



GESTIÓN DE ACTIVOS ENFOCADO HACIA LA DETERMINACIÓN DE LOS INDICADORES DE MANTENIMIENTO EN EQUIPOS Y/O SISTEMAS DE CUALQUIER SECTOR INDUSTRIAL

UNIVERSIDAD ECCI. DIRECCION DE POSTGRADOS. ESPECIALIZACION EN
GERENCIA DE MANTENIMIENTO

Calle 51 No. 19 – 36. PBX. 3537171 Ext. 269 – 187 - 298
E.mail: mmagor@ecci.edu.co - muriant@ecci.edu.co

Bogotá, D.C. – Colombia

Resumen

La Gestión de Activos basada en Ingeniería de Confiabilidad donde se determinen los indicadores de mantenimiento, representa la ruta efectiva para enfrentar los retos permanentes a los cuales están sometidas las organizaciones de hoy. Con los resultados obtenidos en los procesos de mantenimiento, los operadores de equipos y/o sistemas pueden realizar ajustes a las rutinas o frecuencias de inspección disminuyendo la probabilidad de ocurrencia de fallas, además de mejorar los mismos. Los indicadores de confiabilidad, mantenibilidad, disponibilidad y efectividad, permiten también realizar auditorías, lo cual proporciona resultados relevantes que indican el camino hacia la excelencia que debe establecerse de manera importante para la calidad y productividad bajo el enfoque de la gestión de activos.

Palabras claves: Gestión de activos, indicadores de mantenimiento, sector industrial.

fabricación establecidos requieren una metodología de trabajo en el área de mantenimiento que debe ir de la mano con indicadores del proceso de gestión que les permita evaluar la confiabilidad (TPEF), mantenibilidad (TPFS), disponibilidad y efectividad. Las empresas deben competir en el mercado manteniendo una variable en los costos, con calidad y políticas de servicio bien establecidas por lo tanto, requieren mejorar los procesos operativos siendo el mantenimiento fundamental dentro de esas políticas.

Ahora bien, comienzan las interrogantes del problema de investigación tratando de dar respuesta a la formulación planteada en cuanto a cómo los indicadores de mantenimiento pueden fortalecer la productividad de los equipos y sistemas contribuyendo al desarrollo tecnológico del sector industrial. Cómo la Universidad ECCI, a través de la Dirección de Posgrados, puede realizar servicios de consultoría o asesoría utilizando este modelo de **Confiabilidad, Mantenibilidad, Disponibilidad y Efectividad (COMADISE)** en forma estándar, y replicarlo en otras empresas que así lo requieran. La Confiabilidad Operacional corresponde a una serie de procesos de mejora continua, que incorporan en forma sistemática, avanzadas herramientas de diagnóstico, metodologías de análisis y nuevas tecnologías, para optimizar la gestión, planeación, ejecución y control, de la producción industrial. La variación en conjunto o individual de cualquiera de los tres

1. Planteamiento del problema

Las empresas están en constante búsqueda de mejorar su productividad, ahorrar costos, optimizar condiciones de seguridad laboral, entre otros. Para adecuar los equipos y sistemas bajo estándares de



parámetros presentados en la figura 1, afecta el comportamiento global de la Confiabilidad Operacional de un determinado sistema, tal y como se explicó en la parte anterior y que sirve de complemento en la gestión de activos.

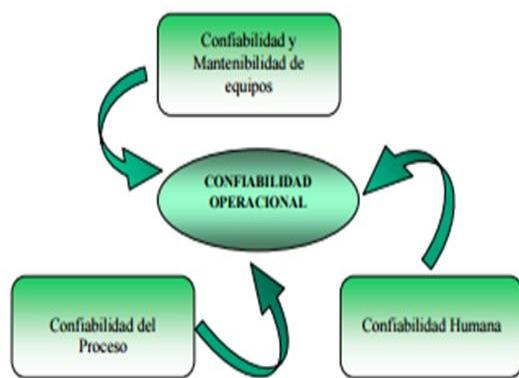


Fig. 1. Aspectos de Confiabilidad Operacional

Fuente: Engineering Reliability and Management (ER&M)

2. Justificación

Existe relevancia para el sector industrial con proyección social porque hay aplicaciones importantes en las empresas interesadas que pueden replicarse y mejorarse. Por otra parte, desde el punto de vista académico, los beneficiarios principales son los estudiantes tanto de pregrado como de posgrado, también empresarios interesados ya que el estudio de este indicador permite el desarrollo de los sectores empresariales que utilicen procedimientos en esta dirección con aportes hacia la disminución de la probabilidad de fallas en equipos o sistemas. Las implicaciones desde el punto de vista práctico hacia la solución esperada aplicando teorías y paradigmas conceptuales mediante la construcción y validación de instrumentos con alta formación profesional por parte de los responsables académicos que realizarán la investigación, en el

tiempo real necesario que establezcan los clientes potenciales acorde con las políticas institucionales de acuerdo con la complejidad de los objetivos planteados.

3. Marco teórico

Las Teorías de Mantenimiento basadas en Confiabilidad, Mantenibilidad, Disponibilidad o Efectividad, permiten el diseño de estrategias donde se implementen programas de mantenimiento en plantas industriales o empresas de servicio, que mejoren los procesos y aumenten la vida útil de los equipos. En los sectores industriales por ejemplo, la organización de mantenimiento localiza un conjunto de recursos y una demanda de servicios de suma importancia, siendo necesario el diseño de planes de acción, que garanticen la continuidad bajo los parámetros establecidos por los fabricantes. Si se tiene un equipo sin falla, se dice que el equipo es cien por ciento confiable, o que tiene una probabilidad de supervivencia igual a uno, cuando la frecuencia de falla aumenta, decrece entonces, la confiabilidad. Para realizar estudios de confiabilidad se debe conocer la causa y la influencia del factor tiempo o en su defecto, la cantidad de equipos fallados en un periodo determinado, utilizando para ello, los resultados de análisis estadístico o similar. Los parámetros utilizados para el estudio de confiabilidad son: tiempo promedio entre fallas, probabilidad de supervivencia y tasa de fallas $r(t)$, como se indica a continuación en las eq (1), (2) y (3):

Probabilidad de supervivencia

$$P_{(s)} = 1 - P_{F(t)} \quad (1)$$

Rata de fallas



$$r(t) = \frac{p(t)}{P_s(t)} \quad (2)$$

$$P_s(t) = e^{-\int_0^t r(t) dt} \quad (3)$$

La vida útil de un equipo está dividida en tres períodos separados, los cuales se definen en función del comportamiento de la rata de fallas: arranque, operación normal y desgaste (obsolescencia) [7].

Período de arranque o mortalidad infantil: las características resaltantes de este período son:

- ✓ Se corrigen defectos en las operaciones producto del arranque de los equipos hasta el punto que la frecuencia de fallas disminuye y llega a estabilizarse en un índice constante.

Período normal: las características resaltantes de este período son:

- ✓ Índice de fallas constante, es decir, la rata de fallas no varía, mientras ocurre el envejecimiento del equipo. (Ver eq. (4) y (5):

$$r(t) = r = \text{constante} = \frac{1}{MTEF} \quad (4)$$

- ✓ Repentinias acumulaciones de esfuerzos por encima de la resistencia de diseño de los componentes.

- ✓ El coeficiente de variación es igual a uno, es decir, $\frac{\sigma}{MTEF} = 1$

$$p(t) = r(t)e^{-\int_0^t r(t) dt} \quad (5)$$

Período de desgaste: las características resaltantes de este período son:

- ✓ Un índice de falla creciente, es decir, al aumentar el tiempo, la rata de fallas $r(t)$, se incrementa. Las fallas son debidas a: fatiga, desgaste mecánico, corrosión, erosión.

- ✓ Cuando un equipo entra a este período, debe someterse a una reparación general.

3.1 Cálculo y Predicción de Confiabilidad.

3.1.1 Las fallas están clasificadas según sea el tiempo de ocurrencia. Los tiempos entre fallas (TEF) deben ser ordenados de forma ascendente (de menor a mayor) y listados en forma consecutiva en la planilla de análisis de fallas.

3.1.2 En el caso de dos observaciones con el mismo valor, se debe determinar la medida geométrica de los números de igual orden.

$T(N)$ = tiempo de sobrevivencia, entonces
 $M(N) = N$

donde; $M = \sqrt{N_i - N_j}$

N_i y N_j indican rangos menores y mayores respectivamente.

El rango $M(N)$ se usa para determinar la probabilidad de falla $P_F(t)$, de acuerdo a la eq. (7):

$$P_F(t) = \frac{M(N)}{N_{max} + 1,0} \quad (7)$$

Para cada rango se calcula la probabilidad de supervivencia. Luego, utilizando el método de mínimos cuadrados, a partir de esta función de supervivencia se pueden estimar los valores teóricos de V (coeficiente de dispersión) y K (vida característica o edad característica), calculando



luego, el **TPEF**. A continuación lo indicado en las eq. (6), (7) y (8):

$$V = \exp \left[\frac{(N \sum_{i=1}^n Z_i b_i - \sum_{i=1}^n Z_i \sum_{i=1}^n b_i)}{(\sum_{i=1}^n Z_i b_i \sum_{i=1}^n b_i - \sum_{i=1}^n Z_i \sum_{i=1}^n b_i^2)} \right] \quad (6)$$

$$K = \frac{\sum Z_i b_i}{\sum b_i - \ln V x \sum b^2} \quad (7)$$

$$TPEF = V * \left(1 + \left(\frac{1}{K} \right) \right) \quad (8)$$

La mantenibilidad es la probabilidad de que un componente o equipo pueda ser restaurado a una condición operacional satisfactoria dentro de un período de tiempo dado, cuando su mantenimiento es realizado de acuerdo a procedimientos preestablecidos.

3.1.3 Parámetros básicos de la mantenibilidad

El tiempo promedio fuera de servicio o comúnmente llamada media del tiempo fuera de servicio (**TPFS**) es el parámetro básico de mantenibilidad, el cual puede ser obtenido analíticamente o gráficamente basándose en el número total de horas fuera de servicio por causa de una falla, y el número de acciones de mantenimiento llevado a cabo por conceptos de fallas.

3.1.4 Factores principales

La buena mantenibilidad es función de factores operacionales que generalmente se relacionan con el factor humano encargado del equipo y de mantenerlo, así como también lo asociado con el

medio ambiente, y de diseño las cuales corresponden a la distribución física y accesibilidad del equipo, modulación e intercambiabilidad, normalización y niveles iniciales de repuestos.

3.1.5 Cálculo y predicción de la mantenibilidad.

3.1.5.1 Ordenar la información sobre tiempos fuera de servicio (TFS) en orden ascendente.

3.1.5.2 Numerar las observaciones de uno (01) en adelante (número de orden n).

3.1.5.3 Calcular la probabilidad de obtener un valor menor o igual que el observado utilizando la siguiente fórmula:

$$P(t < T) = \frac{n}{(N+1)} \quad (\text{Ver eq. 7})$$

3.1.5.4 Trazar la curva de mantenibilidad del componente o equipo según lo establece la distribución log-normal (no simétrica), ya que en la práctica se ha demostrado que cuando la ley de “*efecto proporcional*” determinar el valor de una variable estadística, entonces la distribución es log-normal. La eq. 9 que expresa esta condición es la siguiente:

$$P(t) = \frac{1}{tn\sigma\sqrt{2\pi}} \left(\frac{t}{tm} \right)^{-1} e^{-\frac{Ln^2(\frac{t}{tm})}{2\sigma^2}} \quad (9)$$

Dónde:

t es Variable distribuida: TFS

tm Mediana de *t*.

σ Desviación típica de log *t*.



Debido a que la distribución normal log-normal no es simétrica, entonces, el promedio, la mediana y el modo, no coinciden.

3.1.5.5 La eq. 10 que expresa la Distribución Gumbel, tipo I es:

$$P(t < T) = e^{-e^{-a(t-u)}} \quad (10)$$

Para este caso se aplica la estimación gráfica determinando los siguientes parámetros:

a Parámetro de dispersión, $\frac{1}{M}$

μ Parámetro de posición

$$TPFS = \mu + \frac{0.5778}{a} \quad (11)$$

3.1.5.6 Cálculo de la disponibilidad

Se determina mediante la eq. 12:

$$D = \frac{TPEF}{TPEF + TPFS} \quad (12)$$

Dónde:

*TPEF es el tiempo promedio entre fallas.
TPFS es el tiempo promedio fuera de servicio*

La efectividad de un sistema es la probabilidad de que este opere a toda capacidad durante un período calendario. Se puede determinar aplicando expansión binomial o simulación de Monte Carlo. (Ver eq. 13 y 14):

$$P(K, n, p) = \binom{n}{k} p^k q^{n-k} \quad (13)$$

Dónde:

$$\binom{n}{k} = n^c k = \frac{nPk}{K!} \quad (14)$$

$n^c k$ Número de combinación de n elementos tomados en grupo de K elementos

nPk Número de permutaciones de n elementos tomados en grupo de K elementos

$$\begin{aligned} k! & K \text{ factorial} \\ &= K(K-1)(K-2) \dots (K-n)(1) \end{aligned}$$

n Número total de elementos involucrados

Parámetros

$$\bar{X} = np \quad \text{Media}$$

$$s = npq \quad \text{Desviación normal}$$

Características (ver eq. 17)

$$\sum_0^k \left[\binom{n}{k} p^k q^{n-k} \right] = 1 \quad (15)$$

Los coeficientes binomiales se pueden obtener con el triángulo de Pascal.

4. Estado del arte

En el Primer Congreso Iberoamericano en: **Ingeniería de Confiabilidad y Gestión de**



Activos (ICGA) realizado en el año 2012 en Bogotá por INGEMAN (Asociación para el Desarrollo de la Ingeniería de Mantenimiento) se establecieron estrategias para que las empresas interesadas aplicaran en forma efectiva técnicas de Ingeniería de Confiabilidad y Mantenimiento que les permitieran optimizar la gestión de los activos. El análisis de las diferentes técnicas de Ingeniería de Confiabilidad y Mantenimiento, son sin duda alguna, uno de los aspectos fundamentales para disminuir la incertidumbre en la toma de decisiones optimizando los procesos de producción. En la propuesta realizada por Martínez, L (2014) sobre **Metodología para la definición de tareas de mantenimiento basado en confiabilidad, condición y riesgo aplicada a equipos del sistema de transmisión nacional** en su tesis de maestría de la Universidad Nacional de Colombia propone una forma de utilizar tecnologías existentes de mantenimiento basado en confiabilidad, monitoreo a condición y análisis de riesgo aplicados a equipos del Sistema de Transmisión Nacional en empresas del sector eléctrico con el fin de programar actividades de mantenimiento requeridas por los equipos. Una vez definidas las tareas se analiza la posibilidad de incorporar tecnologías de diagnóstico en línea o fuera de ella para determinar la prioridad de realizar una acción de mantenimiento. La prioridad es definida a partir de un análisis de riesgo y criticidad, el riesgo combina la probabilidad de ocurrencia de un modo de falla, la consecuencia y la facilidad de detección entregada por la condición; la criticidad se calcula a partir del impacto en la prestación del servicio. Las consecuencias son valoradas considerando aspectos de continuidad del servicio, seguridad de las personas, el impacto al medio ambiente y los costos de reparación.

5. Marco conceptual

Activo de producción: es un bien con valor contable del que se puede disponer inmediata o diferidamente. En general, el activo de una empresa o persona está formado por créditos a favor, inmuebles y equipamientos, y los emplea como medio de explotación.

Confiabilidad operacional: es la capacidad de una instalación o sistema (integrados por procesos, tecnología y gente), para cumplir su función dentro de sus límites de diseño y bajo un contexto operacional específico.

TPEF (tiempo promedio entre fallas): indica el intervalo de tiempo más probable entre un arranque y la aparición de una falla, es decir, es el tiempo medio hasta la llegada del evento “falla”.

6. Metodología

Las fases metodológicas están diseñadas de acuerdo a los objetivos específicos y que permiten llevar a cabo la gestión de activos enfocada hacia la confiabilidad de equipos y/o sistemas, tal y como se indica a continuación:

- Identificar datos técnicos de los equipos utilizando una lista de chequeo, con la finalidad de clasificar las fallas, determinando la probabilidad de falla y de sobrevivencia.
- Aplicar un programa estadístico utilizando el software SPSS® a los datos o historial de fallas suministrado, a fin de evaluar condiciones que afecten la gestión de mantenimiento.
- Realizar análisis de confiabilidad aplicando modelos de predicción, determinando coeficientes de dispersión, vida



característica y tiempo promedio entre fallas.

- Realizar análisis de mantenibilidad aplicando distribución Gumbel, tipo I a fin de determinar el TPFS (tiempo promedio fuera de servicio) en forma gráfica aplicando distribución log-normal, con ello se determina la disponibilidad y efectividad, a fin de determinar la capacidad de un equipo o sistema.

7. Resultados obtenidos

Este proyecto ha sido aplicado en diferentes sectores productivos: empresas de alimentos, de servicios, transporte, etc., a continuación, se muestran algunos resultados de este modelo de gestión de activos enfocado hacia indicadores de mantenimiento, hay gráficas de resultados estadísticos, y otros relacionados, que de una manera estructurada hicieron posible la implementación en algunos sectores productivos en Colombia. A continuación lo indicado:

FLOTA DE BUSES B12M EURO III: esta flota está conformada por 41 buses.

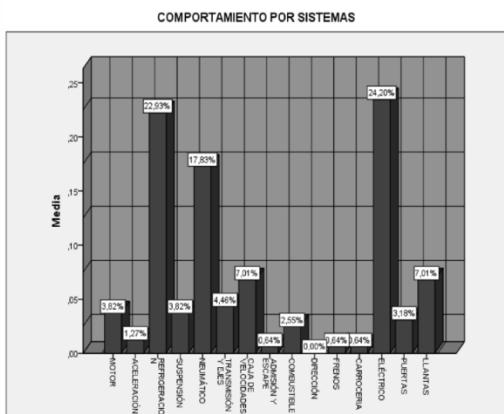


Fig. 2 Histograma de evaluación de sistemas de flota de buses.

En la tabla 1 se muestran los resultados obtenidos aplicando el programa SPSS a los sistemas de estos buses

Tabla 1. fallas más recurrentes FLOTA EURO III

| ELÉCTRICO | | | | |
|------------------|------------|------------|-------------------|----------------------|
| | Frecuencia | Porcentaje | Porcentaje válido | Porcentaje acumulado |
| Válidos 0 | 124 | 76,1 | 76,5 | 76,5 |
| 1 | 38 | 23,3 | 23,5 | 100,0 |
| Total | 162 | 99,4 | 100,0 | |
| Perdidos Sistema | 1 | ,6 | | |
| Total | 163 | 100,0 | | |

| REFRIGERACION | | | | |
|------------------|------------|------------|-------------------|----------------------|
| | Frecuencia | Porcentaje | Porcentaje válido | Porcentaje acumulado |
| Válidos 0 | 126 | 77,3 | 77,8 | 77,8 |
| 1 | 36 | 22,1 | 22,2 | 100,0 |
| Total | 162 | 99,4 | 100,0 | |
| Perdidos Sistema | 1 | ,6 | | |
| Total | 163 | 100,0 | | |

| NEUMÁTICO | | | | |
|------------------|------------|------------|-------------------|----------------------|
| | Frecuencia | Porcentaje | Porcentaje válido | Porcentaje acumulado |
| Válidos 0 | 134 | 82,2 | 82,7 | 82,7 |
| 1 | 28 | 17,2 | 17,3 | 100,0 |
| Total | 162 | 99,4 | 100,0 | |
| Perdidos Sistema | 1 | ,6 | | |
| Total | 163 | 100,0 | | |

Fuente: Autores, 2016

Otros resultados realizados en una empresa de servicios: está conformada por equipos utilizados para comedores industriales. (Ver figura 3)

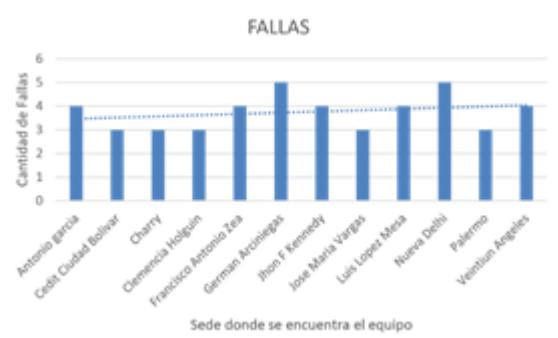


Fig. 3 Fallas en procesadores de alimentos



8. Conclusiones

Los resultados obtenidos en los diferentes sectores productivos han sido bastante exitosos cuando se aplica esta parte de la gestión de activos en mantenimiento.

Hay que continuar con el desarrollo de esta metodología hacia otras áreas del proceso, ya que las ventajas en cuanto a la mejora de la productividad favorecen los costos, la cadena logística y otros relacionados con la gestión de activos.

Los indicadores de mantenimiento dan cuenta del avance hacia la calidad y excelencia que representan el mantenimiento para empresas de categoría clase mundial.

9. Referencias Bibliográficas

[1] Martínez, León. “Metodología para la definición de tareas de mantenimiento basado en confiabilidad, condición y riesgo aplicada a equipos del sistema de transmisión nacional”. Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín, 2014.

[2] Ruiz, A. “Modelo para la implementación de mantenimiento predictivo en las facilidades de producción de petróleo”. Especialización en Gerencia de Mantenimiento. Universidad Industrial de Santander, 2012.

[3] Vega, P. “Diseño de la estrategia de mantenimiento basada en la confiabilidad, RCM, e inspección basada en el riesgo RBI para la línea crítica de producción de la planta para concentrados de la empresa ITALCOL S.C.A ubicada en Girón Santander”. Especialización en Gerencia de Mantenimiento. Universidad Industrial de Santander, 2009.

[4] Gómez, I. “Diseño de un modelo estratégico para la implementación de ingeniería de confiabilidad en plantas de manufactura”. Grupo de investigación DETECAL de la Universidad Libre de Colombia, sede Bogotá, 2009.

[5] INGEMAN (Asociación para el Desarrollo de la Ingeniería de Mantenimiento). “Primer Congreso Iberoamericano en: Ingeniería de Confiability y Gestión de Activos (ICGA)”. 2012.

[6] Martínez, L (2014). “Metodología para la definición de tareas de mantenimiento basado en confiabilidad, condición y riesgo aplicada a equipos del sistema de transmisión nacional”. Universidad Nacional de Colombia.

[7] NAVA, José. “Teoría de Mantenimiento. Fiabilidad”. Consejo de Publicaciones. Universidad de los Andes, Mérida, Venezuela, 2004.

AUTORES

María Gabriela Mago Ramos: es ingeniera electricista. Tiene una Maestría en Ingeniería Industrial y otra en Ingeniería Eléctrica, además de un Doctorado en Ingeniería. Tiene amplia experiencia laboral en distintos sectores productivos en Mantenimiento y Operaciones. Actualmente, se desempeña como docente de Postgrados en la Universidad ECCI. Es investigador(a) Asociado en COLCIENCIAS. Correo: mmagor@ecci.edu.co. Telf. (+57)3167875313.

Miguel Ángel Urián Tinoco: es ingeniero industrial. Especialista en Producción y Gerencia de Mantenimiento. Tiene experiencia laboral en sectores productivos en el área de logística y emprendimiento. Actualmente, se desempeña como docente de Postgrados en la Universidad ECCI. Correo: muriant@ecci.edu.co. Telf. (+57)3002654928.