



**COMISION DE INTEGRACION ENERGETICA REGIONAL
COMITE NACIONAL COLOMBIANO**
Código: SIMSE-CO-02/G2
**Seminario Internacional de Mantenimiento y Servicios Asociados en
Sistemas Eléctricos SIMSE CIER 2003**
Cartagena de Indias, Agosto de 2003

MODELO DE CONFIABILIDAD DE UNA PLANTA TERMOELECTRICA
Cómo y donde se puede agregar valor?

Juan Carlos Romero Salazar

Ingeniero Electricista, Universidad del Valle
jcromero11@hotmail.com

William Marino Murillo Ladino

Consultor para RCM ingeniería y HSB Reliability Technologies Houston, TX.
Gerente O&M Mecanicos Asociados
wmurillo@rcmingeneria.com

1. PALABRAS CLAVES

Confiabilidad, Modelamiento, Análisis Weibull, Método de MonteCarlo, Diagrama de Bloques de Confiabilidad.

2. RESUMEN

El presente artículo presenta la forma de desarrollar un modelo de confiabilidad de una planta termoeléctrica el cual predice como fallan los componentes o sistemas del modelo usando información estadística de la planta y técnicas estadísticas como el análisis de Weibull y simulaciones Montecarlo.

3. INTRODUCCIÓN

La predicción de la confiabilidad de una planta termoeléctrica a partir de un modelo de confiabilidad permite establecer como y cuando pueden fallar la planta y cada uno de sus componentes o sistemas de tal forma que se puedan prevenir fallas cada vez que la planta está en operación.

Con el fin de establecer modelos que representen el comportamiento de la planta, se deben identificar el número de fallas y los tiempos de falla, incluidos los tiempos por salidas forzadas y programadas, los cuales son la base para realizar un análisis de Weibull.

Con base en los parámetros obtenidos en el análisis de Weibull para cada componente o sistema se procede a utilizar el método de Montecarlo para establecer la confiabilidad de cada componente.

Al final y teniendo en cuenta que la planta está representada por componentes o sistemas en serie o paralelo de acuerdo a su modelo de funcionamiento, se obtiene la confiabilidad de la planta vs el tiempo de operación.

A continuación se describe la técnica utilizada para evaluar la información estadística, la técnica de modelamiento utilizada, el modelo de confiabilidad y la predicción de la confiabilidad de la planta.

4. DESARROLLO

La confiabilidad de un componente, sistema o unidad se puede definir como la probabilidad de que dicha entidad pueda operar durante un periodo determinado (tiempo de misión) sin pérdida de su función.

Los modelos de confiabilidad y disponibilidad son construidos a partir de los diagramas P&ID y los modelos predominantes de falla son determinados por el análisis Weibull. En la figura 1 se muestra el modelo utilizado para la planta termoeléctrica.

En la figura 1 se pueden apreciar los bloques correspondientes a la estación de gas (FGS), la turbina de gas (GT), el generador de la turbina de gas (GTG), la caldera recuperadora de calor (HRSG), la turbina de vapor (ST), el generador de la turbina de vapor (STG) y el sistema eléctrico (ES). El ciclo de generación en esta planta considera la generación de energía a través de gas en su primera fase y a través de vapor utilizando los gases calientes producto de la combustión en la turbina de gas en su segunda fase lo cual se representa en un modelo que contiene bloques en serie y paralelo.

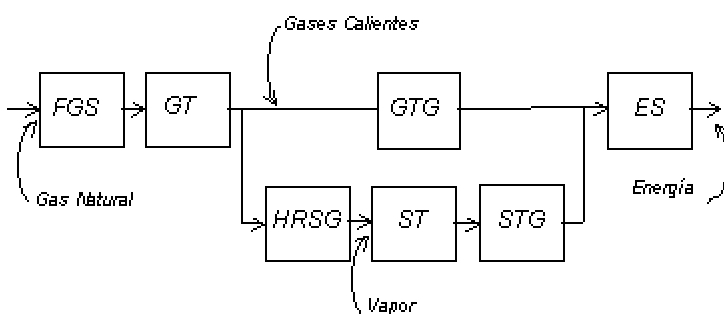


Figura 1. Diagrama de bloques de una planta termoeléctrica.

4.1 Modelos predominantes de falla

El modelo predominante de falla de cada componente se establecerá por medio del análisis de Weibull.

Para el análisis de Weibull (Weibull 1960) la función de densidad de probabilidad de falla se expresa como:

$$F(t) = 1 - e^{-\left(\frac{t}{h}\right)^b}$$

Donde :

F(t) = función de densidad de probabilidad de falla.

ζ = característica de vida

β = parámetro de forma o pendiente

t = tiempo entre fallas.

El cálculo de la confiabilidad de los componentes se realizó utilizando el método de Weibull y se obtuvo por medio de los siguientes pasos:

- Los datos de tiempo entre fallas y el número de fallas se ordenan en forma creciente tal como aparece en la tabla 1.
- Con base en la estadística de fallas de cada componente se determina una función (línea recta) en la carta de probabilidad de Weibull de la cual se obtienen los parámetros $\hat{\alpha}$ (Beta) y $\hat{\zeta}$ (Eta) que son la base para realizar las simulaciones Montecarlo.
- Para obtener los parámetros $\hat{\alpha}$ y $\hat{\zeta}$ de cada componente se utilizó el software WinSMITH Weibull el cual permitió realizar el análisis Weibull. En la figura 2 se muestran las gráfica de datos Weibull obtenidas.

- Los parámetros $\hat{\alpha}$ (factor de forma o pendiente de la línea recta) provee la filosofía de falla y $\hat{\zeta}$ (característica de vida) provee el tiempo de falla.

Componente	Tiempo entre fallas X numero de fallas	$\hat{\alpha} / \hat{\zeta}$
Estación de gas	990 365 256x2 167x1	2.014 / 396.4
Turbina de Gas (GT)	1823 649 273x2 107 62x2	0.942 / 401
Generador CT	-	-
HRSG	1564 356x2 110x2	1.029 / 470.4
Turbina de Vapor (ST)	343x4 221x4 140x4 84x3	2.444 / 227.5
Generador ST	-	-
Sistema Eléctrico	1198 957	5.185 / 1193

Tabla 1: Cuadro de datos de los componentes del sistema.

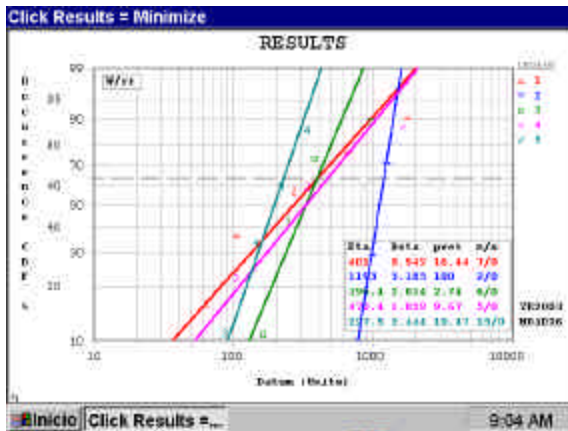


Figura 2. Gráfica de datos Weibull.

La motivación para usar las cartas de probabilidad es el de entender los datos de falla y reducir el costo de fallas a

través de acciones correctivas apropiadas.

La pendiente de la gráfica Weibull $\hat{\alpha}$ (beta) indica que la falla es infantil ($\hat{\alpha} < 1.0$), aleatoria ($\hat{\alpha} = 1.0$) o por desgaste ($\hat{\alpha} > 1.0$). Con base en los resultados obtenidos se determina que para las componentes los tipos de falla son:

- GT falla infantil
- HRSG falla aleatoria
- FGS, ST, ES falla por desgaste
- GTG, STG no presenta falla

4.2 Técnica de evaluación de confiabilidad

La técnica para la evaluación de la confiabilidad utilizada es el método de simulaciones de Montecarlo (SMC) en el cual se simula el proceso real y el comportamiento aleatorio del sistema y sus componentes y a partir de esta simulación se calculan los índices de confiabilidad. El método trata de realizar experimentos reales sobre el sistema.

Las simulaciones utilizando el método de Montecarlo se realizaron a través de una hoja de cálculo de ExcelTM que tiene como base la aplicación MCSample.

Con base en los parámetros β y η mostrados en la tabla 1, se procede a utilizar el método de Montecarlo el cual consiste en la simulación de un numero considerable de situaciones, generadas en forma aleatoria, donde los valores de los índices de confiabilidad corresponden a los valores de los momentos de las distribuciones de probabilidad determinados por t , β y η .

Si el índice de confiabilidad es mayor al numero aleatorio que tiene un valor entre 0 y 1, se tendrá un valor lógico de 1. Por el contrario, si el índice de confiabilidad es menor al numero aleatorio que tiene un valor entre 0 y 1, se tendrá un valor lógico de 0. El valor de confiabilidad de cada componente estará determinado por la relación entre la cantidad de números 1 y la cantidad de iteraciones realizadas para cada componente que en este caso fue 1000. Con lo anterior cada bloque tendrá un valor de confiabilidad que a su vez determinarán la confiabilidad de la planta a través del diagrama de confiabilidad de bloques.

4.3 Bloques en serie y paralelo

El diagrama de confiabilidad de bloques contiene bloques en serie y paralelo. En los sistemas que son modelos serie simples sin redundancia se da que la falla de una sola componente causa la falla del sistema entero como lo muestra la figura 3.

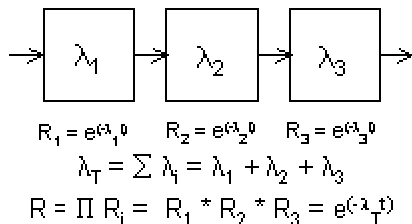
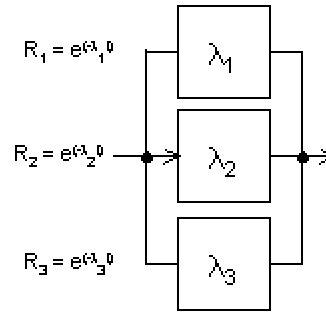


Figura 3. Confiabilidad de bloques en serie.

Los sistemas en paralelo son un poco mas confiables por el uso de redundancias como se muestra en la figura 4. La redundancia indica dos o mas dispositivos principales proporcionando respaldo para reducir los riesgos de falla del sistema.



$$R = 1 - (1-R_1) * (1-R_2) * (1-R_3)$$

Figura 4. Confiabilidad de bloques en paralelo.

En el caso del modelo de la planta termoeléctrica se tienen bloques en serie y paralelo, es decir es un modelo compuesto. Para el caso de modelos de un sistema compuesto por componentes conectados en serie y en paralelo como el mostrado en la figura 5 se debe hacer una equivalencia a un modelo serie.

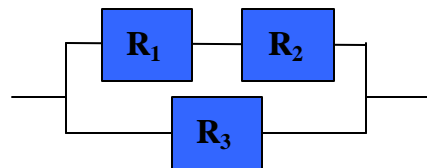


Figura 5. Diagrama de bloques serie-paralelo.

En el ejemplo 1 se muestra como se reduce un sistema compuesto a uno equivalente en serie.

Ejemplo1: colocando dos bloques 1 y 2 conectados en serie cuyas confiabilidades son 99.5% y 98.7% respectivamente y un tercer bloque en paralelo cuya confiabilidad es 97.3%, cual sería la confiabilidad del sistema?

Solución:

Confiabilidad 1 - 2

$$R_{12} = R_1 * R_2 = 0.9950 * 0.9870 = 0.982065$$

$$R_{12} = 98.2065\%$$

Confiabilidad 1 - 2 y 3

$$R_s = 1 - [(1 - 0.982065) * (1 - 0.973000)]$$

$$= 1 - 0.000484245 = 0.999515755$$

$$R_s = 99.9515\%$$

El diagrama de bloques de la figura 1 se puede representar por un sistema de cuatro componentes, dos de los cuales forman un sistema paralelo, mientras que las dos restantes se encuentran conectados en serie como se muestra en la figura 6.

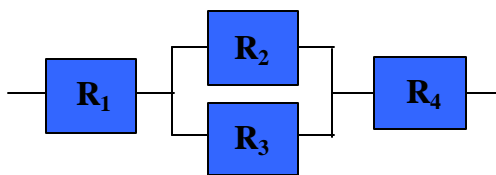


Figura 6. Modelo de confiabilidad de la planta integrado

El bloque R_1 de la figura 6 es el serial de la estación de gas (FGS) y la turbina de gas (GT). El bloque R_2 es el generador de la turbina de gas (GTG). El bloque R_3 es el serial entre la caldera recuperadora de calor (HRSG), la turbina de vapor (ST) y el generador de la turbina de vapor (STG). El bloque R_4 es la red eléctrica o sistema eléctrico (ES).

El subsistema formado por los componentes R_2 y R_3 , se reduce a un componente equivalente conectado en serie con los componentes R_1 y R_4 , y la confiabilidad del sistema completo se evalúa por medio del producto de la confiabilidad de los componentes en serie.

Una vez se tiene la confiabilidad de cada componente y se evalúa esta confiabilidad dependiendo de la configuración, serie o paralelo se tiene el diagrama de bloques de confiabilidad

el cual es un diagrama de red que representa los lazos de los componentes que se requieren para lograr éxito en la operación de un sistema.

4.4 Resultados

Por medio del valor de confiabilidad y el tiempo de operación o de misión t se modela el escenario para diferentes periodos de tiempo. En la figura 7 se muestra la variación de la confiabilidad particular en función del tiempo de la planta y de los cinco componentes principales de la misma.

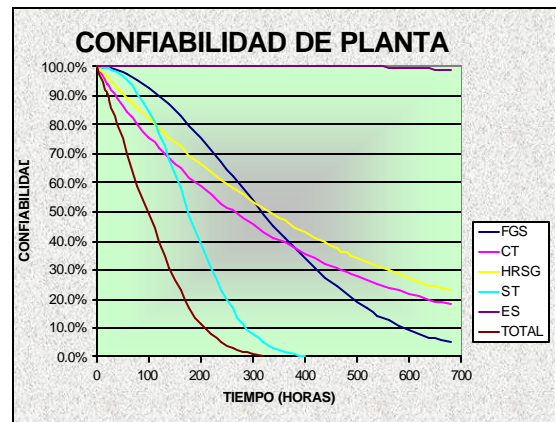


Figura 7. Confiabilidad de planta.

De esta se puede apreciar la incidencia que tiene cada componente sobre la confiabilidad de la misma. También se puede apreciar que el componente sistema eléctrico (ES) es el más confiable mientras que el componente turbina de vapor (ST) tiene la menor confiabilidad y es el componente en el cual se debe centrar la atención.

Estos modelos de confiabilidad estimulan a resolver problemas costosos y a prevenir la ocurrencia de problemas recurrentes por medio de proyectos de mejoramiento de la

operación, programación de mantenimientos y tiempos estimados para renovación de equipos.

5. CONCLUSIONES

Los análisis Weibull son valiosos en la definición de la causa raíz de problemas a partir de datos estadísticos. La motivación para usar las cartas de probabilidad es la de entender los datos de falla, establecer los modos de falla (como los componentes fallan) y reducir los costos de falla a través de acciones correctivas apropiadas.

Los modelos de Montecarlo dan resultados de confiabilidad cada vez que el modelo es resuelto con base en los parámetros obtenidos en el análisis de Weibull. Los resultados de Montecarlo dependen en buena parte de los datos de falla y son una aproximación a las condiciones de operación real de la planta. Unos modelos bien simulados ayudan a determinar proyectos de mejoramiento de la operación, estrategias de mantenimiento y tiempos estimados para renovación de equipos.

El diagrama de bloques de confiabilidad de la planta termoeléctrica permite establecer el impacto de las fallas en la operación, los tiempos óptimos de mantenimiento y la cantidad y periodicidad de las fallas lo cual es una herramienta útil en la toma de decisiones para aumentar la confiabilidad y la productividad de la planta.

6. BIBLIOGRAFÍA

Hernández, Eduardo. "Comparación de métodos de análisis de confiabilidad aplicados a sistemas eléctricos industriales"

Barringer, Paul. "Practical Reliability Tools for Refineries and Chemical Plants".

Barringer, Paul. "Reliability Issues from a Management Perspective".

Barringer Paul. "An Overview of Reliability Engineering Principles".

Endrenyi, J.(1980) Reliability Modeling in electrical power system. John Wiley & Son

Green A; Bourne, A. (1978) Reliability Technology. John Wiley & Son

Henley E, Kumamoto H. (1981), Reliability Engineering and risk assessment. Prentice-Hall, Inc

Abernethy, R. (1998). The New Weibull Handbook.

CURRÍCULUM VITAE

Juan Carlos Romero Salazar.

Ingeniero Electricista de la Universidad del Valle 1998. Con cuatro años de experiencia en operación y mantenimiento de plantas termoeléctricas, instrumentación y control de procesos industriales y de generación de energía termoeléctrica por medio de turbinas de gas y de vapor.

William Marino Murillo Ladino.

Ingeniero Electricista de la Universidad del Valle 1991. Con doce años de experiencia en la gestión de mantenimiento de plantas petroleras, operación y mantenimiento de turbinas de gas, ingeniería de campo y puesta en servicio de equipos en plantas petroleras.

