

CRITICAL PARAMETERS CALCULATION FOR PREDICTIVE MAINTENANCE BY OIL ANALYSIS

DETERMINACION DE PARAMETROS CRITICOS EN MANTENIMIENTO PREDICTIVO MEDIANTE ANALISIS DE ACEITE

PhD. Simón J Fygueroa Salgado, Ing. Heller G. Sánchez Acevedo

Departamento de Ingeniería Mecánica, Industrial y Mecatrónica
Universidad de Pamplona. Ciudadela Universitaria, Pamplona. Colombia.
sjfigueroa@unipamplona.edu.co

Abstract: Present work shows a method designed to establish symptom reference parameters and critical, alert and alarm, values used for fault diagnose in predictive maintenance by oil analysis. As an application, the process used to obtain metallic content critical values from industrial diesel engine used samples is shown. Finally, obtained results applying the method are shown and discussed. The results may be used to evaluate used oil samples with diagnose or engine condition monitoring aims.

Resumen: En el presente artículo se expone un método concebido para establecer los valores de los parámetros de referencia y de los límites críticos, de alerta y de alarma, de los síntomas empleados para el diagnóstico de fallas en mantenimiento predictivo mediante análisis de aceite. Como aplicación, se muestra el proceso utilizado para obtener los valores críticos de las concentraciones metálicas presentes en muestras de aceite usado, pertenecientes a motores diesel industriales. Para finalizar se muestran y discuten los resultados obtenidos aplicando el método, los cuales se pueden emplear para la evaluación de muestras de aceite usado con fines de diagnóstico o para el seguimiento del estado del motor.

Keywords: Predictive maintenance, Diesel engines, Condition monitoring, Used oil analysis

1. INTRODUCCIÓN

Una de las principales dificultades para la aplicación del mantenimiento predictivo a motores de combustión interna, la constituye el desconocimiento de los valores de los parámetros de referencia que caracterizan su estado, junto con los valores que deben utilizarse en la práctica para los límites de alerta y alarma de sus síntomas.

Los límites de los síntomas de los motores no pueden provenir de simples especificaciones, sino que deben ser el fruto de un cuidadoso estudio estadístico. La decisión de declarar un motor fuera de servicio como consecuencia de haberse alcanzado o sobrepasado alguno de ellos, debe fundamentarse en el conocimiento de la falla que caracteriza, en el análisis de la evolución del síntoma específico y en la importancia de la falla respecto a la confiabilidad total del motor.

Los niveles de los síntomas del motor varían ampliamente dependiendo de su tipo, de sus características de funcionamiento y de la naturaleza de los defectos incipientes. En algunos casos se observa que un valor elevado de un síntoma, corresponde a un motor en condiciones de buen funcionamiento; mientras que en otros casos, valores inferiores del mismo parámetro pueden indicar una falla inminente (Fygueroa, 1994a).

Los diferentes autores (Snook, 1968; Schilling, 1968; Benlloch, 1985) no se han puesto totalmente de acuerdo en los valores numéricos de los límites de alerta y alarma de los síntomas; es por esta razón, que algunos convienen en evaluarlos con frases como valor del parámetro alto, medio o bajo. Estos términos (Collacott, 1982), se relacionan con múltiplos de los valores que se consideran como normales; que por esta razón, en adelante se denominarán valores de referencia.

Mientras el valor del síntoma sea bajo se presume que el funcionamiento del motor es normal; cuando alcanza valores medios, es indicativo de que está progresando hacia la falla, es en este momento que conviene efectuar acciones de mantenimiento preventivo para evitarla; al llegarse a valores altos es posible que se presente una falla catastrófica; motivo por el cual, se debe llevar a cabo algún tipo de mantenimiento correctivo para limitar el daño posterior. El límite entre los valores bajos y medios constituye el nivel de alerta y el límite entre estos y los altos es el nivel de alarma

El objetivo del presente trabajo, es exponer el procedimiento utilizado para la obtención de los valores críticos de los síntomas de los motores; en especial y a título de aplicación, de los que se obtienen del análisis espectrométrico de muestras de aceite usado, como son las concentraciones en ppm (partes por millón o mg/l) de los diferentes metales presentes en ellas; además presentar y discutir los resultados obtenidos aplicando el método, que pueden utilizarse para la evaluación de muestras con fines de diagnóstico o para el seguimiento del estado del motor.

2. OBTENCION DE LAS CONCENTRACIONES DE REFERENCIA

Con esta finalidad, se ha llevado a cabo un estudio estadístico de una base de datos suministrada por la Universidad Politécnica de Valencia que contiene los resultados de los análisis espectrométricos efectuados a cerca de 7500

muestras de aceite usado, correspondientes a 2300 vehículos de 80 marcas diferentes.

La base de datos tiene almacenados los valores de las concentraciones de Al, Cr, Cu, Sn, Fe, Ni y Pb presentes en cada muestra, que constituyen las poblaciones investigadas. Para ilustrar el procedimiento seguido para obtener los valores de referencia y los valores límites, se presentan únicamente los correspondientes a las concentraciones del hierro, que es uno de los metales más característicos del desgaste del motor; en los resultados se incluyen los valores obtenidos para todos los metales.

Un estudio preliminar de cada concentración, efectuado con diagramas de cajas como el de la Fig. 1, pone de manifiesto que cada población, hasta un cierto valor (100 ppm para el caso de la Fig. 1), se puede ajustar a una distribución normal con una serie de puntos anómalos situados a la derecha de éste. Sin embargo, al plantear un diagrama probabilístico normal del logaritmo de la población (Fig 2) se observa que la totalidad se ajusta con mucha exactitud a una distribución lognormal.

El histograma de frecuencias correspondiente se presenta en la Fig. 3, donde se advierte que el ajuste es bastante adecuado, razón por la cual se decide utilizar la media de la distribución lognormal como valor de referencia.

3. OBTENCION DE LAS CONCENTRACIONES LÍMITES

Puesto que los fenómenos de desgaste regular deben ajustarse a una distribución normal, (Monchy, 1987), el valor de la concentración a partir del cual la población deja de ser normal, que se puede obtener analizando el diagrama de la Fig. 1, constituye el límite de alerta (L_1).

El criterio utilizado para establecer el límite de alarma (L_2), se basa en la consideración de que solo un 40% de las muestras que sobrepasan el nivel de alerta deben corresponder a casos excesivamente críticos (Fygueroa, 1994b).

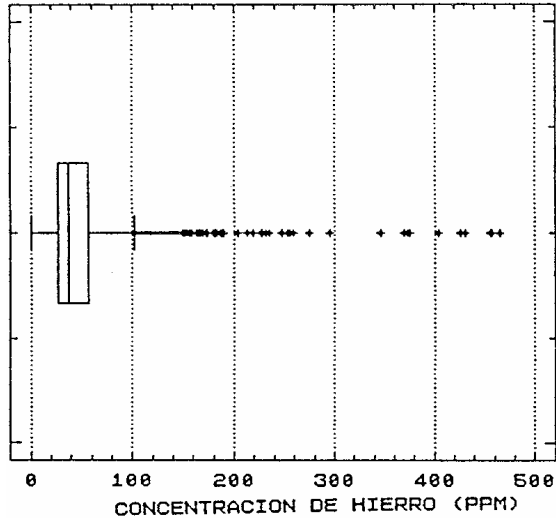


Fig. 1 Diagrama de cajas para el hierro

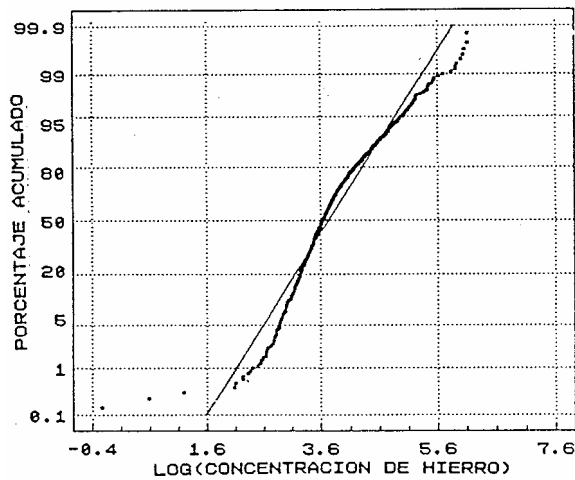


Fig. 2. Diagrama probabilístico del hierro

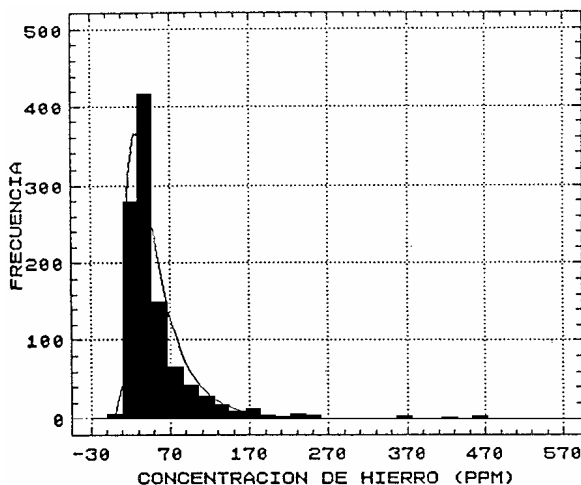


Fig. 3- Histograma de frecuencias del hierro

límites, el paso siguiente lo constituye el estudio de los diagramas de frecuencias relativas acumuladas (Fig. 4). En estos diagramas se observa que el límite de alerta solo lo sobrepasan un 10% de las muestras y el límite de alarma solo un 4% de éstas; dicho en otras palabras, el 90% de las muestras de la población poseen concentraciones normales, un 6% concentraciones medias y un 4% concentraciones altas. De acuerdo con esta conclusión, entonces, se considera como límite de alerta aquella concentración por debajo de la cual se encuentran el 90% de las muestras y como límite de alarma aquella por debajo de la cual se encuentra el 96% de la población.

4. RESULTADOS

En la Tabla 1 se encuentran consignados los valores obtenidos para las concentraciones de referencia de los diferentes metales presentes en las muestras de aceite usado, aplicando el método expuesto. Estos valores son los correspondientes al grupo de motores estudiados: Motores Diesel de vehículos industriales (autobuses, camiones, locomotoras, maquinaria de obras públicas, embarcaciones medianas, etc.); con ciertas reservas pueden hacerse extensivos a otros tipos.

En la Tabla 2 aparecen los valores de las concentraciones de alerta (columna 2) y de alarma (columna 3) junto con los cocientes de cada límite y su correspondiente referencia (R): L_1/R en la columna 4 y L_2/R en la columna 5; los promedios de estos cocientes que se encuentran en la última fila coinciden prácticamente con los sugeridos por Collacot (1982), lo cual valida el procedimiento seguido para obtener las concentraciones metálicas críticas.

Con la finalidad de establecer comparaciones, en la Tabla 3, se presentan los valores de las concentraciones máximas propuestas por otros autores. Se observa que existe una amplia discrepancia entre ellos debida quizás, a que los estudios considerados han sido efectuados en épocas distintas y sobre poblaciones bastante diferentes ya sea por la metalurgia, por las condiciones de servicio o por el tipo de mantenimiento a que han sido sometidos los motores analizados.

Establecidos los criterios de selección de los

Tabla 1. Concentraciones metálicas de referencia (ppm)

Fe	Cr	Ni	Al	Cu	Pb	Sn
52.1	2.9	0.7	7.1	9.3	7.1	1

Tabla 2. Concentraciones metálicas críticas (ppm)

	L ₁	L ₂	L ₁ /R	L ₂ /R
Fe	100.5	165.5	1.9	3.1
Cr	6.5	12.1	2.2	4.1
Ni	1.2	2.1	1.7	3.0
Al	11.7	19.5	1.6	2.7
Cu	17.3	29.1	1.8	3.1
Pb	12.5	22.5	1.7	3.1
Sn	2.0	3.8	2.0	3.8
Prom			1.8	3.2

Tabla 3. Concentraciones máximas (ppm)

	Snook	Schilling	Benlloch	Collacott
Fe	100	200	125	150
Cr	40	30	20	5
Ni	-	-	-	-
Al	-	40	5	10
Cu	40	40	150	10
Pb	100	40	75	-
Sn	-	15	-	-

5. CONCLUSIONES

- Se obtuvieron valores de referencia de las concentraciones metálicas de las muestras de aceite usado, utilizando un tratamiento estadístico aplicado a una distribución lognormal.
- Se encontraron valores de los límites de alerta y de alarma tales que en promedio, el primero es aproximadamente el doble y el segundo el triple del valor de referencia.
- Todos los valores conseguidos coinciden en orden de magnitud con los encontrados en la bibliografía.

REFERENCIAS

- Benlloch, J. (1985). *Lubricantes y lubricación aplicada*. Ediciones CEAC. Madrid.
- Collacott, R. (1982). *Mechanical fault diagnosis*. Cambridge. University Press. Cambridge.
- Fygueroa, S. (1994a). *Diagnóstico de motores de encendido por compresión de automoción mediante análisis del lubricante*. Tesis doctoral. Universidad Politécnica de Valencia. España.
- Fygueroa, S. (1994b). *Diagnóstico del desgaste y el estado de motores de encendido por compresión*. Universidad Politécnica de Valencia. España.
- Monchy, F. (1987). *La fonction maintenance*. París. Edition Masson.
- Schilling, A. (1968). "Los aceites para motores y la lubricación de los motores". Interciencia. Madrid.
- Snook, W. (1968). Análisis de aceites de motor usados. *Lubricación*. Vol. 54, N° 9, pp. 97-116.