

## **Aplicación de sistemas expertos en el modelaje de la predicción de fallas en activos industriales.**

### **Palencia Cuenca Javier Antonio, MSc.**

Profesor Asistente, Universidad Simón Bolívar, Caracas, Venezuela, jpalenci@usb.ve

### **Chikhani Coello Angela Sagrat, MSc**

Profesor Asociado, Universidad Simón Bolívar, Caracas, Venezuela, chikhani@usb.ve

### **Lara Juan Francisco, MSc.**

Profesor Asociado, Universidad Simón Bolívar, Caracas, Venezuela, jlara@usb.ve

### **Aguillón Marante Orlando, MSc.**

Profesor Asistente, Universidad Simón Bolívar, Caracas, Venezuela, aguillon@usb.ve

### **Tremante Morakis Andrés, PhD**

Position, Company or University, City, State, Country, Email

### **Rojas Lopez Mairim Marisela, TSU**

Estudiante, Universidad Simón Bolívar, Caracas, Venezuela, mrojas\_lopez@hotmail.com

## **RESUMEN**

El comportamiento histórico de un equipo se puede analizar para construir una tendencia y pronosticar el número de fallas en un periodo determinado. Desde el punto de vista de la confiabilidad operacional, hay dos posibles escenarios, una clasificación probabilística y otra subjetiva, las cuales son afectadas por factores como: humanos o de operación, ambientales y edad del equipo. Estos son de difícil evaluación por su carácter subjetivo. Para enfrentar esto se propone un modelo que toma en cuenta la evaluación tradicional de la predictibilidad de fallas y utilizar sistemas expertos para estimar la influencia de estas variables. Para lo cual se debe generar una base de conocimientos y con el uso de un motor de inferencia comercial (modulo Fuzzy) evaluar la base de conocimientos generada.

El presente trabajo propone presentar cada una de las tendencias de fallas de los elementos significativos que componen un activo, evaluarlas de manera a través de sistemas expertos y predecir el tiempo para la ocurrencia de la próxima falla, el próximo elemento en fallar, el número de fallas esperadas por elemento en un tiempo determinado. Se utilizarán datos reales de equipos y tendencias estadísticas presentes en la bibliografía pública para la elaboración de las tendencias.

## **Palabras claves**

Confiabilidad, Predicción de Fallas, Sistemas expertos, Lógica difusa.

## 1. INTRODUCCION

La confiabilidad operacional (CO), es una de las modalidades que reportan importantes beneficios a quienes la han aplicado (Latino, 2003). Se basa en análisis de procesos a través de métodos estadísticos orientados a mantener la confiabilidad de los activos, con la participación proactiva del personal de las empresas.

La confiabilidad de un sistema o activo, es la probabilidad de que pueda operar durante un determinado lapso de tiempo sin pérdida aparente de su función. La labor de los análisis de CO es la de realizar cambios en las labores de mantenimiento, programado actividades preventivas que dependan del histórico del activo y mejoren el control de costos de operación y mantenimiento (Huerta, 2004).

El comportamiento histórico de un equipo se puede analizar a través de herramientas como Weibull, Poisson, etc, para predecir fallas futuras. Los modelos tradicionales de predicción de fallas, evalúan el total de estas para construir una tendencia y así pronosticar el número de fallas en un tiempo determinado o el tiempo en que se producirá la próxima falla. Para lo cual se cuenta con dos posibles escenarios, una clasificación probabilística de las variables donde las muestras son abundantes y de calidad y otra subjetiva donde las muestras son escasas o de poca calidad (Palencia, 2002).

Las decisiones de los analistas de confiabilidad, en cualquiera de los dos escenarios, se pueden ver afectadas por factores como: software utilizado, factores humanos o de operación, factores ambientales y edad del equipo. El primer factor es corregible con mejor entrenamiento o una mejor evaluación del software a utilizar. Las otras tres son de difícil evaluación por su carácter subjetivo.

En otras disciplinas de ingeniería y ciencias en general se han utilizado diferentes métodos para la predicción de eventos. Este es el caso de redes neuronales y sistemas expertos, que han sido usadas para la predicción del precio de acciones en el mercado de valores, predicción del tráfico vehicular, de errores en redes de computadoras, tornados entre otros. Entre las ventajas de la aplicación de sistemas expertos tenemos: Programas o algoritmos que reproducen de manera aproximada el proceso intelectual de un experto humano, en un campo en particular, para ello utiliza el conocimiento almacenado y métodos de inferencia para obtener soluciones confiables con un sistema experto, gracias al tratamiento automático de los datos y a su contrastación con la opinión de varios expertos.

El modelo propuesto consiste en la evaluación tradicional de la predictibilidad de fallas, aplicando sistemas expertos para encontrar la influencia que podrían tener variables como ambiente, operación, material, edad entre otros. Para lo cual se debe generar una base de conocimientos y con el uso de un motor de inferencia comercial (modulo Fuzzy) evaluar la base de conocimientos generada.

## **2. OBJETIVOS.**

El presente trabajo tiene como objetivo principal, elaborar una metodología que facilite a los ingenieros encargados de mantenimiento la evaluación de equipos, el modelaje de

confiabilidad del mismo, así como predecir el tiempo para la ocurrencia de la próxima falla, el próximo elemento en fallar, el número de fallas esperadas por elemento en un tiempo determinado

## **3. ALCANCE DEL TRABAJO.**

El modelo propuesto consiste en la evaluación tradicional de la predictibilidad de fallas, aplicando sistemas expertos para encontrar la influencia que podrían tener variables como ambiente, operación, material, edad entre otros. Para lo cual se debe generar una base de conocimientos y con el uso de un motor de inferencia comercial (modulo Fuzzy) evaluar la base de conocimientos generada.

Cualquier usuario puede utilizar el sistema experto para resolver un problema con la “eficacia” de un especialista, puede ajustar la precisión del modelo añadiendo mas opiniones de expertos. En la actualidad se esta ampliando la recopilación de la base de conocimientos, con datos históricos de activos industriales y opiniones de expertos de cómo influyen factores como ambiente, edad de equipos, tasa de utilización, etc, en el funcionamiento de equipos industriales.

El presente trabajo propone presentar cada una de las tendencias de fallas de los elementos significativos que componen un activo, evaluarlas de manera paralela a través de la utilización de sistemas expertos y predecir el tiempo para la ocurrencia de la próxima falla, el próximo elemento en fallar, el número de fallas esperadas por elemento en un tiempo determinado. Se utilizaran datos reales de equipos y tendencias estadísticas presentes en la bibliografía publica para la elaboración de las tendencias de los distintos elementos del activo.

## **4. METODOLOGIA.**

### **Proceso de análisis de fallas.**

Un sistema reparable es un sistema que puede ser reparado cuando es afectado por fallas, como motores eléctricos y compresores. Un sistema de no reparable es un sistema que es descartado o reemplazado al fallar, como partes electrónicas y bombillos.

Para modelar sistemas reparables, se utilizan dos modelos desde el punto de vista estocástico. El proceso homogéneo de Poisson (HPP por sus siglas en ingles) y el proceso no homogéneo de Poisson (NHPP) (Ascher et al, 1984).

Varios escritores sostienen que los métodos de confiabilidad para equipos no-reparables(HPP) que tradicionalmente se usan, como la distribución de Weibull, no son apropiados para los sistema reparables y han sugeridos ampliar el modelo a través del modelo de proceso no homogéneo de Poisson (NHPP) (Ascher et al, 1984); (O'Connor, 1995).

### **Proceso homogéneo de Poisson (HPP).**

Decimos que el proceso de Poisson es homogéneo cuando no es dependiente del tiempo. Es decir el número de los eventos en un intervalo depende solamente de la longitud del intervalo. La probabilidad de la ocurrencia de los eventos en cualquier período es independiente de lo ocurrido en el período previo. Para este modelo la confiabilidad R(t) se define como:

$$R(t1,t2) = e^{-\lambda(t2-t1)} \quad \text{Ecuación 1.}$$

Donde:

t2, t1 Intervalo de tiempo

$\lambda$  tasa de fallas.

### **Proceso no homogéneo de Poisson (NHPP)**

El proceso no homogéneo de Poisson es similar al HPP con la excepción de que el la tasa de fallas es dependiente del tiempo. Por lo tanto, el proceso es no estacionario porque la tasa de fallas no lo es, ni es independiente ni se distribuye de forma idéntica en el tiempo por lo que:

$$R(t1,t2) = e^{-\int_{t1}^{t2} \lambda(t) dt} \quad \text{Ecuación 2.}$$

Donde:

t2, t1 intervalo de tiempo

$\lambda(t)$  tasa de fallas dependiente del tiempo.

### **Técnicas de análisis de tendencia.**

Hay diferentes métodos para analizar la data de fallas, estos son estadístico, probabilístico y determinista. Para presentar un modelo fácil a los ingenieros de campo, se usará el modelo propuesto por Álvarez (Álvarez, 1999). El autor primero utiliza los métodos estadísticos para la existencia de una tendencia en el histórico de datos.

Cuando se analizan los datos de fallas de una planta, el punto de vista estocástico determina si el proceso tiene una tendencia o no. Las fallas parciales seguidas por trabajos de reparación imperfectos, el deterioro de partes de un componente y el envejeciendo son fuentes importantes de tendencias en los datos de fallas. La existencia de una tendencia en los datos indica que las fallas siguientes no son independientes entre sí y por lo tanto, los valores de intervalos de tiempo no son distribuidos de manera uniforme.

Para determinar si los datos de fallas tienen una tendencia y siguen al NHPP o al HPP, se utilizará la prueba del Centroide o de Laplace (MIL-HDBK-189). Éste consiste en determinar el parámetro U, tal que:

$$U = \frac{\frac{\sum_{i=1}^n t_i}{n} - \frac{t_o}{2}}{t_o \sqrt{\frac{1}{12n}}}$$

Ecuación 3.

Donde:

$t_i$  intervalo de tiempo  $i$

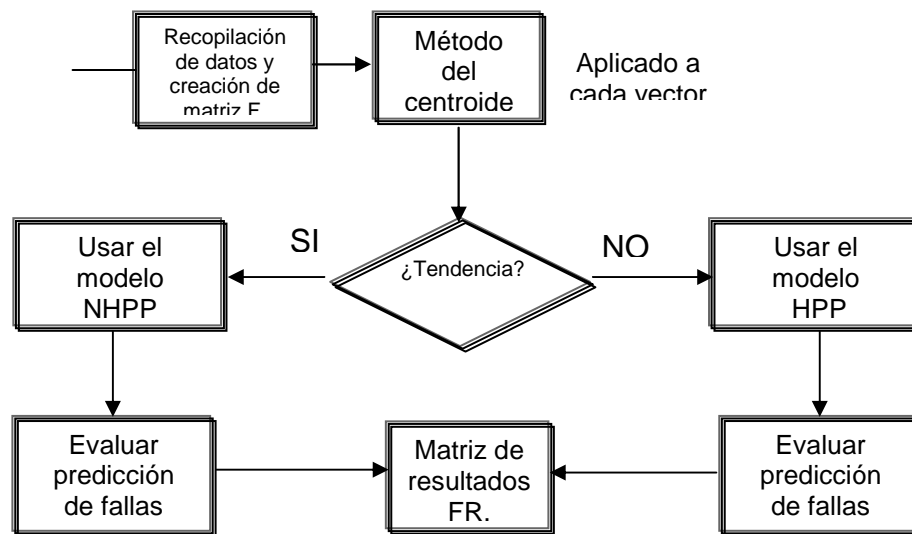
$t_o$  intervalo de tiempo total

$n$  número de eventos.

La variable U, se aproxima una distribución normal. Donde  $t_o$ , es la longitud del tiempo durante la cual las fallas son observada,  $n$  es el número total de los eventos o fallas observadas, y  $t_i$  son los tiempos entre fallas sucesivas. La prueba de Centroide (Modarres, 1998) es valida para determinar tendencias en grupos de datos donde  $n > 3$  y:

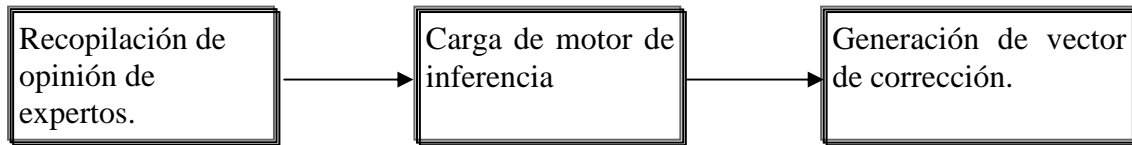
- si  $u = 0$ , no hay evidencia de tendencia y se asume el patrón HPP.
- si  $u > 0$  la tendencia es evidentemente creciente y puede asumirse NHPP.
- si  $u < 0$  la tendencia es evidentemente decreciente y puede asumirse NHPP.

Cuando los ingenieros analizan la historia de fallas de un equipo, evalúan el total de la data sin hacer diferencia entre los elementos de ese equipo. En el presente trabajo, los datos son procesados utilizando gráficos de Pareto, para tener el número de elementos que causan fallas, este proceso nos da un grupo de cinco o seis elementos culpables de las paradas. La tendencia de cada elemento será evaluada por separado, y los resultados obtenidos se corregirán usando opinión de expertos (a través del uso de motores de inferencia o lógica difusa) de manera de predecir la ocurrencia de la próxima falla de cada elemento y cuántas fallas tendrá en un período en particular.



**Figura 1.** Modelo de predicción de fallas sin corrección.

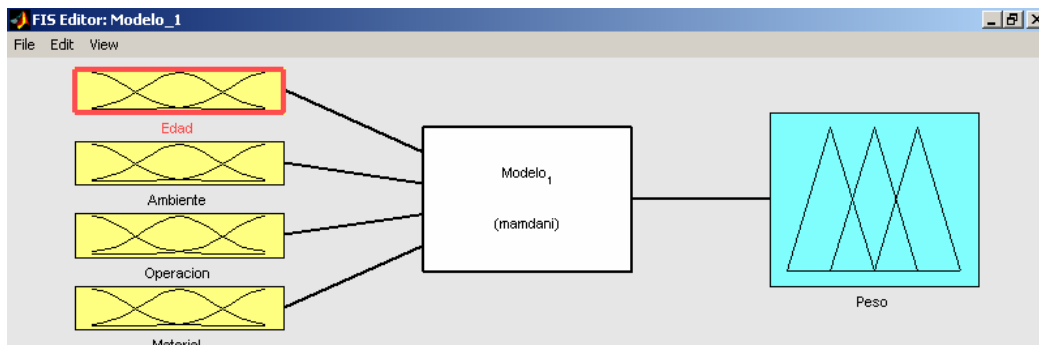
Para el modelo propuesto se construirá una matriz  $F$ , de 6 vectores y  $n$  elementos, donde  $n$  es el número de fallas de cada elemento, de modo que  $F(i,j)$ , significa la falla  $i$  del elemento  $j$ .



**Figura 2.** Proceso de generación de los valores de corrección de los tiempos de fallas.

## 5. RESULTADOS.

En la figura 3, podemos observar el motor de inferencia utilizado, donde se proponen como funciones de membresía, los siguientes elementos:



**Figura 3.** Motor de inferencia utilizado.

Las funciones de membresía propuestas las podemos describir de la siguiente manera:

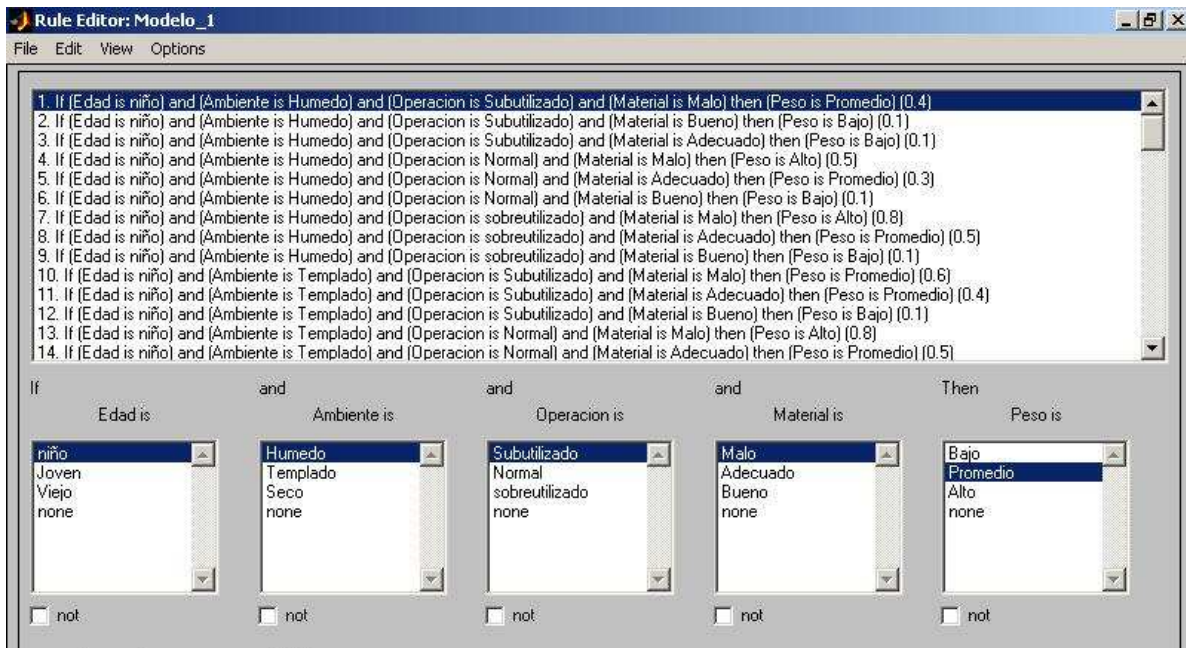
**Ambiente:** cuanto afecta el ambiente a la operación del equipo. Se propone evaluar equipos similares en locaciones distintas.

**Operación:** se refiere al régimen de operación al que trabaja el equipo. Se propone evaluar el mismo equipo a diferentes tasa de producción.

**Material:** se refiere a la calidad de materiales y repuestos utilizados.

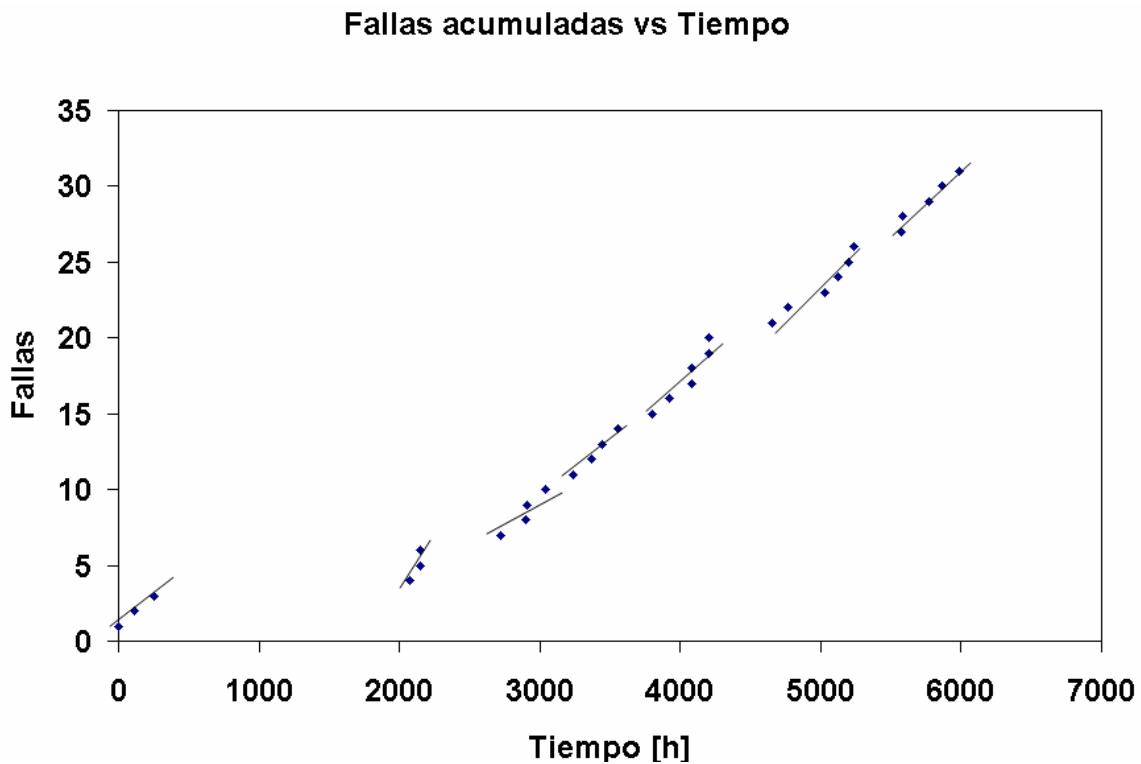
**Edad:** se refiere al tiempo de uso del equipo. Se propone evaluar equipos que ya han consumido su periodo de vida útil, con varios reparaciones mayores en su haber, para evaluar su comportamiento entre mantenimientos mayores. Es la única función de membresía evaluada hasta el momento en la presente investigación.

Cada función de membresía tendrá 3 posibles valores, lo que resultará en:  $3^4=81$  reglas, pudiéndose aumentar estas al evaluar un mayor numero de funciones de membresía.



**Figura 4.** Motor de inferencia, se pueden observar las cuatro funciones de membresía, la función de salida o peso y un grupo de las reglas generadas.

Al graficar la data conseguida, se observa la distribución de la misma en grupos con una pendiente similar, a continuación en la figura 5, tenemos un ejemplo de lo comentado.



**Figura 5.** Ejemplo de datos de un activo afectado por la edad.



Estas tendencias a trazos son aproximadamente lineales, con pendientes entre 30 y 60 grados. Este dato gráfico es utilizado para proponer el peso de la función de membresía EDAD entre 1.0 y 1.3.

## 6. CONCLUSIONES.

La metodología propuesta incluye la evaluación de expertos en aspectos no cuantificables de la predicción de fallas, como lo son impacto de ambiente, edad de equipos entre otros. Se propone modelo de evaluación de fallas, que combina la predicción del número esperado de fallas con la opinión de expertos a través del uso de lógica difusa.

## 8. REFERENCIAS

- Latino, C., (2003). "Definición y Logro de la Cultura de la Confiabilidad". Reliability Center Inc. [www.reliability.com](http://www.reliability.com) (15/2/2006)
- Huerta, Rosendo. (2004). "Confiabilidad Operacional: Técnicas y Herramientas de Aplicación". Seminario Customer Care, Datastream. Bogotá. Colombia. 02-2004.
- Palencia, J. (2002). "Metodología de análisis de compresores recíprocos a través del modelaje de confiabilidad y cálculo del ciclo de vida". Universidad Simón Bolívar, Trabajo de grado..
- H. Ascher et al, (1984). "Repairable systems reliability"., Marcel Dekker.
- P. O'CONNOR. (1995) "Practical reliability engineering". Tirad edition, Jhon Wiley & sons.
- M. Modarres et al. (1998). "Reliability engineering and risk analysis: A practical guide".. Marcel Dekker.
- OREDA 92. (1992). "Offshore reliability data handbook" Second edition.. OREDA.
- L. Crow. (1974). "Reliability analysis for complex repairable systems". Reliability and biometry,
- M. Yáñez, et al. (2002). "Mathematical Formulation of the Generalized Renewal Process for Modeling Failures in Repairable Systems for Performance-Based Applications", Reliability Engineering and Systems Safety J., 77