

Herramienta informática para el análisis de criticidad de activos: Modelos personalizados

Erich Mario Gómez Pérez^A, Armando Díaz Concepción^B,
Jesús Cabrera Gómez^B, Yaniris Blanco Zamora^A

^A Universidad de las Ciencias Informáticas. La Habana, Cuba

^B Centro de Estudios en Ingeniería de Mantenimiento. Campus CUJAE.

Marianao, La Habana, Cuba

emgomez@uci.cu

RESUMEN

El mantenimiento juega un papel importante en el logro de los objetivos de cualquier empresa. Los análisis de criticidad de activos son un instrumento que permiten establecer jerarquía o prioridades de procesos, sistemas y equipos, creando una estructura que facilita la toma de decisiones acertadas para lograr una mejor priorización de los programas y planes de mantenimiento. Un análisis de criticidad realizado sobre una herramienta informática permitirá contar con una fuente de datos históricos más completa y unificada. Los cálculos de criticidad pueden ser registrados para poder realizar comparaciones para evaluar la calidad de las decisiones tomadas. Este trabajo presenta el desarrollo de una herramienta para la toma de decisiones a través del análisis de criticidad utilizando modelos matemáticos ya validados en diferentes contextos operacionales.

PALABRAS CLAVE

Mantenimiento, criticidad, activos, modelos, informática.

ABSTRACT

Maintenance plays an important role in achieving the goals of any company. The critically analyzes of assets are a tool that establish hierarchy or priority of processes, systems and equipment, creating a structure that facilitates making accurate and effective decisions, for better prioritization of programs and maintenance plans. A criticality analysis performed on a computer tool will have a source of complete and unified historical data, calculations of criticality can be registered to make comparisons to evaluate the quality of the decisions taken. This paper presents the development of a tool for decision making through analysis of criticality using existing mathematical models already validated in different operational contexts.

KEYWORDS

Maintenance, criticality, active, models, computing.

INTRODUCCIÓN

En la actualidad el mantenimiento juega un papel importante en el logro de los objetivos de cualquier empresa, el mismo necesita ser analizado como un grupo

de técnicas y sistemas de gestión que tienen consecuencia directa en la eficiencia de los procesos productivos, la reducción de los costos y calidad del producto con el objetivo de la satisfacción del cliente. Por tanto se puede definir como mantenimiento: el conjunto de técnicas o tecnologías que aseguran la correcta utilización de las instalaciones y el continuo funcionamiento de la maquinaria para conseguir a un costo competitivo la disponibilidad de los activos productivos.¹

La confiabilidad de un activo se define como la probabilidad de que un equipo o sistema opere sin falla por un determinado periodo de tiempo, bajo unas condiciones de operación previamente establecidas.²

La confiabilidad operacional es la capacidad de una instalación o sistema (integrados por procesos, tecnología y gente), para cumplir su función dentro de sus límites de diseño y bajo un contexto operacional específico. Tiene grandes ventajas para las empresas como: reducción de los tiempos de parada programadas, mejora la calidad de los procesos y servicios, entre otros; es por esto que una de las herramientas del sistema integrado de confiabilidad es el análisis de criticidad.

Existen otros enfoques de mantenimiento con los cuales se han obtenido muy buenos resultados, uno de ellos es el: Mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM, por sus siglas en inglés), el cual propone dentro de una de las primeras acciones a realizar, identificar mediante una lista jerarquizada la prioridad de cada sistema, subsistema o equipo.¹ Además combina prácticas y estrategias de mantenimiento correctivo, preventivo, predictivo y detectivo con la finalidad de maximizar la disponibilidad de los activos.

El objetivo de un análisis de criticidad es establecer un método que sirva de instrumento de ayuda en la determinación de la jerarquía de procesos, sistemas y equipos. En el mantenimiento al tener bien definido cuales son los sistemas más críticos se pueden tomar decisiones sobre la priorización de los programas y planes de mantenimiento, así como priorizar la programación y ejecución de las ordenes de trabajo, identificar un buen plan de inspección, cual debe ser el nivel de equipos y piezas de repuesto que debe contar el almacén, potenciar el adiestramiento del personal enfocado a las áreas más críticas.³

Con el análisis de criticidad se genera una lista ponderada de los elementos más críticos hasta el menos crítico realizando una diferencia entre los activos: Alta criticidad, media criticidad y baja criticidad. Las ecuaciones más conocidas son:¹

$$\text{Criticidad} = \text{Consecuencia} * \text{Probabilidad de Ocurrencia} * \text{Detectabilidad} \quad (1)$$

Los pasos para realizar un análisis de criticidad son los siguientes:

- ▶ Definiendo un alcance y propósito para el análisis.
- ▶ Estableciendo criterios de importancia.
- ▶ Seleccionando un método de evaluación para jerarquizar la selección de sistemas objeto del análisis.

Identificando diferentes criterios los cuales pueden ser:

- ▶ Seguridad, ambiente, producción, costos (operaciones y mantenimiento), frecuencia de falla, tiempo promedio para reparar.

Para poder realizar el cálculo de la criticidad se deben transformar los criterios en valores cuantitativos que permitan poder clasificar los sistemas, subsistemas o equipos objetivamente y que el mismo sirva para poder comparar los criterios entre ellos.¹

El análisis de criticidad se define como: metodología que permite establecer la jerarquía o prioridades de procesos, sistemas y equipos, creando una estructura que facilita la toma de decisiones acertadas y efectivas, direccionando el esfuerzo y los recursos en áreas donde sea más importante o necesario mejorar la confiabilidad operacional, basado en la realidad actual.⁴⁻⁶

El análisis de criticidad se debe basar en modelos matemáticos ya contextualizados, debido a la importancia de obtener resultados verídicos y acordes al contexto analizado. Por tal razón surgen los modelos de criticidad personalizados referidos a un contexto operacional específico.⁶

En la literatura se reconocen diferentes modelos como son: Análisis de criticidad de los subsistemas, objetos de mantenimiento en una instalación hotelera,¹ análisis de criticidad personalizado de las plantas eléctricas de grupos electrógenos de la tecnología *fuel oil* en Cuba,³ formulación y validación de una expresión para el análisis de criticidad del parque de equipos especiales de aeropuertos,¹ obtención y validación de un modelo para el análisis de criticidad de equipos en plantas de producción de productos biológicos,⁶ los cuales pueden ser llamados a partir de ahora modelos de criticidad personalizados.¹

Cada uno de los modelos de criticidad antes mencionados presenta como característica su adaptación según el contexto operacional de los activos en los cuales fue validado, por lo que podemos decir que son personalizados según las necesidades de aplicación. Estos modelos se encuentran de manera independiente, los cálculos para el análisis de criticidad se deben realizar de forma manual o haciendo uso de soluciones particulares sobre hojas de cálculo, proceso que se torna laborioso por la cantidad de cálculos con la posibilidad de errores. Los resultados están orientados de modo independiente y sin relacionarse con otros sistemas externos y no se cuenta con una fuente de información única que permita realizar análisis con los históricos de criticidad para identificar el comportamiento de la jerarquía de los activos en el tiempo.

Un análisis de criticidad realizado sobre una herramienta informática permitirá contar con una fuente de datos históricos más completa y unificada, los cálculos de criticidad pueden ser perdurados en el tiempo para poder realizar comparaciones y que los mantenedores tomen decisiones acertadas. Se tendría en una sola herramienta todos los modelos de criticidad antes mencionados, así como una base de datos única.

Las herramientas informáticas identificadas para este trabajo que se encuentran disponibles en la literatura son las siguientes:

Sistema de confiabilidad integral de activos (SCIA)

Sistema desarrollado por la Universidad de las Ciencias Informáticas (UCI) y un equipo de PDVSA uno de los módulos llamado “Herramientas Integrales de Confiabilidad Operacional” consiste en un conjunto de metodologías organizadas en tres etapas: Etapa I (Diagnóstico), Etapa II (Control) y Etapa III (Optimización).

En la primera etapa de diagnóstico se realiza una estimación de los niveles de criticidad de los grupos de equipos con la integración de la metodología de Ciliberti, mantenimiento basado en criticidad y las normas API 580 y 581 para equipos estáticos. La combinación de todas ellas se unificó en un solo método, que lleva por nombre: análisis de criticidad integral de activos (ACIA). El ACIA es una metodología “semi-cuantitativa” para dimensionar el riesgo que permite establecer jerarquías o prioridades de instalaciones, sistemas, equipos y dispositivos (ISGEE), de acuerdo a una figura de mérito llamada “criticidad”; que es proporcional al “riesgo”: La criticidad se calcula mediante la siguiente ecuación

$$\text{Criticidad} = \text{Fuerza de Falla} * \text{Impacto} \quad (2)$$

$$\text{Riesgo} = \text{Probabilidad de Falla} * \text{Consecuencia} \quad (3)$$

Los productos del análisis de criticidad son:

- ▶ Lista jerarquizada por “criticidad”.
- ▶ Matriz de riesgo; con la calificación del riesgo asociado a cada *ÍTEM* analizado. SCIA utiliza un repositorio de información unificado (RIU) el cual es el insumo principal de esta aplicación; este repositorio está desarrollado bajo un formato estandarizado según los requerimientos del software y es creado por los usuarios debidamente autorizados para el acceso a la creación y/o modificación de la data.⁷

El software SCIA presenta varias desventajas las cuales se relacionan a continuación:

- ▶ Fue realizado específicamente para el contexto de PDVSA. Venezuela.
- ▶ No presenta desarrollado otros modelos de criticidad personalizados.

Cuidado integral de activos (IAC)

Es una metodología creada en Maracaibo, estado Zulia, Venezuela. La cual es una combinación de las metodologías análisis de criticidad, nivel I de inspección basada en riesgos, mantenimiento centrado en confiabilidad (MCC) y optimización costo riesgo.

Para realizar el análisis de criticidad la metodología cuenta con una herramienta creada en formato Excel la cual brinda una lista jerarquizada de equipos en función del riesgo a partir de varios cálculos.⁸

El análisis de criticidad para mejorar la confiabilidad operacional

Es una metodología para realizar el cálculo de la criticidad de equipos en PDVSA E & P Occidente, Venezuela. Utiliza una herramienta en formato Excel para recolectar los datos con las ponderaciones de los criterios a tener en cuenta, los cuales son: frecuencia de falla, impacto operacional, tiempo promedio para reparar (TPPR), costo de reparación, impacto en seguridad e impacto ambiental. A través de una fórmula se relaciona la frecuencia de falla por consecuencia para proponer un valor de criticidad que posteriormente se grafica en un diagrama de barras. La distribución de barras, en la mayoría de los casos, permitirá establecer de forma fácil tres zonas específicas: Alta criticidad, mediana criticidad y baja criticidad.²

Estas herramientas en formato Excel son utilizadas por las dos metodologías antes descritas, presentan como desventaja su implementación en formato hoja de cálculo y es debido a que los datos no se encuentran recogidos sobre una base de datos centralizada que permita tener la información histórica actualizada a la hora de ser consultada por diferentes sitios. Es decir, cada mantenedor contará con una versión de los datos a analizar.

El estudio y análisis de estas herramientas permitió identificar la necesidad de crear una herramienta informática para el análisis de criticidad que contenga varios modelos que puedan ser usados por las áreas o personal de mantenimiento para la jerarquización de sus sistemas, subsistemas o equipos, para poder tomar decisiones y trazar mejores estrategias de mantenimiento en las organizaciones. Por tanto se tiene como objetivo de la investigación desarrollar una herramienta informática para el análisis de criticidad basada en los modelos personalizados que permita unificar la información de la jerarquización de instalaciones, equipos y sistemas.

Materiales y métodos o metodología computacional

Para el desarrollo de la herramienta se estudiaron cada uno de los modelos de criticidad personalizados para lograr una mejor comprensión de cada ecuación matemática definida. Es importante destacar que cada uno de estos modelos se encuentran validados a través de su aplicación en su contexto operacional.

Modelo de criticidad de los subsistemas objetos de mantenimiento en una instalación hotelera

$$\text{Función de Criticidad : } C = f * c \quad (4)$$

Donde: /C/es criticidad, /f/es la frecuencia de fallo y /c/ es la consecuencia de los fallos.

Al desglosar la ecuación según las variables que definen la consecuencia y los niveles de significación asignados por expertos (20% a la pérdida de servicio, 10% a las penalidades y 70% a la pérdida de imagen) la función final queda de la siguiente manera:

$$C = f * (2 * PS + 1 * PN + 7 * PI) \quad (5)$$

$$PS = ps + cps \quad (6)$$

$$PN = pn + cpn \quad (7)$$

$$PI = pi + cpi \quad (8)$$

Donde: /ps/ es pérdida del servicio, /pn/ son las penalidades, /pi/ es la pérdida de la imagen, /cps/ es la confiabilidad de la pérdida de servicio, /cpn/ es la confiabilidad de las penalidades y /cpi/ la confiabilidad de pérdida de imagen.

Modelo de criticidad personalizado de las plantas eléctricas de grupos electrógenos de la tecnología *fuel oil* en Cuba

$$C = FF * \{ [(CP * TPPR * IP) + I.O.S] * R + (CR + IA + I.S.S.P) \} * D.t.t \quad (9)$$

Consecuencias: capacidad Productiva (variable intrínseca de cada sistema).- (CP), impacto a la producción.- (IP), tiempo promedio para reparar. (TPPR),

incumplimiento con el objeto social. (I.O.S), redundancia. (R), costos de reparación.- (CR), impacto ambiental (IA), impacto a la salud y seguridad personal. (I.S.S.P) y detectabilidad.(D.t.t)

Por la complejidad de algunas instalaciones se hace necesario determinar además un modelo que determine la complejidad:

$$\text{Complejidad} = C.P + C.M + C.U \quad (10)$$

Donde: complejidad productiva (C.P), complejidad mecánica (C.M) y complejidad ubicacional (C.U).

Modelo para el análisis de criticidad del parque de equipos especiales de aeropuertos

El análisis de criticidad de este sistema queda conformado con la mayor cantidad de equipos diferentes recopilados según la bibliografía consultada (sistema de pasajeros, servicio de extinción de incendios, servicio de cargas y equipajes, servicio de aeródromos, servicio de aeronaves y servicio de combustibles. Cada uno de los criterios de evaluación definidos en la ecuación son puntuaciones definidas por los expertos.

$$C = FF * [(NT * Ir * TPR * \text{Impacto itinerario}) + \text{Costo rep.} + IS + \text{Impacto M.A}] \quad (11)$$

Donde: /FF/ es Frecuencia de Fallo, /NT/ es Niveles de tráfico y /IS/ es Impacto en la Seguridad

Modelo para el análisis de criticidad de equipos en plantas de producción de productos biológicos

$$I.C = (A * \text{Severidad}) * FF * (B * \text{Detectabilidad}) \quad (12)$$

$$\text{Severidad} = \text{Impacto Seguridad} + \text{Impacto Ambiental} + \text{Impacto Productivo} \quad (13)$$

Donde: /I.C/ es Criticidad y /FF/ es Frecuencia de falla Los coeficientes /A/ y /B/ afectarán los índices a los que están asociados A=2 producto a que estas categorías presentan un mayor impacto en el índice de criticidad, los mismos tiene un mayor grado de incidencia en la clasificación en dichas plantas B=0.2 producto a que los activos presentan buena instrumentación, da un criterio del estado del proceso, por lo que si /B/ fuera un número entero falsearía los resultados a obtener.

$$I.C = C.P + C.M + C.U \quad (14)$$

Donde: I.C es complejidad

1. Complejidad productiva (C.P): Evalúa cuan complejo es el activo en su manipulación y el nivel de preparación que debe tener el operador para poder trabajar con el mismo.
2. Complejidad mecánica (C.M): Nos brinda un indicador del grado de preparación que debe tener el personal de mantenimiento para ejecutar alguna acción sobre el equipo que se evalúa.
3. Complejidad ubicacional (C.U): Existen áreas certificadas que su acceso es a través del *transfer*, con los inconvenientes que conlleva para el personal de

mantenimiento cumplir con las reglamentaciones de esta acción, por lo que la atención a estos activos se hace más complicado. ⁶

La base tecnológica de dicha herramienta se encuentra sobre el marco de trabajo Sauxe, desarrollado por el departamento de Desarrollo de Componente del Centro de Informatización de Entidades (CEIGE), compuesto en su totalidad por tecnología libres y apostando a la independencia tecnológica, el mismo esta compuesto por:

Vista: Capa de presentación y la lógica de presentación. En la misma se maneja todo el flujo web. Las vistas son los recursos que le permiten al cliente visualizar la información. El framework utilizado es Extjs 3.4.

Controlador: El framework utilizado es ZendFramework.

Modelo: El framework utilizado es PHP Doctrine como framework de acceso a datos.

Gestor de Base de datos: PostgreSQL 9.1. ⁹

Lenguaje de programación: PHP 5.

Tecnología: AJAX.

La arquitectura es basada en componentes, utilizando dentro de cada componente el estilo arquitectónico modelo-vista-controlador. Creando un componente por cada modelo implementado, esto proporciona la ventaja que al surgimiento de nuevos modelos puedan integrarse fácilmente.

El entorno de despliegue está compuesto por una arquitectura cliente-servidor, donde en el Cliente la aplicación se ejecuta a través de un navegador web, en este caso se debe usar el Mozilla Firefox sobre cualquier sistema operativo (se sugiere GNU/Linux, en específico la distribución de Ubuntu para estaciones donde se conectarán dispositivos externos). En el Servidor Web radica la lógica de negocio de la aplicación. Servidor Web Apache2. Utilizando el lenguaje PHP. Por último el Servidor de Base de datos sobre PostgreSQL 9.1. ¹⁰

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La herramienta se encuentra estructurada por componentes los cuales conforman cada uno de los módulos del sistema, esto brinda la ventaja de poder utilizar cada componente en dependencia de las necesidades del cliente, cada uno corresponde a un modelo personalizado de análisis de criticidad de activos llamados: Planta de Bioproductos, Grupos Electrógenos Fuel Oil, Equipos Especiales Aeropuerto, Hotel Parque Central, Planta de Coque. Una vez seleccionado el modelo a utilizar se pueden importar todos los activos para realizar el análisis de criticidad. Como se puede apreciar en la figura 1, también se realiza un análisis de complejidad esto es debido que en algunos contextos operacionales es complejo realizar el mantenimiento. La complejidad mecánica y productiva son indicadores esenciales para la toma de decisiones. También se evidencian otras funcionalidades como historial de criticidad por activo, gráficas que muestran de forma interactiva los resultados, así como el listado de activos ordenados desde mayor a menor criticidad.

Para realizar los cálculos de criticidad y complejidad se especifica en la herramienta el valor de cada uno de los indicadores, tomando como ejemplo

el cálculo de criticidad en Plantas de Bioproductos (figura 2). Cada uno de los valores representa un número ponderado que llevado a la fórmula de criticidad y complejidad se obtiene como resultado el valor del activo en los dos aspectos.

La figura 3 muestra los resultados de la evaluación de la aplicación del modelo de criticidad para todos los activos importados a la herramienta. Por medio de una gráfica de barras donde se pueden observar los equipos más críticos determinados por encima de la media total, se muestra la criticidad numérica vs. referencia de cada activo.

No.	Nombre	Área	Criticidad	Complejidad
1	Zaranda	Laboratorio	12.00	4.00
2	Fermentadores de inóculo	Laboratorio	36.00	6.00
3	Fermentadores de producción	Producción	210.00	6.00
4	Tanques	Producción	208.00	2.00
5	Bombas de trasiego	Producción	490.00	8.00

Fig. 1. Funcionalidades de la herramienta.

Calcular Criticidad

Frecuencia de Falla: * Detectabilidad: *

Entre 2 y 4 por año Poca instrumentación

Severidad

Impacto sobre la Producción: * Impacto Ambiental: *

50% de impacto No origina ningún impacto ambier

Impacto en Salud y Seguridad Personal: *

No origina heridas ni lesiones

1.

Fig. 2. Cálculo de criticidad.

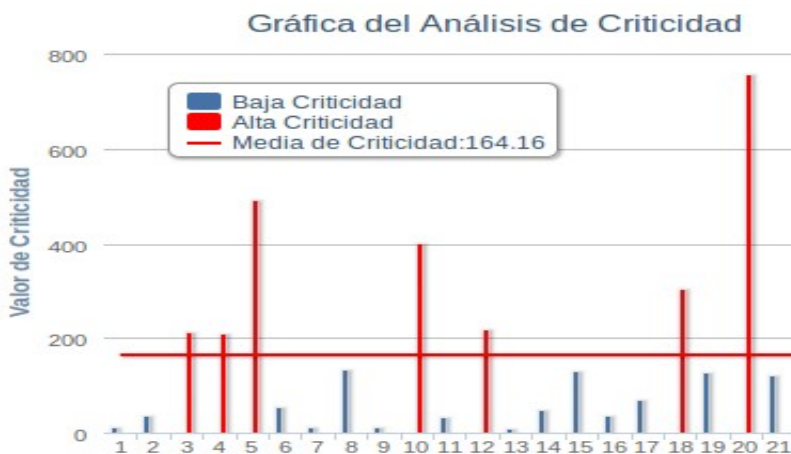


Fig. 3. Análisis de criticidad.

En función del contexto operacional los criterios que son utilizados para calcular el índice de criticidad y de complejidad presentan el mismo nivel de importancia por tal motivo se realiza un análisis de criticidad *versus* complejidad.

Los valores que se obtienen del resultado de la aplicación de los modelos de criticidad y complejidad se ordenan en una matriz (figura 4), donde los valores medios permiten establecer el contenido de los cuadrantes de dispersión de los activos ubicando los activos de mayor impacto en la criticidad y complejidad en el cuarto cuadrante.

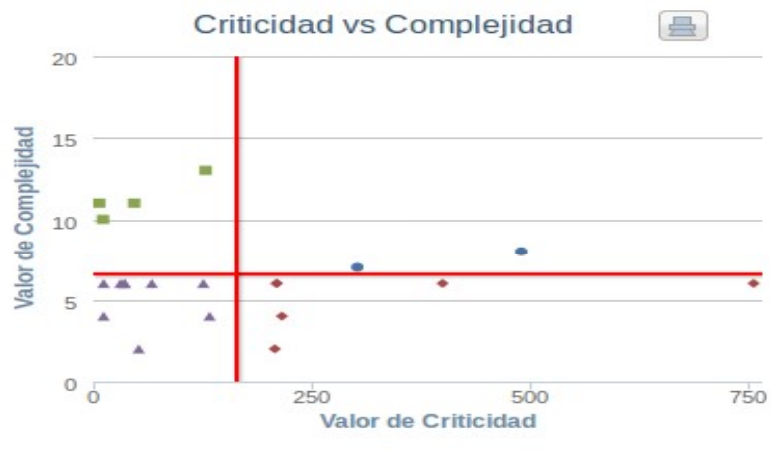


Fig. 4. Criticidad vs complejidad.

Ventajas de la herramienta:

- El histórico de los valores de criticidad y complejidad que brinda la herramienta para realizar análisis de la variación del impacto de los activos en dependencia de sus funciones.
- La aplicación de los modelos es menos compleja para el usuario final.
- La información se encuentra almacenada en una base de datos única.
- Los resultados se obtienen a través de reportes y gráficas que contienen información más interactiva y completa que ayudan a una mejor toma de decisiones.

CONCLUSIONES

Se demostró la factibilidad de contar con una herramienta informática que integre todos los modelos de criticidad personalizados. Dicha integración garantiza que la información se encuentre almacenada en una base de datos única que pueda ser usada para la toma de decisiones por los ingenieros en mantenimiento.

La herramienta permite de forma sencilla la integración de nuevos modelos de criticidad personalizados por su implementación basada en componentes.

AGRADECIMIENTOS

Al Centro de Estudio de Ingeniería en Mantenimiento perteneciente al Campus CUAJAE. grupo de investigación de confiabilidad operacional.

REFERENCIAS

1. Castillo-serpa, Alfredo del, Brito-Ballina, M.L. and Fraga-Guerra, E. *Análisis de Criticidad Personalizados*. Septiembre-diciembre de 2009. 25 April 2009. vol. 12, no. 3, Figura 3. Análisis de criticidad
2. Mendoza, Ing. Rosendo Huerta. *El analisis de criticidad, una metodologia para mejorar la confiabilidad operacional*. Publicación periódica del club de mantenimiento. 2005. p. 16.
3. Calzada, Ing. María Bárbara Hourné. *Análisis de Criticidad personalizado de las plantas eléctricas de grupos electrógenos de la tecnología fuel oil en Cuba*. Maestría. La Habana, Cuba : Instituto Superior Politécnico “José Antonio Echeverría” (CUJAE). Facultad de Ingeniería Mecánica, 2010.
4. CONCEPCIÓN, armando díaz. *Los Análisis de Criticidad en el Mcc: Particularidades de diferentes modelos (Final)*. . June 2012. Vol. 4, no. 4, p. 24–27.
5. CONCEPCIÓN, Armando Díaz. *Los Análisis de Criticidad en el Mcc: Particularidades de diferentes modelos (Primera Parte)*. . June 2012. Vol. 4, no. 3, p. 26–28.
6. DÍAZ CONCEPCIÓN, Armando, Pérez Rodriguez, Frank, Castillo Serpa, Alfredo del and Brito Vallina, María Lucía. *Propuesta de un Modelo para el Análisis de Criticidad en Plantas de Productos Biológicos*. Ingeniería Mecánica. 2012. Vol. 15, no. 1, p. 9.
7. Almaguer, Katia Onelia Carralero, hijuelos, Bernardo Zaragoza, González, Riolvi Acosta and Díaz, Dayrien Corrales. Sistema de Confiabilidad Integral de Activos (SCIA). In : *Eleventh LACCEI Latin American and Caribbean Conference for Engineering and Technology (LACCEI'2013), "Innovation in Engineering, Technology and Education for Competitiveness and Prosperity"* [online]. Cancun, Mexico, 14 August 2013. Available from: <http://www.laccei.org/LACCEI2013-Cancun/RefereedPapers/RP234.pdf>
8. Gutiérrez, Edwin, TREJO, Emilio, Medina, Robinson and SIBLESZ, Pedro. CUIDADO INTEGRAL DE ACTIVOS (IAC). [online]. [Accessed 22 May 2015]. Available from: http://r2menlinea.com/w3/PT/PT008_Cuidado_Integral_de_Activos.pdf
9. HELMLE, Bernd and EISENTRAUT, Peter. PostgreSQL-Administration. Washington, O'Reilly Vlg. GmbH & Co, 2009. ISBN 978-3-89721-777-5.