

El RCVV: Un enfoque diferente en el diagnóstico técnico.

C. Batista Rodríguez, R. Urquiza Salgado

Universidad de Holguín,
Avenida XX Aniversario s/n, Rpto. Piedra Blanca, Holguín, Cuba.
Telef. (53) (24) 482672
Email: batista@facing.uho.edu.cu, rurquiza@facinf.uho.edu.cu

(Recibido el 15 de junio de 2008; aceptado el 21 de julio de 2008)

Resumen

En el trabajo se presenta una nueva herramienta para ser utilizada en el diagnóstico técnico general de las máquinas. El método de Rapidez de Cambio del Valor de la Variable (RCVV), que cuantifica el síntoma de diagnóstico analizado, permite valorar cuantitativamente la rapidez y la aceleración de los cambios que están ocurriendo en los parámetros que caracterizan el estado técnico de las máquinas en un momento dado de su trabajo.

Palabras claves: Diagnóstico, rapidez de cambio, estado técnico, mantenimiento, parámetros de condición, parámetros de salida, aceleración del valor de la variable

1 - Introducción.

En un análisis de fiabilidad, la selección de un intervalo de tiempo entre dos servicios técnicos (T_s) a efectuar a una máquina se orienta hacia los elementos que colapsan en un corto tiempo de trabajo. Los elementos que fallan en intervalos de tiempo Δt ($T_s < \Delta t < 2T_s$) pudieran ser utilizados durante ese tiempo sin necesidad de ser cambiados o reparados, por lo que los trabajos preventivos en muchas ocasiones no son económicamente eficientes [1].

Para disponer de un efectivo sistema de mantenimiento es necesario poder evaluar el estado técnico de cada uno de los elementos que componen las máquinas, para tomar medidas dirigidas no a un conjunto de elementos, sino a cada uno en particular. Para lograr lo anterior se ha desarrollado una rama de la Ciencia que se dedica al estudio y determinación del estado técnico de cada *artículo* en explotación con un enfoque individual para restablecer sus requisitos de funcionamiento, que se ha denominado *Diagnóstico Técnico*.

La base del Diagnóstico Técnico consiste en saber medir (de forma continua o discreta) los parámetros (directos o indirectos) que caracterizan el estado técnico del artículo; parámetros que permiten establecer el estado real de un elemento en particular y determinar su posible tiempo de utilización, hasta el momento en que alcance su estado límite.

Formalmente, se define al Diagnóstico Técnico como la rama de la Ciencia que estudia y establece los síntomas de un estado de fallo; son métodos, principios

y equipamientos con ayuda de los cuales se puede llegar a conclusiones respecto al estado técnico de los sistemas que forman las máquinas sin tener que desarmarlos, y además poder pronosticar los recursos necesarios para restablecer la funcionalidad y requisitos del sistema [1].

En dependencia de la complejidad de la tarea a resolver, el Diagnóstico Técnico se puede subdividir en:

- Diagnóstico general (evaluación del estado técnico de una máquina).
- Diagnóstico por elementos.

El problema a resolver por el diagnóstico general es establecer a través de parámetros generalizadores si la máquina está en buen o en mal estado técnico y si se puede permitir continuar su operación sin ejecutarle ningún tipo de servicio técnico. El diagnóstico por elementos consiste en determinar el estado incipiente de un fallo de un agregado, mecanismo o elemento en particular y establecer las causas de su mal funcionamiento.

La selección de una de las técnicas o su combinación para realizar el diagnóstico general o por elementos está en dependencia de varios factores [2], como son:

- **Técnicos.** Características constructivas y funcionales.
- **Económicos.** Gastos incurridos en la adquisición y montaje de la máquina, precio de las piezas de repuesto. Disponibilidad financiera para la implementación de las técnicas de diagnóstico.

- **Productivos.** Afectaciones que provoca al sistema productivo por dejar de funcionar correctamente.
- **Seguridad industrial.** Impacto ambiental, empresarial y humano que provoca un accidente ocurrido en la máquina.

De los fundamentos teóricos del diagnóstico técnico se conoce que un sistema está compuesto por artículos que se caracterizan por el ajuste, medidas y formas de sus partes componentes, los cuales se pueden cuantificar a través de sus dimensiones y huelgos de su interacción. Si cada parte componente se caracteriza por un valor numérico x_i , entonces el conjunto de los $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$ prácticamente caracteriza la estructura y funcionamiento de cualquier mecanismo en un momento de tiempo dado.

Las variables $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$ se denominan *parámetros de estado* (estructurales y funcionales), que en muchas ocasiones no pueden ser medidos directamente, ya que sería necesario desarmar las máquinas. En el proceso de trabajo de las mismas ocurren cambios en sus parámetros de estado. Si el valor numérico del cambio no sobrepasa los límites permisibles, se considera que el objeto está en correcto estado. Si un solo valor numérico de los parámetros de estado se encuentra fuera del rango de límites permisibles, entonces el objeto se encuentra en un estado incorrecto.

Durante el funcionamiento de las máquinas ocurren diferentes procesos: emanación de calor, ruidos, vibraciones, etc., los cuales se denominan *procesos de salida*, reflejan la calidad funcional de la máquina y pueden ser parámetros generales o particulares.

Las magnitudes de los procesos de salida pueden ser medidos mientras la máquina trabaja y aquellos que se utilizan para evaluar el estado técnico de la máquina se denominan *síntomas* o *señales de diagnóstico*, en lo adelante se denotarán por y_i .

Los síntomas de diagnóstico y_i tienen una relación de dependencia funcional de los parámetros de estado de las máquinas x_i , y se expresan a través de la ecuación:

$$y_i = f_i(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n) \quad i = 1, 2, \dots, n.$$

El problema del Diagnóstico Técnico consiste en resolver el sistema de ecuaciones anterior, es decir, determinar:

$$x_i = F_i(y_1, y_2, y_3, \dots, y_n).$$

La dependencia funcional $f_i(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n)$ se encuentra por regla general de forma experimental, con la ayuda de equipos especiales que miden y cuantifican los síntomas de diagnóstico, y posteriormente se calculan los parámetros de estado del sistema.

En el Diagnóstico Técnico una cuestión básica es determinar los valores límites de los síntomas de

diagnóstico. En la actualidad, la evaluación del estado técnico de la máquina se realiza dándole seguimiento y analizando los diferentes valores de las variables globales que cuantifican los síntomas de diagnóstico. Dichas evaluaciones habitualmente se realizan mediante dos métodos:

1. Estado comparativo del valor de las variables con respecto a los niveles de aviso o alarma que se hayan establecido, según recomendaciones del fabricante, normas conocidas y estudiadas que se ajustan a las condiciones de trabajo de las máquinas evaluadas, o según normas propias establecidas para cada una de las máquinas a partir de sus condiciones particulares de explotación [3].
2. A través de la razón de crecimiento del valor de la variable, según se declara en la norma ISO 2372-1974 [4].

Del estudio y aplicación de ambos métodos se ha observado que ninguno tiene en cuenta el cambio que sufre el valor de la variable del síntoma de diagnóstico en un intervalo de tiempo trabajado por la máquina, lo cual podría ser un método alternativo más a tener en cuenta a la hora de realizar la evaluación del estado técnico de la misma.

2 - Rapidez de cambio del valor de la variable que cuantifica el síntoma de diagnóstico.

Este método consiste en calcular la rapidez media de cambio (R_{i-j}) del valor de la variable entre dos instantes de tiempo diferentes i y j (intervalo de tiempo de trabajo), que no es más que el tiempo que ha trabajado la máquina entre dos mediciones consecutivas. La rapidez media de cambio (R_{i-j}) se calcula por la fórmula:

$$R_{i-j} = \frac{A_i - A_j}{t_i - t_j}. \quad (1)$$

Estos cálculos se realizan para mediciones consecutivas y se puede notar que:

- a)- **La rapidez de cambio es cero:** el valor de la variable no se ha modificado en el intervalo de tiempo analizado, el estado técnico de la máquina no ha variado.
- b)- **La rapidez de cambio es aproximadamente constante:** síntoma de un proceso sistemático, al parecer de desgaste o incrustaciones, que se está produciendo.

- c)- **La rapidez de cambio oscila alrededor de cero con cambios de signo:** puede significar que las mediciones no se han realizados bajo las mismas condiciones (carga, velocidad, interferencias externas, etc.), o que se está ante un proceso que se caracteriza por ese comportamiento; aparentemente no es un síntoma significativo para la máquina.
- d)- **La rapidez de cambio es relativamente pequeña con aislados cambios de signo:** puede significar un error de lectura o de registro.
- e)- **La rapidez de cambio es relativamente grande:** síntoma grave para el funcionamiento de la máquina, posibles roturas ocurridas.

Las expresiones “relativamente grande” o “relativamente pequeña” están referidas a la rapidez precedente en cada caso particular. La efectividad del análisis de casos al aplicar este método está en dependencia de la experticia del especialista. Se insiste en que este procedimiento es complementario a los ya conocidos, mencionados en la introducción.

Los **niveles de la rapidez de cambio** se pueden agrupar en tres categorías

- Tolerables y de análisis.
- De alarma e inspecciones sistemáticas y realización de operaciones de mantenimiento.
- De paro inmediato de la máquina para investigar las causas.

Al utilizar este método se calcula la aceleración de la rapidez de cambio del valor de la variable, lo que permite conocer si el daño que se está produciendo es un proceso con rapidez constante, acelerado o retardado. La aceleración media entre dos instantes de tiempo puede encontrarse por la fórmula:

$$a_{i-j} = \frac{R_i - R_j}{T_i - T_j} \quad (2)$$

Este nuevo método permite además realizar un análisis gráfico del comportamiento del valor de la variable, su rapidez de cambio y su aceleración; como se muestra en la Fig. 1, que representa las mediciones realizadas, por ejemplo, de la presión de combustible en un punto de medición.

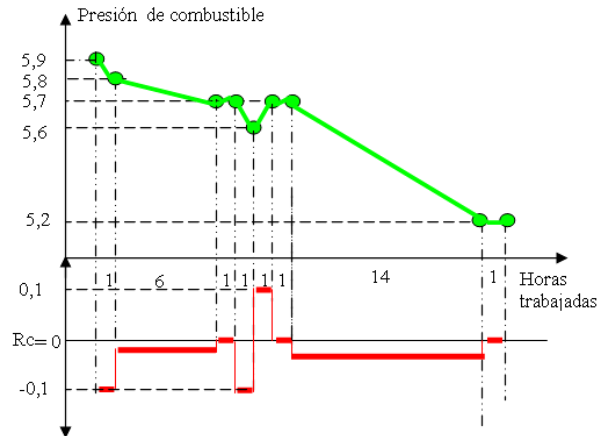


Figura 1- Gráfico de rapidez de cambio.

De la misma forma en que se calculan la rapidez y la aceleración media, pueden hallarse la rapidez y aceleración instantáneas para cualquier instante de tiempo trabajado. Para ello puede realizarse un proceso de interpolación por *splines* cúbicos [5] a la variable analizada y así se obtendría la función analítica, a la cual se le pueden buscar su primera y segunda derivada. Se tendrían así las funciones de rapidez y aceleración del cambio del valor de la variable, en las cuales es posible evaluar para cualquier instante de trabajo la rapidez y aceleración instantánea.

3 - Ejemplo de cálculo.

En la Tabla 1 se muestran las mediciones de la presión de combustible registradas en un motor de combustión interna y se presentan los resultados del cálculo de la rapidez y la aceleración de cambio del mencionado parámetro funcional.

Tabla 1 – Mediciones y resultados para el ejemplo

Instantes de medición T_i	Horas trabajadas Δt	Presión combustible. A_i	R_{ji}	a_{i-j}
1	-	5,9	-	
2	1	5,8	-0,100	-0,100
3	6	5,7	-0,016	0,014
4	1	5,7	0	0,016
5	1	5,6	-0,100	-0,100
6	1	5,7	0,100	0,200
7	1	5,7	0	-0,100
8	14	5,2	-0,030	-0,002
9	1	5,2	0	0,030

En el ejemplo anterior se observa que la rapidez de cambio es relativamente pequeña y con cambios de

signo alrededor del instante 6, lo que ubica el proceso en el caso D. Pudiera significar un error de lectura o registro en los instantes 6 y 7. Si por tal consideración se desprecian dichos valores, se estaría en presencia del caso B. Un análisis de las aceleraciones corrobora lo anterior, pues las mismas oscilan alrededor de cero, es decir, la rapidez es aproximadamente constante.

4 - Conclusiones

El método *Rapidez de Cambio del Valor de la Variable* analizado es una herramienta alternativa para ser utilizada en la evaluación del estado técnico de una máquina en un instante dado de tiempo. Permite tener en cuenta la rapidez y la aceleración que presenta el valor de la variable en un momento dado, como un reflejo de la dinámica de los procesos físico-químicos que están ocurriendo dentro de la máquina durante su funcionamiento; lo cual permite valorar que, con independencia de que la variable no haya alcanzado su estado límite, es necesario investigar las causas de los procesos acelerados que están ocurriendo en su estructura interna.

5 - Recomendaciones

Se recomienda utilizar el procedimiento de análisis denominado Rapidez de Cambio del Valor de la Variable (RCVV), como una herramienta más para evaluar el estado de condición técnica de las máquinas.

6 - Referencias.

- 1 - Anilovich B. R. *Fiabilidad de la explotación de las máquinas agrícolas*. Editora Cosecha. Minsk. 1974. 255 pp.
- 2 - Batista Rodríguez Carlos. *Diagnóstico Técnico de máquinas rotatorias*. Monografía. Holguín, Cuba. 2005. 102 pp.
- 3 - EASA. *Manual de Mantenimiento Predictivo en grupos hidroeléctricos*. Programa de investigación electrotécnica. Proyecto PIE No. 121.046. 1994. 151 pp.
- 4 - ISO Standard 2372:1974 (E). *Mechanical vibration of machines with operating speeds from 10 to 200 rev/s – Basis for specifying evaluation standards*. ISO 1974.
- 5 - Álvarez M. y otros. *Matemática Numérica*. Editorial Félix Varela, La Habana, Cuba. 2004. 296 pp.

RCVV: A different approach to the Technical Diagnostic.

Abstract:

In this paper is introduced a new tool for the general technical diagnostic of machines. The Rapidity of Change of Variables's Value method (RCVV) quantifies the diagnosed symptom, values quantitatively rapidity and acceleration in the changes that are happening with parameters that profiles technical status of machine in a given working period.

Key words: Diagnostic, rapidity of changes, technical status, maintenance, parameters of condition, outgoing parameters, acceleration of the variable's value