

Implementación del Mantenimiento Centrado en la confiabilidad en empresas de transmisión eléctrica

Implementation of Reliability Centered Maintenance in electrical transmission companies

Armando Díaz-Concepción^I, Leisis Villar-Ledo^I, Jesús Cabrera-Gómez^I,
Antonio Salvador Gil-Henríquez^{II}, Rafael Mata-Alonzo^{II}, Alberto J. Rodríguez Piñeiro^{III}

I. Universidad Politécnica de La Habana. Centro de Estudios en Ingeniería de Mantenimiento, CEIM. La Habana, Cuba

II. Empresa de Trasmisión Eléctrica Dominicana. Santo Domingo, República Dominicana

III. Universidad Politécnica de La Habana. Facultad de Ingeniería Mecánica. La Habana, Cuba

Correo electrónico: adiaz@ceim.cujae.edu.cu

Recibido: 5 de febrero de 2016 Aceptado: 18 de julio de 2016

Resumen

En la actualidad, el desarrollo del mantenimiento va enfocado, entre otras directivas, a optimizar costos, aumentar la disponibilidad y confiabilidad operacional, optimizar el rendimiento y aumentar el período de vida útil de los activos. El presente trabajo tuvo como objetivo diseñar una herramienta, tipo encuesta, para una empresa de transmisión eléctrica que permita conocer si es pertinente la implementación de un sistema de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad, como filosofía para la gestión del mantenimiento y determinar, si es posible realizar esta implementación en ese

momento. Se validó dicha herramienta demostrándose su confiabilidad obteniéndose un valor de 92 % en caso de la primera variable decretándose excelente y un valor de 72 % en la segunda variable considerada aceptable. Se aplicó a un caso de estudio demostrándose sus potencialidades.

Palabras claves: diagnóstico, mantenimiento centrado en la confiabilidad, encuesta, estrategias de mantenimiento.

Abstract

Actually, the development of maintenance is approach, among other directives, to optimize costs, increase availability and operational reliability, optimize performance and increase lifetime of the assets. This study aimed to design a tool, survey type, for a company electrical transmission designed to show if appropriate to implement a system Centered Maintenance Reliability, as a philosophy for maintenance management and to determine, if possible this is implemented at the time. This tool was validated

demonstrating its reliability obtaining a value of 92% for the first variable excellent decreasing and a value of 72% in the second variable considered acceptable. It was applied to a case study demonstrating your potentiality.

Key words: centered maintenance reliability, diagnostic, survey, strategy of maintenance

Introducción

El mantenimiento industrial, día a día, está rompiendo con las barreras del pasado. Hoy en la práctica, en muchas empresas, los directivos del mantenimiento tienen que pensar que es un negocio invertir en mantenimiento de activos y no ver al mantenimiento como un gasto. Esta transformación que está ocurriendo en el mundo del mantenimiento ha hecho patente la necesidad de una mejora sustancial y sostenida de los resultados operacionales y financieros de las empresas, a través de la implementación de filosofías o sistemas de organización factibles a su contexto de desempeño. [1]

Las empresas de transmisión eléctrica tienen como responsabilidad la de operar, mantener y administrar todas las redes de alta tensión, subestaciones, equipos, maquinarias, del sistema de transmisión de electricidad. Las mismas cuentan con una estructura de subestaciones, líneas eléctricas divididas en diferentes redes de transmisión y generalmente distribuidas en diferentes zonas, siendo los responsables de mantener los activos en adecuado funcionamiento la dirección de mantenimiento de infraestructura. [2]

El Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad, *Reliability Centered Maintenance*, RCM, [3] es una metodología de análisis sistemático, objetivo y documentado, aplicable a cualquier tipo de instalación industrial y muy útil para el desarrollo u optimización de un plan eficiente de mantenimiento preventivo. Es un procedimiento estructurado para determinar la política de mantenimiento más adecuada para cada activo físico de una planta industrial, atendiendo a su contexto operacional. Se usa para saber lo que debe hacerse para

asegurar que un activo físico, continúe desempeñando las funciones deseadas en su contexto operacional, basado en garantizar la seguridad y minimizar el riesgo al entorno y las vidas humanas, el impacto al medio ambiente, a la afectación a la producción así como la disminución de los costos de operación y mantenimiento.

La filosofía RCM plantea, como criterio general, el mantenimiento prioritario de los componentes considerados como críticos para el correcto funcionamiento de la instalación, dejando operar hasta su fallo a los componentes no críticos, instante en el que se aplica el correspondiente mantenimiento correctivo. Entre las herramientas del RCM se pueden citar, equipo de trabajo de la mejora continua, definición de sistemas, funciones y contextos operacionales, establecimiento y diferenciación de la criticidad, análisis de la causa raíz, documentación de hojas de decisión para las tareas de planificación [4, 5]. Lo anteriormente explicado hace propicio la implementación de esta filosofía en las empresas de transmisión eléctrica.

En el año 1998 Jordi Jaumandreu [6], expone un procedimiento a partir de encuestas para determinar la implementación estratégica en empresas, pero entre sus limitaciones están que no parte de un enfoque de procesos y solo es aplicable para empresas manufactureras. Estos elementos limitan su aplicación en esta investigación, pues las empresas de transmisión eléctrica pertenecen al área de servicios y para la aplicación de RCM se requiere un enfoque a procesos.

En el 2013 Pablo Viveros [7] presenta las bases para la implementación de un modelo de gestión de mantenimiento, el modelo toma elementos sustantivos de un RCM donde plantea la necesidad de partir de un diagnóstico, pero no deja claro los elementos para el mismo.

El objetivo de este trabajo fue diseñar una herramienta, tipo encuesta, para una empresa de transmisión eléctrica que permita conocer si es pertinente la implementación de un sistema de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad, como filosofía para la gestión del mantenimiento y determinar, si es posible realizar esta implementación en ese momento. La misma se aplicó a un caso de estudio.

El instrumento es del tipo encuesta, con dos variables de salida, compuesto por dimensiones e Indicadores. Para validar su confiabilidad se realiza a través del alfa de Cronbach, y se determina el grado de concordancia de los encuestados [8, 9].

Entre los resultados se obtuvo que es posible aplicar el RCM como filosofía de gestión de mantenimiento en este campo de investigación, sin embargo la empresa objeto de estudio, no estaba en condiciones de implementar dicha filosofía. La encuesta obtuvo un excelente resultado en su confiabilidad así como en el grado de concordancia entre los encuestados

Materiales y Métodos

Análisis de una propuesta que permita seleccionar un sistema de mantenimiento

Atendiendo a lo planteado anteriormente, se decide analizar la factibilidad de la implementación de un RCM como sistema de gestión. Para esto se necesita contar con una herramienta que permita conocer las potencialidades con que cuenta una empresa para la implementación del RCM y si se cuenta con las condiciones iniciales para su implementación. La herramienta diseñada fue del tipo encuesta [10,11].

Parámetros fundamentales del cuestionario

El diseño se realiza utilizando los criterios expresados por Hernández Sampieri R y otros en su obra Metodología de la investigación [12].

Tipo de estudio

Este estudio fue descriptivo. Se buscó especificar las propiedades importantes del fenómeno que se somete a análisis [6], en este caso, la posibilidad de implementar un RCM en empresas de transmisión eléctrica y si la organización objeto del diagnóstico estaba preparada para su implementación.

Muestra

Para seleccionar una muestra lo primero es definir la unidad de análisis, en este caso fue la posibilidad de implementar un RCM en empresas de transmisión eléctrica. La muestra fue no probabilística, ya que la elección de los elementos no dependen de la probabilidad, no es mecánico ni sujeto a fórmulas sino a causas relacionadas con las características del investigador, depende del proceso de toma de decisiones del experimentador. El tipo de muestra a seleccionar fue la de sujetos – tipos ya que es la apropiada para estudios exploratorios o en investigaciones del tipo cualitativo, como en este caso. La misma presenta las mismas características que la del tipo expertos, pero en este caso el instrumento fue ejecutado no solo sobre este nivel de especialización en los encuestados sino que también se tuvieron en cuenta otros tipos de especialistas.

Método de análisis de la encuesta

En este caso se utilizó el método desarrollado por Rensis Likert o Método de Likert [12], este consiste en un conjunto de ítems presentados en forma de afirmaciones o juicios, ante los cuales se mide la reacción de los sujetos que se le administra el instrumento.

Evaluación del cuestionario

Para el análisis de los resultados se tomaron como valores indicativos las medias de las dimensiones que representen, empleándose un rango, atendiendo a criterios valorativos de especialistas, esto no significa que los mismos sean valores preestablecidos, sino un rango que brinde un criterio de medir un comportamiento. Se tomará como:

Por debajo de 2,8 se tomará como un valor malo y la necesidad de implementar las estrategias que den respuestas a la solución de los problemas analizados.

Entre 2,81 y 3,4 es regular el estado y se corregirán las estrategias con el fin de solucionar los problemas detectados.

Mayor de 3,41 se debe detectar la existencia de algún elemento que sea factible su corrección para lograr mantener el buen funcionamiento de la organización.

La herramienta está conformada por 4 indicadores, 10 dimensiones y 50 ítems

Confiabilidad de la encuesta

En el presente caso se utilizó el método de estimación de alfa de Cronbach, la cual indica la profundidad con que los puntos del cuestionario, están interrelacionados. Además se utilizó el método Kendall para determinar acuerdo entre los entrevistados [8, 9]. Se utilizó el software Minitab V.16 para el procesamiento de los datos.

Análisis y discusión de los resultados

[En el Anexo se muestra la encuesta confeccionada](#), la misma comienza con una introducción donde se exponen las bases generales que va a recibir el encuestado, así cómo debe realizar la valoración de los elementos a evaluar.

Variables de salida o rendimiento:

- Si en la empresa de transmisión eléctrica es posible implementar un programa de mejora basado en el RCM
- Si está preparada la gerencia para su implementación en la actualidad

En la [tabla 1](#) se muestra un resumen de los elementos estructurales de la encuesta para cada indicador.

Tabla 1. Elementos para la evaluación de la encuesta

Elemento	Ítems
Indicador I: Implementación de herramientas de diagnóstico	
D 1.1: Utilización de tecnologías de Equipo de trabajo de la mejora continua	1-5.
D 1.2. Definición de sistemas, funciones y contextos operacionales	6 - 15
D 1.3. Establecimiento y diferenciación de la criticidad	16 - 22
D 1.4. Análisis de la causa raíz. (RCFA-Root Cause Failure Analysis) ACR	23 - 24
Indicador II: Condiciones de impacto	
D 2.1. Impacto a la seguridad a las personas	25 - 28
D 2.2. Impacto a la seguridad al medio ambiente	29 - 32
Indicador III: Tratamiento de la información	
D 3.1. Análisis de indicadores	33 - 39
D 3.2 Utilización de tecnologías de diagnóstico	40 - 44
Indicador IV: Tratamiento de recursos humanos	
D 4.1. Capacitación	45 - 48

Muestra

Se aplica el cuestionario a 9 especialistas con amplio tiempo de experiencia en la actividad que es objeto de estudio. En la [tabla 2](#) se muestra la selección de especialistas entrevistados.

Tabla 2. Especialistas entrevistados

Actividad	Cantidad	Especialidad	Experiencia profesional
Especialista en mantenimiento eléctrico	3	Ingenieros Eléctricos	15 años
			10 años
			9 años
Jefe de área	1	Ingenieros Eléctricos	20 años
Jefes de brigadas	2	Ingeniero Eléctrico	8 años
		Ingeniero Electro mecánico	12 años
Planificador de mantenimiento	1	Ingeniero Industrial	9 años
Mantenedores	1	Ingenieros Eléctricos	11 años
Especialista en mantenimiento industrial	1	Ingeniero Mecánico, Máster en ingeniería	27 años

Resultados de la evaluación

En la [tabla 3](#) se muestran los resultados de la recogida y evaluación de la encuesta en función de las respuestas de los 9 expertos consultados en la empresa que se escogió como campo de investigación. También se exponen los resultados de todos los indicadores y dimensiones que fueron evaluados

Variable 1: Si en las empresas de transmisión eléctrica es posible implementar un programa de mejora basado en el RCM

Tabla 3. Resultados de la variable I

Indicador/Dimensión	Valor
I. Implementación de herramientas de diagnóstico	
D 1.1._ 1, 3	3,11
D 1.2._ 7, 9, 11, 13, 15	4,36
D 1.3._16, 17, 18	4,48
D 1.4._ 23	4,33
Valor del indicador	4,07
II. Condiciones de impacto	
D 2.1._ 25, 26	4,50
D 2.2._ 29, 30	4,39
Valor del indicador	4,44
III. Tratamiento de la información	
D 3.1._ 36, 37, 38, 39	4,56
D 3.2._ 40, 41, 42	4,22
Valor del indicador	4,39
IV. Tratamiento de recursos humanos	

D 4.1._ 45, 46	3,78
D 4.2._49, 50	2,44
Valor del indicador	3,11
Valor de la variable	4,00

De estos resultados se puede concluir que en dicha entidad es factible la implementación de una RCM como metodología, el valor total de la variable es de 4,00 declarado como bueno [13], donde se debe destacar que los indicadores con peor puntuación fue el de tratamiento de recursos humanos que es declarado regular.

Variable II: Si está preparada la gerencia para su implementación en la actualidad, se obtuvieron los siguientes resultados ([ver tabla 4](#)):

Tabla 4. Resultados variable II

Indicador/Dimensión	Valor
I. Implementación de herramientas de diagnóstico	
D 1.1._ 2, 4, 5	2,07
D 1.2._6, 8, 10, 12, 14	3,00
D 1.3._ 19, 20, 21, 22	1,47
D 1.4._ 24	1,22
Valor del indicador	1,94
II. Condiciones de impacto	
D 2.2._27, 28, 31, 32	3,28
Valor del indicador	3,28
III. Tratamiento de la información	
D 3.1._ 33, 34, 35	2,19
D 3.2._ 40, 43,44	4,26
Valor del indicador	3,22
IV. Tratamiento de recursos humanos	
D 4.1._ 47, 48	2,39
D 4.2._ 49, 50	2,44
Valor del indicador	2,40
Valor de la variable	2,71

En esta variable el valor total para la empresa objeto de estudio es de 2,71 cercano al regular pero declarado de malo, mostrando que la misma no está preparada para la implementación en este momento de una filosofía de RCM. El resultado negativo en esta variable está influenciado principalmente por los indicadores implementación de herramientas de diagnóstico y tratamiento de recursos humanos, aunque de forma general todos los demás tienen evaluaciones de regular. Para poder implementar un RCM se debe trazar un programa para la mitigación de los problemas detectados para dar paso a la obtención de resultados que validen esta posibilidad.

Análisis de la confiabilidad y coeficiente de acuerdo entre los expertos

El valor total de confiabilidad del instrumento es de alfa de Cronbach = 0,9220, o sea un 92,2 % de confiabilidad declarado como excelente [9]. El análisis de la variable I arroja en cuanto a su confiabilidad fue de: alfa de Cronbach = 0,9243, declarado como excelente (92,43 % de confiabilidad), mientras que la variable

II tiene un resultado de alfa de Cronbach = 0,7574, un 75,7 % de confiabilidad. Si bien este resultado no es tan elevado como en la variable I este puede declararse como aceptable y aceptar los resultados.

En cuanto a la determinación de acuerdos entre los encuestados se utilizó el coeficiente Kendall y su prueba de significación. En la [tabla 5](#) se exponen los resultados obtenidos a partir del procesamiento de los datos de la encuesta utilizando el software Minitab V.16.

Tabla 5. Elementos del coeficiente de concordancia Kendall

Coeficiente	Chi cuadrada (Chi – Sq)	Grados de libertad (DF)	Valor P
0,817673	360,594	49	0,0000

De la tabla anterior se obtiene un coeficiente de concordancia de 0,82 aproximadamente, lo que se considera alto. Para la determinación de la significación de dicho coeficiente se utiliza la siguiente prueba de hipótesis:

H_0 : no hay acuerdo ($W = 0$)

H_1 : si hay acuerdo ($W \neq 0$)

Como el valor p de la prueba es cero, se rechaza H_0 y por tanto se concluye que hay acuerdo entre los encuestados.

Conclusiones

Se diseñó una herramienta que permitió estimar si en las empresas de transmisión eléctrica es posible la implementación de una filosofía de organización del mantenimiento basado en la confiabilidad y la posibilidad de conocer si en el momento del estudio la empresa está preparada para esa implementación.

De la aplicación se validó la pertinencia de la herramienta dado que los indicadores de confiabilidad de la encuesta son buenos y existe concordancia entre los especialistas.

Agradecimientos

Los autores agradecen al Instituto Tecnológico de Santo Domingo, INTEC, República Dominicana, el apoyo brindado en esta investigación desarrollada en la III edición de la Maestría de Ingeniería de Mantenimiento en colaboración con el Centro de Estudios en Ingeniería de Mantenimiento, CEIM, Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría, La Habana, Cuba.

Referencias

- Mora Gutiérrez A. Mantenimiento estratégico para empresas generales o de servicio. 1ra ed. ed. Medellín, Colombia: AMG; 2008. p. 30-130.
- Haaria L, Koskinen M, Hirvonen R, et al. Transmission Grid Security: A PSA Approach (Power Systems). USA: Springer; 2011.
- Palencia García O. Gestión integral de mantenimiento basada en confiabilidad. Colombia. [Citado: 20 de abril de 2015] Disponible en: <http://confiabilidad.net/articulos/gestion-integral-de-mantenimiento-basada-en-confiabilidad/>
- Deepak Prabhakar P, Jagathy Raj VP. CBM, TPM, RCM and A-RCM - A Qualitative Comparison of Maintenance Management. Revista IJMBS. 2014;4(3):5-8.
- Andevs G, Vaccaro A. Innovations in power systems reliability. 1st ed. USA: Springer; 2011. p. 185-220.
- Jaumandreu Balanzo J, Fariñas García JC. La encuesta sobre estrategias empresariales características y usos. Economía industrial. 1994 (299):109-19.
- Viveros P, Stegmaier R, Kristjanpoller F, et al. Propuesta de un modelo de gestión de mantenimiento y sus principales herramientas de apoyo. Revista Ingeniare. 2013;21(1):125-38.
- Virla M. Confiabilidad y coeficiente alpha de cronbach telos. Revista de estudios interdisciplinarios en ciencias sociales. 2010;12(2):248-52.
- Bojórquez Molina JA. Utilización del alfa de Cronbach para validar la confiabilidad de un instrumento de medición de satisfacción del estudiante en el uso del software Minitab. In: Eleventh LACCEI Latin American and Caribbean Conference for Engineering and Technology; Cancún, México: 2013. [Citado 18 de abril de 2015] Disponible en: <http://www.laccei.org/LACCEI2013-Cancun/>.
- Herrera Galán M, Duany Alfonso Y. Metodología e implementación de un programa de gestión de mantenimiento. Ingeniería Industrial. 2016;XXXVII(1):2-13.
- González Ramos AM, Fernández Palacín F, Muñoz Márquez M. Diseño de encuesta sobre las metodologías y la actividad científica de los equipos de investigación. Revista Metodología de Encuestas. 2004;6(2):133-45.
- Hernández Sampieri R, Fernández Collado C, Lucio Baptista P. Metodología de la investigación. Cuarta ed. México D.F. México: Mc Graw Hill; 2006.
- Díaz Concepción A, Pérez Rodríguez F, del Castillo Serpa A, et al. Propuesta de un modelo para el análisis de criticidad en plantas de productos biológicos. Revista Ingeniería Mecánica. 2012;15(1):34-43.

