



Obtención de un modelo de criticidad para los equipos y sistemas tecnológicos de una termoeléctrica

Obtainment of a Critically Model for Equipment and Technological Systems in a Power Plant

Armando – Díaz Concepción
Manuel – Toledo García

Alfredo – del Castillo Serpa
Jesús – Cabrera Gómez

Recibido: septiembre de 2015
Aprobado: febrero de 2016

Resumen/Abstract

En el presente artículo se proponen los elementos necesarios para la obtención de un modelo que permita determinar la Criticidad y complejidad de los equipos y sistemas tecnológicos en las centrales eléctricas con la intención de tener la posibilidad de establecer órdenes de prioridad para la atención a los mismos sobre bases reales. Se ha podido comprobar que la jerarquización de activos que se realiza en la actualidad está muy lejos de ser la requerida en correspondencia con las condiciones específicas de cada lugar y la no existencia de una herramienta efectiva para lograrlo. Como resultado del trabajo de campo realizado, se obtuvo un modelo de Criticidad personalizado para las centrales eléctricas que posibilita conseguir, a través de una lista o una matriz, los valores de ponderación calculados que sirvan para establecer las prioridades adecuadamente y contribuyan a mejorar significativamente la gestión del mantenimiento.

Palabras clave: *modelo matemático, criticidad, complejidad, disponibilidad, mantenimiento*

In the present paper necessary elements to obtain a model in order to achieve criticality and complexity for equipment and technological systems in electric power plants are proposed. This kind of model allows the possibility of establish priority orders to care the assets over real basis. Nowadays the classification of assets made in power plants is far away from the required because it is not in correspondence with specific conditions in each place and also is a fact that there is not an effective tool to make it possible. As a result of the work field done, a personalized model for criticality and complexity in electric power plants was obtained. The application of this tool allows obtaining, through a list or a matrix, the calculated and weighted criticality and complexity values. With these values the organization will be able to set maintenance priorities adequately and improve maintenance management significantly.

Key Words: *mathematical model, criticality, complexity, availability, maintenance.*

INTRODUCCIÓN

La energía eléctrica es la fuente de energía más utilizada para la realización de la inmensa mayoría de las actividades productivas, económicas, administrativas y de servicios. De ahí que el desarrollo de un país se mida entre otros aspectos por el nivel de electrificación que el mismo posee. Sin embargo, una interrupción en el servicio eléctrico por breve que sea, provoca

considerables trastornos y pérdidas en la producción industrial, en el transporte, las comunicaciones, el sector financiero y en las tareas de la defensa del país. El mantenimiento se define como *el conjunto de actividades que viabilizan la sostenibilidad eficiente y competitiva del ciclo de vida de los activos físicos personalizado en su contexto operacional* [1]. Por tanto, el mantenimiento deberá asegurar la disponibilidad, confiabilidad y seguridad de dichos activos y para lograrlo deberá estructurarse, organizarse y ejecutarse, de acuerdo con las condiciones específicas de cada lugar.

Entonces, hacer lo que se debe en el mantenimiento significa también asignar correctamente las prioridades, es decir, dirigir los esfuerzos y los recursos a las áreas, sistemas y equipos donde sea más importante y/o necesario mejorar la confiabilidad operacional, entendida ésta como la capacidad de una instalación o sistema integrado por procesos, tecnología y personas para cumplir sus funciones dentro de los límites de diseño y bajo un contexto operacional específico [2]. En la Central Termoeléctrica de Cienfuegos al igual que en el resto de las centrales eléctricas del país, se aplica una clasificación jerarquizada de los equipos y sistemas tecnológicos que data ya de 40 años, la misma no se encuentra avalada por ninguna norma o referenciada en bibliografía.

Uno de los aspectos abordados por el método fue la clasificación de los equipos de las centrales eléctricas agrupados en cuatro categorías (A, B, C y D) de acuerdo a su incidencia en la disponibilidad y confiabilidad, su complejidad tecnológica y la cuantía de recursos necesarios para ejecutar los mantenimientos. El trabajo realizado, cuyos resultados aquí se presentan, tuvo como objetivo obtener un modelo matemático que permita una clasificación jerarquizada de los sistemas, subsistemas y equipos en la Central Termoeléctrica de Cienfuegos, que facilite la mejora en la toma de decisiones en la gestión del mantenimiento.

MATERIALES Y MÉTODOS

Normalmente se acepta que el enfoque proactivo es el que debe primar en la atención a los activos que presenten modos de fallos que puedan dar lugar a consecuencias inadmisibles. Estos activos con funciones vitales y modos de fallos con consecuencias significativas para la seguridad, el medio ambiente, la operación y el propio mantenimiento, se conocen como críticos [3; 4]. La clasificación de un componente como "crítico" supondrá la exigencia de establecer alguna tarea eficiente de mantenimiento preventivo que permita disminuir sus posibles causas de fallo.

En el diagrama que se muestra en la figura 1, se observa una secuencia de criterios a valorar para identificar y evaluar la criticidad de los modos de fallos.

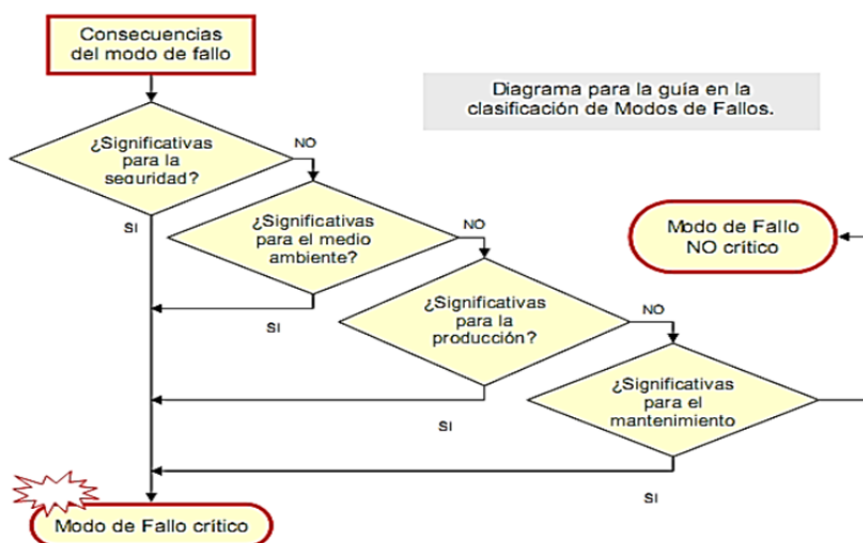


Fig.1. Guía para identificar posibles modos de fallo críticos.

La forma generalmente utilizada para realizar la jerarquización de los elementos dentro de un sistema productivo o de servicios es el empleo de un grupo de factores, criterios o variables que caractericen su contexto operacional y valoren las consecuencias que sobre cada una de ellas genera el modo de fallo que se presente. Existe un grupo de criterios que son comunes en la mayoría de los análisis, dígame: seguridad, impacto ambiental, costo de reparación, pérdida de producción y tiempo de reparación [4-7].

Habitualmente el nivel de criticidad de un modo de fallo se expresa en el número llamado número de prioridad de riesgo (RPN) dado por la ecuación (1).

$$RPN = \text{Criticidad} = \text{Probabilidad} \times \text{Consecuencia} \times \text{probabilidad de detección de la falla} \quad (1)$$

La probabilidad está asociada al número de eventos o fallas (frecuencia) que presenta el sistema o proceso evaluado mientras que la consecuencia está relacionada con: el impacto y flexibilidad operacional, los costos de reparación y los impactos en seguridad y ambiente. La probabilidad de detección depende de la instrumentación disponible para la medición de los parámetros síntomas, denominándosele a dicha variable detectabilidad.

Para el desarrollo de esta investigación fueron consultados artículos, publicaciones y modelos desarrollados tanto en Cuba como el extranjero para el análisis de criticidad y complejidad [8-11]. Entre ellos se destacan los siguientes:

- El Análisis de criticidad, una Metodología para mejorar la confiabilidad operacional (por Rosendo Huerta Mendoza, Petróleos de Venezuela. SA. PDVSA),
- Modelo de análisis de criticidad y complejidad de equipos en plantas de producción de productos biológicos.
- Modelo de análisis de criticidad y complejidad de las plantas eléctricas de grupos electrógenos de la tecnología fuel oil en Cuba

Del análisis de estos modelos se determinaron las variables objeto de análisis y los criterios tenidos en cuenta por otros autores para formular la expresión matemática para el cálculo del Índice de Criticidad y de Complejidad así como las bondades y limitaciones de cada uno. En todos los casos se utilizó como instrumentos las entrevistas y encuestas a especialistas para determinar las variables de los modelos matemáticos aprovechando las experiencias y vivencias de los mismos en cada planta. El análisis desarrollado demostró que todos los modelos parten de la Ecuación (1) considerando dentro de las consecuencias el impacto negativo en la producción o los servicios según sea el caso, así como en la seguridad y el medio ambiente. También son considerados los costos totales asociados a las reparaciones y el tiempo requerido para solucionar dichas reparaciones mientras que en algunos de los modelos no se tiene en cuenta la detectabilidad.

Sin embargo, hay cuestiones que pueden ser mejoradas y factores importantes que no han sido considerados, por ejemplo: en los modelos de criticidad no se tiene en cuenta el impacto negativo en el consumo energético como consecuencia de las fallas mientras que el tiempo de reparación, que no está vinculado directamente con las consecuencias de la falla sino con la complejidad de las tareas de recuperación, debería incluirse en el modelo de complejidad y no en el modelo de Criticidad como aparece en todos los modelos analizados. En lo que al índice de complejidad se refiere, todos los modelos estudiados utilizan los mismos criterios: complejidad operacional, complejidad mecánica y complejidad en la ubicación.

La variable *complejidad operacional* se utiliza para evaluar el grado de preparación del operador para explotar el equipo, lo cual no guarda relación alguna con la reparación. Por su parte la mal llamada *complejidad mecánica* [1,11], (pues obvia las demás especialidades) considera el nivel de preparación requerido para el personal que ejecuta las acciones de mantenimiento y reparación, a pesar que ello no debería constituir un problema pues es de suponer que las personas que ocupen los cargos en la plantilla de mantenimiento reúnan los requisitos de idoneidad (conocimientos y habilidades) en función de los requerimientos del equipamiento instalado.

Existen sin embargo otros factores muy importantes que sí tienen una marcada influencia en la mantenibilidad de los equipos y por ende en la complejidad de las reparaciones y que no son tenidos en cuenta en ninguno de los modelos estudiados a pesar de incidir de manera directa en el tiempo requerido para efectuar la reparación, haciendo que la misma sea más o menos compleja. Se trata del tiempo requerido para el desarme y diagnóstico de la falla, la influencia que el entorno de trabajo ejerce sobre los tiempos antes mencionados y los factores relacionados con la logística, cuyo objetivo es gestionar y suministrar los recursos necesarios para la conclusión exitosa de todas las tareas operativas y de mantenimiento [1, 5, 11 y 12].

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La Empresa Termoeléctrica Cienfuegos "Carlos Manuel de Céspedes" (ETE) es una de las mayores y más importantes plantas productoras de energía eléctrica en Cuba. Perteneció a la Unión Nacional Eléctrica que a su vez forma parte del recién creado Ministerio de Energía y Minas (MINEM). Por su capacidad instalada, su ubicación geográfica y su elevada eficiencia y disponibilidad, constituye uno de los pilares fundamentales del Sistema Electro Energético Nacional. En la investigación realizada en la ETE Cienfuegos se determinó que la misma está conformada por una gran variedad de funciones, agregados y equipos tanto mecánicos como eléctricos así como dispositivos y lazos de medición, regulación y control, todos los cuales se agrupan en diferentes sistemas tecnológicos, que garantizan la generación de energía eléctrica cumpliendo con los parámetros técnicos y de eficiencia.

Definición de las variables a considerar en los análisis

Desde el punto de vista de la capacidad para satisfacer las necesidades de acuerdo con las especificaciones establecidas, todos los sistemas creados por el hombre pueden pertenecer a uno de los dos posibles estados [1]:

- Estado de funcionamiento, (*State of Functioning*).
- Estado de fallo, (*State of Failure*).

La disponibilidad es una característica que resume cuantitativamente el perfil de funcionabilidad de un elemento. La central es una planta base de generación de energía eléctrica que trabaja ininterrumpidamente. Por tal motivo, el tiempo en que debe permanecer en estado de funcionamiento es el mayor posible, de ahí que el indicador fundamental que se mide y se controla es precisamente el Factor de Potencia Disponible dado por la ecuación (2).

$$FPD (\%) = \frac{T.Disponible}{(T.Disponible + T.Indisponible)} * 100 \quad (2)$$

Donde:

T. Disponible: Tiempo en estado de funcionamiento o listo para funcionar a plena capacidad.

T. Indisponible: Tiempo fuera de servicio por mantenimiento o reparación.

El tiempo indisponible debe ser lo menor posible. Pero, ¿cuánto durará la tarea de mantenimiento o reparación? Esta pregunta está directamente relacionada con la mantenibilidad, la que se define como la capacidad que tiene un sistema o equipo de ser restablecido con mayor o menor facilidad a su estado de funcionamiento [1, 11]. Teniendo en cuenta todo lo anterior serán determinados dos modelos:

- Un modelo para evaluar la criticidad en función de la disponibilidad técnica, la seguridad y la eficiencia energética, y
- Un modelo para evaluar la complejidad del mantenimiento.

A partir de las características específicas de la ETE Cienfuegos antes descritas, el estudio de diferentes modelos de criticidad, sus limitaciones y bondades y el resultado del análisis matemático y estadístico de la encuesta aplicada a los expertos, se determinó considerar en los modelos de criticidad y complejidad las siguientes variables o factores:

El tipo de instrumento seleccionado es el de encuesta directa, donde se le dan una serie de alternativas en las puntuaciones de menor (1) a mayor (10). Los especialistas seleccionarán de acuerdo a sus criterios y conocimiento el valor de la puntuación que será asignada a cada indicador, tomando como base las características propias de su campo de acción.

INDICADORES DE CRITICIDAD

- Impacto a la producción (IP)
- Costos promedio de mantenimiento (CM)
- Frecuencia de falla (F)
- Nivel de utilización (NU)
- Redundancia (R)
- Impacto en consumo específico de combustible (ICE)
- Detectabilidad (D)
- Impacto en el factor de insumo (IFI)
- Impacto en salud y seguridad (ISHE)
- Impacto ambiental (IA)

INDICADORES DE COMPLEJIDAD

- Influencia de la logística (IL)
- Tiempo de desmontaje (T. Des)
- Influencia del entorno (IE)
- Tiempo de diagnóstico (T. Diag)

Las variables seleccionadas por los especialistas para conformar el modelo matemático de criticidad y complejidad se reflejan en los indicadores técnicos de una central termoeléctrica como son:

- Factor de capacidad disponible.
- Consumo específico de combustible.
- Factor de insumo de energía eléctrica.

Estos indicadores a su vez están vinculados con el sistema de pago, siendo condicionantes generales del sistema, donde cada uno de ellos forman un % de salario que guarda estrecha relación con la importancia del mismo dentro del Sistema de Empresas de Generación Eléctrica.

Ese % y esa importancia hace necesario diferenciar el peso de ellos en el cálculo del Índice de criticidad, de ahí los multiplicadores o factores (0.5, 0.3 y 0.2) incluidos en el modelo, estos valores o ponderaciones son tomados mediante un procedimiento de consulta a directivos o especialistas en la termoeléctrica a través del consenso.

Teniendo en cuenta los indicadores considerados anteriormente, se proponen los siguientes modelos matemáticos de criticidad (ecuación (3)) y complejidad (ecuación (4)):

$$\text{Criticidad} = F \times [0.50(IP + NU + R) + 0.30(ICE + IFI) + 0.20(ISHE + IA + CM)] \times D \quad (3)$$

$$\text{Complejidad} = IE \times (T.Des + T.Diag) + IL \quad (4)$$

Aplicación del modelo de análisis de criticidad y complejidad a un caso de estudio

Una vez definidas las expresiones matemáticas de criticidad y complejidad se hace necesario establecer los rangos de ponderación de las variables que las integran.

Para ello se desarrolló un análisis con el equipo de trabajo integrado por los especialistas que participaron en la investigación, tomando como referencia inicial los modelos desarrollados tanto en Cuba como el extranjero para el análisis de criticidad y complejidad a los que ya se hizo referencia antes.

En el caso del criterio frecuencia de fallos se establecieron los rangos a partir del análisis de los históricos de la cantidad total de fallos (averías y defectos) agrupados por sistemas tecnológicos y equipos desde enero de 2010 hasta diciembre de 2014 (5 años), tomando como fuente las bases de datos del sistema de gestión de mantenimiento asistido por computadora instalado en la ETE Cienfuegos.

Cuando se desarrolla el estudio de criticidad por vez primera, se recomienda aplicarlo solo hasta el nivel de sistemas. Sin embargo, atendiendo a la gran cantidad de equipos y funciones de los que constan los sistemas tecnológicos en la Central, se hace muy complejo hacerlo de ese modo por la diversidad de fallos que ocurren en los equipos de un mismo sistema con implicaciones para la producción diferentes, lo cual hace casi imposible determinar de manera correcta el índice de criticidad del mismo.

Por ese motivo y además para simplificar el análisis, se decide centrar la atención en aquellos equipos y agregados que pertenezcan a los sistemas tecnológicos en los cuales la ocurrencia de fallos pudiera afectar de manera directa o indirecta a la disponibilidad, la confiabilidad o el consumo específico de combustible. La identificación de dichos sistemas se determinó con el grupo de especialistas.

Para obtener los valores de criticidad y complejidad, las variables obtuvieron sus valores a partir los datos de las matrices de ponderaciones descritas en [13]

En la tabla 1, se exponen los resultados de valores de criticidad de los equipos más críticos del total de 64 equipos analizados, empleando la ecuación 3.

El cálculo de la media del índice de criticidad ofrece un valor de 15.46. Al analizar los resultados se observó que siete de los equipos tienen un índice de criticidad superior a la media, por lo que les clasificó como equipos críticos y son los que aparecen en la tabla 1.

Tabla 1. Listado de los equipos críticos.	
NOMBRE DEL EQUIPO	CRITICIDAD
Quemadores	171.9
Sopletes de caldera	107.5
Bomba de agua de alimentar	85.4
Calentador de aire regenerativo	59.36
Válvulas de turbina	20.29
Compresores de aire de instrumentos	17.3
Recalentador y sobre calentador	16.7

Para el cálculo del Índice de complejidad se procede del mismo modo que se hizo para el índice de criticidad, Una vez asignados los valores a las variables, se efectúan los cálculos para la determinación del índice de cada equipo analizado.

En la tabla 2, se muestran los resultados del cálculo de los valores de complejidad de los 64 equipos que fueron objeto de análisis.

Como se ha dicho, el enfoque proactivo es el que debe primar en la atención a los activos que presenten modos de fallos que puedan dar lugar a consecuencias inadmisibles. Estos activos con funciones vitales y modos de fallos con consecuencias significativas para la seguridad, el medio ambiente, la operación y el propio mantenimiento, se conocen como críticos [8]. La clasificación de

un componente como “crítico” supondrá la exigencia de establecer alguna tarea eficiente de mantenimiento preventivo que permita disminuir sus posibles causas de fallo.

Tabla 2. Listado de los equipos con alta complejidad.			
NOMBRE DEL EQUIPO	COMPLEJIDAD	NOMBRE DEL EQUIPO	COMPLEJIDAD
Turbina de vapor	250	Válvula vaciado domo	90
Válvulas de turbina	250	Horno	72
Pozo bomba de condensado	150	Tanque de alimentar	72
Bombas agua de circulación	150	Pre-calentadores de aire	54
Recalentador-sobre calentador	120	FCV-110 Válvula recirculación.	54
Válvulas de seguridad	120	Válvulas condensador	54
Sopletes caldera	120	Bomba agua alimentación	50
Bombas y motores condensado	120	Compresores aire instrumentación.	50
CAR	90	Ventilador tiro forzado	50
Quemadores	90	Ventilador recirculación gases	50
Válvula principal de vapor	90		

Después de haber obtenido los valores de los índices de criticidad y complejidad, se procede al análisis combinado de ambos criterios mediante la matriz complejidad vs. criticidad definida por los valores medios de cada índice [1, 9, 11 y 13]. Para el ordenamiento de los valores de criticidad se tomó como escala la logarítmica con la finalidad de mejorar la correspondencia de la distribución de ambos índices en los gráficos. La figura 2, indica de manera gráfica la ubicación de los equipos en cada uno de los cuadrantes. Los equipos ubicados en el cuadrante I y clasificados como de “alta complejidad y críticos” se muestran en la tabla 3.

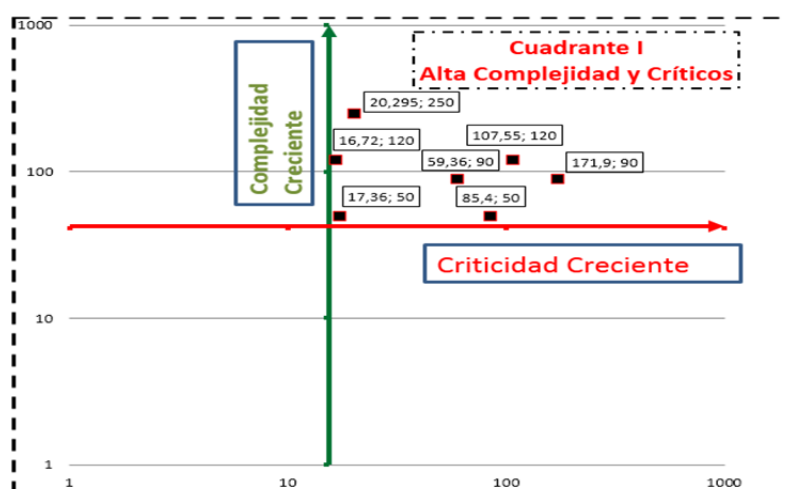


Fig. 2. Cuadrante I de la matriz complejidad vs criticidad.

Tabla 3. Activos ubicados en el cuadrante I		
NOMBRE DEL ACTIVO	COMPLEJIDAD	CRITICIDAD
Recalentador y sobre calentador	120	16,7
Calentador de aire regenerativo	90	59,3
Quemadores	90	171,9
Bombas de agua de alimentar	50	85,4
Sopladores de hollín de caldera	120	107,5
Compresores de aire para instrumentos	50	17,3
Válvulas de turbina	250	20,2

La figura 2, muestra de forma gráfica los equipos que caen en el cuadrante I. Estos equipos necesitan una máxima atención donde es vital prevenir los fallos en los mismos y en caso de producirse, minimizar sus consecuencias requiriéndose además realizar acciones para mejorar su confiabilidad operacional. Los equipos ubicados en el cuadrante II (alta complejidad y no críticos) son los que se muestran en la tabla 4, en la que se ha incluido la columna "CLASIFICACIÓN" para ilustrar comparativamente los resultados del análisis según el modelo propuesto respecto al enfoque tradicional a partir de la aplicación del SOMCE.

Para los equipos ubicados en el cuadrante III (baja complejidad y no críticos) se ha incluido una selección de los mismos en la tabla 5, que según se observa en la columna "CLASIFICACIÓN" fueron categorizados por el SOMCE como A o B. Para finalizar, es necesario señalar que en el análisis realizado no se encontró ningún equipo ubicado en el cuadrante IV.

Tabla 4. Activos ubicados en el cuadrante II			
NOMBRE DEL ACTIVO	COMPLEJIDAD	CRITICIDAD	CLASIFICACIÓN
Horno	72	12,7	A
Precalentadores de aire	54	14,6	B
Válvulas de seguridad	120	9,99	C
Mv-1 Válvula principal de vapor	90	9,9	B
Mv-2 Válvula de vaciado del domo	90	9,9	C
FVC-110 Válvula recirculadora	54	12,6	B
Tanque de alimentar	72	9,9	B
Turbina de vapor	250	9,2	A
Bombas y motores condensadores	120	8,1	B
Pozo de bomba de condensado	150	7,8	B
Ventilador de tiro forzado	50	11,8	B
Ventilador recirculador de gases	50	10,2	B
Bombas de agua circulación	150	10,2	B
Válvulas eléctricas condensador	54	12,6	C

Tabla 5. Activos ubicados en el Cuadrante III			
NOMBRE DEL ACTIVO	COMPLEJIDAD	CRITICIDAD	CLASIFICACIÓN
Niveles del domo	36	9,99	B
Economizador	24	14,685	A
Líneas de vapor	36	12,915	B
Bomba de aceite de las BAA	4	7,26	B
Filtro de aceite BAA	4	6,72	B
Filtros de agua BAA	4	6,72	B
Motor eléctrico BAA	8	5,39	B
Tanque de aceite BAA	4	11,66	B
Válvula FCV-1 reguladora de flujo	6	8,64	B
Válvulas de atemperar FCV 3.2	18	12,015	B
Bombas de Fuel Oil	24	4,62	B
Motor eléctrico de Fuel Oil	6	3,92	B
Reguladora de flujo FCV 51	6	9,99	B
Válvulas de Fuel Oil	2	9,99	B
Motor y bomba auxiliar aceite	18	5,94	B
Limitador y gobernador de turbina	18	14,04	B
Girador de la turbina	18	5,94	B
Elementos supervisores de turbina	20	14,58	B

CONCLUSIONES

A partir de la investigación realizada se pueden formular las conclusiones siguientes:

1. Se determinaron todos los factores a ser considerados en los modelos de criticidad y complejidad de una Central Termoeléctrica real, lo que permitió obtener modelos matemáticos personalizados para el cálculo de los índices de criticidad y complejidad.
2. La aplicación de ambos modelos para la determinación de los índices de criticidad y complejidad permitió la obtención de una lista jerarquizada de los equipos y sistemas tecnológicos de la Central, quedando bien identificados y clasificados aquellos que son críticos y/o complejos.
3. Los equipos que requieren mayor atención para mejorar su confiabilidad son los mostrados en la Tabla 3 ya que en la matriz de criticidad vs complejidad se encuentran en el 1er cuadrante con valores superiores a la media en ambos indicadores.

REFERENCIAS

- [1]. Díaz A., Castillo A. y otros "Propuesta de un modelo para el análisis de Criticidad en plantas de productos biológicos". Revista Ingeniería Mecánica. Vol. 15, No 1 enero-marzo 2012. ISSN 1815-5944.

- [2]. Viego N., Abril J. y Col at. "Estudio de confiabilidad operacional como soporte al mantenimiento aeronáutico en Cuba" *Revistas Ingenieras*, Enero-Marzo 2015, Vol. XVIII, No. 662015 ISSN 1405-0676.
- [3]. Mora Gutiérrez, L, *Mantenimiento estratégico para empresas industriales o de servicios*. Antioquia, Colombia: Ultragráficas Ltda., 2006. ISBN 958-33-8218-3.
- [4]. Moubray, J. *Mantenimiento Centrado en Confiabilidad*. Gran Bretaña: Aladon Ltda. 2004. ISBN 095 39603-2-3.
- [5]. ANDEVIS, G. & A. VACCARO: *Innovations in Power Systems Reliability*, 377pp., Springer Series in Reliability Engineering, 1st Edition 2011. ISBN-10 0857290878. ISBN-13 978-0857290878, Springer, USA, 2011.
- [6]. HAARIA, L.; M. KOSKINEN; R. HIRVONEN & P. LABEAU: *Transmission Grid Security: A PSA Approach (Power Systems)*, 179 pp., 1st Edition Publisher: Springer, 2011. ISBN-10: 0857291440. ISBN-13: 978-0857291448, Springer, USA, 2011.
- [7]. MARKO, E.: *Assessment of Power System Reliability: Methods and Applications*, 321pp., Springer, 1st Edition, 2011. ISBN-10: 0857296870. ISBN-13 978-0857296870, Springer, USA, 2011.
- [8]. Riveros M. L., "Diseño de un sistema de mantenimiento con base en análisis de criticidad y análisis de modos y efectos de falla en la planta de coque de fabricación primaria en la empresa Acerías Paz del Río S.A.". Tesis de maestría. Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. 2009. [Consultado el: 20 de diciembre de 2010]. Disponible en: <http://www.uptc.edu.co>.
- [9]. del Castillo Serpa, A. M., Brito-Ballina, M. L. y Fraga Guerra, E. "Análisis de criticidad personalizados". *Ingeniería Mecánica*. 2009. vol. 12. no.3, p. 1-12. ISSN 1815-5944.
- [10]. Huerta Mendoza, R. "El Análisis de Criticidad, una metodología para mejorar la confiabilidad operacional". *Club de Mantenimiento*. p 12. [Consultado el: 11 de octubre de 2010] Disponible en: <http://confiabilidad.net/articulos/el-analisis-de-criticidad-una-metodologia-para-mejorar-laconfiabilidad-ope/>.
- [11]. Hourné M. B., Brito M. L., Castillo A Col at, "Análisis de criticidad de grupos electrógenos de la tecnología fuel oil en Cuba" *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, ISSN-1010-2760, Vol. 21, No. 3 (julio- septiembre, pp. 55-61), 2012.
- [12]. GRUPO ISOLUX CORSAN S. A.: Estudio de impacto ambiental Central Termoeléctrica a carbón Río Turbio, Santa Cruz [en línea], Informe final documento síntesis, 90 páginas, 2006, Disponible: <http://www.opisancruz.com.ar/home/wp-content/uploads/eia-ctrl-sintesis-rev2.pdf> [Consulta: Enero 2015].
- [13]. Huerta Mendoza, R. "El Análisis de Criticidad, una metodología para mejorar la confiabilidad operacional". *Club de Mantenimiento*. p 12. [Consultado el: 11 de octubre de 2010] Disponible en: <http://confiabilidad.net/articulos/el-analisis-de-criticidad-una-metodologia-para-mejorar-laconfiabilidad-ope/>.

AUTORES

Armando Díaz Concepción

Ingeniero Mecánico, Profesor auxiliar. Máster en Ciencias, Centro de Estudios de Innovación y Mantenimiento (CEIM), Facultad de Mecánica, Cujae, La Habana, Cuba.

e-mail: adiaz@ceim.cujae.edu.cu

Alfredo M. del Castillo Serpa

Ingeniero Electricista. Doctor en Ciencias Técnicas. Profesor Titular. Centro de Estudios de Matemática para las Ciencias Técnicas (CEMAT), Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría, Cujae, La Habana, Cuba.

e-mail: acastillo@cemat.cujae.edu.cu

Jesús Cabrera Gómez

Ingeniero Mecánico, Doctor en Ciencias Técnicas, Investigador, Centro de Estudios de Ingeniería de Mantenimiento (CEIM), Facultad de Ingeniería Mecánica, Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría, Cujae, La Habana, Cuba,
e-mail: jcabrera@ceim.cuaje.edu.cu

Manuel Toledo García

Ingeniero eléctrico, Master en Ingeniería y Gerencia de mantenimiento, Profesor Instructor, Central Termoeléctrica Carlos Manuel de Céspedes, Cienfuegos, Cuba.

e-mail: toledo@energonet.une.cu