

# Herramienta Computacional para Determinar la Confiabilidad de Activos Reparables de Distribución de CFE

Teresa Natalia Figueroa Rios<sup>1</sup>, Leopoldo Altamirano Robles<sup>1</sup>, Benjamín Sierra Rodríguez<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica. Dir. Luis Enrique Erro No. 1, Santa María Tonantzintla, San Andrés Cholula, Puebla. México.

<sup>2</sup>Gerencia de Normalización. Comisión Federal de Electricidad. D.F. México.  
tfiguero@ccc.inaoep.mx

**Abstract.** Federal Commission of Electricity (CFE) is a world-wide class company that has to develop strategies to optimize the use of fixed assets, which considering that it has to decrease out-service time, maintenance and operation costs, and work accidents, and it has to increase productivity, performance, equipment useful life, and security. For these reasons LVC-INAOE has proposed CFE develop a system which calculates the equipment and materials reliability ratio. This paper describes the study, analysis and computer implementation of the probabilistic and statistical theory to calculate the repairable assets reliability ratio.

**Keywords:** Reliability, Statistical, Risk, Computer Tool.

**Resumen.** La Comisión Federal de Electricidad (CFE) es una empresa de clase mundial que tiene que realizar acciones de optimización en el uso de activos fijos, tomando en consideración que se deben disminuir los tiempos de fuera de servicio, los costos de mantenimiento, los costos de operación y los accidentes de trabajo, y elevar la productividad, el desempeño, la vida útil del equipamiento y la seguridad. Por tal razón el LVC- INAOE le ha propuesto a CFE el desarrollo de un sistema que permita determinar el índice de confiabilidad de sus equipos y materiales de nivel distribución. En este trabajo se presenta el estudio, análisis e implementación computacional de las herramientas probabilísticas y estadísticas que permiten la obtención de la confiabilidad de activos reparables.

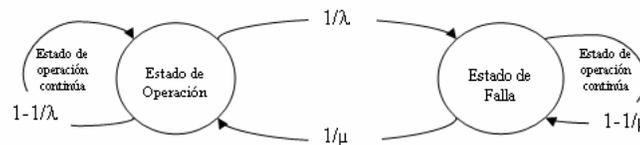
**Palabras clave:** Confiabilidad, Estadística, Riesgo, Herramienta computacional



El equipo es puesto en operación y se encuentra funcionando al tiempo  $t = 0$ . Cuando el equipo falla es reparado. Tenemos entonces una secuencia de tiempos de vida o tiempos de funcionamiento  $T_1, T_2, \dots$  para el equipo, estos tiempos siguen cierta función de distribución  $F(t) = P(T_i \leq t); i = 1, 2, \dots$ , y tiempo medio a la falla  $MTTF = E(T)$ . Cuando el equipo falla, estará fuera de servicio por un cierto periodo, al que llamaremos tiempo de reparación del equipo. Asumiremos que los tiempos de reparación  $D_1, D_2, \dots$  son independientes e idénticamente distribuidos (i.i.d.) con función de distribución  $F(t) = P(D_i \leq t); i = 1, 2, \dots$ , y tiempo medio de reparación  $MTTR = E(D)$ .

## 2.1 Modelo de Markov

Un activo reparable en cualquier momento puede estar trabajando normalmente o tener una falla, por lo cual los estados del elemento pueden representarse en la figura 2.



**Fig. 2.** Representación de los estados de los equipos

Sobre esto, las variables más importantes al momento de un análisis son, sin lugar a duda el número de ocurrencias de fallas y sus duraciones. Por ende, el poder estimar estos datos, se torna una misión indispensable. Esta estimación presenta cierta complejidad debido a que la ocurrencia de una falla es un hecho fortuito, difícil, e incluso imposible, de anticipar.

Así entonces, el sistema es continuo en el tiempo, con estados discretos finitos, con lo que se ajusta muy bien a una representación mediante los procesos continuos de Markov [2]. Cada elemento reparable al momento de fallar se repara lo cual permite establecer una condición de operación normal del equipo o de falla [1].

La modelación de componentes considera sólo dos estados (falla y operación) el modelo de Markov es perfectamente adecuado para determinar la probabilidad de estado y disponibilidad, sin embargo, otros parámetros de confiabilidad, tales como la frecuencia de encontrarse en un estado y la duración promedio de residencia en dicho estado entrega información importante. La probabilidad de que un elemento este en operación está dada por:

$$P(op) = \frac{m}{m+r} \quad (1)$$

Donde,  $m$  es el tiempo promedio de operación y  $r$  es el tiempo medio de reparación. La aplicación de esta técnica puede resumirse en lo siguiente:

1. Evaluar las probabilidades de los estados.

2. Evaluar la frecuencia de encuentro en un estado.
3. Evaluar la duración media de cada estado.

Consideremos un componente reparable con una tasa de fallas  $\lambda$  y una tasa de reparación  $\mu$ . Donde el componente falla, y este es reparado inmediatamente. El componente tiene dos estados: el estado 0 donde el activo esta en operación, y el estado 1 donde el activo esta fuera de servicio [3].

La probabilidad de que un componente experimente una falla por unidad de tiempo, dado que el componente es reparable se le llama tasa de falla  $r(t)$ .

$$r(t) = \frac{\beta}{\alpha^\beta} (t^m)^{\beta-1} \quad (2)$$

El tiempo promedio entre fallas (MTTF), se obtiene

$$MTTF = \int_0^{\infty} t f(t) dt \quad (3)$$

Donde  $f(t)$  es la función de probabilidad de los tiempos hasta la falla, la cual depende del tiempo. Si la función de confiabilidad  $R(\infty)=0$  entonces el MTTF se puede expresar como:

$$MTTF = \int_0^{\infty} R(t) dt \quad (4)$$

Si consideramos el proceso de falla-reparación como una cadena donde  $t=0$  indica el tiempo en que el componente ha fallado. La probabilidad de que el activo sea reparado completamente antes de un tiempo  $t$  se le llama distribución de reparación  $G(t)$ .

El tiempo de reparación es una variable aleatoria, para la cual podemos tener su valor esperado, el valor medio de reparación (MTTR) se obtiene de la siguiente manera.

$$MTTR = \int_0^{\infty} t g(t) dt \quad (5)$$

SI  $G(\infty) = 1$ , entonces el MTTR puede escribirse como:

$$MTTR = \int_0^{\infty} [1 - G(t)] dt \quad (6)$$

Para el proceso de Falla - Reparación - Falla. Donde  $X(t)$  es la variable que define el estado del elemento es decir si  $x(t) = 0$  quiere decir que el componente esta en operación y  $x(t) = 1$  indica que el componente esta en estado de falla .

$$\begin{aligned}
 P(1|0) &\equiv P(x(t+dt) = 1 | x(t) = 0) = \lambda dt \\
 P(0|0) &= P(x(t+dt) = 0 | x(t) = 0) = 1 - \lambda dt \\
 P(1|1) &= P(x(t+dt) = 1 | x(t) = 1) = 1 - \mu dt \\
 P(0|1) &= P(x(t+dt) = 0 | x(t) = 1) = \mu dt
 \end{aligned}
 \tag{7}$$

La  $P(x(t+dt) = 1 | x(t) = 0)$  es la probabilidad de que el elemento falle al tiempo  $t + dt$ , dado que la componente esta funcionando al tiempo  $t$ .

### **3 Diseño y Desarrollo de la Herramienta Computacional que Determina la Confiabilidad de Activos Reparables.**

Esta herramienta fue creada con el lenguaje de programación orientada a objetos JAVA [4]. El proceso de desarrollo de implementación de la sección anterior en la herramienta computacional se muestra en el diagrama de flujo de la figura 3, el cual representa a grandes rasgos las etapas que se siguen para obtener la confiabilidad de equipos reparables.

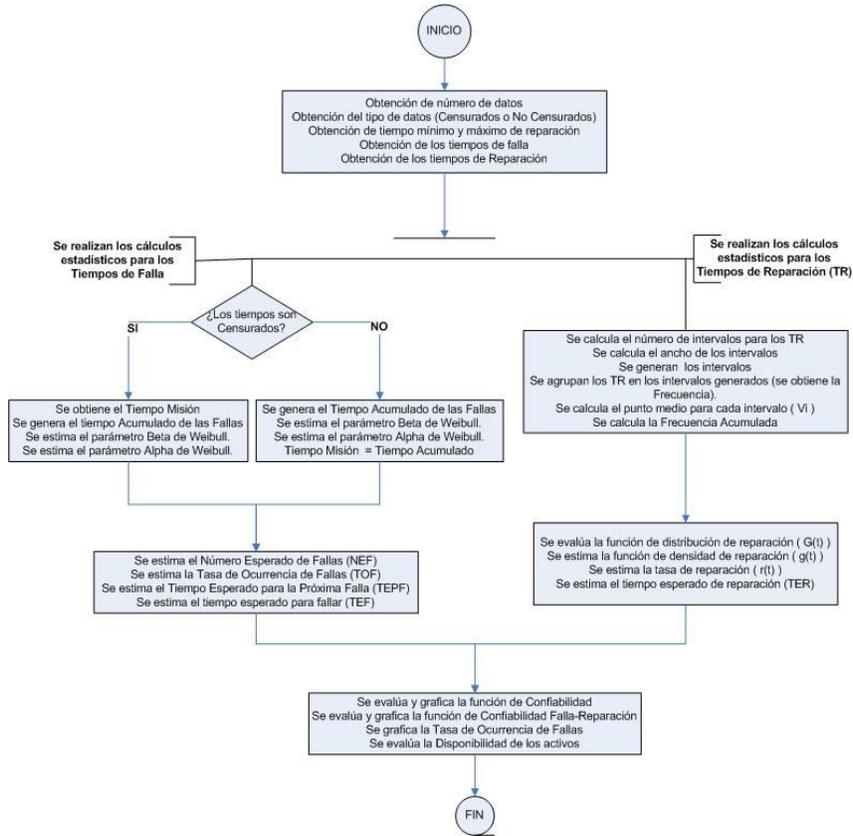


Fig. 3. Diagrama de flujo del proceso implementado en la herramienta computacional

El funcionamiento de la herramienta se basa en tres clases principales.

- Clase ActivosReparables
- Clase Parametros
- Clase TiemposReparacion

La interacción entre las clases permite la obtención de la confiabilidad, el tiempo esperado de falla, el tiempo esperado de reparación y la disponibilidad de un equipo reparable.

En la figura 4 se presenta el diagrama de clases en el cual se muestra la interacción que existe entre las funciones de las diferentes clases.

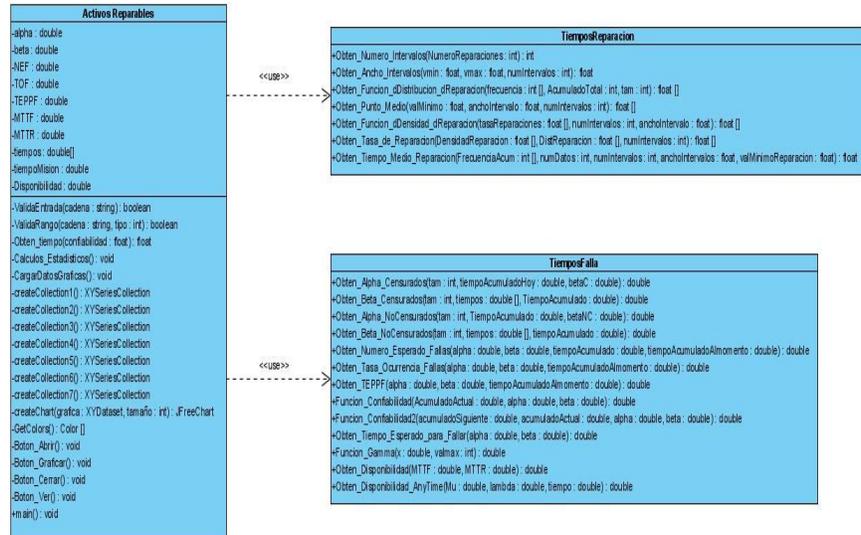


Fig. 4. Diagrama de clases para obtener la confiabilidad.

### 3.1 Descripción de Clases.

Como se mencionó anteriormente la programación esta dividida en tres clases, donde cada una contiene funciones que permiten obtener la confiabilidad tanto numérica como gráfica. A continuación se describe cada una de las clases.

#### 3.1.1 Clase ActivosReparables

Esta es la clase principal, la cual se encarga de la interfaz gráfica que se muestra al usuario, en dicha interfaz se visualizan gráfica y numéricamente los resultados obtenidos acerca de la confiabilidad para activos reparables, además permite al usuario calcular la confiabilidad y la tasa de fallas en un tiempo dado.

Esta clase tiene funciones que se encargan de realizar los cálculos estadísticos para obtener estimadores de los tiempos de falla y reparación, así como la confiabilidad.

#### 3.1.2 Clase Parametros

El objetivo de esta clase es obtener los parámetros de la función de distribución de probabilidad de la Confiabilidad para activos reparables. Además de realizar los cálculos para obtener el número esperado de fallas, el tiempo promedio de falla, el tiempo esperado para la próxima falla.

### 3.1.3 Clase Tiempos Reparacion

En esta clase se obtienen estadísticos de los tiempos de reparación, como el tiempo promedio de reparación y la disponibilidad de un equipo.

## 3.2 Validación de la Herramienta Computacional.

Para validar que la aplicación sólo admite datos correctos y confiables se realizaron pruebas con cuatro tipos de datos: datos ficticios, datos erróneos, datos reales.

- **Datos Ficticios.** Aquellos datos que se generaron sin ninguna metodología numérica para probar la herramienta
- **Datos Erróneos.** Aquellos datos que se introducen de manera intencional para probar y comprobar que el sistema los detecta.
- **Datos Reales.** Aquellos con los que el sistema va a trabajar normalmente.
- **Datos fortuitos.** Aquellos que se generaron mediante un software de forma aleatoria para probar el programa.

Dichos datos sirvieron para probar que la herramienta obtiene los resultados esperados. Además se ejecutó la aplicación reiteradamente con diferentes cantidades de datos para obtener la capacidad de procesamiento, concluyendo que esta herramienta soporta 10,000,000 de datos. Finalmente depurada y validada la herramienta, su interfaz se muestra en la figura 5.

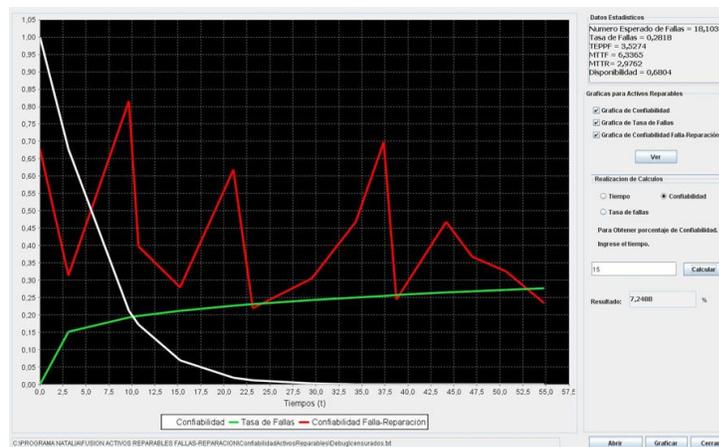


Fig. 5. Resultados obtenidos por la herramienta.

En la figura anterior se observan las gráficas de confiabilidad y la de la función de riesgo del lado izquierdo, del lado derecho superior se muestran los diferentes estadísticos de los tiempos de falla y reparación, así como la confiabilidad del equipo, y en la parte inferior derecha se permite al usuario introducir información para

obtener los estadísticos principales como lo son la confiabilidad, el riesgo y la disponibilidad.

#### 4 Conclusiones

Esta es una herramienta computacional desarrollada bajo el lenguaje de programación Java, ya que dicho lenguaje permite tener interfaces gráficas amigables con el usuario y también permite realizar cálculos matemáticos de mediana y alta complejidad. Con esta herramienta computacional se pretende apoyar el manejo eficiente de los equipos y materiales eléctricos de nivel Distribución de CFE. Se espera que con los resultados que se obtienen mediante de esta herramienta se:

- Adquieran equipos en función de su confiabilidad operativa, de su vida útil y de los costos que estos tengan por operarlos y mantenerlos en buen estado.
- Optimice la gestión de operación y mantenimiento de los equipos.
- Mejore el diseño de los equipos por parte de los fabricantes.
- Pueda contar evidencia técnica para reclamo de garantía, expectativa de vida útil y expectativa de vida remanente

#### Referencias

1. GNEDENKO & USHAKOV, (1995). Probabilistic Reliability Engineering, John Wiley & Sons, Inc.
2. KUMAMOTO & HENLEY (1996). Probabilistic Risk Assessment and Management for Engineers and Scientists. IEEE Press, New York.
3. MODARRES, Mohammad, KAMINSKIY, Mark, KRIVTSOV, Vasisliy, 1999. Reliability Engineering and Analysis. CRC Press, Taylor & Francis Group.
4. JAVA, Developer Resources for JAVA Technology. (Enero, 2008).3. Foster, I., Kesselman, C.: The Grid: Blueprint for a New Computing Infrastructure. Morgan Kaufmann, San Francisco (1999).
5. AGGARWAL (1999). Reliability Engineering, Kluwer Academia Publishers.
6. PECHT (2000). Product Reliability, Maintainability, and Supportability Handbook, CRC Press.