

**RELIABLE MAINTENANCE PLAN FOR A 115 KV POWER TRANSMISSION
LINE, UNDER ADVERSE ENVIRONMENTAL CONDITIONS: CASE OF
STUDY**

**PLAN DE MANTENIMIENTO CONFIABLE PARA UNA LÍNEA DE
TRANSMISIÓN 115 KV, EN CONDICIONES AMBIENTALES ADVERSAS :
CASO ESTUDIO**

Ing. Reinaldo Rodríguez F.¹, Ing. Josmargui Meza M.¹, PhD. Rocco Tarantino A.²

¹ **Universidad del Zulia**, Departamento de Postgrado Punto Fijo, Venezuela.
Empresa Eleoccidente del Estado Falcón, Venezuela
E-mail: {reirofon, josmargui}@hotmail.com

² **Universidad de Pamplona**, Instituto de Investigación y Desarrollo de Tecnología
Aplicada. Pamplona, Colombia.
E-mail: roccot@unipamplona.edu.co.

Abstract: In this work a plan of reliable maintenance is conceived for a 115 kV the power transmission line of high voltage that interconnects the Isiro station and the station Fixed Point II, of the Eleoccidente company of the Falcon state at Venezuela Republic. In this investigation was carried out a diagnosis that provided the information required to determine the need of a systemic model maintenance plan for the transmission line, so that it allows to minimize the effects of the operational faults, achieving the quality improvement and dependability of the service required by the costumers and for the new law of the National Electric Service

Resumen: En este trabajo se concibe un plan de mantenimiento confiable para la línea de transmisión de alta tensión 115 KV que interconecta la estación Isiro y la estación Punto Fijo II, de la empresa Eleoccidente del estado Falcón. En esta investigación se realizó un diagnóstico que proporcionó la información requerida para determinar la necesidad de un modelo de plan sistémico de mantenimiento para la línea de transmisión, de forma que permita minimizar los efectos de las fallas operacionales de la misma, logrando como consecuencia mejorar la calidad y confiabilidad del servicio requerido por la población y por la nueva ley del Servicio Eléctrico Nacional.

Keywords: Plan de Mantenimiento, Análisis de Confiabilidad, Ingeniería de Mantenimiento, Monitoreo de Condición, Mantenimiento Preventivo Basado en Condición, Tiempo Promedio para Fallar (MTTF), Análisis de Criticidad, Control Estadístico, Indicadores de Gestión.

1. INTRODUCCIÓN

Estudios recientes han demostrado que la expectativa de vida útil de una línea eléctrica de alta tensión, está relacionada directamente con la condición en que se mantenga el aislante sólido, los conductores y las torres o postes de soporte, por lo que la confiabilidad operacional de una línea eléctrica debe ser el resultado de un plan sistémico basado en ingeniería de confiabilidad [1], [2], [3]. Los diferentes estudios realizados a lo largo de los últimos años, han concluido que un alto porcentaje de fallas en dichas líneas de potencia, se pueden evitar si se realiza un mantenimiento preventivo adecuado [7], [9]. Generalmente, también se considera que las diferentes pruebas a las que son sometidas estas líneas son vitales para asegurar una alta confiabilidad de las mismas durante su operación. En la actualidad, la prestación del servicio eléctrico de la línea de alta tensión 115 KV Isiro-Punto Fijo, en el Estado Falcón presenta bajos niveles de confiabilidad, producto de una serie de factores que inciden directamente en la continuidad y operatividad del sistema eléctrico.

Primero, la recesión económica que se presentó en el país (a partir del año 1983 cuando se produce la devaluación del bolívar frente al dólar), conllevó a que CADAFE y sus empresas filiales, sufrieran una reducción significativa de inversión en sus planes de expansión, actualización y mantenimiento de la estructura eléctrica (sistemas de generación, transmisión y distribución de energía eléctrica). Por otro lado, las plantas generadoras regionales de la ciudad de Punto Fijo, no generan su capacidad de diseño, siendo esto insuficiente para suplir la demanda de la Península de Paraguaná.

Segundo, el fraude o robo de electricidad de la cual es víctima la empresa CADAFE y sus filiales, no permite cubrir los costos de producción de energía eléctrica, por lo que el Estado Venezolano tiene que subsidiarlas, siendo que las pérdidas por fraude se ubican alrededor del 58 %, es decir, de 190.000 MWH en promedio que se compran a las empresas de generación, se facturan aproximadamente 80.000 MWH y se cobran alrededor de 50.000 MWH. Tercero, el hurto de materiales, sobre todo de conductor en las redes de distribución y transmisión, así como en subestaciones, lo que produce interrupciones prolongadas del servicio, además de las cuantiosas pérdidas que significa la reposición del material sustraído y los daños que sufre la infraestructura eléctrica, las cuales se ubicaron solo en el año 2003 en un monto aproximado a los 476.069.674,11 Bolívares.

Cuarto, y siendo el objetivo del presente estudio, la línea 115 KV. Isiro – Punto Fijo II tiene una frecuencia promedio para fallar de tres (3) interrupciones por mes, que ocasiona generalmente racionamiento de energía en el sistema, bien sea en el sistema Coro, cuando la línea 230 KV Planta Centro – Isiro esta fuera de servicio o en el Sistema Paraguaná, cuando no hay suficiente generación en la Península de Paraguaná.

La empresa Eleoccidente, del Estado Falcón cubre la demanda de energía eléctrica (aproximadamente 236 megavatios (MW)) a través de la línea a 230.000 voltios (230 KV) Planta Centro – Isiro (con una capacidad de transporte de 230 MW) que permite integrar la generación propia de CADAFE en el estado (Planta Coro, con una capacidad de generación instalada de 70 MW y una capacidad real de 36 MW y Planta Punto Fijo, con una capacidad instalada de 170 MW y una capacidad real de 80 MW) con el Sistema Interconectado Nacional.

Es así, como el sistema eléctrico en el estado Falcón, está conformado por dos áreas claramente definidas: el sistema Paraguaná (área de la Península de Paraguaná, con una demanda de energía de aproximadamente 136 MW) y el sistema Coro (todo el estado Falcón, sin incluir la Península de Paraguaná, con una demanda de aproximadamente 130 MW); sistemas que están interconectados entre sí a través de la línea a 115.000 voltios (115 KV.) Isiro - Punto Fijo II, que va desde la subestación Isiro en la ciudad de Coro hasta la subestación Punto Fijo II en la ciudad de Punto Fijo.

Es válido señalar, que la línea de 115 KV. Isiro – Punto Fijo II, tiene una longitud de 86 kilómetros, de los cuales 45 kilómetros aproximadamente pasan en su trayecto por el istmo de la península de Paraguaná, la cual es una zona de alta contaminación marina y salitrosa, con presencia de vientos fuertes y efectos samblasting (fuerte fricción del viento con arena sobre las estructuras de la línea: postes de concreto centrifugado, aisladores poliméricos, herraje y conductor de cobre) que permiten transportar la energía (entre 60 y 65 MW) desde la ciudad de Coro hacia la ciudad de Punto fijo o viceversa.

Con relación a los problemas antes planteados, surgió el presente estudio cuyo propósito es desarrollar un Modelo de Plan Sistémico de Mantenimiento que permita incrementar la confiabilidad de la línea 115 KV. Isiro - Punto Fijo

II, con lo cual se lograría mitigar en cierto modo la problemática actual en dicha línea, y a la vez mejorar la calidad del servicio eléctrico a los pobladores del estado Falcón.

2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La línea 115 KV Isiro – Punto Fijo II, pasa por una zona de alta contaminación marina y salitrosa, con presencia de vientos fuertes y efectos samblasting, lo que conlleva a un promedio de tres interrupciones mensuales, problema este relevante en la prestación del servicio eléctrico en el estado Falcón. Ante esta situación, la presente investigación realizó un diagnóstico que proporcionó la información requerida para determinar la necesidad de proponer un modelo de plan sistémico de mantenimiento para la línea de transmisión 115 KV Isiro Punto Fijo II, que permita minimizar los efectos de la salida fuera de servicio de la misma, para así mejorar la calidad y confiabilidad de un servicio, el cual debe ser cónsono con los requerimientos de la población y exigencias de la nueva ley del servicio eléctrico.

Partiendo del planteamiento expuesto, se formulan las siguientes bases hipotéticas en la investigación.:

¿Los últimos avances tecnológicos aplicados al mantenimiento permitirán desarrollar un modelo de plan sistémico de mantenimiento que ayude a mitigar los problemas de la línea de transmisión 115 KV. Isiro – Punto Fijo II en la empresa Eleoccidente, incrementando así sus niveles de confiabilidad?

- ¿Cómo detectar las oportunidades de mejoras entre los planes de mantenimiento actuales y el plan a proponer basado en las tendencias internacionales de mantenimiento confiable?
- ¿Cuales macroprocesos pueden constituir el plan sistémico de mantenimiento que permita incrementar la confiabilidad de la línea 115 KV. Isiro – Punto Fijo II?
- ¿De que forma los macroprocesos deben integrarse para lograr la viabilidad del plan sistémico de mantenimiento?

3. DESCRIPCION DEL PROCESO

Partes Fundamentales de un Sistema Eléctrico

El Sistema eléctrico, esta conformado por tres partes fundamentales: Generación, transmisión y distribución de electricidad [4], [5].

La Generación de Electricidad comprende la creación de energía eléctrica mediante la conversión de energía mecánica a través de máquinas rotatorias movidas por vapor geotérmico, nuclear, energía hidroeléctrica, combustibles fósiles, o turbinas de gas, siendo estas tres últimas las fuentes principales de generación de la energía que se transmite por la línea de transmisión 115 KV Isiro - Punto Fijo II.

De acuerdo a Westinghouse Electric Corporation (1986), la transmisión de energía eléctrica presenta como propósitos principales los siguientes fundamentos:

- Transmitir energía desde el lugar de generación hasta el sitio de comercialización o consumo, refiriéndose sobre todo a aspectos económicos a fin de evaluar las pérdidas por las corrientes elevadas.
- Este objetivo se cumple por medio de las líneas de transmisión que interconectan diversas áreas de la red de transmisión o entregan energía a cargas que puedan estar situadas en lugares remotos dentro del sistema eléctrico del cual forman parte principal.
- Suplir energía en masa a los centros de cargas desde las subestaciones.
- Interconectar los centros de energía, es decir, transferir energía de un sistema a otro en caso de emergencia o en respuestas a las exigencias de los picos de carga del sistema.

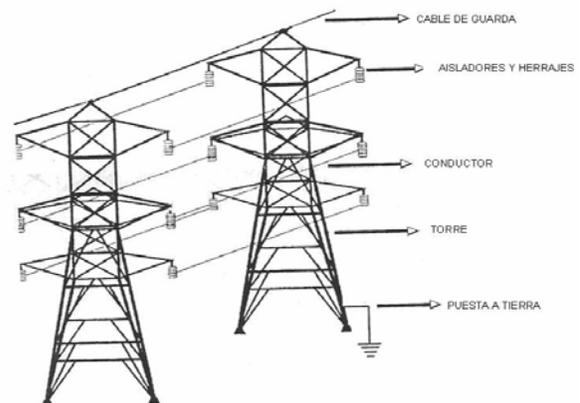


Fig. 1. Línea de Transmisión Eléctrica

Descripción de los Procesos Vitales de la Línea de Transmisión 115 KV. Isiro-Punto Fijo II

Una línea de transmisión es un conjunto de elementos que conforman un medio de transporte de la energía eléctrica, desde un punto emisor, en este caso la subestación Isiro hasta un punto receptor, es decir, la subestación Punto Fijo II, o viceversa.

Es necesario señalar, que los elementos básicos de

una línea de transmisión, son los siguientes: a) Torres o estructuras, b) Cadena de Aisladores, c) Herrajes, d) Conductor (es), e) Cables de guarda y f) Puesta a Tierra, como se muestra en la figura 1.

4. PROPUESTA DEL PLAN SISTEMICO

El plan sistémico de mantenimiento estructurado a partir del análisis de la situación actual de la línea de transmisión de energía eléctrica a 115 KV. Isiro-Punto Fijo II y de la revisión de fuentes secundarias, bibliografías [21], [22], y de vigilia tecnológica a través de Internet [29], [30], quedo integrado o conformado por cuatro macroprocesos, como se indica a continuación:

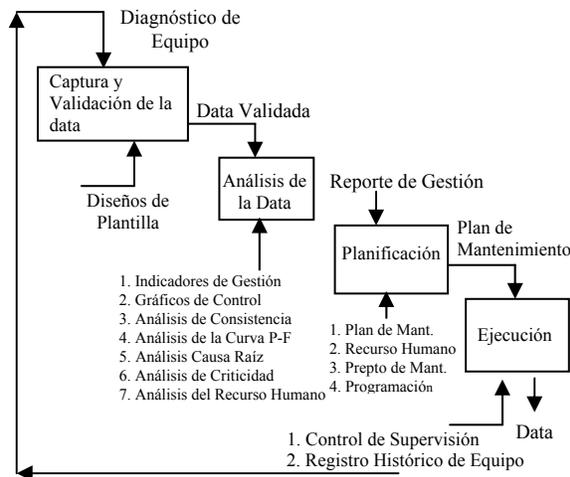


Fig. 2. Diagrama en Bloques del Plan Sistémico de Mantenimiento.

Obsérvese en la figura 2, que cada bloque representa a un macroproceso, el cual está interconectado en sus entradas y salidas.

Cada macroproceso, tiene su propia función de procesamiento, y a partir de las respectivas entradas, se obtienen las salidas, que interconectan hacia el macroproceso siguiente. Cada una de las entradas y salidas de cada macroproceso, tiene sus características de calidad. Cada funcionalidad de cada macroproceso está regida por protocolos y procedimientos que aseguran el procesamiento correcto. Al final del macroproceso de ejecución, se realiza un lazo de realimentación de la data obtenida en el reporte final de ejecución, el cual debe ser archivado en el histórico del equipo. A continuación se describe cada macroproceso:

4.1 Captura y validación de la data (Medición, Adquisición, Validación). Subprocesos:

- Captura de la data de falla, basada en medición de parámetros, inspección rutinaria, la cual será registrada en plantillas elaboradas según la información requerida.
- Monitoreo de las condiciones operacionales y de condiciones para detectar fallas potenciales, utilizando sistemas de detección y diagnóstico de fallas por medio de la inspección rutinaria.
- Evaluación del presupuesto designado para mantenimiento: Fuerza – Hombre, Repuestos, Materiales y Equipos.
- Determinación de costos asociados a las fallas: Seguridad, Ambiente, Producción, Mantenimiento.
- Inventarios de equipos vs. niveles de repuestos.
- Validación de la data capturada.

4.2 Análisis de la data. Subprocesos:

- Elaboración de Indicadores de gestión: TPF, TPR. (Experticia, transporte, repuestos, equipos), % MPBT, % MC, Disponibilidad, % MPBC.
- Elaboración de Gráficos de control estadístico. (X, R)
- Análisis de consistencia de la data
- Análisis de la Curva P-F
- Análisis Causa Raíz.
- Análisis de Criticidad de subsistemas.
- Análisis Costo-Beneficio (de soluciones).
- Análisis para determinar la eficiencia del personal.
- Análisis de optimización de la fuerza hombre.
- Análisis para la optimización del presupuesto.
- Análisis de experticia del personal.
- Reporte de gestión.

4.3 Planificación. Subprocesos:

- Elaborar Plan de mantenimiento.
- Determinación de Fuerza – Hombre disponible.
- Elaboración de Presupuesto de Mantenimiento.
- Determinar nivel de experticia del personal.
- Elaboración de la matriz de prioridad de mantenimiento.

4.4 Ejecución. Subprocesos:

- Elaboración de protocolos de Mantenimiento.
- Requerimiento de cuadrillas de trabajadores.
- Control y supervisión.
- Ejecución de la actividad de mantenimiento.
- Actualización de registro histórico del equipo / sistema.

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El plan de mantenimiento propuesto dentro del modelo sistémico está dirigido principalmente a los aisladores y herrajes, de acuerdo a análisis de criticidad en estudio de ingeniería de mantenimiento basado en confiabilidad realizado a la línea.

El modelo de plan sistémico contempla la aplicación de mantenimiento preventivo, para aquellos elementos críticos (herraje) y medianamente críticos (aisladores) de la línea y mantenimiento correctivo cuando amerite.

El plan propuesto no se centra únicamente a mejorar la disponibilidad de la línea, a través de acciones encaminadas a aumentar su confiabilidad, sino que existen otros aspectos que se toman en cuenta y que contienen suficiente capacidad para influir en los resultados globales de mantenimiento y que han sido tradicionalmente unas fuentes potenciales de puntos débiles, como son:

- Organización: carencias en la planificación, preparación de trabajos.
- Infraestructura informática: carencia de documentación para los trabajos de los equipos.
- Herramientas informáticas: básicamente para control de costos.
- Control y seguimiento: escasa dedicación al análisis y a la realimentación de resultados.

El seguimiento y análisis de los resultados que se vayan obteniendo con la implantación del plan sistémico, son tareas que resultan de capital importancia para la evaluación de su eficacia.

Una buena política para controlar y evaluar la gestión de mantenimiento en una empresa, resulta de la implantación, estudio y análisis de un sistema de indicadores, para lo cual se debe tener en cuenta que estos deben ser pocos, claros de entender y calcular y útiles para conocer rápidamente la gestión del mantenimiento.

En un mantenimiento correctivo (una reparación) si este se realiza con personal calificado y con herramientas, documentación y procedimientos prescritos, el tiempo de reparación depende de la naturaleza de la falla y de las características de diseño.

El análisis de fallas es el paso más importante en la determinación de un programa de mantenimiento óptimo y este depende del conocimiento del índice

de fallas de un equipo en cualquier momento de su vida útil, en donde juega un papel importante el llevar un óptimo registro del historial de falla del equipo.

Se recomienda implantar un programa de formación, adiestramiento y capacitación continua del personal, aunque este posee suficiente talento, el mismo no es aprovechado al máximo, no permitiendo así la optimización del mantenimiento.

En la planificación dentro del plan sistémico no se pueden obviar puntos como: determinación del personal que tendrá a su cargo el mantenimiento, lo cual incluye especialidad y cantidad del mismo; el tipo de mantenimiento que se va a llevar a cabo; la fecha y lugar donde se va a desarrollar el trabajo; el tiempo previsto en que la línea va a estar fuera de servicio, incluyendo hora en que comienzan las acciones de mantenimiento; stock de materiales y repuestos en almacén en caso de ser necesario reemplazar piezas viejas por nuevas; inventario de herramientas y equipos para cumplir el trabajo; planos, diagramas, información técnica de la línea y un plan de seguridad frente a imprevistos.

Una vez implantado el plan sistémico de mantenimiento, este debe ir perfeccionándose a través de auditorias que permitan elevar paulatinamente el nivel de gestión y enriquecer la experiencia. La implantación de modernas técnicas de administración del mantenimiento mediante sistemas computarizados será una vía para el mejoramiento del plan.

La empresa debe crear para el desarrollo del personal o recurso humano, un sistema de evaluación de desempeño y complementarlo con un programa de formación y actualización, en cuanto a las últimas técnicas y metodologías de mantenimiento, con adiestramiento continuo de manera de poner en practica las mismas; así como también un sistema de motivación, reconocimiento y recompensa que estimulen el crecimiento personal y organizacional.

Se debe aplicar e implantar un sistema de monitoreo de condición basado en termografía para los aisladores, que permita detectar a tiempo la presencia de una falla por contaminación, optimizando así los costos y prolongando la vida útil del aislador. Para ello se debe realizar un análisis costo riesgo beneficio para investigar la rentabilidad de su aplicación.

6. AGRADECIMIENTOS

Los Autores manifiestan su agradecimiento a la Universidad del Zulia, Departamento de Postgrado de Punto Fijo, Falcón Venezuela, de igual forma a la Empresa Eleoccidente de Punto Fijo, Estado Falcón Venezuela y a la Universidad de Pamplona, Norte de Santander, Colombia.

REFERENCIAS

- Avallone, E / Baumeister Theodore (1995). Manual del Ingeniero Eléctrico. Decimotercera Edición. Editorial McGraw-Hill. México.
- Boschat, W. (1972). Diseño del sistema de transmisión. Editorial McGraw-Hill. México.
- Burdano, R. (1995). Presupuesto. Editorial McGraw-Hill. México.
- Donald G. Fink / H. Wayne Beaty (1995). La transmisión de energía eléctrica por líneas aéreas. Editorial McGraw-Hill. México.
- Donald G. Fink / H. Wayne Beaty (2000). Manual de Ingeniería Eléctrica. Editorial McGraw-Hill. México.
- Méndez, C. (2002). Metodología diseño y desarrollo del proceso de investigación. Tercera Edición. Editorial McGraw-Hill. Bogotá.
- Moubrey, J. (1998). Reability Centred Maintenance. Second Edition. USA. Butterworth Heinemann. Enciclopedia Electrónica, Ingeniería y Técnica. Océano/Centurim.
- Joel, González. (1999). Tesis de Grado: Metodología de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (MCC) a los equipos de la Planta de Coquificación Retardada en el Complejo Refinador Paraguaná. PDVSA, Venezuela.
- PAR Consulting Limited. (1996). Manual de MCC "Plus" para Plantas Complejas. PDVSA, Venezuela.
- Sergio A. Castillo (1998). Tesis de Grado: Análisis de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad Plus; aplicado a las Plantas Destiladoras de Crudo CD-1 y CD-2 de la Refinería Cardón. UNEFM, Venezuela
- Walpole. Estadística para Ingenieros. 2da Edición, Editorial Limusa.
- Nava José Domingo (1992). Teoría de mantenimiento. Definición y organización. Universidad de los Andes. Consejo de publicaciones. Mérida. Venezuela.
- Ríos, A. (1999). Diseños de investigación. Editorial Trillas. Bogotá.
- Ruiz, A. (1994). Mantenimiento. Editorial McGraw-Hill. México.
- Sabino, C. (2000). El proceso de investigación. Editorial Panapo. Caracas.
- Serna, H. (2000). Gerencia, estrategia, planificación y gastos. Editorial Global S.A. (Séptima edición). Madrid.
- ARANTA (2003). Curso de ingeniería de mantenimiento basado en confiabilidad.
- Carrera, Oquendo y Tarantino (2001). Metodología para evaluar la confiabilidad en instrumentación. CRP-PDVSA. Informe técnico.
- Hydrocarbon Processing, Predictive Maintenance Example. Section: special report (2003, October).
- Tarantino, Beltrán y Gómez (2002). Confiabilidad en sistemas de automatización. Gerencia de Automatización Industrial. CRP-PDVSA.
- CIED (1998, Abril). Curso de formación Reliability-Centred Maintenance. Strategic technologies inc-aladon Ltd.
- Perozo, A. (2000). Optimización del mantenimiento industrial. Guía de estudio. Universidad del Zulia.
- Morrow, LC (1995). Manual de mantenimiento industrial. Editorial Continental. México.
- Prol, Marcos. (2000). Instrumentos del regenerador continuo de catalizador (CCR), bajo el enfoque de mantenimiento centrado en confiabilidad. Trabajo especial de grado para optar al título de ingeniero Industrial. UNEFM. Punto Fijo.

PAGINAS WEB

- www.cubaman.com
- www.gestiopolis.com
- www.solomantenimiento.com
- www.reliabilityweb.com
- www.mantenimientomundial.com