

Si usted no puede visualizar correctamente este mensaje, [presione aquí](#)



Boletín técnico de INDISA S.A.

Medellín, 18 de junio de 2010

No.84

EL CÁLCULO DE LA CONFIABILIDAD EN EL MANTENIMIENTO DE EQUIPOS



Autor: Luis Hernando Palacio Palacio
Ingeniero de Mantenimiento
Cementos Argos/ Planta Nare

En la actualidad, el término Confiabilidad es una constante en los departamentos de mantenimiento ya que éste mide, en cierta forma, la efectividad de los planes de mantenimiento que se están aplicando sobre los activos mantenibles. Claro, no basta con un solo índice para medir la gestión del mantenimiento. Para tener una visión más completa, se hace necesario analizar el índice de confiabilidad junto con la disponibilidad, la mantenibilidad, etcétera.

Aún así, la metodología para llevar a cabo el cálculo de este índice no aparece con claridad en los textos especializados o se remiten al empleo de la distribución de Weibull — el cual es complejo por el cálculo de sus parámetros—; y he tenido la experiencia con asesores en la implementación de programas de mantenimiento, que éstos sólo se limitan al cálculo de variables como el MTBF (Tiempo Medio entre Fallas) y el MTTR (Tiempo Medio Para Reparación) como un indicativo de la confiabilidad y ninguna referencia directa al cálculo de ésta.

El objetivo del presente artículo es desarrollar un método para el cálculo de este índice, con base en el MTBF y el MTTR y teniendo en cuenta los tres posibles arreglos de los sistemas: Serie, Paralelo y Redundante, pues la confiabilidad se ve afectada de forma directa dependiendo del tipo de sistema.

Es de aclarar que el método de cálculo de la confiabilidad que se presenta es un método discreto, en contraposición al método que emplea la distribución de Weibull, que es una distribución continua. El método se basa en la ecuación que presenta el Ingeniero Lourival Augusto Tavares para el cálculo de la confiabilidad [1]. Con respecto a esta ecuación, el ingeniero Augusto Tavares dice lo siguiente: "La fórmula indicada por Ud. (una de las cuatro que aparece en mi libro^[ii] es la más sencilla de utilizar y el valor, aún con un pequeño error (que no llega a perjudicar el análisis y la toma de decisiones) puede ser depurado cuando se utiliza los cálculos estadísticos, como los indicados por Ud. de la distribución de Weibull.^[iii]

LOS DATOS BASE

Para que la confiabilidad calculada tenga una alta credibilidad, los datos con los cuales se efectúa el cálculo deben ser igualmente creíbles; y estos datos no son más que los registros de los paros de los activos. Es por ello que el registro de los paros debe hacerse de la manera más imparcial y objetiva posible.

El registro de los paros implica: codificación y clasificación; esta última se puede subdividir en propios, ajenos y programados.

Los paros propios son aquellos imputables al equipo. Los paros ajenos son paros no imputables al equipo pero que causan la parada del mismo. Los paros programados son aquellos que están establecidos en el programa de mantenimiento anual.

Dentro de la división anterior, es necesario clasificarlos por especialidad: Mantenimiento y Producción, ya que si se desea calcular la confiabilidad por mantenimiento únicamente, por ejemplo, sólo se deben tener en cuenta los paros imputables a éste. La codificación permite establecer rápidamente la falla que se imputará al activo sin ambigüedades.

DEFINICIÓN DE CONFIABILIDAD

Para tener claro nuestro horizonte, en lo referente al cálculo, se debe tener claro qué es confiabilidad, para lo cual se puede definir de la siguiente manera: *Es la probabilidad de que un sistema, activo o componente lleve a cabo su función adecuadamente durante un período bajo condiciones operacionales previamente definidas y constantes* [2].

Como se deduce de esta definición, la confiabilidad es un dato estadístico, pues es una probabilidad la cual es determinada o calculada a partir de la información de los registros de los paros. Como veremos más adelante, el cálculo de la confiabilidad — según el método que expongo — se basa en la definición clásica de Laplace de probabilidad.

Otro aspecto importante, es que la confiabilidad se puede aplicar a un sistema, a un activo o a un componente. Es en este punto donde se debe tener en cuenta si el sistema es en serie, en paralelo o redundante. Es importante resaltar, además, que la confiabilidad se determina para un determinado período de tiempo, el cual puede ser semanal, mensual, anual, etcétera, y bajo el contexto operacional en el cual opera el activo o el sistema.

ECUACIÓN BÁSICA

Como se mencionó en el numeral 1, la ecuación para el cálculo se basa en la expresión desarrollada por el ingeniero Lourival Tavares, en la cual la confiabilidad está en función del MTBF y el MTTR:

$$R = f(MTBF, MTTR) \quad (1)$$

Donde: R: Confiabilidad.

MTBF: Tiempo Medio Entre Fallas.

MTTR: Tiempo Medio Para Reparación.

Ahora veamos como se relacionan las tres variables de la ecuación (1):

$$R = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} \times 100 \quad (2) [1]$$

Como se observa en la ecuación (2), dicha expresión no es más que la definición de probabilidad según Laplace: Número de aciertos (MTBF= tiempo total que funciona el activo sin fallar) sobre el número total de eventos (tiempo total que funciona el activo más el tiempo que estuvo parado para reparaciones). *Esta es la ecuación básica para el cálculo de la confiabilidad.*

Las ecuaciones para determinar el MTBF y el MTTR son las siguientes.

$$MTBF = \left[\frac{h_T}{p} \right] \quad (3)$$

$$MTTR = \left[\frac{h_p}{p} \right] \quad (4)$$

Donde.

h_T : Horas trabajadas o de marcha durante el período de evaluación.

p : Número de paros durante el período de evaluación.

h_p : Horas de paro durante el período de evaluación.

Es aquí donde se hace importante tener, de manera clara, la clasificación de los paros por mantenimiento o producción.

SISTEMA EN SERIE

Los sistemas en serie se caracterizan por que el funcionamiento de cada ítem que lo compone depende directamente del funcionamiento del componente que lo antecede y precede; es decir, si uno de los componentes falla, falla todo el sistema. Véase la figura 1



Figura 1. Esquema de un sistema en serie [1]

La confiabilidad del sistema está dada por:

$$R_s = Cf_1 \times Cf_2 \times Cf_3 \times Cf_4 \quad (5)$$

Donde Cf_1, Cf_2, \dots, Cf_n son las confiabilidades de cada ítem.

De la expresión anterior, se concluye que la confiabilidad del sistema es el producto de las confiabilidades individuales de sus componentes.

Generalizando para n componentes:

$$R_s = \prod_{j=1}^n R_j \quad (6)[3]$$

Donde:

R_s : Confiabilidad del sistema.

R_j : Confiabilidad del j-ésimo componente.

Es el carácter multiplicativo de las confiabilidades que hace a este sistema tan sensible a las fallas. Dado que la confiabilidad de un sistema en serie es el producto de las confiabilidades de sus componentes, se puede concluir que: La confiabilidad total de un sistema en serie es menor que la confiabilidad de cualquiera de sus componentes.

SISTEMA EN PARALELO

Según Lourival Tavares: "La confiabilidad final de un conjunto de equipos, será obtenida por la suma de los productos de las confiabilidades de cada ítem por sus capacidades de producción, dividido por la suma de las capacidades de producción de esos ítems" [4]. Véase la figura 2.

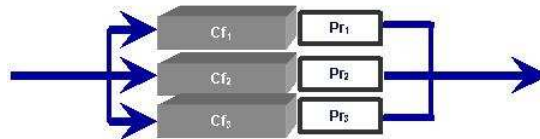


Figura 2. Esquema de un sistema en paralelo [1]

Según la definición anterior, la confiabilidad de un sistema en paralelo está dada por:

$$R_s = \left[\frac{(Cf_1 \times Pr_1) + (Cf_2 \times Pr_2) + (Cf_3 \times Pr_3)}{Pr_1 + Pr_2 + Pr_3} \right] \quad (7)[1]$$

Donde Cf_1, Cf_2, \dots, Cf_n son las confiabilidades de cada uno de los equipos.

Pr_1, Pr_2, \dots, Pr_n son las participaciones de cada uno de los equipos en la producción del sistema evaluado.

Generalizando para n equipos en paralelo:

$$R_s = \frac{\sum_{j=1}^n (R_j \times Pr_j)}{\sum_{j=1}^n Pr_j} \quad (8)$$

De la expresión anterior, se concluye que el paro de un equipo no implica el paro del sistema. Esta característica de los sistemas en paralelo se debe al carácter aditivo de las confiabilidades ponderadas con la producción de cada uno de ellos.

Con respecto a la participación en la producción de cada uno los equipos involucrados, es válida la siguiente observación: No necesariamente la sumatoria de las participaciones debe ser 100% pues, por lo general, las líneas de producción son sobredimensionadas.

SISTEMA REDUNDANTE

Se entiende por un sistema redundante, un sistema que permanece en *stand by* (reserva) con el propósito de garantizar la operación normal del proceso. En la realidad, sistemas completos en reserva son poco comunes, por el costo que ello implica. Un ejemplo de ello lo constituye una planta donde se producen químicos letales para el ambiente y la vida en general. En este tipo de plantas se hace obligatorio tener un sistema de control de emisiones al ambiente en reserva por las implicaciones que se derivan de la emisión al ambiente de estos químicos. Lo que si es común, es tener equipos de reserva para garantizar la normal operación del proceso. Citando nuevamente a Lourival Tavares, un sistema redundante se puede definir como: "Cualquier elemento que tenga por un período el 100% de confiabilidad hace "1" a toda la ecuación. Ocurrida la falla, si la conmutación es inmediata, la confiabilidad se mantendrá en el 100% hasta la siguiente falla de este elemento" [1]. Véase la figura 3.

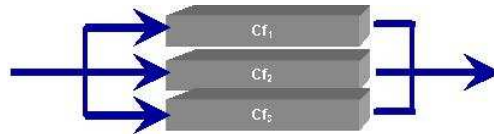


Figura 3. Esquema de un sistema redundante [1]

Según la definición anterior, la confiabilidad de un sistema redundante está dada por:

$$R_s = 1 - [(1 - Cf_1) \times (1 - Cf_2) \times (1 - Cf_3)] \quad (9)$$

Donde las variables tienen el mismo significado que en los casos anteriores.

Generalizando para n equipos:

$$R_s = 1 - \prod_{j=1}^n (1 - R_j) \quad (10)[3]$$

De la expresión anterior se puede concluir lo siguiente:

La redundancia, que en la ecuación (10) es representada por el uno fuera de la productoria, garantiza una confiabilidad cercana al 100% al sistema productivo, siempre y cuando la conmutación (o el cambio al sistema en reserva) se haga inmediatamente. Dicha ecuación también nos dice que si al menos un componente del sistema tiene confiabilidad del 100%, todo el sistema alcanza una confiabilidad del 100%.

Es importante señalar que el sistema redundante no se menciona en la literatura técnica, y que la ecuación para su cálculo la toma para un sistema en paralelo.

La fórmula para calcular la confiabilidad para un sistema en paralelo es un aporte importante del Ing. Lourival Tavares, la cual verifiqué con datos reales y la comparé con la ecuación que tradicionalmente se emplea para el sistema en paralelo, siendo la indicada por Tavares la que arrojó datos fiables.

CONCLUSIONES

- ✓ El método que se describe, es un método discreto y aproximado comparado con el método de la distribución de Weibull, y aunque se genera un pequeño error en los resultados, éste no impide llevar a cabo el análisis respectivo de la situación.
- ✓ El método facilita los cálculos para tener una idea del comportamiento de los activos desde el punto de vista de la confiabilidad y tomar acciones proactivas, preventivas y correctivas si fuere el caso.
- ✓ Aunque el método no permite hacer predicciones en cuanto a la confiabilidad, si facilita la toma de decisiones a futuro con base los resultado obtenidos.
- ✓ De los tres sistemas analizados, el sistema en serie es el menos confiable y el más confiable es el sistema redundante; el sistema en paralelo tiene una confiabilidad intermedia.

[i] Se refiere a su libro *Manutenção Centrada no Negócio*, escrito en portugués.

[ii] En comunicación personal, vía e-mail el 15 de marzo de 2008

Si desea conocer un ejemplo de cálculo de confiabilidad aplicado a un proceso real escribanos al correo

mercadeo@indisa.com.co

NOVEDADES

RECONOCIMIENTO DE DUPONT PARA INDISA S.A.

El pasado 25 de mayo se hizo una exaltación por parte de DuPont a INDISA S.A. resaltando su excepcional experiencia, profesionalismo, trabajo en equipo y el sobresaliente esfuerzo mostrado en sus proyectos.

En el certificado global entregado al gerente general Alejandro Robledo se le reconoce a nuestra empresa su excelencia en las áreas de ingeniería y de fabricación y montajes.



Si usted no recibe esta publicación directamente de INDISA S.A. o si desea recomendarnos a alguien para que la reciba, [presione aquí](#)

Para consultar las ediciones anteriores del boletín INDISA On line, puede entrar a <http://indisaonline.8m.com/>. En esta página se encuentran todos los boletines en formato de página web, para que usted pueda grabarlos en su computador e imprimirlos.



Tel: (574) 444 61 66
Medellín-Colombia
mercadeo@indisa.com.co
<http://www.indisa.com/>