



Reliability and Risk Analysis to Schedule Maintenance in Electromechanical Equipment

Roberto O. Ocampo Matías, Carlos de la Cruz Alejo and
Fernando Eli Ortiz Hernandez

EasyChair preprints are intended for rapid
dissemination of research results and are
integrated with the rest of EasyChair.

September 15, 2020

Análisis de Confiabilidad y Riesgo para Programar el Mantenimiento en Equipos Electromecánicos

R. O. Ocampo Matías, C. de la Cruz Alejo, F. E. Ortiz Hernández
Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica del Instituto Politécnico Nacional
Avenida Santa Ana No. 1000, San Francisco Culhuacán, Ciudad de México., C.P.04430
Cdelacruz@ipn.mx, ocamporoberto5@hotmail.com, fernandoelih@gmail.com

Resumen— La medida de la confiabilidad de un equipo es la frecuencia con la cual ocurren las fallas. Si no hay, el equipo es confiable; si la frecuencia es muy baja, la confiabilidad del equipo es aceptable, pero si es muy alta, el equipo es poco confiable. El proceso de diseño de un programa de mantenimiento se lleva a cabo considerando el estado actual de los equipos y la información a partir de los datos históricos de los éstos. Dentro de las posibilidades técnicas y tecnológicas, la prioridad es cubrir las necesidades del mantenimiento, tal como en el caso del Servicio Postal Mexicano que requiere la rehabilitación de los sistemas electromecánicos como son, bandas transportadoras, motores eléctricos y elementos de transmisión mecánica. Este artículo presenta una metodología y estudio del caso donde se utiliza el modelo de riesgo proporcional para determinar la confiabilidad y riesgo de los sistemas reparables existentes. Se discute la posibilidad de modelado para obtener valores de confiabilidad y riesgo de los sistemas. En este caso, intentamos modelar la confiabilidad considerando el tiempo de operación actual del equipo, el número de intervenciones de mantenimiento y el valor de los parámetros monitoreados específicos. Luego, la confiabilidad se usa para calcular el riesgo del equipo para un modo de falla dado durante un período determinado, y para hacerlo, la afectación del modo de falla de los equipos se estima a partir de datos históricos, logrando el objetivo de diseñar el programa de mantenimiento específico para los equipos electromecánicos existentes.

Palabras Clave — Mantenimiento, confiabilidad, riesgo, rehabilitación.

Abstract— The measure of equipment reliability is the frequency with which failures occur. If there isn't, the equipment is one hundred percent reliable; if the frequency is very low, the reliability of the equipment is still acceptable, but if it is very high, the equipment is unreliable. The process of designing a maintenance program is carried out considering the current state of the equipment, considering the information from the historical data of the equipment. Within the technical and technological possibilities, the priority point is to cover maintenance needs, as is the case with the Mexican Postal Service, which urgently requires the rehabilitation of electromechanical systems such as conveyor belts, electric motors and mechanical transmission elements. This article presents a methodology and a case study where the proportional hazard model is used to determine the reliability and risk of existing repairable systems. The possibility

of modeling to obtain online values of reliability and risk of the systems is discussed. In this case, we try to model reliability considering the current operating time of the equipment, the number of maintenance interventions and the value of the specific monitored parameters. Then, the reliability is used to calculate the risk of the equipment for a given failure mode during a given period, and to do so, the impact of the equipment failure mode is estimated from historical data, thereby achieving the objective of design the specific maintenance program for existing electromechanical equipment.

Keywords -- Maintenance, reliability, risk, rehabilitation.

I. INTRODUCCIÓN

El mantenimiento industrial en equipos y máquinas es una actividad que surgió durante la revolución industrial, la cual involucra asegurar la correcta operación y funcionamiento de los equipos y las máquinas presentes en una instalación productiva, así como también garantizar el buen estado de estos [1]. Para el logro de este buen funcionamiento se requiere de una buena programación en el mantenimiento, en el cual nos enfocaremos en su confiabilidad y riesgo. Para tener claro el 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]. Primeramente, se utiliza un método para el cálculo de este índice, con base en 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, 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 [3].

Por otra parte, confiabilidad es la probabilidad de que un activo cumpla con su función, en un tiempo determinado y sobre un entorno operacional específico.

Probabilísticamente, la confiabilidad $C(t)$ es el complemento de la probabilidad de Fallas $F(t)$, es decir, confiabilidad $C(t)$ es la probabilidad de éxito.

$$F(t)+C(t)=1$$

Existe un importante vínculo entre el análisis de confiabilidad y el análisis probabilístico de riesgo. Se define riesgo como “egresos o pérdidas probables de la consecuencia de la probable ocurrencia de un evento no deseado o falla”. Matemáticamente, se calcula con las siguientes expresiones [6]:

Riesgo(t)=Probabilidad de Fallas(t) x Consecuencias.

Riesgo(t)=(1-Confiabilidad(t)) x Consecuencias.

1.1. SITUACIÓN ACTUAL

Dentro de los macroprocesos que conforman a la planta de PANTACO que son: recibir, clasificar, transportar y entregar, en base a múltiples visitas, se detectaron dos cuellos de botella pertenecientes a un subproceso de clasificación, el primero en las áreas de Prime, Mexpost o EMS (Encomiendas), registrados y ordinarios, de igual forma en el área de clasificación ubicada en la banda oval y Mexpost. Estos procesos son cruciales para mantener el flujo de materia postal a lo largo de toda la cadena de los macroprocesos. Ambos se deben hacer más eficientes para asegurar un flujo constante y eficiente de materia postal. Por lo que la cantidad de bandas rectas conectadas a la banda oval en área destinada son siete en total. Siendo Seis las de funcionamiento principal:

- 1 gira en dos sentidos y consta de dos secciones rectas independientes, véase Figura 1 inciso a)
- 5 giran en un sentido y constan de una sección recta, véase Figura 1 inciso b)
 - 1 banda gira en un sentido inhabilitada por descompostura, consta de dos secciones independientes, una recta y una semicurva, véase Figura 1 inciso c)

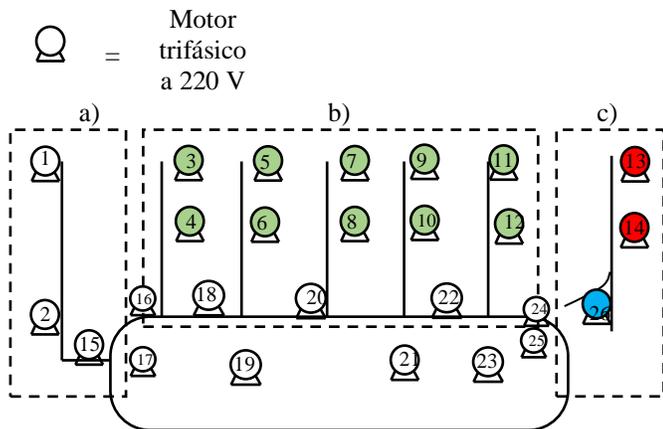


Figura 1.- Banda recta. a) Giro en dos sentidos, b) Giro en un sentido, c) Descompuesta giro en un sentido

Los motores que se tienen dentro del manejo de esta banda, tal como en la figura 3 están distribuidos de la siguiente manera: Motores ubicados en la banda oval y rectas:

- 2 motores de 1 HP, véase figura 1 motor 17 y 24.
- 3 motores de ¾ HP, véase figura 1 motor 16, 25 y 26.
 - De los cuales 1 motor está conectado a corriente eléctrica que no mueve a ninguna banda, véase Figura 1 inciso c) motor 26 en color azul.
- 21 motores de 2 HP, véase figura 1 del motor 1 al 15 y 18 al 23.
 - De los cuales 2 motores están en buen estado desconectados de la corriente eléctrica debido a que la banda está descompuesta, véase Figura 1 inciso c) motores 13 y 14 en color rojo.



Figura 2.- Banda transportadora de paquetes en SEPOMEX



Figura 3.- Elemento de transmisión de potencia

Los datos del control son los siguientes: 25 protecciones contra sobrecarga de corriente eléctrica “relevador termomagnético regulable de 6-10 Amperes. Ver figura 4.

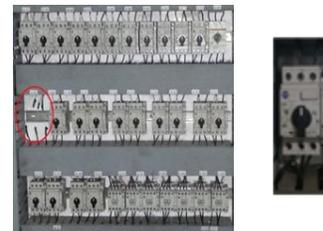


Figura 4.-Tablero de control

De los 25 relevadores termomagnéticos. Doce pertenecen a las 6 bandas rectas que giran en un sentido, de los cuales 10 son de las 5 bandas en funcionamiento, distribuidos en un par por cada una de ellas, protegiendo a los motores en color verde. Dos de los motores mostrados en la figura 1 en color rojo no tiene su protección “relevador termomagnético”, figura 4. Y veintinueve contactores termomagnéticos con su respectivo contacto auxiliar, considerados para la banda de la sección principal y diez pertenecen a las bandas rectas en funcionamiento que giran en un sentido, distribuidos en un par por cada una de ellas.

II. METODOLOGÍA/DESARROLLO

La metodología que se plantea en este estudio corresponde a los pasos que se requiere para realizar una estimación y predicción de la confiabilidad y la mantenibilidad de los equipos, lo que permitirá ejercer el control total sobre el sistema de mantenimiento y producción en cuanto a la operación eficiente de los equipos, al mismo tiempo se espera lograr el uso efectivo de los recursos y productos de que se disponen. La medida de la confiabilidad de un equipo es la frecuencia con la cual ocurren las fallas en el tiempo. La confiabilidad está estrechamente relacionada con la calidad de un producto y es con frecuencia considerada como un componente de ella. Las ecuaciones básicas de la confiabilidad (R) son las siguientes: La ecuación para el cálculo se basa en la expresión desarrollada por el ingeniero Lourival Tavares [3], en la cual la confiabilidad está en función del MTBF y el MTTR:

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

Tomada de Tavares, Lourival. (2004). Mantenimiento y Confiabilidad, VI Congreso Internacional de Mantenimiento. Bogotá, Colombia.

Dónde:

R: Confiabilidad.

MTBF: Tiempo Medio Entre Fallas.

MTTR: Tiempo Medio Para Reparación.

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

$$R = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} \times 10 \quad (2)$$

Como se observa en la ecuación (1), 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.

Ahora bien, se determinan el MTBF y el MTTR haciendo referencia a las siguientes ecuaciones:

$$MTBF = \left[\frac{h_T}{p} \right] \times 100 \quad (3)$$

$$MTTR = \left[\frac{h_P}{p} \right] \times 100 \quad (4)$$

Dónde:

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, pues si se quiere calcular la confiabilidad por mantenimiento, por ejemplo, las horas de paro y el número de paros deben ser los imputados a mantenimiento exclusivamente.[3][4]

El riesgo se comporta como una balanza que permite pesar la influencia de ambas magnitudes (Probabilidad de Falla y Consecuencia de la Falla) en una decisión.



Figura 5.- Relación entre Análisis de Confiabilidad y Análisis de Riesgo. Tomado de Yáñez, Medardo. Gómez de la Vega. Hernando. Valbuena Genebelin. (2003). Ingeniería de Confiabilidad y Análisis Probabilístico de Riesgo.

La figura 5 muestra que, para calcular el riesgo, deben establecerse dos vías, una para el cálculo de la confiabilidad y/o la probabilidad de fallas, con base en la historia de fallas o con base en la física del deterioro, y otra para el cálculo de las consecuencias. En todo caso, el análisis de confiabilidad es parte del análisis probabilístico de riesgo. [6]

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se generó un listado completo de los equipos, (motores eléctricos, bandas lineales, engranes, poleas, catarinas, control eléctrico, cojinetes), los cuales se registró su temperatura, velocidad y caudal de operación. Para tener una muestra más representativa fue necesario reducir el número de equipos, y se determinó que se incluyeran aquellos que debían mantenerse disponibles el mayor tiempo posible para el servicio en

general. Para un segundo listado, se le aplicó otro filtro tomando como referencia un análisis por ponderación de riesgo, el cual consideró diferentes valores para aspectos de: a) frecuencia de falla; b) impacto operacional; c) flexibilidad operacional; d) costo de mantenimiento; e) impacto en seguridad, higiene y ambiente.

Una vez realizado lo anterior, para el Análisis de Modo y Efecto en la Falla (AMEF) se definió un formato genérico donde se empezó a incluir, en las columnas correspondientes, información referente al número, nombre y componentes de cada equipo. Después se procedió a definir para los componentes establecidos los modos de falla potenciales o funcionales registrados al momento de satisfacer el propósito de acuerdo con su diseño/proceso, los requisitos de rendimiento y las expectativas del usuario durante su puesta en servicio. Como resultado se obtuvo una lista de variable de modos, punto de partida para comprender el comportamiento del equipo e ir integrando el AMEF.

Al establecer los modos de falla y sus efectos/consecuencias, fue necesario incluir las causas que provocaron tales situaciones. En una columna especial y establecida previamente en el formato AMEF, se incluyeron las razones potenciales, las medidas o acciones que se pasaron por alto y que provocaron que en cierto tiempo se manifestara como debilidad, traducido como un fallo potencial - funcional hacia el usuario. Con esto, fue necesario que la información obtenida de los equipos a través de la implantación de un AMEF, fuera aprovechada y pasara a traducirse en acciones o medidas pertinentes a mitigar la ocurrencia y efectos de las fallas, de tal manera que permitiera una adecuada planificación, programación y ejecución de las actividades por parte del área de mantenimiento.

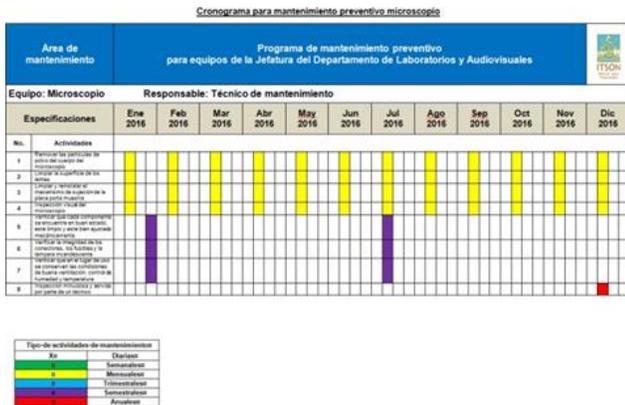


Figura 6.-Cronograma para mantenimiento preventivo

IV. CONCLUSIONES

A partir del análisis funcional y AMEF que se realizó a los equipos, se pudo determinar que es necesario aprovechar el historial del mantenimiento contenido en el sistema, así como la experiencia de los responsables de mantenimiento y laboratorio con la finalidad de ofrecer un servicio de calidad al usuario. Se concluyó que se debe disponer de documentación que contenga la información adecuada para comprender los eventos presentados durante el uso del equipo y se tiene que identificar el origen de la causa de las fallas para mantener la confiabilidad proyectada por el proveedor del equipo.

Se logró determinar mediante un análisis de ponderación de riesgos, que siete equipos de todos los considerados son críticos para los laboratorios bajo estudio. Debido al enfoque que emplea RCM y el AMEF, fue posible la inclusión de nuevos tipos de falla y equipos para su análisis en el plan de mantenimiento,

Se cumplió con el objetivo propuesto como parte de la gestión del mantenimiento, se pudieron establecer estrategias y medidas para aumentar la confiabilidad, mantenibilidad y disponibilidad de los equipos referidos como críticos.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen el apoyo del Instituto Politécnico Nacional, a la Sección de Estudios de Posgrado e Investigaciones, Escuela de Ingeniería Mecánica y Eléctrica Zacatenco y al Sistema de Administración de Programas y Proyectos del IPN.

REFERENCIAS

- [1] Grupo Carman. (2017). Mantenimiento industrial: equipos y máquinas. Tomado el 05/09/20 de: <https://grupocarman.com/blog/2017/03/10/mantenimiento-industrial-equipos-y-maquinas/>
- [2] Huerta, Rosendo. (2006). Proceso de Análisis Integral de Disponibilidad y Confiabilidad como Soporte para el Mejoramiento Continuo de las Empresas. Reliability World 2006, junio 5 al 9 de 2006, Monterrey, México.
- [3] Tavares, Lourival. (2004). Mantenimiento y Confiabilidad, VI Congreso Internacional de Mantenimiento, 3 y 4 de junio de 2004, Bogotá, Colombia.
- [4] Palacio Palacio, Luis Hernando. (2010). Boletín técnico de INDISA S.A. El cálculo de la confiabilidad en el mantenimiento de equipos.
- [5] Tavares, Lourival. (2004). Administración moderna del mantenimiento. Pp. 53
- [6] Yáñez, Medardo. Gómez de la Vega. Hernando. Valbuena Genebelin. (2003). Ingeniería de Confiabilidad y Análisis Probabilístico de Riesgo.