

MODELO DE GESTIÓN DE MANTENIMIENTO ENFOCADO EN LA EFICIENCIA Y OPTIMIZACIÓN DE LA ENERGÍA ELÉCTRICA

MODEL OF MANAGEMENT OF MAINTENANCE FOCUSED IN THE EFFICIENCY AND OPTIMIZATION OF THE ELECTRIC POWER

VERENA MERCADO, JOSÉ BERNARDO PEÑA

Universidad de Oriente, Núcleo de Anzoátegui, Escuela de Ingeniería y Ciencias Aplicadas, Postgrado en Ingeniería Eléctrica, Barcelona, Venezuela. E-mail: verenamercado@yahoo.com / penajb@gmail.com

RESUMEN

El objetivo de este trabajo es presentar un modelo de gestión de mantenimiento eléctrico, que se adapte a los requerimientos de los sistemas industriales, se ajuste a las normas ISO y que a su vez interrelacione los diferentes procesos, actividades y áreas de las organizaciones interesadas en optimizar y mejorar la eficiencia de la energía eléctrica. Para el desarrollo del modelo se partió del análisis de modelos de mantenimiento industrial propuestos en los últimos 25 años, luego se revisaron parámetros tales como: factor de potencia, armónicos, temperatura, vibraciones y desajustes, con el fin de definir actividades que permitan detectar problemas en los sistemas eléctricos, para luego proponer fases en el mantenimiento que incluyen comunicación, seguimiento y objetivos bien definidos. El modelo propuesto presenta dos partes complementarias; un esquema basado en requerimientos referentes a parámetros eléctricos orientados hacia la eficiencia y optimización de la energía eléctrica y el modelo de gestión propiamente, que contempla elementos relacionados con la integración de las diferentes partes interesadas, y una planificación y programación de actividades ajustadas a la norma ISO 9001: 2000. El modelo hace referencia a la gestión de mantenimiento basada en la programación y planificación de actividades relacionadas con el mantenimiento preventivo y predictivo y su implementación permitirá anticiparse a fallas, interrupciones y posibles perturbaciones en los sistemas eléctricos, disminución de pérdidas eléctricas y una mayor eficiencia energética.

PALABRAS CLAVE: Eficiencia energética, mantenimiento preventivo, mantenimiento predictivo, modelo de gestión.

ABSTRACT

The purpose of this study is to present a model of management of electrical maintenance, which adapts to the requirements of industrial systems, adjusts to the ISO norms and in turn interrelates the different processes, activities and areas of the organization interested in optimizing and improving the efficiency of electric power. For the development of the model, the analysis started evaluating models of industrial maintenance proposed in the last 25 years, then parameters were reviewed like: factor of power, harmonic, temperature, vibrations and disruptions, in order to define activities that allow to detect problems in the electrical systems, in order to propose phases in the maintenance that include communication, follow-up and well defined objectives. The proposed model presents two complementary parts; a scheme based on requirements related to electrical parameters orientated towards the efficiency and optimization of the electric power and the model of management itself, which contemplates elements related to the integration of the different stakeholders, and a planning and programming of activities adjusted to the ISO norm 9001:2000. The model refers to the management of maintenance based on the programming and planning of activities related to preventive and predictive maintenance and its implementation will allow to anticipate malfunctioning, interruptions and possible disturbances in the electrical systems, a reduction of electrical losses and a major energy efficiency.

KEY WORDS: Energy efficiency, preventive maintenance, predictive maintenance, model of management.

INTRODUCCIÓN

Los sistemas eléctricos son susceptibles a las altas temperaturas, vibraciones, desajustes y por supuesto a instalaciones con componentes de mala calidad, así como a parámetros que no se ajusten a las normas eléctricas vigentes. Estos parámetros están relacionados con la amplitud, frecuencia y forma de onda de los sistemas eléctricos y pueden ser afectados por diferentes tipos de perturbaciones, tales como, transitorios electromagnéticos, variaciones de voltaje

de corta y larga duración, desbalance de voltaje, distorsión de la forma de la señal, fluctuaciones de voltaje y variaciones de frecuencia. En gran parte estas perturbaciones pueden detectarse mediante medición y evaluación en los sistemas eléctricos, identificando, altas corrientes en algunos conductores eléctricos, bajo factor de potencia y armónicos de corriente y voltaje.

Todas las perturbaciones que llevan consigo incremento en los niveles de voltaje y corriente, afectan la calidad de la energía, aumentan los costos

relacionados con la facturación y provocan calentamientos que disminuyen la vida útil de los equipos, como transformadores y equipos rotativos.

Las fallas e interrupciones de los sistemas eléctricos perjudican el funcionamiento y la eficiencia eléctrica, y la mayoría suceden en gran parte por la falta de planificación, programación y ejecución de las actividades de mantenimiento (correctivo, preventivo, predictivo), y de la cultura de la organización y las relaciones entre las diferentes partes o departamentos interesados en el funcionamiento operativo. La norma 3049-93 (COVENIN 1993) establece que el mantenimiento correctivo comprende las actividades de todo tipo encaminadas a tratar de eliminar la necesidad de mantenimiento corrigiendo las fallas de una manera integral a mediano plazo; las acciones más comunes que se realizan son: modificación de elementos de máquinas, modificación de alternativas de procesos, cambios de especificaciones, ampliaciones, revisión de elementos básicos del mantenimiento y conservación. El mantenimiento preventivo es el que utiliza todos los medios disponibles, incluso los estadísticos para determinar la frecuencia de las inspecciones, revisiones, sustitución de piezas claves, portabilidad de aparición de averías, vida útil y otras, su objetivo es adelantarse a la aparición o predecir la presencia de las fallas. El mantenimiento predictivo se define como el mantenimiento enfocado en las estadísticas de los historiales de fallas en los sistemas productivos de los mantenimientos anteriores.

La gestión de mantenimiento es parte fundamental en la conservación y preservación de activos de una empresa y de la eficiencia en su operación. La gestión de las actividades propias de los recursos humanos, riesgos, costos, comunicación, evaluación de desempeño, que permitan una eficiencia en la planificación, organización, programación junto con el posterior seguimiento y control constituyen las claves para detectar las actividades que realmente funcionan, así como las que deban eliminarse o mejorarse.

Se han propuestos muchos modelos de gestión que representan grandes cambios en la forma como se deben realizar las actividades relacionadas con el mantenimiento, Pintelon y van Wassenhove (1990) plantearon un sistema de indicadores de mantenimiento, Pintelon y Gelders (1992), plantearon la necesidad de que exista un vínculo entre el mantenimiento y las demás funciones organizacionales, resaltan la importancia del uso de las técnicas cuantitativas para la gestión, proponen la organización por niveles para ejecutar las funciones de mantenimiento y vislumbran la utilización de sistemas

expertos y mencionan el TPM (Mantenimiento Productivo Total) y RCM (Mantenimiento Basado en la Confiabilidad). Por su parte Campbell (1995) enfatiza la importancia del liderazgo e introduce el concepto de Reingeniería de Mantenimiento, mientras que Hassanain *et al.* (2001) han propuesto un modelo orientado al uso informático, para el manejo de actividades. Söderholm *et al.* (2007) plantearon que el mantenimiento se enfoque en el cumplimiento de requisitos de todas las partes interesadas y Crespo (2007) aportó un modelo con una metodología de aplicación claramente expresada, orientado a la mejora de la confiabilidad operacional y del costo del ciclo de vida de los activos industriales.

Este artículo incluye la presentación de requerimientos para el mantenimiento de sistemas eléctricos, donde se hace referencia a las mediciones, inspecciones y revisiones de los diferentes equipos y componentes, así como, a indicadores y relaciones con los parámetros eléctricos necesarios para la planificación de actividades. Posteriormente se describe el modelo de gestión de mantenimiento eléctrico propuesto, ajustado a la norma ISO 9001: 2000 (AENOR 2000), que integra las áreas interesadas que conforman la empresa, así como en el análisis y ejecución de las actividades relacionadas, haciéndose énfasis en el liderazgo, comunicación y en indicadores. Se concluye con la presentación de resultados y conclusiones.

REQUERIMIENTOS DEL MANTENIMIENTO DE SISTEMAS ELÉCTRICOS

Los sistemas eléctricos requieren de seguimientos, mediciones, monitoreo de parámetros y registros de fallas. El seguimiento hace referencia a inspecciones visuales y generales, referenciadas en la norma ANSI/NETA ATS 2013, donde se mencionan las bases y procedimientos para la revisión de los componentes, subsistemas y partes de los sistemas eléctricos. Estas inspecciones están relacionadas con desajustes, corrosión, fallas en los contactos entre conductores y el uso de elementos inadecuados, que cumplan con requerimientos técnicos, tales como, resistencia mecánica y eléctrica necesaria para un eficiente funcionamiento.

Los parámetros tales como vibraciones en equipos rotativos producen calentamiento en devanados, ejes y problemas mecánicos, que se relacionan notablemente con el consumo de energía eléctrica excesivo y deterioro del aislamiento eléctrico. Estas vibraciones pueden originar daños permanentes en los rodamientos y en las conexiones eléctricas, llegando a producir cortocircuitos, aumento del consumo eléctrico mayor a

10% de la energía eléctrica necesaria para su funcionamiento normal.

El sucio, la humedad y el desajuste en componentes eléctricos aumentan el consumo de energía eléctrica, lo cual se refleja en aumentos aproximados en un 5% en la corriente necesaria para la operación de los equipos eléctricos. Estas constituyen pérdidas eléctricas, que además de representar aumento en los costos de facturación, representan calentamientos originados por el efecto Joule.

El factor de potencia es uno de los parámetros más importantes, dado que puede definirse como una eficiencia energética y guarda estrecha relación con los parámetros de calidad definidos por la norma 286-2000 (IEEE-SA 2000). El término factor de potencia es utilizado para indicar el porcentaje de potencia eléctrica que realmente se ha convertido en trabajo, esto es:

$$fp = \cos\Phi = \frac{P}{S} \quad \dots \quad \dots \quad \dots \quad \dots \quad \dots \quad (1)$$

Dónde:

fp = Factor de Potencia, Φ = Angulo entre la potencia activa y reactiva, P = Potencia Activa y S = Potencia Aparente.

El valor ideal del factor de potencia es 1, lo cual indica que toda la energía consumida por los equipos ha sido transformada en trabajo, por el contrario, un factor de potencia menor significa un mayor consumo de energía necesaria para producir un trabajo útil. No obstante, en la realidad es muy difícil obtener un valor de 1, es por esto que la norma 286-2000 (IEEE-SA 2000) y la resolución 75 emitida por el Ministerio del Poder Popular para la Energía Eléctrica (MPPEE 2010) en Venezuela hacen referencia a un factor de potencia mínimo de 0,9.

Sagredo (2006), señala que los armónicos son una expresión matemática que permite cuantificar la distorsión en la señal de tensión o de corriente de un sistema eléctrico. Generalmente, los equipos electrónicos de conmutación, entre ellos, *switching*, inversores y fuentes controladas de 6 y 12 pulsos, provocan distorsión en la corriente, las que al circular por un sistema eléctrico, dado los niveles de cortocircuito y las impedancias asociadas, provocan

caídas de tensión que hacen que se distorsione también el voltaje; provocando grandes problemas y pérdidas.

Avalos (2006), señala que por las corrientes armónicas, la capacidad nominal de la instalación eléctrica disminuye entre un 40% a 50% "Tanto es así, que peligrosamente los armónicos calientan los cables y los transformadores". Y es este calentamiento que aumenta las pérdidas de energía, disminuye la vida útil, deteriora los equipos y sistemas eléctricos hasta el punto de disminuir la eficiencia de la operabilidad de los sistemas eléctricos industriales.

Para disminuir las fallas, aumentar la eficiencia, optimizar el funcionamiento de los sistemas eléctricos, es necesario una gestión de mantenimiento acorde con lineamientos de la calidad, basados en la norma ISO 9001: 2000 (AENOR 2000). En este sentido, es prioridad establecer un esquema para obtener indicadores necesarios para proponer una estrategia de gestión de mantenimiento basado en actividades y parámetros que permitan una planificación y programación acertada y ajustada a los requerimientos de confiabilidad y optimización de la energía eléctrica.

En la Figura 1 se muestra un esquema general de actividades y parámetros para el mantenimiento de sistemas eléctricos, el cual está constituido por tres bloques: el primero muestra los sistemas y componentes eléctricos de mayor importancia para conservar y preservar en los sistemas industriales; en el segundo bloque, se resume las actividades mínimas necesarias para realizar un plan de mantenimiento para optimizar la operación, aumentar la eficiencia y preservar la vida útil de los sistemas y equipos eléctricos; y en el tercer bloque, se incluye los indicadores necesarios para programar las actividades, organizar el recurso humano y programar las inversiones a corto, mediano y largo plazo en los sistemas asociados al área de electricidad.

El esquema de la Figura 1, representa el primer paso para la escogencia de un modelo de gestión de mantenimiento, que cumpla con los estándares de la norma ISO 9001: 2000 (AENOR 2000), enfocada a la gestión de calidad. Se incluyen las actividades relacionadas con las inspecciones y revisiones de los parámetros eléctricos requeridos y los límites permisibles según normas y resoluciones eléctricas nacionales e internacionales, que permitan obtener indicadores, para una posterior evaluación de los sistemas eléctricos, que conlleven a una gestión de mantenimiento orientada y ajustada a la optimización y eficiencia de energía eléctrica.



Figura 1. Esquema general de actividades y parámetros para el mantenimiento de sistemas eléctricos propuesto por los autores.

MODELO DE GESTIÓN DE MANTENIMIENTO PROPUESTO

A partir del análisis de los modelos mencionados, es posible identificar una serie de conceptos (herramientas, elementos, actividades) que son comunes en algunos de ellos. Para el modelo que se propone como estrategia para las actividades de mantenimiento de sistemas eléctricos se destacan los siguientes: (a) planificación y programación, (b) seguimiento y control, (c) partes interesadas (soporte técnico, soporte administrativo, usuario y proveedor), (d) liderazgo y comunicación, (e) confiabilidad de los sistemas y (f) costo de la vida útil.

Es importante resaltar que la gestión del mantenimiento de sistemas eléctricos tiene su base en la realización de requerimientos técnicos enfocados a la observación e inspección como primer punto, luego siguen la ejecución de mediciones de los diferentes componentes y equipos que conforman el sistema eléctrico, para luego detectar los problemas que puedan incidir en la disminución de la eficiencia energética, aumentar las perturbaciones y disminuir la vida útil de los diferentes elementos. Sin embargo, estas actividades deben estar reunidas en un registro de información, registros físicos, en hojas de datos y/o registros en electrónico para sistemas en línea, y deben ser la base fundamental para que tanto la parte técnica y administrativa de la empresa sean conscientes de las necesidades de una planificación, programación, seguimiento y control para preservar y optimizar el tiempo de vida útil de los activos, con el mínimo costo de inversión.

Se tomó como base la norma ISO 9001 (AENOR 2000), dado que es una referencia internacional para cualquier sistema de gestión de calidad, lo que la convierte en un estándar para la operación de procesos en los que se debe demostrar cumplimiento con requisitos y actividades, tal es el caso de la gestión de mantenimiento. Así mismo, toma lo mejor de los aportes referenciados en los modelos descritos anteriormente.

El modelo de gestión de mantenimiento que se propone como estrategia para la optimización y eficiencia de energía eléctrica y ajustado a la norma ISO 9001: 2000 (AENOR 2000) se muestra en la Figura 2, el cual está conformado por seis bloques.

El **bloque A** corresponde con la planificación y programación inicial de las actividades de mantenimiento de los equipos y sistemas, indicando las actividades relacionadas con el mantenimiento a corto,

mediano y largo plazo, o lo que es equivalente al plan de mantenimiento correctivo, preventivo y predictivo.

Una vez finalizado el proceso de planificación y programación se debe pasar al **bloque B** (soporte), que se refiere al progreso de ejecución de los planes de mantenimiento, la información debe llegar a todos los departamentos involucrados, es decir, el departamento técnico, relacionado con las áreas de mantenimiento de electricidad y mecánica, que son los entes responsables de la conservación y preservación de los activos de los sistemas industriales, luego es necesario la gestión de los recursos humanos que es la base fundamental para las actividades que deben realizarse para mantener un registro de fallas, situaciones y/o perturbaciones que pudiesen alterar el funcionamiento normal y adecuado de los diferentes sistemas y elementos, todo esto debe estar en relación con la gestión administrativa, la gerencia general y la gestión de operaciones de los sistemas industriales, estos deben tener una comunicación efectiva, iniciada mediante el liderazgo del responsable del área de mantenimiento. El responsable del área de mantenimiento, debe organizar la recolección de información relacionada con las inspecciones, revisiones, mediciones, análisis de los registros de fallas, perturbaciones y revisión de indicadores que se correspondan con la aplicación de instrumentos que conforman el **bloque C**.

La siguiente fase la constituye el **bloque D** del modelo, que corresponde a la evaluación de desempeño, cuyo resultado deberá generar las órdenes de trabajo, las actividades, acciones, tareas y proyectos relacionadas con los mantenimientos de los equipos y sistemas eléctricos.

El ciclo completo de la gestión contempla, el seguimiento y control, referenciado en el **bloque E**, definido también como, retroalimentación, que es el proceso de mejora continua para que las actividades de mantenimiento apunten hacia la eficiencia y la optimización en los sistemas eléctricos.

En cuanto al **bloque F** de comunicación, se asume la alta importancia que éste tiene en los niveles de productividad y de clima laboral en las organizaciones. No obstante, es su carácter estratégico la que puede contribuir en la consecución de metas, objetivos, y motivación del talento humano. El modelo propone propiciar canales de interactividad digitalizada mediante sistemas de información en línea (intranet) como una herramienta de integración de procesos y de gestión para apalancar las comunicaciones transversales entre todas las partes interesadas.

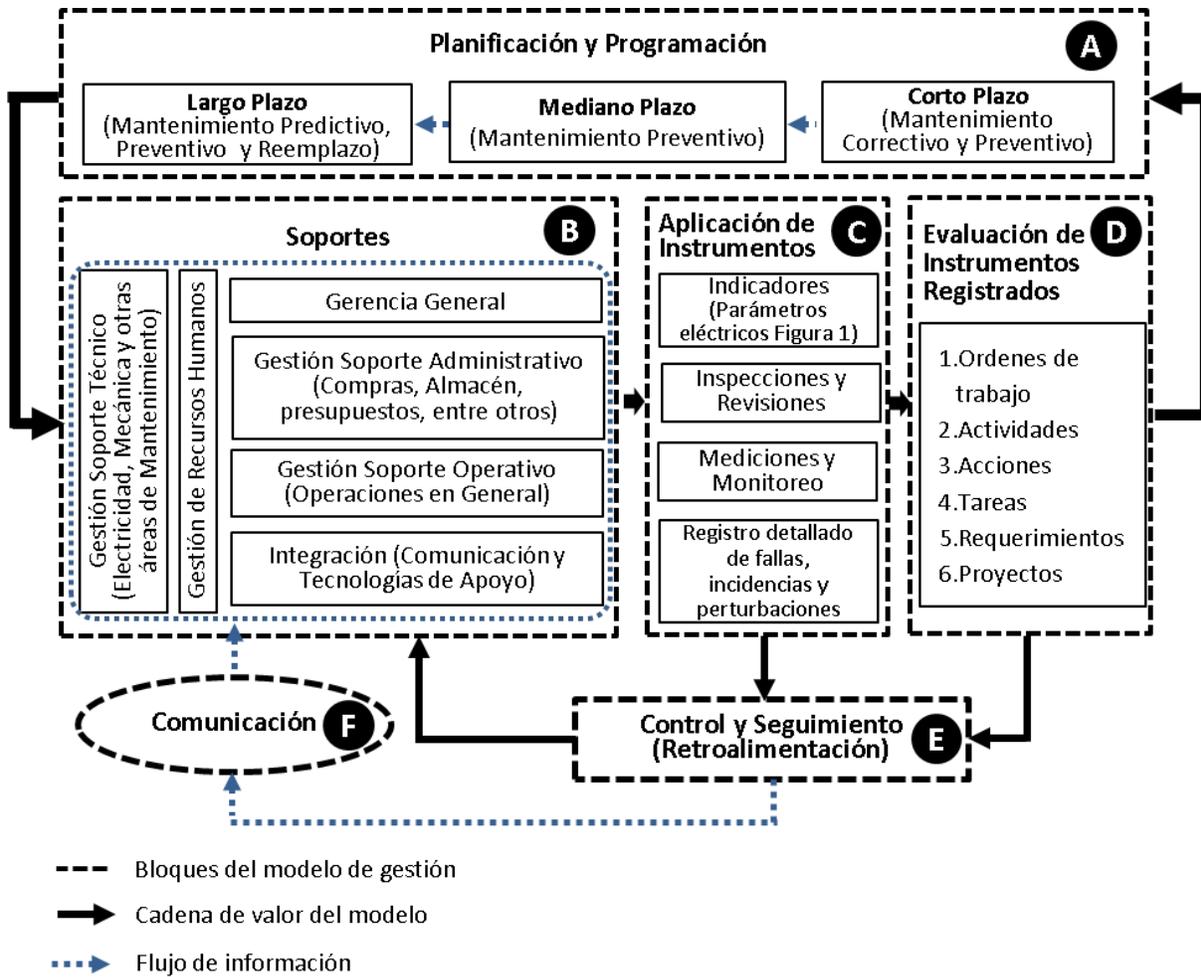


Figura 2. Propuesta de modelo de gestión de mantenimiento aplicado a los sistemas eléctricos.

CONCLUSIONES

Un modelo de gestión de mantenimiento es la clave para la optimización y eficiencia de la energía eléctrica. Mantener los parámetros eléctricos bajo los límites permisibles es una tarea que la gestión debe tener como base fundamental para la planificación y programación de las actividades que deben realizarse a corto, mediano y largo plazo.

Una de las claves para que los sistemas industriales funcionen de forma eficiente es garantizar la comunicación transversal entre todas las partes interesadas, sin embargo, las áreas de mantenimiento en la mayoría de los casos están conformados por las unidades o departamentos de electricidad y mecánica, sin dejar de lado las áreas de hidráulica, procesos, instrumentación, comunicación, entre otras. No obstante, el motor que mueve los sistemas industriales es la electricidad, motivo por el cual estratégicamente la gestión de mantenimiento debe tener énfasis en esta

área, como punto común entre las diferentes disciplinas.

Las bases fundamentales de la gestión, la constituyen: la planificación, programación, comunicación entre todas las partes interesadas, el seguimiento y control de las actividades que se ejecuten, esto último para mantener una retroalimentación sobre la efectividad e impacto de las acciones en la operación de los equipos y sistemas. La calidad y oportuna retroalimentación constituye la clave para mejorar, optimizar y mantener los planes actualizados de mantenimiento, tendientes a satisfacer todas las partes interesadas.

Los modelos de gestión de mantenimiento han sido desarrollados para minimizar las fallas, perturbaciones y aumentar la vida útil de los equipos y sistemas.

En el presente trabajo se hizo un estudio de los modelos de gestión de mantenimiento propuestos en

los últimos años y a partir del análisis de las actividades relacionadas con el mantenimiento preventivo y predictivo, así como de las mejores prácticas que distinguen los elementos claves que conforman la generalidad de los sistemas de gestión del mantenimiento, ajustados a las necesidades de los sistemas eléctricos.

El modelo propuesto tiene como base fundamental la optimización y eficiencia de la energía eléctrica, y presenta las siguientes características: (a) enfocado en procesos mediante la aplicación de instrumentos, (b) involucra a la gerencia administrativa, operacional y de recursos humanos, (c) es de tipo cíclico y da énfasis a los procesos a corto, mediano y largo plazo, (d) integra funciones organizacionales, operativas y administrativas de la organización, (e) estandariza la evaluación, el control y la mejora continua de la eficacia y eficiencia del mantenimiento, (f) propicia la generación de documentos y registros para la toma de decisiones y (g) orientado al cumplimiento de un sistema de gestión de calidad.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AENOR (ASOCIACIÓN ESPAÑOLA DE NORMALIZACIÓN Y CERTIFICACIÓN). 2000. Norma ISO 9001: 2000 Sistemas de Gestión de la Calidad.
- ANSI/NETA ATS (INTERNATIONAL ELECTRIC TESTING ASSOCIATION). 2013. Standard for acceptance testing specifications for electrical power equipment and systems, United States of America.
- AVALOS S. 2006. Armónicos en la red eléctrica: El impacto en la productividad de las empresas. Revista Electro Industria, Chile. Disponible en línea en: <http://www.emb.cl/electroindustria/articulo.mvc?xid=572&edi=7&xit=armonicos-en-la-red-electrica-el-impacto-en-la-productividad-de-las-empresas>. (Acceso 04.11.2015).
- CAMPBELL JD. 1995. Outsourcing in maintenance management: a valid alternative to self-provision. J. Qual. Maint. Eng. 1(3):18-24.
- CRESPO A. 2007. The Maintenance Management Framework. Models and Methods for Complex Systems Maintenance. Springer, USA, pp. 333
- COVENIN (COMISIÓN VENEZOLANA DE NORMAS INDUSTRIALES). 1993. Norma 3049-93. Mantenimiento Definiciones. Fondonorma, Caracas, Venezuela, pp. 20.
- IEEE-SA (IEEE STANDARDS ASSOCIATION). 1992. Standard 519-1992. IEEE Recommended practices for Harmonic Control in Electric Power Systems, USA.
- IEEE-SA (IEEE STANDARDS ASSOCIATION). 1995. Standard 1159-1995. IEEE Recommended Practice for Monitoring Electric Power Quality. Institute of Electrical and Electronics Engineers, USA.
- IEEE-SA (IEEE STANDARDS ASSOCIATION). 2000. Standard 286-2000. IEEE Recommended Practice for Measurement of Power Factor Tip-Up of Electric Machinery Stator Coil Insulation.
- ISO (SISTEMAS DE GESTIÓN DE LA CALIDAD). 2000. Estándar ISO 9001: 2000. Traducción certificada por AENOR, FONDONORMA, ICONTEC, IRAM y UNIT. Ginebra, Suiza.
- HASSANAIN MA, FROESE TM, VANIER DJ. 2001. Development of a maintenance management model based on IAI standards. Artif. Intell. Eng. 15(1):177-193.
- MPPEE (MINISTERIO DEL PODER POPULAR PARA LA ENERGÍA ELÉCTRICA). 2010. Gaceta Oficial de la República Bolivariana de Venezuela N° 39.414.
- PINTELON L, VAN WASSENHOVE L. 1990. Maintenance management tool. Omega. 18(1):59-70.
- PINTELON L, GELDERS LF. 1992. Maintenance Management Decision Making. Eur. J. Oper. Res. 58:301-317.
- SAGREDO C. 2006. Armónicos en la red eléctrica: El impacto en la productividad de las empresas. Revista Electro Industria, Chile. Disponible en línea en: <http://www.emb.cl/electroindustria/articulo.mvc?xid=572&edi=7&xit=armonicos-en-la-red-electrica-el-impacto-en-la-productividad-de-las-empresas>, (Acceso 04.11.2015).
- SÖDERHOLM P, HOLMGREN M, KLEFSJÖ BA. 2007. Process View of Maintenance and its Stakeholders. J. Qual. Maint. Eng. 13(1):19-32.