

ARTÍCULO ORIGINAL

## Análisis de criticidad de grupos electrógenos de la tecnología fuel oil en Cuba

### *Criticality analysis of Electrics Groups Generators of the technology fuel oil in Cuba*

María Bárbara Hourné-Calzada<sup>1</sup>, María Lucía Brito-Vallina<sup>2</sup>, Alfredo Manuel del Castillo-Serpa<sup>2</sup>,  
Elena Fraga-Guerra<sup>3</sup> y Armando Díaz-Concepción<sup>1</sup>

**RESUMEN.** En el 2004, Cuba pone en marcha un nuevo programa que consiste en un esquema de generación eléctrica distribuida que emplea la instalación de emplazamientos compuestos por grupos electrógenos, que operan con diesel o *fuel-oil*, constituyendo uno de los más profundos cambios conceptuales en esta esfera. El presente trabajo tiene como objetivo la obtención del modelo matemático para el Análisis de Criticidad que permita la clasificación jerarquizada de los sistemas en este proceso de generación de electricidad. Para cumplir este objetivo resultó necesario: el estudio de diferentes modelos de criticidad y la posible factibilidad de su uso en el campo de investigación. La identificación de los sistemas y subsistemas que componen los grupos electrógenos. La realización de un análisis documental de las fallas más frecuentes en que incurren los sistemas y equipos de los grupos electrógenos. La validación del modelo y finalmente la clasificación de los activos de acuerdo al índice de criticidad contra índice de complejidad. Se desarrolla un instrumento a partir del criterio de expertos para determinar las variables a considerar en el modelo de criticidad y complejidad, realizándose para los modelos un estudio de su confiabilidad. El modelo obtenido fue aplicado, proporcionando resultados satisfactorios.

**Palabras clave:** criterios de importancia, criticidad, confiabilidad, sistemas de potencia.

**ABSTRACT.** In 2004, Cuba begin a new program, which consists of a pattern of power generation sites by installing batteries composed of Electrics Groups Generators, which operate with diesel or fuel oil, constituting one of the more profound conceptual changes in this area. This work aims to obtain a mathematical model for criticality analysis that make possible the hierarchy classification of systems, subsystems and equipment in the process of generating electricity from generators at the sites of fuel-oil technology. To carry out this objective it was necessary: The study of different models of criticality and the potential feasibility of their use in the field of research. The identification of systems and subsystems that make up the generators. The realization of a documentary analysis of the most common faults incurred by systems and equipment for generators. Model validation and finally was classified the documentation according to asset criticality index against complexity index. We developed an instrument approach from experts to determine the variables to consider in the model of criticality in progress for a study model of reliability. The resulting model was applied to several plants of generators providing satisfactory results.

**Keywords:** index of importance, criticality, reliability, power systems.

## INTRODUCCIÓN

En el mundo moderno, el desarrollo de un país se mide entre otros elementos por el nivel de electrificación que el

mismo posee, debido a que la electricidad es la principal fuente de energía para la realización de la inmensa mayoría de las actividades productivas, económicas, administrativas y de servicios. Una interrupción por breve que sea, provoca consi-

**Recibido** 07/04/11, aprobado 19/05/12, trabajo 41/12, artículo original.

<sup>1</sup> M. Sc., Prof., Instituto Superior Politécnico "José Antonio Echeverría", Facultad de Ingeniería Mecánica, 114 No. 11901 entre Ciclo vía y Rotonda, Marianao, La Habana, Cuba. CP 6028, Teléfono:266-3605, E-✉: [mbhourne@mecanica.cujae.edu.cu](mailto:mbhourne@mecanica.cujae.edu.cu), [lucy@mecanica.cujae.edu.cu](mailto:lucy@mecanica.cujae.edu.cu)

<sup>2</sup> Dr. C. Prof., Instituto Superior Politécnico "José Antonio Echeverría", Facultad de Ingeniería Mecánica, La Habana, Cuba.

<sup>3</sup> M. Sc., Prof., Asesora del Ministerio de Educación Superior (MES), La Habana, Cuba.

Agradecimientos al profesor Dr. C. Déster D. Perdomo-Pérez, Asesor del Consejo de Estado de la República de Cuba, colaborador de este trabajo.

Nota: La mención de marcas comerciales de los equipos e instrumentos obedece únicamente a propósitos de identificación, no existiendo ningún compromiso promocional con sus fabricantes.

derables trastornos y pérdidas en la producción industrial, en el transporte, las comunicaciones, el sector financiero y en las tareas de la defensa del país.

Uno de los primeros métodos que se utilizaron para generar energía eléctrica, fue aprovechando la fuerza del agua en los ríos fundamentalmente, lo que hoy se conoce como hidroeléctricas, otra forma de crear energía es a través de la fuerza del viento, conocida como energía eólica; también el hombre ha ido desarrollando con los avances tecnológicos otras formas de crear electricidad como son: las plantas termoeléctricas y las termonucleares, que son grandes plantas con una gran capacidad de generación y complicado diseño de fabricación. Existen otros métodos de generación aprovechando la energía del sol mediante su luz, para este tipo se utilizan celdas fotovoltaicas o paneles solares y otro método también conocido es aprovechando la fuerza de los motores de combustión interna en los llamados grupos electrógenos (GE), que es el que se trata.

En el 2004, Cuba sufrió una severa crisis en el Sistema de Generación Electro Energético Nacional (SEN), apoyado en aquel entonces en grandes plantas con elevados índices de consumo de combustibles y redes de transmisión y distribución en mal estado técnico, esta situación conllevó al surgimiento de la puesta en marcha de un nuevo programa. El cual consiste en un esquema de generación eléctrica distribuida que emplea la instalación de emplazamientos compuestos por baterías de grupos electrógenos, que operan con diesel o *fuel-oil*, constituyendo uno de los más profundos cambios conceptuales en esta esfera. Estos GE están distribuidos en dependencia de su potencia y utilidad, a todo lo largo y ancho del país y pueden ser pequeños, medianos o grandes. Los grandes, en su mayoría, están conectados a la red nacional (SEN) con el fin de apoyar a las centrales termoeléctricas en el proceso normal de generación.

Los primeros emplazamientos instalados en el país trabajan con combustible diesel, a principio del año 2007 se anunció la conclusión oficial del programa de los grupos diesel, los cuales aportaban en conjunto más de mil 300 MW de potencia, actualmente el programa que se está llevando a cabo desde el 2007 es el de los grupos *fuel-oil*, con motores Hyundai de procedencia Coreana y MAN de procedencia Alemana.

La utilización de emplazamientos de generación distribuida con grupos electrógenos de *fuel oil* lleva muy poco tiempo de explotación y por ser una tecnología de adopción reciente en el país, no se cuenta con la experiencia y conocimientos necesarios sobre el tema, lo que conlleva al surgimiento de problemas de funcionamiento y operación de la maquinaria. Según criterios de especialistas las causas fundamentales de las averías o fallas son producto de problemas de operación, de mantenimiento, de tecnología y cultura tecnológica que están afectando la disponibilidad y la confiabilidad de estas plantas de generación.

El análisis histórico de la información relacionada con la temática sobre los grupos electrógenos muestra que se ha trabajado en:

- Determinación de los fallos más importantes en los equipos auxiliares de los Grupos Electrógenos *Hyundai*

*Himsen*, mediante un análisis de causa raíz (Del Castillo, 2009).

- Análisis de los fallos presentados por las unidades principales de diesel y combustible pesado (MDU) del Emplazamiento de Grupos Electrógenos *Hyundai Himsen* de Regla.
- Propuesta de mejoras al sistema de gestión de la calidad de la empresa de mantenimiento a grupos electrógenos de *fuel oil*?
- Generación Distribuida. Análisis para la evaluación del comportamiento mecánico-funcional de los grupos electrógenos *Hyundai Himsen 9H21/32*.
- Identificación y caracterización de los fallos en los motores serie 4000 para grupos electrógenos MTU de los emplazamientos de La Habana.
- Generación Distribuida. Introducción al Monitoreo de la Condición de los Grupos Electrógenos *Hyundai Himsen 9H21/32*.
- Impacto ambiental por ruido de grupos electrógenos. (Grupo ISOLUX CORSAN S. A., 2006).

Del análisis realizado a los trabajos anteriores y otros se puede observar que en la actualidad no se dispone de una clasificación jerarquizada de los sistemas y equipos en los emplazamientos de GE, por esa razón aún es ineficiente la gestión de los activos.

El poder disponer de una clasificación jerarquizada de los sistemas, subsistemas y equipos en el proceso de generación de electricidad en los grupos electrógenos permiten mejorar significativamente la gestión de mantenimiento en este tipo de instalación.

El presente trabajo tiene como objetivo la obtención del modelo matemático para el Análisis de Criticidad que permita la clasificación jerarquizada de los sistemas, subsistemas y equipos en el proceso de generación de electricidad a partir de los grupos electrógenos de los emplazamientos de tecnología *fuel-oil*.

## MÉTODOS

**Materiales:** La documentación especializada de los grupos electrógenos de la ciudad de La Habana.

La investigación está sustentada por diferentes métodos los cuales ayudan en la obtención de información y posibilitan el análisis, estos son:

**Métodos teóricos:** Análisis y síntesis: Se analizan y concretan las deficiencias de la aplicación de los modelos actuales para evaluar el índice de criticidad, así como los beneficios que traería la introducción de un modelo para los grupos electrógenos que tenga en cuenta los factores y características de los mismos.

- Hipotético-deductivo: Se plantea una hipótesis a partir de la deducción de la mejora que traería la introducción de un modelo de criticidad adecuado a los grupos electrógenos que permita una mejor gestión de los activos atendiendo a las condiciones actuales y viables para Cuba.
- Tratamiento matemático y estadístico: se emplea para todo el proceso de validación y confiabilidad del instru-

mento aplicado a los expertos en la temática, técnicas y procesamientos estadísticos, como son: el Método DEL-PHI y el coeficiente de concordancia entre los expertos.

#### Métodos empíricos:

- Observación: se visitaron diferentes emplazamientos en La Habana de las tres tecnologías de *fuel oil* que existen a lo largo territorio nacional, pudiéndose determinar características, equipamiento, formas organizativas, de operación y funcionamiento de los grupos electrógenos.
- Criterio de especialistas: fueron consultados especialistas y personal técnico experimentados en la materia, mediante la aplicación de encuestas y entrevistas.

### Diseño de la investigación

**Problema de Investigación:** ¿Cómo realizar una clasificación jerarquizada de los sistemas, subsistemas y equipos en el proceso de generación de electricidad a partir de los emplazamientos de grupos electrógenos de la tecnología *fuel oil*?

**Objeto de estudio:** El Análisis de Criticidad.

**Campo de Acción:** Obtención de un modelo de criticidad de los grupos electrógenos de la tecnología *fuel oil* en Cuba.

**Objetivo general:** Elaborar un modelo para el Análisis de Criticidad que permita la clasificación jerarquizada de los sistemas, subsistemas y equipos en el proceso de generación de electricidad a partir de los grupos electrógenos de los emplazamientos de tecnología *fuel oil*.

**Hipótesis:** La obtención de un modelo de criticidad, permitirá establecer la clasificación jerarquizada de los procesos, sistemas y equipos en el proceso de generación de electricidad a partir de los emplazamientos de grupos electrógenos de tecnología *fuel oil* con el fin priorizar la atención de los mismos, mejorando su confiabilidad operacional.

A partir del análisis y tomando como base la bibliografía consultada se puede definir CRITICIDAD de las siguientes maneras:

#### Criticidad:

- “Desde el punto de vista matemático la criticidad se puede expresar como: **Criticidad** es el producto de la frecuencia por consecuencia, donde la frecuencia está asociada al número de eventos o fallas que presenta el sistema o proceso evaluado en un período de tiempo y la consecuencia está referida con: el impacto y flexibilidad operacional, los costos de reparación y los impactos en seguridad y ambiente” (Del Castillo, 2009, Enrico, 2009).
- Medición relativa de las consecuencias de un modo de fallo y su frecuencia de ocurrencia. (Álvarez, 2008).
- Característica (cálculo numérico determinista) de un sistema, que representa el impacto de la falla en cuanto a seguridad, ambiente o producción del proceso al cual pertenece; evalúa la flexibilidad operacional, costos de reparación-mantenimiento y confiabilidad. Esta característica puede ubicarse en bandas alta, media y baja” (CNE, 2012; Andevs & Vaccaro, 2011).

La criticidad tiene una relación directa con los parámetros económicos de cualquier empresa y está basada en riesgo. La

escasez actual de los recursos hace necesario lograr la mayor efectividad que permita dirigir los esfuerzos hacia aquellos puntos donde se logre una relación máxima entre los resultados obtenidos y los recursos utilizados.

El Análisis de Criticidad permite la identificación de esos puntos más críticos estableciendo un grado de jerarquía o prioridad de los activos de una empresa o planta.

Un modelo básico de Análisis de Criticidad es equivalente al mostrado en la Figura 1.



FIGURA 1. Modelo básico de criticidad.

### Estudio sobre los diferentes modelos de criticidad

Para el desarrollo de esta investigación fueron consultados un grupo de trabajos sobre la temática de análisis de criticidad desarrollados por personas o empresas de Cuba y otros países de los cuales se hace referencia a los principales a continuación:

#### Internacionales:

- Modelo de Análisis de Criticidad obtenido por la empresa Petróleo de Venezuela SA. (PDVSA) (Del Castillo, 2009).
- Modelo de Criticidad de Subsistemas y Componentes de la Transportadora de Electricidad. SA. (TDE). (Del Castillo, 2009; Salima, 2009).
- Nacionales:
- Modelo de Análisis de Criticidad de los Subsistemas objetos de Mantenimiento en una Instalación Hotelera “NH Parque Central” (Del Castillo, 2009).
- Modelo de Análisis de Criticidad del parque de equipos especiales del Aeropuerto José Martí (Del Castillo, 2009).
- Modelo de Análisis de Criticidad de equipos en Plantas de Producción de Productos Biológicos (Del Castillo, 2009).

Del estudio y análisis de los modelos de criticidad en plantas y empresas de diferentes países, así como en empresas e instalaciones industriales en Cuba; se puede observar que todas parten de los criterios referenciados en el artículo, empleando como instrumento en la mayoría de los casos las entrevistas y encuestas a expertos para determinar las variables o términos de los modelos matemáticos, a aprovechando las experiencias y vivencias de los especialistas en cada planta, permitiendo de esta manera la obtención de los modelos que respondan con mayor exactitud a las características propias y específicas de las mismas.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Obtención del Modelo de Análisis de Criticidad en los grupos electrógenos de la tecnología de *fuel oil* en Cuba

La técnica del Análisis de Criticidad dentro de la metodología FMECA (Modos de Fallos, Efectos y Análisis de Criticidad) tiene dos variantes en su aplicación, la primera como una aproximación cualitativa y la segunda de forma cuantitativa (Mora, 2006; Marko, 2011; Haaria *et al.*, 2011).

$$\text{Criticidad} = \text{Frecuencia de Falla} \times \text{Consecuencia} \times \text{Detectabilidad} \quad (1)$$

#### Modelo Matemático de criticidad:

$$\text{Criticidad} = FF \{[(C.P \text{ TPRR } I.P) + I.O.S] R + (C.R + I.A + I.S.S.P)\} D.t.t \quad (2)$$

El análisis de ponderaciones se realiza tomando como base los datos por Del Castillo (2009). Fuente: PDVSA E & P Occidente 2002 y teniendo en cuenta para cada categoría las siguientes consideraciones:

**Frecuencia de Falla:** para definir los diferentes niveles de la variable se tiene en consideración los elementos componentes de los sistemas, tomando como referencia la tabla de Banco de Fallos de Equipos Mecánicos y Eléctricos banco de datos de fallos recogidos de diferentes fuentes (Institute of Chemical Engineers, A. Creus), citados por Del Castillo (2009) y además teniendo en consideración los datos históricos de algunos emplazamientos del país.

**Capacidad productiva:** se asumió como una función de la capacidad instala en los diferentes emplazamientos de acuerdo al tipo de tecnología y cantidad de motores, tecnología HH (1.7-2.5 MW) y MAN (1.4-3.85 MW) (característica inherente a cada planta eléctrica).

**Impacto a la producción:** los niveles se determinaron considerando el % de afectación que produce la falla a la producción, entrega de energía.

**Tiempo promedio para reparar:** se determinaron los niveles por los criterios de especialistas y técnicos de mantenimiento de los emplazamientos y de los directivos de la EMGEF acerca del tiempo de duración de las reparaciones de acuerdo al tipo de fallo, también se realizó una revisión de los datos que aparecen en las órdenes de trabajos (alrededor de 8000) en el Departamento de Inversiones Gamma.

**Incumplimiento del objeto social:** se considera a partir de poder cumplir o no con el objeto social para el cual está destinada la planta.

**Redundancia:** se refiere a la existencia de elementos alternativos que permiten ser cambiados sin interrumpir el servicio, para la ponderación de los niveles de esta variable se toma como base lo referido por el autor Luis Améndola citado por Del Castillo (2009), en dependencia de si existe alternativas de producción y función de repuesto, se empleó el rango entre 1 y 4.

**Costos de reparación:** Esta variable no es controlada directamente en los emplazamientos, se maneja a nivel de los centros de control y la EMGEF. Los niveles de los costos de reparación se definieron considerando el tipo de avería, en de-

El empleo del Análisis de Criticidad Cualitativo se propone cuando no se dispone de la información específica sobre la tasa de fallos y del resto de los datos que se requieren para el análisis, en este caso la criticidad del activo o sistema que se estudia será evaluado a través del Número de Prioridad de Riesgo [RPN].

En el trabajo teniendo en consideración lo planteado por los autores: R. Huerta Mendoza, en el artículo de PDVSA, por Luis Améndola y por Antonio Creus citados por Del Castillo (2009), se define la criticidad (Criticidad) a partir de:

pendencia de si se tratase de equipos principales o auxiliares, de los costos de las piezas de repuesto, de la existencia de ofertas de mercado, etc. (datos confidenciales).

**Impacto ambiental:** La evaluación del riesgo de afectación al medio ambiente que se propone, está basada en la norma militar MIL-STD-882D. La norma considera el grado de severidad que produce o puede

**Impacto a la salud y seguridad personal:** En nuestra sociedad el activo más importante en una empresa lo constituye el hombre, por tanto es necesaria e imprescindible proteger la vida de los trabajadores. De igual manera que en el caso del medio ambiente, la evaluación del riesgo de afectación a la salud y la seguridad personal que se propone, está basada en la norma militar MIL-STD-882D, debemos señalar que se tuvo en consideración los criterios de la técnica de seguridad y salud de uno de los emplazamientos.

#### Aplicación del Modelo de Análisis de Criticidad y Complejidad en una de las plantas de los equipos electrógenos, Emplazamiento de Regla

En esta parte del estudio se aplica el modelo obtenido de análisis de criticidad y complejidad, en uno de los emplazamientos que forman parte del universo tecnológico estudiado, el emplazamiento o planta eléctrica Unidad Empresarial de Base (UEB) de Regla.

Del análisis de resultado del modelo de criticidad se obtiene que los sistemas se clasifican en:

##### Alta criticidad:

- Sistema de aire de carga y gases de escape del motor.
- Sistema de tratamiento de aceite-HTU.
- Sistema de fuerza del motor.
- Sistema de combustible del motor.

##### Media criticidad:

- Generador.
- Sistema de aire de arranque y control del motor.
- Sistema de agua de enfriamiento del motor.
- Sistema de aceite lubricante del motor
- Sistema electro automático de la planta.
- Sistema de Tratamiento de combustible en el HTU.
- Planta de tratamiento de agua-PTQA.

- Sistema electro automático del motor.
  - Unidad de arranque negro.
- Baja criticidad:**
- Sistema de recepción y almacenamiento de combustible.
  - Sistema contra incendio.
  - Sistema de generación de vapor.
  - Sistema de tratamiento de residuales.
  - Sistema de enfriamiento- Radiadores
  - Sistema de aire comprimido-Compresores.

**Evaluación el Modelo de complejidad**

Para la evaluación del modelo de complejidad se sigue el mismo procedimiento que el efectuado para la evaluación del índice de criticidad.

Se determinaron los coeficientes o índices de complejidad teniendo en cuenta los niveles de las ponderaciones definidas en la Tabla 1.

**TABLA 1. Valores de las ponderaciones de las variables para el cálculo de complejidad**

Ponderaciones obtenidas para los parámetros del análisis de complejidad en las plantas eléctricas de los emplazamientos de los grupos electrógenos de la tecnología <i>fuel oil</i>	
1. Complejidad productiva	Puntaje
Poca complejidad	1
Media complejidad	3
Muy complejo	5
2. Complejidad mecánica	Puntaje
Poca complejidad	1
Media complejidad	3
Muy complejo	5
3. Complejidad ubicacional	Puntaje
De fácil acceso	0
De mediano acceso	3
De difícil acceso	5

Categorías a evaluar en el cálculo de complejidad.  
 Complejidad productiva (C.P)  
 Complejidad mecánica (C.M)  
 Complejidad ubicacional (C.U)  
 Modelo Matemático para el cálculo del índice de complejidad.

$$\text{Complejidad} = C.P + C.M + C.U \quad (3)$$

En la Tabla 1 se brindan los rangos de ponderaciones para las categorías, al igual que en el cálculo de criticidad se tomaron rangos fijos con un mínimo de 0 ó 1 hasta un máximo de 5 puntos para todas las categorías. (Salima, 2009).

Posteriormente en cada sistema se determina la criticidad media aritmética  $\bar{Y}$  y media, la desviación típica  $S$  y el Error Típico de la medición (E.T.M), obteniéndose el intervalo de confianza de todos los sistemas.

**Análisis de los resultados de la evaluación el Modelo de Complejidad**

Una vez determinado los intervalos de confianza, se aplican los criterios definidos para determinar el ordenamiento.

$|\bar{Y}_i - \bar{Y}_j| < \sum E.T.M$  (no existe la suficiente incidencia para diferenciar en la clasificación un sistema de otro, dichos sistemas serían iguales).

Si  $|\bar{Y}_i - \bar{Y}_j| > E.T.M$  (existe diferencia, permitiendo un orden en la clasificación entre los sistemas).

De acuerdo a los valores de complejidad se solapan algunos sistemas, se aplica el criterio antes expuesto y se determina el orden de complejidad de los sistemas. En la Figura 2, se observa el comportamiento de la clasificación de la complejidad, diferenciándose las zonas de alta, media y baja complejidad.

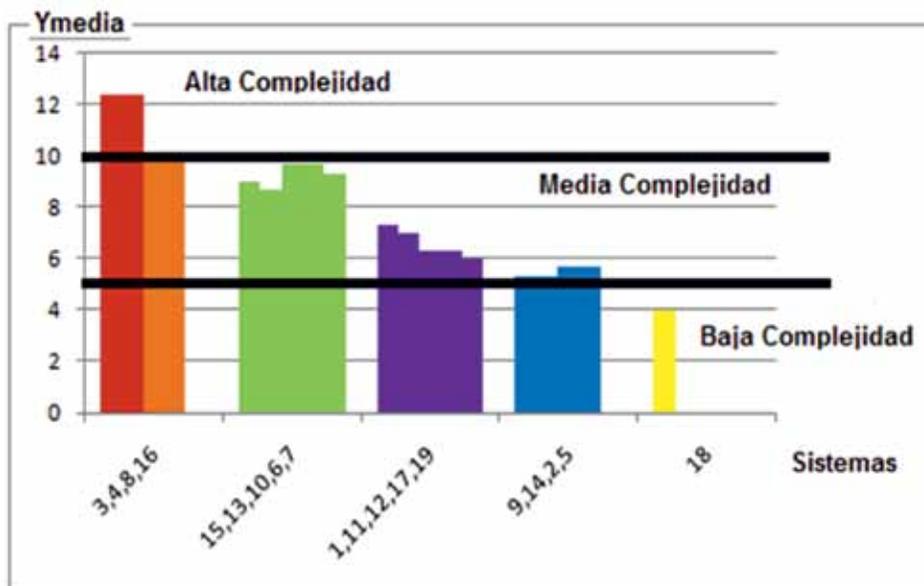


FIGURA 2. Resultado gráfico del análisis de complejidad.

Del análisis del resultado obtenido de la aplicación del modelo de complejidad los sistemas se clasifican en:

**Alta complejidad:**

- Sistema de fuerza del motor.
- Sistema de agua de enfriamiento del motor
- Generador.
- Sistema electro automático de la planta.

**Media complejidad:**

- Sistema de enfriamiento- Radiadores
- Sistema de generación de vapor.
- Sistema de Tratamiento de combustible en el HTU.
- Sistema de aire de carga y gases de escape del motor.
- Sistema electro automático del motor.
- Sistema de combustible del motor
- Sistema de tratamiento de aceite-HTU
- Planta de tratamiento de agua-PTQA.
- Sistema de tratamiento de residuales.
- Unidad de arranque negro.
- Sistema de recepción y almacenamiento de combustible.
- Sistema de aire comprimido-compresor.
- Sistema de aceite lubricante del motor.
- Sistema de aire de arranque y control del motor.

**Baja complejidad:**

- Sistema contra incendio.

**Matriz de Criticidad contra Complejidad**

Después de obtenerse los valores de los índices de criticidad y complejidad, para tener un mayor criterio para el ordenamiento de los sistemas se desarrolla la matriz de Criticidad contra Complejidad, definida por los valores medios ( $X_{media}$ ;  $Y_{media}$ ) de cada índice de los sistemas.

**Análisis de los resultados de la matriz de criticidad contra complejidad**

En la Figura 3. Se muestra la matriz de criticidad contra complejidad.

Del análisis de esta matriz se obtiene como sistemas de mayor impacto en la criticidad y complejidad (los ubicados en el Cuadrante 4), los siguientes sistemas son:

**TABLA 2. Resumen de los sistemas dispuestos en el Cuadrante 4**

Sistemas	Nombre de los sistemas
3	Sistema de fuerza del motor
4	Sistema de agua de enfriamiento del motor.
6	Sistema de aire de carga y gases de escape del motor.
8	Generador.

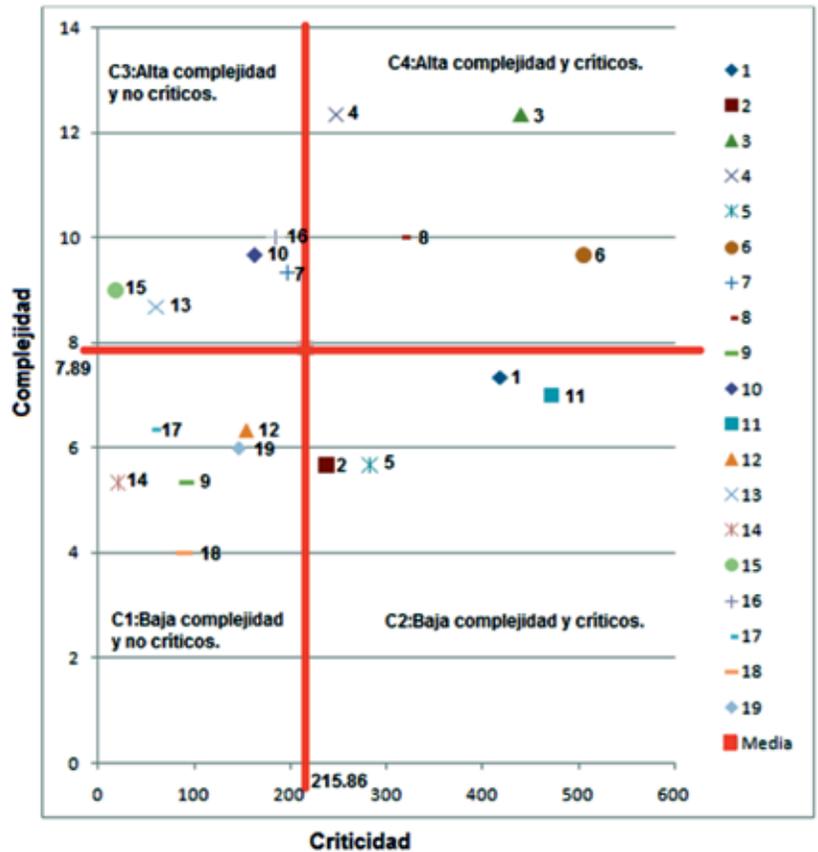


FIGURA 3. Resultado gráfico del análisis de criticidad contra complejidad.

**CONCLUSIONES**

Se ha desarrollado un instrumento a partir del criterio de expertos para determinar las variables a considerar en el modelo de criticidad y de complejidad, resultando como variables a analizar:

- **Variables seleccionadas para el análisis de la Criticidad.** Frecuencia de Fallo. Tiempo promedio para reparar. Impacto sobre la producción. Incumplimiento con el objeto social. Redundancia. Costos de reparación. Impacto al medio ambiente. Impacto a la salud y seguridad personal. Detectabilidad.
- **Variables seleccionadas para el análisis de la complejidad.** Complejidad productiva. Complejidad mecánica. Complejidad Ubicacional.
- El nivel de concordancia de los expertos en el instrumento es adecuado: obteniéndose como resultados tanto en el caso del análisis de criticidad como de complejidad que se cumplía la región crítica, aspecto que determina la existencia de concordancia entre los especialistas.
- Se realizó la evaluación del instrumento de medición por medio del coeficiente de correlación resultando de 0.899 para el análisis de criticidad y de 0.856 en el caso de la complejidad, estos valores son adecuados y deseados dando muestra de un índice de la fiabilidad del instrumento aplicado.
- El modelo obtenido se aplica a varias plantas de grupos electrógenos con resultados satisfactorios, mostrando evidencia de su validez, y permitiendo jerarquizar los subsistemas de acuerdo con la criticidad y complejidad de los mismos.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ALVAREZ, R. M.: *Análisis y Reparto de cortes de conexión de régimen especial a redes de distribución [en línea]*, Tesis Máster Sector Eléctrico, Universidad de Comillas ICAI, 2007/ 2008, 72 páginas, Disponible en: <http://www.iit.upcomillas.es/docs/tm-08-105.pdf> [Consulta: abril 2012].
2. ANDEVIS, G. & A. VACCARO: *Innovations in Power Systems Reliability*, 377pp., Springer Series in Reliability Engineering, 1<sup>st</sup> Edition 2011. ISBN-10 0857290878. ISBN-13 978-0857290878, Springer, USA, 2011.
3. CNE: *Criterios Generales de protección de los Sistemas Eléctricos insulares y extrapeninsulares, solicitado por la SEE. [en línea]*, Remitida por RED Eléctrica de España, S. A, en calidad de operador del Sistema Comisión Nacional de Energía (CNE), 49 páginas, Disponible en: <http://www.cne.es/cne/doc/publicaciones/cne47-11.pdf>. Informe 8/2011 [Consulta: abril 2012].
4. DEL CASTILLO, S. A.M.: "Análisis de Criticidad Personalizados", *Ingeniería Mecánica*, 3:1-12, La Habana, 2009.
5. ENRICO, Z.: *Computational Methods for Reliability and Risks Analysis*, 364pp., 1<sup>st</sup> Edition, Publisher: Word Scientific Publishing Company, 2009, Vol.14, Series on Quality, Reliability & Engineering Statistics, ISBN-10 9812839011, ISBN-13 978-9812839015, Springer, USA, 2009.
6. GRUPO ISOLUX CORSAN S. A.: *Estudio de impacto ambiental Central Termoeléctrica a carbón Rio 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: abril 2012].
7. HAARIA, L.; M. KOSKINEN; R. HIRVONEN & P. LABEAU: *Transmission Grid Security: A PSA Approach (Power Systems)*, 179pp., 1<sup>st</sup> Edition Publisher: Springer, 2011. ISBN-10: 0857291440. ISBN-13: 978-0857291448, Springer, USA, 2011.
8. MARKO, E.: *Assessment of Power System Reliability: Methods and Applications*, 321pp., Springer, 1<sup>st</sup> Edition, 2011. ISBN-10: 0857296870. ISBN-13 978-0857296870, Springer, USA, 2011.
9. MORA, G.A.: *Mantenimiento Estratégico para Empresas Industriales o de Servicios*, 309pp., 1era Edición. AMG, Antiofria Colombia, Biblioteca Nacional de Colombia, Depósito legal, 2006. ISBN: 958-33-8218-3, Colombia, 2006.
10. SALIMA, F. J.: *Análisis de criticidad para determinar subsistema crítico del proyecto planta de desalinización del centro de Refinación Paraguaná (CRP)*, Tesis (en opción al título de Master en Ciencias), 1230. Biblioteca CUJAE, La Habana, Cuba, 2009.

