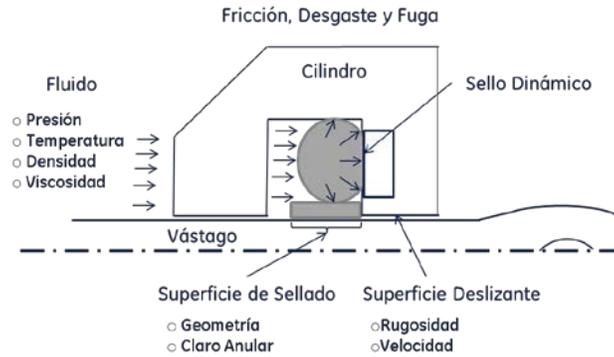


Figura 3. Factores que afectan el sellado

Procedimiento:

El primer paso en la investigación de falla es asegurarse de que el sello cumple con las dimensiones del dibujo, para evaluar y conocer la geometría del sello, se utiliza un proyector óptico de perfiles (Optical Profile Projector). Este proyector permite por medio de una lente, magnificar imágenes hasta 100 veces. La geometría del sello es medida en una pantalla por medio de una escala micrométrica. Con este instrumento se pueden utilizar secciones transversales del sello y comparar con las dimensiones del dibujo y de la cavidad en el cilindro (3). Esta herramienta permite conocer el ajuste, claro axial y la interferencia radial en un sello real antes y después de operación como se muestra en la Figura 4.

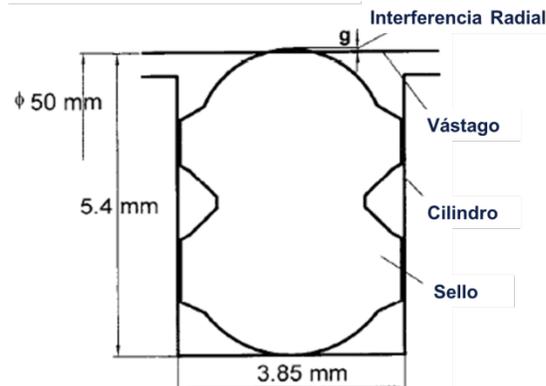


Figura 4. Proyector de Perfiles Óptico

Para caracterizar las propiedades mecánicas y determinar el módulo elástico se utiliza un dinamómetro (Dynamometer Test Machine) que permite la realización de pruebas de tensión-compresión y generar curvas de esfuerzo-deformación. Para evaluar el coeficiente de fricción y características de fuga y desgaste se utiliza el método Pink-Disk que determina dichas características en función de la velocidad, presión de contacto, temperatura, rugosidad de las superficies, viscosidad del combustible, porcentaje de compresión del sello, materiales, e interferencia geométrica en condiciones de superficie secas y/o lubricadas como se muestra en la Figura 5 (3).

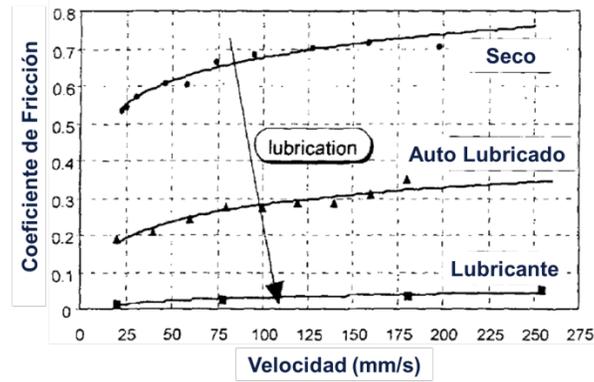


Figura 5. Coeficientes de fricción versus velocidad

En el campo de motores a reacción se utilizan actuadores con recubrimiento de cromo, en estos casos se utiliza un sensor AFM (Atomic Force Microscopy) para caracterizar la superficie. Con este instrumento es posible representar la superficie magnificada en 3 dimensiones con resolución de varios nanómetros. La información que obtenemos con esta herramienta es la rugosidad de la superficie en términos de Ra, RMS, Rango, la media de la superficie proyectada en una superficie real, un análisis fractal y el bearing ratio que determinan el contacto real en la superficie de la contraparte. Con esta información es posible determinar la fricción inicial en función de la variación en la presión de contacto, generalmente el coeficiente de fricción decrece con el incremento en la presión de contacto (4).

Para evaluar la microestructura de los recubrimientos en las superficies deslizantes se utiliza un microscopio metalográfico (Leica DRM) que analiza la topografía de superficies rugosas y dureza de las superficies (5). Conocer la caracterización tribológica de los recubrimientos es importante para entender la variación de los coeficientes de fricción en función de la distancia deslizada.

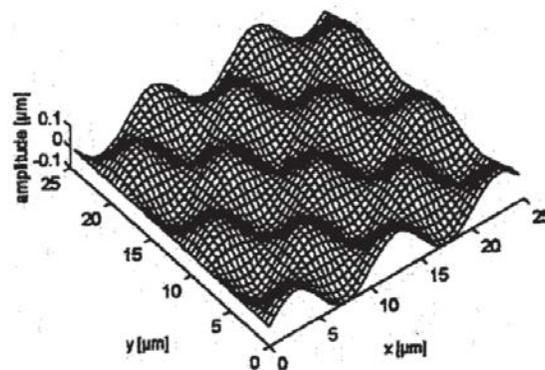


Figura 6. Representación real de rugosidad superficial

Para estimar las características mecánicas de un material se puede utilizar el método de prueba DMTA (Dynamic Mechanical Temperature Analysis), con él se puede determinar el módulo elástico dinámico es decir, el comportamiento visco-elástico del material se puede establecer como la diferencia en temperatura entre la fuerza existente y el desplazamiento resultante, este método permite comparar el módulo elástico dinámico entre componentes y su evaluar la dependencia del modelo a bajas y altas temperaturas.

Para cuantificar el calor de fricción generado en la zona de contacto se utiliza un equipo infrarrojo de micro fricción. Es importante conocer el calor generado en esta zona ya que la temperatura de la superficie puede alcanzar las temperaturas de fusión o suficientemente alta para debilitar la composición del polímero y como resultado haber un cambio en la fricción y velocidad de desgaste (6). La Figura 7 muestra un stand de prueba experimental para medir micro fricción.

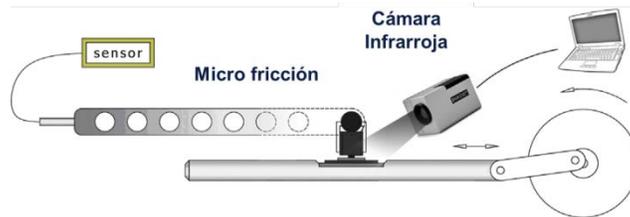


Figura 7. Esquemático para pruebas de micro-fricción

El DSC (Differential Scanning Calorimetry) se utiliza para estudiar la transición térmica de los polímeros (PTFE) y para evaluar la cristalinidad de los materiales. La dimensión de los cristales depende de la movilidad de la cadena polimérica; mayor movilidad a altas temperaturas; y del contenido de rellenos y su composición. Cada material tiene su curva característica de transición de fase. El análisis DSC demuestra que la cristalinidad de un PTFE puro inicia a bajas temperaturas por lo tanto los cristales son menos resistentes (mayor desgaste) que aquellos en los que la cristalinidad se presenta a temperaturas altas. La Figura 8 representa la cantidad de calor absorbido por unidad de masa del material durante la fusión, se puede observar que a la presencia de rellenos no afecta el punto de fusión (7).

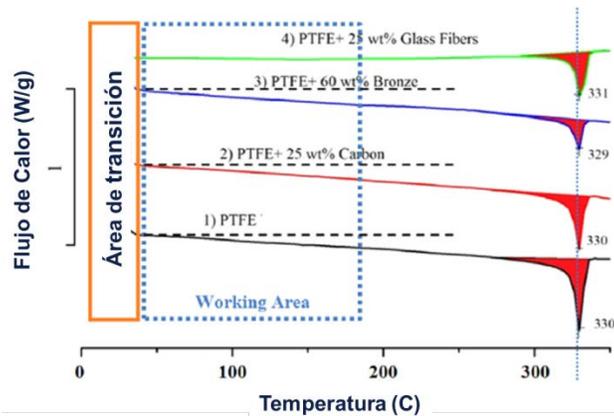


Figura 8. Análisis DSC de material PTFE

El diseño y desarrollo de un test stand para validar el rendimiento de sellos utilizados en aplicaciones hidráulicas está basado en el standard ISO 7896:1992. Con este equipo se estudia el fenómeno de mecánica de contacto además de utilizarse para validar los resultados experimentales. Es una herramienta para el proceso de investigación y desarrollo ampliamente utilizada.

Para determinar la compatibilidad entre elastómeros y lubricantes en un sistema hidráulico se llevan a cabo pruebas de absorción y oxidación para determinar el cambio en las propiedades del sello. Los cambios dimensionales en el sello se miden en base al perímetro y ancho del sello de acuerdo al standard (ASTM D471) y se basa en medir el cambio en peso y dimensiones del material inmerso (8).

La prueba de absorción se hace de acuerdo a la norma ASTM D3616 después de estar el sello inmerso por 72 horas a 25 grados centígrados, las mediciones de peso se hacen antes y después de la prueba. La razón de difusión del líquido en el sello termina en cuanto el líquido y el sello logran el equilibrio químico. A menor viscosidad del líquido mayor será la razón de difusión. La prueba de viscosidad se realiza por medio de un viscosímetro tipo rotacional a diferentes velocidades (8).

La prueba de oxidación se hace cuando el fluido es envejecido por 3 días a una temperatura de 95 C y un hilo de cobre se mete periódicamente. Al final de la prueba de viscosidad el fluido se prueba y la viscosidad no debe exceder de 20 %. El SEM (Scanning Electron Microscope) se utiliza para observar la morfología de los sellos antes y después de la inmersión. Es importante conocer los cambios físicos y químicos que ocurren en el fluido durante la oxidación ya que tiene un impacto en el rendimiento de lubricación (9). Esta prueba es importante ya que la principal causa de deterioro en los sellos es la reacción al oxígeno. Por otro lado el SEM también permite identificar patrones de desgaste y cuantificar la naturaleza abrasiva de los rellenos. También para investigar la superficie de contacto (8).

Resultado:

En este artículo se han presentado y descrito varios métodos de inspección y observación que permiten la evaluación de las características que generan la falla. Utilizar el método de inspección adecuado ayudara en la determinación de la causa de falla y con ello tener una mejor idea para optimizar el diseño, con el fin de reducir las fugas en el sistema y en consecuencia aumentar la vida de los sistemas de sellado dinámico.

Conclusión:

Al tener un conocimiento de los métodos de inspección disponible para la caracterización de sellos dinámicos permitirá al ingeniero responsable de una investigación de falla evaluar con certeza los factores que afectan el funcionamiento del sello. El siguiente paso es buscar la correlación de los hallazgos con métodos analíticos con el fin de proponer un nuevo diseño más eficiente y predecir con bastante aceptación su futuro rendimiento.

Referencias

1. **Flitney, Robert.** *Seal and Sealing Handbook*. Burlington, MA : Butterworth-Heinemann, 2007. 9781856174619.

2. *Sealing System for High Performance Hydraulic Cylinders.* **Von Engelbrechten, Arnold.** Milwaukee, WI : National Fluid Power Association, 1992. 192-3.2.

3. *Experimental and numerical study of friction in an elastomeric seal for pneumatic cylinders.* **Raparelli, T., Manuello, Bertetto A. and Mazza, L.** 7, Great Britain : Tribology International, 1997, Vol. 30. S0301-679X(97)00015-7.
4. *Break-away friction of PTFE materials in lubricated conditions.* **Golcin, A, F, Simmons G and B, Glavatskih S.** Belgium : Tribology International, 2012. 48.
5. *Design of optimized seals for leak-free hydraulic cylinders. Research on the total sealing concept of reciprocating seals running against ceramic and chromium plated rods for hydraulic cylinders.* **Shounaten, M J W and Dollevoet, R P B J.** The Netherlands : Fluid Sealing, 197.
6. *Experimental and analytical thermal study in PTFE composites sliding against high carbon steel as a function of the surface roughness, sliding velocity and applied load.* **Tzanakis, I, et al., et al.** United Kingdom : Wear, 2013.
7. *Role of crystallinity on wear behavior of PTFE composites.* **Conte, M, Pinedo, B and Igartua, A.** Spain : Wear, 2013. 307.
8. *Determination of Structural and Dimensional Changes of O-ring Polymer/rubber Seals Immersed in Oils.* **Roslaili, A A, et al., et al.** 5, Malaysia : International Journal of Civil and Environmental Engineering, 2010, Vol. 10. 100905-5252-IJCEE.
9. *Study of PTFE composites tribological behavior.* **Conte, M and Igartua, A.** Spain : Wear, 2012. 296.