

CALCULO DE LA FRECUENCIA DE INSPECCION DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO

Para los profesionales de mantenimiento hoy en día, resulta relativamente fácil encontrar las estrategias a seguir en cuanto a la escogencia del tipo de mantenimiento adecuado para cada modo de falla, sin embargo, a la hora de calcular la frecuencia de inspección del mantenimiento predictivo, la literatura actual nos ofrece una manera que se basa en la curva P-F, donde el tiempo entre inspecciones para algunos, debe ser la mitad del tiempo entre la falla potencial y la falla funcional (intervalo P-F) y para otros, el tiempo entre inspecciones debe ser menor que el intervalo P-F asegurando que la diferencia entre ambos sea mayor al tiempo de reparación.

Lamentablemente esta forma de calcular la frecuencia de inspección predictiva tiene los siguientes inconvenientes:

1. No se posee suficiente data para construir una curva para cada modo de falla
2. La curva varia si es afectada por factores externos tales como variaciones en el contexto operativo, fallas operacionales y deficiencias relacionadas con ingeniería y mantenimiento

En la mayoría de los casos, la frecuencia es calculada con la ayuda de una curva P-F general solo para algunos componentes principales del equipo a ser inspeccionado, o utilizando criterios gerenciales no formales, basados en el costo de las inspecciones versus el costo de no poder predecir la falla.

Debido a lo anteriormente expuesto y como una forma para calcular de manera formal la frecuencia de las inspecciones predictivas, tomando en cuenta la relación riesgo - costo - beneficio, y justificando así, las decisiones del gerente del área de mantenimiento, en lo concerniente al impacto de las estrategias a ser tomadas en el presupuesto de gastos de fábrica, se desarrolla a continuación un modelo matemático que pretende dar una idea cercana del valor del tiempo entre inspecciones predictivas.

El valor del intervalo entre inspecciones predictivas será directamente proporcional a tres factores: el factor de costo, el factor de falla y el factor de ajuste. Así, la relación matemática estará definida como:

$$I = C \times F \times A$$

Donde

C es el factor de costo
F es el factor de falla y
A es el factor de ajuste

Factor de Costo

Se define como factor de costo, el costo de una inspección predictiva dividido entre el costo en que se incurre por no detectar la falla. En general, este costo es igual al tiempo que tarda llevar el repuesto desde el almacén (externo o propio) en condición de parada no planificada hasta el lugar donde ocurre la falla, multiplicado por la cantidad de dinero que se pierde por unidad de tiempo de parada del equipo que la presenta. Otros costos asociados a no poder predecir la falla tienen que ver con el impacto de esta en la calidad de los productos, la seguridad industrial y el cuidado del ambiente. Para los casos donde la seguridad industrial y el ambiente se puedan ver perjudicados se recomienda el monitoreo continuo de la condición del equipo ya que los costos de una lesión o del impacto ambiental son inestimables, o en el mejor de los casos, su valor tiende a ser tan alto que el intervalo de inspección tiende a 0.

La relación del factor de costo es la siguiente:

$$C = \frac{C_i}{C_f}$$

Donde

C_i es el costo de una inspección predictiva (en unidades monetarias)

C_f es el costo en que se incurre por no detectar la falla (en unidades monetarias)

Nótese que el factor de costo es un número adimensional.

Factor de Falla

Se define como factor de falla la cantidad de fallas que pueden detectarse con la inspección predictiva dividida entre la tasa de fallas.

La relación del factor de falla es la siguiente

$$F = \frac{F_i}{\lambda}$$

Donde

F_i es la cantidad de modos de falla que pueden ser detectados utilizando la tecnología predictiva (expresada en fallas por inspección) y

λ es la tasa de fallas presentada por el equipo, y que además, podrían ser detectadas por la tecnología predictiva a ser aplicada (expresada en fallas por año)

Nótese que la unidad del factor de falla es años por inspección.

Factor de Ajuste

Una vez calculado el producto entre el factor de costo y el factor de falla, se procede a multiplicarlo por un factor de ajuste, el cual, estará basado en la probabilidad de ocurrencia de más de 0 fallas en un año utilizando la distribución acumulativa de Poisson con media igual a λ (rata de fallas expresada como fallas por año). Para calcular este factor utilizaremos la función matemática logaritmo natural multiplicada por -1 ($-\ln$), la cual, se comporta de una manera muy parecida al criterio gerencial de incremento o decremento del intervalo de inspección al tomar en cuenta la probabilidad de ocurrencia de más de 0 fallas en un año. Para valores de probabilidad de ocurrencia entre 0 y valores cercanos a 0.37, la función arroja resultados desde infinito hasta 1 y para valores de probabilidad entre 0.37 y 1 la función arroja resultados entre 1 y 0. Por lo que a mayor probabilidad de ocurrencia, el intervalo de inspección predictiva se reducirá de forma exponencial.

La probabilidad de ocurrencia de más de cero fallas se expresa como:

$$1 - P(0, \lambda) = 1 - e^{-\lambda}$$

donde $P(0, \lambda)$ es la función de distribución acumulativa de Poisson para un valor de ocurrencia 0 y media λ

Así, el factor de ajuste será igual a:

$$A = -\ln(1 - e^{-\lambda})$$

Nótese que el factor de ajuste es un número adimensional.

De acuerdo a lo anteriormente expuesto, el intervalo de inspecciones predictivas queda definido como:

$$I = -\frac{C_i \times F_i}{C_f \times \lambda} \times \ln(1 - e^{-\lambda})$$

Expresado en años por inspección. Siendo el inverso de esta relación igual a la frecuencia de inspección (f), la misma estará expresada en inspecciones por año.

Este modelo es recomendable para valores de λ menores que 1, ya que para valores mayores que la unidad, la frecuencia de inspección se puede incrementar en tal dimensión, que los costos de inspección por año pueden ser superiores al costo de no poder detectar la falla. Para valores de frecuencia superiores a 52 inspecciones por año y para valores de costos anuales de inspección superiores al 10 % del costo total de la no posibilidad de detección de falla, se recomienda estudiar la instalación de dispositivos de monitoreo continuo para tener una información en tiempo real referente a los parámetros seleccionados para establecer el mantenimiento por condición y/o hacer análisis de causa raíz, destinados a disminuir la rata de fallas a valores inferiores a 1 falla por año,

mediante el rediseño de los equipos, de las políticas o de los procedimientos de operación, ingeniería y mantenimiento.

Como ejemplo podemos calcular el valor del intervalo de inspecciones predictivas para un grupo rotativo motor-bomba de acople directo con rata de falla de 1 vez cada 3 años, costo de inspección de tecnología predictiva de análisis de vibraciones de US\$ 20 y costo de no posibilidad de detectar la falla de US\$ 20,000.

Si la cantidad de fallas que se pueden detectar en el grupo rotativo de acople directo utilizando análisis de vibraciones es igual a 20, el resultado será:

$$C = C_i / C_f = \text{US\$ } 20 / \text{US\$ } 20,000 = 0.0010$$

$$F = F_i / \lambda = 20 \text{ fallas por inspección} / 0.3333 \text{ fallas por año} = 60.0060 \text{ años} / \text{inspección}$$

$$A = A = - \ln [1 - \text{EXP} (-\lambda)] = A = - \ln [1 - \text{EXP} (-0.33)] = 1.2691$$

$$I = C \times F \times A = 0.0010 \times 60.0060 \text{ años} / \text{inspección} \times (1.2691) = 0.0762 \text{ años} / \text{inspección}$$

Si quisiéramos calcular la frecuencia de inspección (f), solo debemos calcular el inverso del intervalo de inspección:

$$f = 1 / 0.0762 = 13.1311 \text{ veces por año, lo cual, se puede aproximar a 1 inspección por mes}$$

El costo anual de aplicación de la tecnología predictiva sera igual a 20 US\$ multiplicado por la frecuencia de inspeccion, lo cual da como resultado 240 US\$ por año. Este monto representa un 1.2 % del costo de no poder predecir la falla.

Escrito por
Raphael Suarez
R_Suarez@cargill.com
Todos los derechos reservados
Caracas, Venezuela - Junio 2007