

# **MANTENIMIENTO CENTRADO EN LA CONFIABILIDAD (RCM) DEL AUTOTRANSFORMADOR DE POMASQUI230/138/13.8 kV.**

Cela Andagoya Rommel  
TRANSELECTRIC S.A.

Taco Villalba Luis  
ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

## **RESUMEN**

La aplicación del mantenimiento centrado en la confiabilidad en sistemas industriales y aeronáuticos se ha venido aplicando desde el siglo anterior obteniéndose una optimización de los recursos utilizados en el mantenimiento de cada sistema

Actualmente el MCC se esta implementando en todas las áreas donde su aplicación pueda ser realizada .incluido en la parte de subestaciones eléctricas

La aplicación del MCC en el transformador de Pomasqui ATU 230/138/13.8 kV nace en el concepto de confiabilidad de sistemas, estableciendo cuales serian las posibles causas de que el transformador saliera fuera de servicio se pudieron establecer tareas que puedan eliminar ese riesgo o reducirlo a un valor aceptable.

Dicha tarea de mantenimiento es técnicamente factible comparando las respectivas consecuencias operacionales, seguridad, medio ambiente debido a la falla (salida de servicio)

Otra pregunta a resolver fue con que frecuencia se debería realizar esta tarea de mantenimiento? Esto se lo resolvió utilizando indicadores de confiabilidad

procesando la estadística disponible de los equipos que integran el Sistema Nacional de Transmisión (SNT).

## **OBJETIVO**

El objetivo es establecer un plan de mantenimiento efectivo y eficiente para el autotransformador de Pomasqui 230/138/13.8 kV. Además establecer el ciclo optimo del mantenimiento multianual, que determine acciones a realizar para lograr la máxima disponibilidad del sistema de transmisión y ayude ha establecer pautas para el mantenimiento. Adoptar una función de costos que rijas el mantenimiento centrado en la confiabilidad.

## **METODOLOGÍA**

La metodología empleada para lograr los objetivos propuestos fue el RCM la cual nos permite saber cuando, donde y como se debe realizar el mantenimiento en un equipo o sistema, con el objetivo primordial de que siga cumpliendo con sus funciones o estándares de ejecución determinados para el equipo.

Para obtener el periodo del mantenimiento multianual se empleo un modelo basado en maximizar la disponibilidad del sistema y en minimizar los costos para alcanzar dicha disponibilidad partir de la obtención de los costos que acarrearía una falla severa en el

transformador y los costos de un mantenimiento que ocasione la salida de servicio del mismo.

La clave para determinar el intervalo de mantenimiento multianual consiste en encontrar un punto óptimo que de cómo resultado el mínimo costo operativo y de mantenimiento.

## RESULTADOS

Con la implantación del RCM se logro establecer tareas de mantenimiento que sirvan como medida para evitar o disminuir el riesgo de los modos de falla encontrados, esto sin duda ayuda en el aumento de la confiabilidad del servicio eléctrico.

El conocer que el transformador de Pomasqui actualmente tiene un sobre mantenimiento y la posible optimización de los recursos generado por los nuevos ciclos o periodos de las rutinas de mantenimiento nos señalan la conveniencia de la aplicación del RCM.

En cuento al análisis económico la reducción de 3 a 2 mantenimientos multianuales nos permite reducir los costos por mantenimiento multianual en un 33 %

## CONCLUSIONES

Se ha constatado que el Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM) es una metodología muy compleja y poderosa utilizada en la determinación de planes de mantenimiento. Compleja debido a que se necesita tener un profundo conocimiento del sistema o ítem ha analizar; poderosa porque bien manejada y aplicada con las correctas herramientas, los resultados son muy satisfactorios, principalmente cuando una empresa quiere optimizar los recursos empleados para el mantenimiento. Su aplicación debe estar destinada a los equipos más críticos del SNT.

Se ha verificado que para optimizar los recursos de mantenimiento a parte de la aplicación de un plan de mantenimiento efectivo y eficiente, es necesario que la estructura del mantenimiento este claramente definido dentro de un proceso organizativo. Este proceso debe enfocarse en el procesamiento de las novedades presentadas en el Sistema Nacional de

Transmisión, mediante un análisis de criticidad y riesgos para el sistema, esto ayudara a la futura aplicación del RCM en los demás transformadores y equipo primario del SNT; seguido por la programación de las actividades de mantenimiento dependiendo del tipo de novedad que surja. El proceso debe ser auditado y normado de acuerdo ha estándares internacionales de calidad como por ejemplo la ISO 9001 u otras alternativas.

Se ha visto que el plan de mantenimiento propuesto en este trabajo tiene su principal enfoque en que el sistema *Suministro de Energía por medio del autotransformador de Pomasqui* siga cumpliendo con las funciones o estándares de ejecución encontradas, esto es una gran ventaja debido a que con esto, se esta garantizando una alta confiabilidad simplemente previniendo las posibles fallas que se puedan presentar. Es decir obtener las funciones, fallas funcionales, modos de falla del sistema descrito, no es más que un análisis de confiabilidad cualitativo, el cual es cuantificado mediante la obtención de las consecuencias de falla.

De la experiencia acumulada en este trabajo se puede establecer un modelo de mantenimiento centrado en la confiabilidad que aplique a los transformadores del Sistema Nacional de Transmisión según su tipología es decir transformadores con condiciones operativas, régimen operativo y de mantenimiento semejantes. El agrupamiento de los transformadores ayudaría en el manejo de una base de datos mucho más amplia, con lo cual el análisis estadístico se facilita.

## INTRODUCCIÓN

### PRESENTACIÓN DEL PROBLEMA

Uno de los costos más importantes para las empresas de transmisión son los relacionados con el mantenimiento, debido a este motivo nace la necesidad de que el mantenimiento de los activos de estas empresas sean manejados con mayor análisis.

Es por eso que los profesionales envueltos en las áreas operativas, dentro de la Transmisión de Energía Eléctrica, desean por razones obvias que sus activos se encuentren en estado de disponibilidad durante tanto tiempo como sea posible.

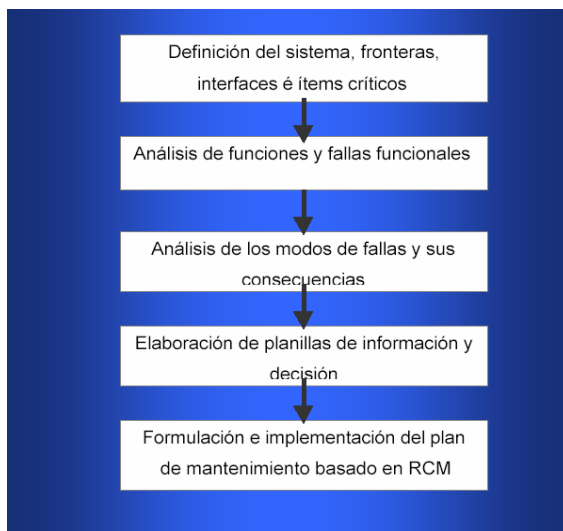
las fallas, sus efectos y posibles consecuencias.

- ✓ Seleccionar las tareas de mantenimiento desde un punto de vista técnico-económico
- ✓ Planificar las tareas de mantenimiento bajo los criterios de confiabilidad.
- ✓ Optimizar el ciclo de mantenimiento multianual.

## LAS 7 PREGUNTAS DEL RCM

El proceso RCM proporciona siete preguntas que se deben efectuar respecto al equipo seleccionado:

- ✓ ¿Cuáles son las funciones y patrones de desempeño del equipo en su contexto operacional actual?
- ✓ ¿De que forma el equipo falla al cumplir sus funciones?
- ✓ ¿Qué ocasiona cada falla funcional?
- ✓ ¿Qué consecuencias genera cada falla?
- ✓ ¿Qué puede ser hecho para predecir o prevenir cada falla?
- ✓ ¿Qué debe ser hecho si no fuese encontrada una tarea pro-activa apropiada?
- ✓ ¿Quien puede realizar estas rutinas de mantenimiento?



**FIGURA 1** Proceso del RCM

## HERRAMIENTAS CLAVES

El AMFE (Análisis de los Modos de Fallas y sus Efectos), es un procedimiento usado para efectuar un análisis de cómo un ítem puede fallar enumerando todas los posibles

modos de falla, y todos los grados de reacciones adversas que resultan de tales fallas así analizadas. Es una técnica para mejorar la confiabilidad de un activo con la indicación del procedimiento para atenuar el efecto de una falla. Las fallas pueden ser divididas conforme a su gravedad y normalmente son clasificadas como:

- Muy críticas (catastróficas)
- Críticas
- Moderadas
- Leves

A partir de esta herramienta se permite identificar los efectos y consecuencias de la ocurrencia de cada modo de falla en su contexto operacional y no operacional, por lo tanto, se obtienen respuestas a las primeras cinco preguntas del RCM.

Una planilla del análisis de modos de falla y sus efectos, puede incluir aspectos como el personal y las áreas involucradas en el estudio, además de la fecha de inicio y la identificación del sistema o subsistema al cual se le este aplicando la metodología.

Otra herramienta utilizada es la planilla de decisión, la cual permite seleccionar de una forma óptima las actividades de mantenimiento según la filosofía del RCM. La respuesta para cada pregunta se va llenando en dieciséis columnas dentro de esta planilla. Las columnas F, FF, MF se refieren a información de referencia e identifican la función, falla funcional y el modo de falla generada anteriormente por el AMFE. Esa información se vuelca aquí para relacionar el AMFE con la plantilla de decisión.

## METODOLOGÍA PARA LA APLICACIÓN DEL RCM

El proceso consiste en una serie ordenada y lógica de pasos sistemáticamente orientados a identificar las funciones de los equipos, sus fallas funcionales, los modos y causas de fallas dominantes y sus efectos.

Para cada posible modo de falla encontrado, se evaluó el riesgo y vulnerabilidad generada al sistema, De acuerdo al nivel de riesgo se pudo conocer la criticidad de la falla y el nivel de atención necesario. También se analizo el riesgo residual después de ejecutar el plan de mantenimiento actual, con lo cual se pueden establecer valores de aceptabilidad, esto nos permite conocer que medidas deben ser mantenidas, implementadas y retiradas del plan de mantenimiento propuesto.

En la actualidad, el plan de mantenimiento para transformadores se ha venido realizado de acuerdo a la experiencia de las personas encargadas para ello, en base a lo mencionado un plan de mantenimiento el cual establezca tareas de un punto de vista eficaz con un periodo de realización que pueda brindar una alta confiabilidad al sistema suministro de energía eléctrica se hace necesario, el RCM permite conseguir estos objetivos en base a un análisis de confiabilidad incluido dentro de el análisis de modos de falla y sus efectos, además de la frecuencia de las tareas seleccionadas de acuerdo a los históricos obtenidos de los últimos 6 años.

Teóricamente, es posible lograr una continuidad de servicio perfecta, es decir, alta disponibilidad, donde el cliente no sea afectado, la empresa no tenga que pagar compensaciones, ni deje de suministrar energía, pero esto solamente a un costo infinito, asociado a la cantidad de mantenimiento (ciclo) y a las inversiones por confiabilidad que sean necesarias.

Esto nos conduce al concepto de mantenimiento, en donde se incluyen todas la tareas que realiza la empresa para conservar el activo en el estado disponible, o para recuperarlo de su estado de indisponibilidad, para esto se han establecido varias actividades de mantenimiento que pueden ir desde tareas diarias que no ocasionen restricción del servicio, hasta tareas que se realizan cada 8 años con restricción de servicio, según las rutinas de mantenimiento establecidas por Compañía Nacional de Transmisión S.A. (TRANSELECTRIC) para todas sus instalaciones.

Algunas de estas tareas son exigidas o sugeridas por el fabricante sin embargo la experiencia nos indica, que esas tareas, generalmente no bastan para garantizar la disponibilidad de los activos, por lo cual, a partir de ahí, es necesario realizar otras tareas adicionales para recuperar la funcionalidad.

El mantenimiento no solo se puede ver desde el punto de vista técnico o desde el punto de vista económico. El criterio para seleccionar cuándo, dónde y cómo debe realizarse, tiene que ser un juicio que reúna ambos parámetros, ya que la empresa tiene que pagar las labores de

mantenimiento y las pérdidas económicas que la falla o ausencia de esta acarrea. Por esto el costo total para la empresa será la suma del costo de mantenimiento y el costo que tienen las fallas.

Este trabajo esta orientado al problema de continuidad de suministro que forma parte del concepto más general de la confiabilidad del servicio. En el desarrollo de este trabajo, entenderemos por confiabilidad, la continuidad del suministro. La confiabilidad del servicio de energía eléctrica, medida a través de índices de desempeño, tiene dos orientaciones: el registro de eventos pasados y la predicción de la confiabilidad.

Cuando se analiza los equipos más críticos de una subestación eléctrica dentro de los importantes se halla el transformador de potencia, esto se debe principalmente a su costo y que la indisponibilidad del mismo, ocasiona casi de forma segura interrupción del servicio de energía eléctrica, originando graves pérdidas económicas, políticas y sociales para el país.

Debido a la importancia de los transformadores de potencia para el Sistema Nacional Interconectado se debe evitar al máximo las fallas en el mismo, es por eso la necesidad de implantar un plan de mantenimiento que logre aumentar al máximo la confiabilidad manteniendo los bajos costos del mantenimiento.

En el plan de mantenimiento se incluyen los siguientes aspectos: tareas o actividades de mantenimiento, periodo con el cual van ha ser realizadas y el personal que ejecutara tales actividades; los dos primeros aspectos son estudiados a profundidad en el trabajo presentado , pero el tercer punto depende principalmente de la empresa encargada de realizar mantenimiento, la cual puede ser la propia empresa de transmisión o empresas contratadas especialmente para llevar a cabo estas tareas.

Todo el proceso de análisis se hará a partir de la metodología presentada por el Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM) y su respectiva aplicación al autotransformador ATU 230/138 kV ubicado en la subestación Pomasqui perteneciente a TRANSELECTRIC.

## **OBJETIVOS Y ALCANCES DEL TRABAJO**

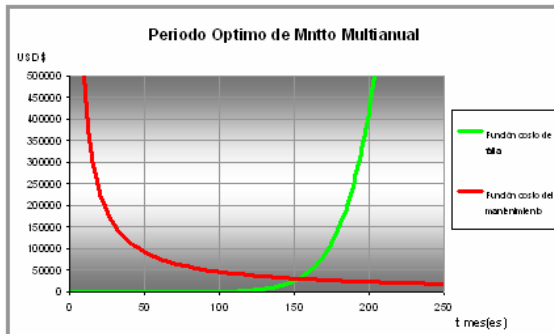
- ✓ Realizar un diagnóstico general de la situación actual del autotransformador, como es componentes, las causas potenciales de

La frecuencia con la que deben ser realizadas las tareas de mantenimiento, se obtuvo mediante indicadores de confiabilidad. Generados a partir del procesamiento de los datos estadísticos disponibles de fallas del SNT, durante el periodo 1999-2005, clasificándolas de acuerdo a los modos de falla encontrados.

Dichos indicadores son: el tiempo medio entre fallas similares MTTF y el tiempo entre fallas más probable TTFmp, determinado por medio de una distribución probabilística.

### PERIODO DEL MANTENIMIENTO MULTIANUAL

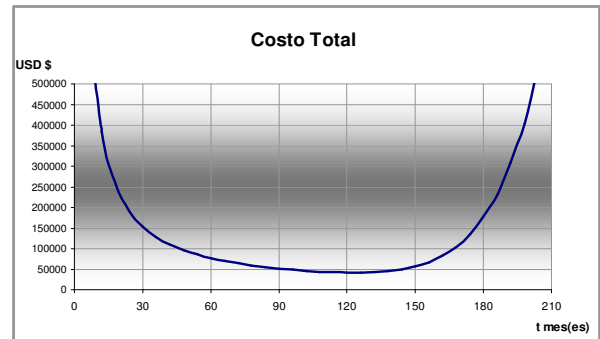
En el mantenimiento multianual se incluyen tareas de mantenimiento que necesariamente para poder realizarlas, se necesita la salida de servicio del autotransformador, es por eso la importancia de saber optimizar este tipo de mantenimiento que ayudan a mejorar la confiabilidad del sistema pero que también ocasionan importantes costos económicos a las empresas cuando su periodicidad es muy corta.



**FIGURA 2** Curva costo de falla vs costo mantenimiento

Para resolver este problema se va utilizar la ecuación del mínimo costo para el mantenimiento, esta se base principalmente en hallar la función costo de falla y la función costo del mantenimiento, la suma de las dos funciones determina la función costo total para la empresa cuyo valor mínimo establece el punto óptimo para realizar el mantenimiento multianual en base a un criterio técnico-económico. Entonces el costo total se halla mediante la siguiente ecuación:

$$CT_{(t)} = CF_{(t)} + CM_{(t)}$$



**FIGURA 3** Curva costo total

Donde

- $CT_{(t)}$ : Función costo total
- $CF_{(t)}$ : Función costo de falla
- $CM_{(t)}$ : Función costo de mantenimiento

En conclusión el método utiliza la experiencia acumulada durante la operación y el mantenimiento del equipamiento para determinar, por una parte, la criticidad de las fallas (probabilidad, severidad, etc.) y, por otra, la definición de las tareas de mantenimiento más eficaces y el ajuste de las frecuencias de realización de las mismas.

### BIOGRAFIA

Ing Rommel Cela, graduado en la ESCUELA POLITECNICA NACIONAL con el título de Ingeniero Eléctrico en el 2005. Realizo las pasantías y tesis de grado en TRANSELECTRIC SA.

Actualmente trabaja en la compañía SMARTPRO SA, en donde colaboro en la parte eléctrica de proyectos como: "Ingeniería de detalle de la Plataforma LA CONCORDIA" perteneciente a Occidental, "Instalación de bomba de agua en Daimi A" y "Tendido de cable 1/0 AWG entre Iro A e Ira 1" perteneciente a Repsol YPF

### BIBLIOGRAFÍA

- Sae-Ja1011, "Evaluation Criteria For Reliability-Centered Maintenance Processes", Agosto 1999.
- Parra, Carlos, "Indices Técnicos De La Gestión Del Mantenimiento", Presentación Pdvs, 2003.

- Johnston, Donald, "Plausible Reasoning Theory In Reliability-Centered Maintenance Analysis", Simposio Anual De Confiabilidad Y Mantenibilidad, 2002.
- Comision De Integración Energetica Regional (Cier), "Mantenimiento De Sistemas De Distribución", Módulos 1-2-3-4, 2004.
- Universidad Austral, "Planificación Y Control Del Mantenimiento", Módulo 6-Clase 1, 2005.
- Cenace, "Normalización Para El Registro De Fallas Y Mantenimientos E Implantación De Indicadores De Confiabilidad En Generación, Transmisión Y Distribución", Diciembre 2002.
- Patriota De Siqueira, Iony, "La Frecuencia Del Mantenimiento Centrado En La Confiabilidad", Seminario Internacional De Mantenimiento Y Servicios Asociados En Sistemas Electricos, Agosto 2003.
- Henry Bernal-Andres Castro, "Modelo Optimo De Mantenimiento Centrado En La Confiabilidad Para Redes De Distribución De Energia", Seminario Internacional De Mantenimiento Y Servicios Asociados En Sistemas Electricos, Agosto 2003.
- Transelectric, "Proceso Ges-Codificación De Las Actividades De Mantenimiento", 2005.
- Siemens, "Manual Del Autotransformador Atu 230/138 Kv De La S/E Pomasqui", 2003.
- Gaudino, Gabriel, "Estrategia De Mantenimiento Aplicada Al Equipamiento De Subestaciones", Seminario Internacional De Mantenimiento Y Servicios Asociados En Sistemas Electricos, Agosto 2003.
- Wang, Zhenyuan, "Artificial Intellegent Applications In The Diagnosis Of Power Transformer Incipient Faults", 2000.
- Nachlas, Joel A., "Confiabilidad-Mantenimiento-Mantenibilidad", Monografías, 1995.
- Bartley, William H., "Analysis Of Transformer Failures", Proccedings Of The Sixty Ninth Annual International Conference Of Doble Clients, Abril 2000.
- Conelec, "Procedimientos Del Mercado Electrico Mayorista, Versión 2.0, 2003.
- Woodcock, Davis J., "Developing Risk-Based Strategies And Decision Models For Improved Systems Reliability", Weidmann –Acti 3<sup>Rd</sup> Annual Technical Conference, 2004.
- Ersp, "Reglamento De Operación", Panama, Agosto 1998.
- Osaka Transformer Co., "Instructions For Maintenance And Inspection Of Transformer", 1998.