



## APLICACIONES INDUSTRIALES

### Evaluación de los riesgos del proceso de generación de energía en una central termoeléctrica

#### *Evaluation of risks that affect the energy generation process in a thermoelectric power plant*

Rafael – Carter Carrión<sup>1</sup>  
Fernando – Prieto Montenegro<sup>1</sup>

Glenia – Rabassa Olazabal<sup>2</sup>  
Isnel – Benítez Cortés<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Central Termoeléctrica de Nuevitas, Camagüey, Cuba.

<sup>2</sup>Universidad de Camagüey Ignacio Agramonte Loynaz, Cuba.

E-mail: [fernando@ctenue.une.cu](mailto:fernando@ctenue.une.cu)

Recibido: febrero del 2017

Aprobado: octubre del 2017

Licencia de uso y distribución Creative Commons Reconocimiento-No Comercial 4.0 Internacional



#### RESUMEN/ABSTRACT

Este trabajo se desarrolló en la Central Eléctrica 10 de Octubre de Nuevitas con el objetivo de evaluar los riesgos que afectaron el factor de potencia disponible. A partir de una serie histórica de reportes de averías durante 11 meses, en cada uno de los subprocesos de generación, se determinaron los niveles de riesgos y el número de prioridad de estos y se realizó una evaluación cuantitativa del efecto potencial de cada riesgo en el factor de potencia disponible. Los resultados obtenidos muestran que a nivel de central, los principales riesgos obtenidos se concentraron en los salideros en los economizadores, la falla subiendo carga y las vibraciones en turbinas, los cuales se presentan en las tres unidades evaluadas. En cuanto a subprocesos, aunque generación de vapor no presentó los mayores niveles de fallas, su impacto sobre la energía indisponible representó más del 50% de todas las indisponibilidades de la central.

**Palabras clave:** factor de potencia, generación de energía, riesgos

This work was developed in the Central Electric 10 of Octubre, Nuevitas; in order to assess the risks affecting the power factor available. From a historical series of reports faults for 11 months, in each of the threads generation, risk levels and the priority number of these were determined and a quantitative assessment of the potential effect of each risk it was held at the available power factor. The results show that at central, the main risks obtained were concentrated in the leaks in the economizers, the failure load and vibration up in turbines, which are presented in the three units evaluated. As for threads, but no steam generation had the highest levels of failures, its impact on the restricted energy represented more than 50% of all outages power plant.

**Key Works:** power factor, power generation, risk

#### INTRODUCCIÓN

La Industria Eléctrica es de importancia trascendental para cualquier país, ya que constituye un factor estratégico en su funcionamiento interno, estabilidad política y su desarrollo económico e industrial. La energía representa un papel importante en el avance socioeconómico de un país y su comportamiento es un índice de su prosperidad y ha pasado a ser el primer factor estratégico para la vida de cualquier nación. Los problemas energéticos no son inherentes solamente a Cuba, sino de carácter global. La garantía de la confiabilidad de los sistemas tecnológicos modernos, es actualmente uno de los atributos fundamentales para su operación segura y efectiva [1]. Por tanto, garantizar la máxima confiabilidad de los bloques de generación, su disponibilidad y maniobrabilidad, resulta una tarea de primer orden [2]. Por tales motivos, se hace indispensable la disminución de la indisponibilidad de los mismos, para poder realizar los estudios de confiabilidad de estos sistemas, aspectos de gran importancia en la planificación de la generación necesaria para suplir la demanda de energía en un futuro.

La CE “10 de octubre” cuenta con varios procesos y subprocesos para poder cumplir, de forma eficiente, su objeto social. Dentro de estos se destacan: generación de vapor, turbina, generador, transformador de salida, sistema de combustible y sistema de tratamiento químico de agua. La indisponibilidad de energía eléctrica está sujeta a diferentes riesgos operacionales que atentan contra el desempeño correcto y eficiente de una unidad de generación. La opinión más generalizada de riesgos operacionales es la enunciada por el Banco de Pagos Internacionales: “Es el riesgo de pérdidas resultantes de la insuficiencia o fallo de procesos, personas, sistemas tecnológicos o de eventos externos” [3-4].

Este trabajo permite determinar los principales riesgos a los que están expuestos los bloques de generación y los subprocesos que más inciden en el cumplimiento del factor de potencia disponible (FPD) como uno de los indicadores de eficiencia de más alta incidencia en el proceso de generación de energía. La evaluación de los riesgos de las posibles fallas, principales causas de accidentes y paros forzados con su consecuente impacto económico y pérdidas humanas [5-6], permite a la central eléctrica identificar diferentes oportunidades para el mejoramiento de su desempeño [7].

## MATERIALES Y METODOS

Se parte de una base de datos históricos de las averías (no conformidades) que se han presentado durante 11 meses desde agosto del 2013 hasta agosto del 2014 afectando negativamente el cumplimiento del proceso y conformidades de servicio. Se recogen todas las fallas producidas en las unidades 3, 4 y 5, que afectaron el FPD en cada uno de sus subprocesos y se evalúan según la ocurrencia [8] y la severidad teniendo en cuenta el Manual de Procedimientos Generales del Ministerio de la Industria Básica Cód.: TD PG 0001 Rev.: 01. Los datos primarios se obtuvieron del Grupo Técnico Productivo (GTP). Con la puntuación asignada a la severidad y ocurrencia, se determina el nivel de riesgo.

Para definir la detección del riesgo, se aplican las técnicas de criterios de expertos, asignando un valor de 1 hasta 5 en dependencia de la posibilidad de que el riesgo pueda ser detectado en tiempo, forma y lugar con los mecanismos de controles existentes. Con los valores de la severidad, la ocurrencia y la detección se determinan el número de prioridad de riesgo (RPN). Se selecciona el grupo de expertos y se aplica la metodología descrita por Ishikawa, (2007) para determinar su consistencia y confiabilidad. [9]. Se aplica un cuestionario para evaluar el grado de conocimiento que posee sobre el tema de gestión de los riesgos que afectan la calidad del proceso de generación de energía, como parte del sistema de información para la calidad y se determina el coeficiente de competencia aplicando el método Delphi [10]. Como resultado del procesamiento, seis de los 12 candidatos a expertos se autoevaluaron con alta competencia en este tema, los restantes seis se autoevaluaron con competencia media. Después de seleccionado el grupo de expertos se determina la detección y se le asigna un valor a cada riesgo con lo que se obtuvo el número de prioridad de riesgos por cada subproceso y a nivel del proceso de generación de energía, en cada unidad generadora (unidades 3, 4 y 5) y a nivel de central eléctrica.

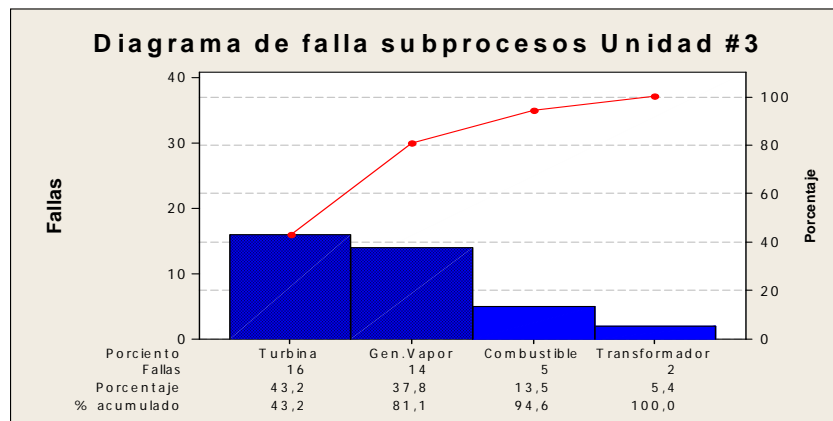
## DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

### Comportamiento de las fallas en las unidades

El comportamiento de las fallas en la unidad 3 se muestra en el gráfico de Pareto, donde se aprecian los subprocesos de mayor pesos en esta unidad. La figura 1, muestra el resultado.

En el período analizado, en la unidad 3 ocurrieron un total de 37 fallas que afectaron el indicador del FPD de esa unidad y de la CTE. El subproceso de mayor numero de fallos fue el de turbina con 16 fallos que representaron alrededor del 43,2 % de todas las fallas, seguido del subproceso generador de vapor el cual presentó 14 fallos representando un 37,8 %, acumulando entre las dos el 81,1 %.

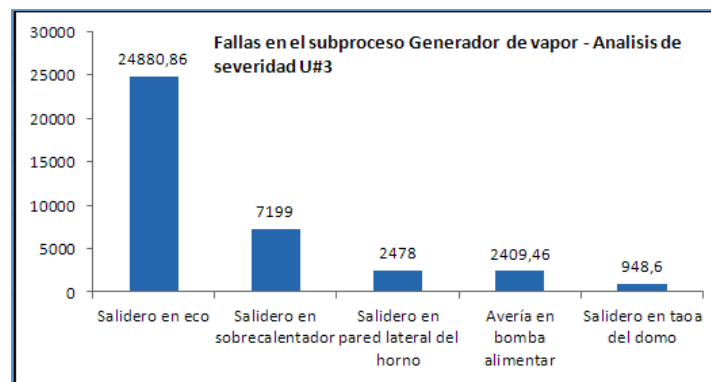
En la unidad 4, ocurrieron un total de 47 fallas, resultando el subproceso de turbina el de mayor cantidad con 23 fallos (48,9 del total) seguido del subproceso generador de vapor con 17 fallos (36,2 %) acumulando entre las dos un total del 85,1 %. En el caso de la unidad 5, ocurrieron 64 fallas: generador de vapor con 30 (46,9 %), turbina con 26 para un (40,6 %) y entre los dos subprocesos acumularon el 87,5 %. En las tres unidades las principales fallas están agrupadas entre los subprocesos de turbina y el generador de vapor agrupándose entre ambos en todos los casos más del 80 % de las fallas.



**Fig. 1. Diagrama de Pareto de fallas por subprocesos unidad 3**

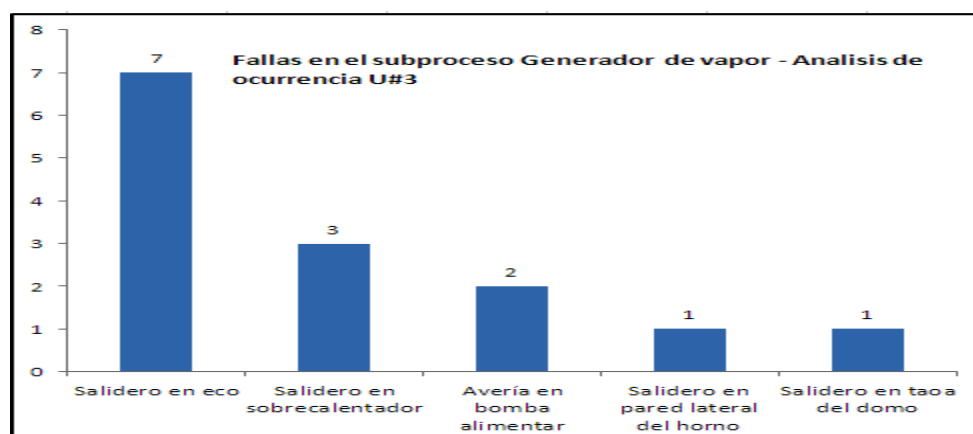
### Análisis de los riesgos en el proceso de generación de energía. Unidad 3

Los resultados del análisis de las fallas y su severidad del subproceso generador de vapor para la unidad 3, se muestra en la figura 2.



**Fig. 2. Representación de las fallas y su ocurrencia en el subproceso generador de vapor.**

En el gráfico se aprecia que las fallas asociadas a los salideros en el economizador tienen asociada la mayor energía indisponible. Por tanto, desde el punto de vista de la severidad, son los que más afectaron el indicador del FPD en el subproceso del generador de vapor. En cuanto a las ocurrencias, la figura 3, muestra los resultados. En este caso también la falla salidero en economizador fue la de mayor ocurrencia con un total de 7, por lo que estamos en presencia de una falla repetitiva. De forma general, tanto en la severidad como la ocurrencia los salideros en una u otra forma son los de más incidencia en el indicado.



**Fig. 3. Representación de las fallas y su ocurrencia en el subproceso generador de vapor.**

Al asignar valores a la severidad y ocurrencia en función de porcentaje acumulado, utilizando la técnica del 80 – 20, se obtienen como resultado las tablas 1 y 2, respectivamente.

Tabla 1. Puntuación por severidad a cada falla subproceso generador de vapor									
Causa (no conformidad)	Severidad (Indisponibilidad) MWh	Por ciento	Por ciento acumulado	Muchos triviales				Pocos vitales	Puntos
				0- 20	20- 40	40- 60	60- 80	80-100	
Salidero economizador	26880,86	65,62	100						5
Salidero sobrecalentador	7199,00	18,99	34,38						2
Salidero pared lateral horno	2478,00	6,54	15,39						1
Avería bomba alimentar	2409,46	6,35	8,86						
Salidero tapa domo	948,60	2,50	2,50						
Total general	37915,92	100							

Tabla 2. Puntuación por ocurrencia a cada falla subproceso generador de vapor									
Causa (no conformidad)	Ocurrencia	Por ciento	Por ciento acumulado	Muchos triviales				Pocos vitales	Puntos
				0- 20	20- 40	40- 60	60- 80	80-100	
Salidero economizador	7	50	100						5
Salidero sobrecalentador	3	21,43	50,00						3
Salidero pared lateral horno	2	14,29	28,57						2
Avería bomba alimentar	1	7,14	14,28						1
Salidero tapa domo	1	7,14	7,14						
Total general	14	100							

Se aprecia que los salideros en el economizador tienen un nivel de riesgo muy alto y ocupa en el subproceso del generador de vapor una prioridad a resolver. Los demás, tienen nivel de riesgo medio y bajos. Este análisis se realiza para los demás subprocesos en los cuales se obtienen las prioridades de riesgo en cada uno. Para la determinación de la prioridad de riesgo a nivel de unidad se toman los riesgos con nivel de riesgo alto y muy alto de cada subproceso y se procede a evaluar la severidad y ocurrencia de cada uno y con el valor de la detección ya asignado.

En cuanto a los resultados en los otros subprocesos, la falla en protecciones del transformador tiene un nivel de riesgo muy alto y ocupa, en el subproceso transformador, prioridad uno. El otro riesgo, el diferencial del bloque generador-transformador, tiene un nivel de riesgo medio. La falla vibración en turbina tiene un nivel de riesgo muy alto y ocupa en el subproceso de turbina la prioridad de riesgo uno, los demás riesgos tienen nivel de bajo, como son, los problemas de la válvula de cuello, vibraciones en las chumaceras, fallos en el sistema de enfriamiento y fallos en el sistema de regulación automática entre otros.

En el subproceso combustible, las averías de quemadores tienen un nivel de riesgo muy alto y tienen prioridad uno, seguido por salideros de petróleo con nivel de riesgo alto, ocupando el segundo lugar. Las demás causas, avería en la bomba de impulso y la mala combustión, muestran un nivel de riesgo medio y bajo.

Los resultados muestran que, de forma general, los riesgos que en su subproceso mostraban niveles de riesgo alto y muy alto, cuando se analizan a nivel de unidad, pasan a ser considerados como riesgos bajos, por lo que, cuando es necesario definir los principales riesgos que afectan un proceso para poder accionar sobre él, es necesario hacer el análisis desde cada subproceso hasta llegar al proceso en su conjunto. En este caso, en particular el subproceso turbina, ha provocado la mayor energía indisponible. Sin embargo, el riesgo de prioridad uno está en el subproceso del generador de vapor. Tomando los niveles de riesgo de Muy Alto y Alto identificado en cada subproceso y realizando la evaluación de la severidad y la ocurrencia se determina la prioridad de riesgo de la unidad 3. La tabla 3, muestra estos resultados.

<b>Tabla 3. Prioridad de riesgo en la unidad 3</b>							
Causa (no conformidad)	Subproceso	Puntos ocurrencia	Puntos severidad	Nivel de riesgo	Detección De riesgo	RPN	Prioridad de riesgo
Salideros economizador		5	5	Muy alto	4	100	1
Vibración turbina	Turbina	3	3	Media	2	18	2
Salidero de petróleo	Combustible	1	1	Baja	2	2	3
Fallo de protección transformadores UP	Transformador	1	1	Baja	2	2	3
Avería en quemadores	Combustible	2	1	Baja	2	2	3

La aplicación de esta metodología en las unidades 3, 4 y 5, permite obtener los resultados a nivel de la central eléctrica, los cuales se muestran en la tabla 4.

<b>Tabla 4. Prioridad de riesgo a nivel de central termoeléctrica</b>			
Causa (no conformidad)	Punto de ocurrencia	Puntos severidad	Nivel de riesgo
Salidero en economizador	3	5	Muy alta
Ventilador de tiro forzado	1	2	Baja
Subiendo carga	5	2	Muy alta
Vibraciones turbina	4	1	Alta
Quemadores	2	1	Baja

La prioridad de riesgo número uno la ocupa los salideros en los economizadores, los cuales están presentes en las unidades 3 y 4. El segundo lugar lo ocupa la falla subiendo carga la cual se presenta en las unidades 4 y 5 y la tercera prioridad la ocupa las vibraciones en turbina, que estuvo presente en la unidad 3 y 5.

#### **Análisis de los resultados de cada subprocesos en el indicador clave del FPD a nivel de CTE**

Subproceso generación de vapor: En este subproceso, a nivel de planta, se detectaron un total de 57 fallas que provocaron una energía indisponible de 226087 MWh, lo que representa el 57,50 % de toda la energía indisponible que afectó el indicador del FPD. Las fallas de mayor impacto fueron los salideros en caldera y los salideros en el economizador con una evaluación según el nivel de riesgo de Muy Alto.

Subproceso Turbina: En este subproceso se detectaron un total de 69 fallas que provocaron una energía indisponible de 146353.11 MWh (37.09 % de toda la energía indisponible). Los riesgos de mayor impacto fueron subiendo carga en los procesos de arranque, con una evaluación según el nivel de riesgo de muy alto, seguido de las vibraciones en turbina con una evaluación de alto.

Subproceso transformador de salida: En este subproceso se detectaron un total de dos fallas que provocaron una energía indisponible de 261.60 MWh (0.06 % de toda la energía indisponible).

Subproceso combustible: En este subproceso se detectaron un total de 21 fallas lo que provocó una energía indisponible de 15176.70 MWh (5.33 % de toda la energía indisponible).

#### **Análisis de los resultados de cada subprocesos en el indicador clave del FPD a nivel de unidad generadora.**

Unidad 3: En esta unidad el subproceso de mayor afectación al FPD fue el de turbina el cual tuvo asociado el 68 % de toda la energía indisponible de la CTE, lo cual estuvo originado fundamentalmente por la falla vibraciones en turbinas.

Unidad 4: En esta unidad el subproceso de mayor afectación al FPD fue el del generador de vapor el cual tuvo asociado el 56 % de toda la energía indisponible de la CTE, lo cual estuvo originado fundamentalmente por la falla mal estado técnico de los economizadores.

Unidad 5: En esta unidad el subproceso de mayor afectación al FPD fue el del generador de vapor el cual tuvo asociado el 86 % de toda la energía indisponible de la CTE, lo cual estuvo originado fundamentalmente por la falla salideros en caldera.

## CONCLUSIONES

A nivel de central termoeléctrica, los riesgos obtenidos como de nivel muy alto, son los salideros en los economizadores, la falla subiendo carga y las vibraciones en turbinas, en orden decreciente, los cuales se presentan de forma similar en las tres unidades evaluadas. En cuanto a los subprocesos, aunque el de generación de vapor (57 fallas) presentó menos fallas que el de turbinas (69 fallas), la energía indisponible provocada por sus estas se incrementó en 79734 MWh, por encima de la provocada por el subsistema turbinas, representando más del 50% de todas las indisponibilidades de la central termoeléctrica. Esto indica centrar la atención en el área de generación de vapor, mejorando las acciones de mantenimiento para reducir los impactos negativos que tiene sobre la indisponibilidad del sistema.

## RECONOCIMIENTOS

Los autores desean agradecer a la dirección de la central termoeléctrica “10 de octubre” de Nuevitas, así como al Grupo Técnico Productivo (GTP) por la ayuda en la realización del trabajo, tanto en para la adquisición de los datos como en la utilización del trabajo en la toma de decisiones con vistas a mejorar la gestión del mantenimiento y explotación de la central.

## REFERENCIAS

- [1] ZIO, E., “Reliability engineering: Old problems and new challenges”. [en línea], *Reliability Engineering and System Safety*, vol. 94, n.2, (2009), p. 125-141, [Consulta 2 de octubre de 2014], Disponible en: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0951832008001749>
- [2] RESTREPO, M. I., “La confiabilidad en los sistemas eléctricos competitivos y el modelo colombiano de cargo por confiabilidad”. [en línea], Cuadernos de Economía, vol. 31, n.56, (enero-junio 2012), [Consulta 12 de noviembre de 2014], Disponible en: [http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0121-47722012000100008](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0121-47722012000100008)
- [3] BIS, Sound Practices for the Management and Supervision of Operational Risk. Bank for International Settlements. Basilea, Suiza. (2011), p. 3-6, 10-16. Disponible en: [www.bis.org/publ/bcbs183.pdf](http://www.bis.org/publ/bcbs183.pdf)
- [4] PEÑA, D. “Detección de riesgos operacionales en empresas del sector eléctrico aplicando las recomendaciones del comité de Basilea, Interciencia, vol. 38, n. 11, (2013), p. 777-783. Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=33929483004>
- [5] FLORES, M. P., “Confiabilidad Operativa de Sistemas para Compresión de Gas y Generación Eléctrica en Complejos Petroleros”. [en línea], Información Tecnológica, vol. 21, n.3, (2010), p. 13-25, [Consulta 22 de octubre de 2014], Disponible en: [http://www.scielo.cl/scielo.php?pid=S0718-07642010000300003&script=sci\\_arttext](http://www.scielo.cl/scielo.php?pid=S0718-07642010000300003&script=sci_arttext)
- [6] CHEN, J., “Fault detection and diagnosis for railway track circuits using neuro-fuzzy systems”. [en línea], *Control Engineering Practice*, vol. 16, (2010), p. 585-596. [Consulta 13 de noviembre de 2014], Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0967066107001244>
- [7] CORREA, J., “Diseño y aplicación de un procedimiento para la planificación energética según la NC-ISO 50001:2011”, [en línea], Ingeniería Energética, vol. 35, n.1, (2014), p. 38-47. [Consulta 9 de diciembre de 2014]. Disponible en: [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1815-59012014000100005](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1815-59012014000100005)
- [8] RODRIGUEZ, A., “Diagnóstico de fallos en un generador de vapor BKZ-340-140-29M utilizando herramientas de lógica difusa”, [en línea], Ingeniería Mecánica, vol. 17, n.2, (mayo-agosto 2014), p. 147-156. [Consulta 10 de junio de 2015], Disponible en: [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1815-59442014000200006](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1815-59442014000200006)
- [9] GUTIÉRREZ, H., “Control estadístico de calidad y seis sigma”, Editorial McGraw-Hill Interamericana, México, 2004, ISBN 970-10-4724-9. Disponible en: <https://kenyjose2110.files.wordpress.com/2014/04/control-estadistico-de-la-calidad-y-seis-sigma-gutierrez-2da.pdf>
- [10] GARCÍA, V., “El uso del método Delphi como estrategia para la valoración de indicadores de calidad en programas educativos a distancia”. [en línea], Revista Calidad en la Educación Superior, vol. 3, n.1, (2012), p. 220-222. [Consulta 8 de noviembre de 2014], Disponible en: <http://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=3945837>