



**XXI SNTPEE
SEMINÁRIO NACIONAL
DE PRODUÇÃO E
TRANSMISSÃO DE
ENERGIA ELÉTRICA**

Versão 1.0
23 a 26 de Outubro de 2011
Florianópolis - SC

Grupo Estudio de Aspectos Técnicos y Gerenciales de Mantenimiento – GMI

Sistema de Monitoreo de Disyuntores de la SE Río Verde – Un Análisis de la Funcionalidad y del Desempeño

Daniel C. P. Araujo*

Marcos E. G. Alves

Fernando Alves Ribeiro

Treetech Sistemas Digitais Ltda.

Treetech Sistemas Digitais Ltda.

Furnas Centrais Elétricas S/A

**UFMG – Universidad Federal de
Minas Gerais**

RESUMEN

El actual escenario de los mercados de energía eléctrica en Brasil y en el mundo hizo con que las empresas del sector operaran en un contexto de alta competitividad, induciendo a una búsqueda constante por mayor eficiencia, mejor calidad de suministro y menores costos. Siguiendo esa tendencia general, ha ocurrido una migración del mantenimiento preventivo para el mantenimiento predictivo, lo que solo es posible a través de sistemas de monitoreo online.

En esas circunstancias, los disyuntores, equipos responsables por el accionamiento eléctrico de líneas de transmisión, transformadores, reactores y otros equipos en las subestaciones, también están siendo monitoreados. El sistema de monitoreo de disyuntores permite, local o por control remoto y en tiempo real, suministrar informaciones precisas al personal de mantenimiento sobre el estado de los disyuntores, minimizando los riesgos de fallas y el costo de mantenimiento.

Un análisis práctico del desempeño de ese sistema es relatado en este artículo, donde se muestran los tipos de diagnóstico, sus objetivos y los tipos de fallas que ellos pueden prevenir o, caso sucedan súbitamente, ayudar a diagnosticar la causa de esas fallas. De esa forma futuras medidas preventivas podrán ser utilizadas. En esa línea de raciocinio, la utilización del monitoreo puede mostrar una nueva gama de abordajes para problemas antes desconocidos o tratados taxonómicamente como un mismo tipo de falla.

PALABRAS CLAVE: Disyuntores, Monitoreo, Mantenimiento Predictivo, Sistemas de Diagnóstico, Sistemas Online.

1.0 - INTRODUCCIÓN

Durante mucho tiempo, la integridad de los equipos en las subestaciones y usinas dependía del mantenimiento preventivo. Actualmente las empresas de energía y las industrias conviven con reducidos equipos de ingeniería de mantenimiento, y se hace necesario el desarrollo de herramientas que auxilien en el proceso de toma de decisión para una precisa intervención.

Una de esas herramientas es la implantación de un programa de mantenimiento predictivo en equipos de alta tensión basado en la condición de operación de esos equipos (1). En ese paradigma, los disyuntores asumen gran importancia, ya que son responsables por la seguridad del sistema eléctrico en el caso de faltas. Eso sumado a su natural importancia como dispositivo de maniobra.

Las prácticas de mantenimiento actualmente adoptadas se basan en intervalos de tiempos fijos o en la cantidad de maniobras realizadas, indicadas a través de los contadores de operación (2). El mantenimiento, antes basado en el tiempo, ahora pasa a considerar el estado del equipo. El surgimiento de sistemas que permiten la organización, el almacenamiento, la visualización y la interpretación de datos importantes para el mantenimiento hizo con que ese cambio de paradigma fuera posible. Esos sistemas permiten una operación segura de los equipos y provee los elementos necesarios para las actuales exigencias del mantenimiento basado en el estado.

La Tabla 1 presenta un breve comparativo entre las filosofías de mantenimiento basadas en el tiempo y en el estado.

(*) Rua José Alvim, 100 – Centro – Atibaia – São Paulo – Brasil
Email: carrijo@cpdee.ufmg.com.br

Tabla 1 – Comparativo entre las filosofías de monitoreo.

Mantenimiento por Tiempo	Mantenimiento por Estado
Exige inspección preliminar del equipo, para levantar el estado del disyuntor.	Principales indicadores del estado del disyuntor obtenidos online.
Posible realización de ensayos y pruebas desnecesarios.	Intervención precisa. El mantenimiento actúa solamente donde realmente es necesario. Evita la inserción de nuevas fallas. Reducción de costos y paralizaciones desnecesarias.
Posibilidad de que el mantenimiento ocurra cuando el equipo ya se encuentre deteriorado.	El disyuntor no deja de recibir mantenimiento cuando es necesario.
Fácil planificación del mantenimiento.	Auxilia en las planificaciones y en los procedimientos de mantenimiento, agregando valor a los análisis de desempeño, confiabilidad y fallas.
Técnica consagrada.	Proporciona aumento de la confiabilidad y seguridad del sistema eléctrico. Posibilita la anticipación o prevención de la reconfiguración del sistema eléctrico de potencia.
No aprovecha el potencial del activo de forma integral.	Con el mantenimiento adecuado se aumentan las chances de extensión de la vida útil del equipo.

Apenas como ejemplo, algunas señales que pueden ser monitoreadas para la detección del mal funcionamiento de componentes del disyuntor, tales como tiempos de apertura y cierre del disyuntor, presión del gas SF₆, tiempo de operación de la bomba, fueron citadas en la literatura (3). Al hacer un análisis de esas señales y comparando con el rango de valores especificado por los fabricantes, se pueden detectar defectos incipientes en el disyuntor y clasificarlos como siendo de origen mecánico, eléctrico considerando los circuitos principales o en los circuitos de control y auxiliares.

Esa es la idea por atrás del sistema de diagnóstico basado en reglas.

2.0 - EL DISYUNTOR – FUNCIONAMIENTO Y MODOS DE FALLA

2.1 Breve descripción del funcionamiento del disyuntor

Los disyuntores son dispositivos de cierre eléctrico que deben ser capaces de conducir, interrumpir y establecer corrientes de las redes de energía eléctrica, incluyendo las altas corrientes de falta (cortocircuito) (4).

Ellos son constituidos por unidades interruptoras, también llamadas de cámaras de extinción, que es donde ocurre la extinción del arco voltaico producido durante la interrupción de corriente, y pueden ser de diversas tecnologías. Poseen un sistema de accionamiento o mecanismo de operación que es el subconjunto constituido de componentes que posibilitan el almacenamiento de la energía necesaria para la operación mecánica del disyuntor, así como para la liberación de esa energía a través de mecanismos apropiados, cuando enviado su comando de apertura y cierre, y por fin una unidad de comando, que es constituida por los elementos de comando, control y supervisión del disyuntor.

2.2 Modos de falla conocidos de los disyuntores

Con el objetivo de identificar las causas más comunes de fallas en los disyuntores, algunas pesquisas fueron realizadas por Cigre (5). La primera de esas pesquisas fue realizada entre los años 1974 y 1977, a partir de una base de datos obtenida de observaciones realizadas en 20.000 disyuntores con tensión arriba de 63 kV.

Los resultados de esa pesquisa mostraron que 70% de las fallas más frecuentes en disyuntores tienen como origen factores mecánicos, 19% son relacionadas a los circuitos de control y auxiliares y 11% a factores eléctricos del circuito principal.

El resumen de los resultados de la segunda pesquisa realizada por Cigre en el período de 1988 a 1991 en 18.000 disyuntores a SF₆ para tensiones arriba de 63 kV es presentado en la Tabla 2, publicado en el guía IEEE Std.C37.10-1995 (6) y aquí transcrito.

Se trata de un procedimiento para la investigación de diagnósticos y fallas en disyuntores, proporcionando una visión general de los componentes en los disyuntores responsables por las fallas más frecuentes.

Tabla 2 – Estadística de causas de fallas en disyuntores (6).

Mecanismos de operación	43 – 44%
Sistema hidráulico, bombas, compresores y afines	13,6-18,7%
Acumuladores de energía	7,2-7,6%
Elementos de control	9,3-11,6%
Actuadores, dispositivos de amortiguamiento	5,1-8,9%
Transmisión mecánica	1,4-3,8%
Componentes de alta tensión	21-31%
Interruptores	9,4-14%
Interruptores auxiliares y resistores	0,6-1,3%
Aislamiento	5,7-20,9%
Circuitos de control y auxiliares	20-29%
Circuitos de cierre y abertura	1,5-10%
Contactos auxiliares	2,1-7,4%
Contactores, calentadores y afines	5,4-7,6%
Monitores de densidad del gas SF6	4,0-10,7%
Otras Causas	5,4-6,8%

Los resultados obtenidos en esas pesquisas nos permiten concluir que la mayoría de las fallas en los disyuntores está asociada a los componentes del mecanismo de operación de los disyuntores, en un segundo índice a los componentes de alta tensión y en último grado a los circuitos de control (7).

El objetivo del monitoreo online es precaver de problemas derivados de los puntos presentados en la Tabla 2.

3.0 - LA ESPECIFICACIÓN BÁSICA DEL SISTEMA DE MONITOREO DE DISYUNTORES ADOPTADA EN LA SE RÍO VERDE

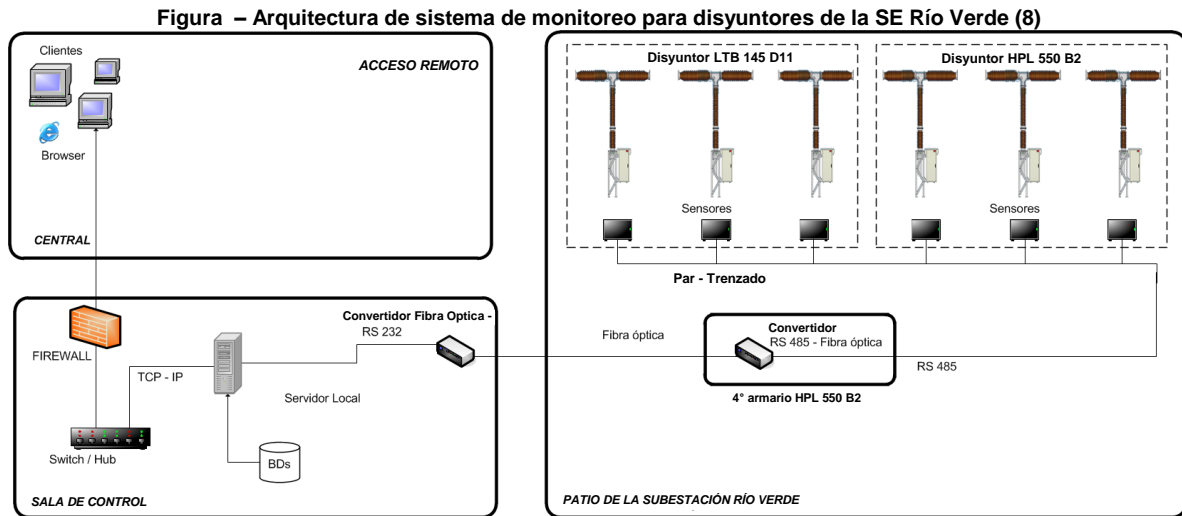
El Sistema de Monitoreo de Disyuntores instalado en la SE Río Verde es una herramienta para la ingeniería de mantenimiento que efectúa la adquisición, el almacenamiento y el tratamiento de las mediciones efectuadas en los equipos monitoreados, generando diagnósticos y pronósticos de eventuales problemas que podrán ocasionar interrupciones en el suministro de energía eléctrica (8).

Entre los varios análisis de ese sistema de monitoreo, citamos los considerados más importantes en ese proyecto:

- El rápido diagnóstico del estado actual del equipo, de modo a fornecer subsidios a la toma de decisión cuanto a la operación o no del disyuntor, ayudando así a preservarlo no solo a él mismo, cuanto al equipo que él está energizando.
- El pronóstico precoz de condiciones de falla antes de su operación, de manera a aumentar la disponibilidad del sistema y posibilitar la parada del equipo apenas cuando sea necesario para acciones correctivas o no ponerlo en el sistema para evitar dañarlo.
- El monitoreo de las condiciones de operación del equipo a lo largo de toda su vida, para mantener los equipos disponibles para operación, además del control de equipos en final de vida útil.
- Acceso rápido a las informaciones del estado de los equipos a través de la red intranet de Furnas, facilitando el acceso a todas las informaciones del equipo.
- Posibilidad de integración con los demás sistemas de monitoreo y de administración de mantenimiento de la empresa.
- La integración de la administración del mantenimiento y la reducción de sus costos.
- El monitoreo de varios tipos de disyuntores.
- La administración de inversiones y la negociación de premios de seguros.
- Preservación del imagen corporativo.

3.1 Arquitectura del sistema de monitoreo

La arquitectura utilizada en la red de sensoriamiento es mostrada en la Figura .



Las principales variables obtenidas por el sensoriamiento del sistema de monitoreo son mostradas en la Tabla 3:

Tabla 3 – Principales variables obtenidas por el sistema de monitoreo (8)

Variables de Adquisición Continua	Variables de Adquisición Disparada por Maniobra
Densidad y presión del gas SF6	Movimiento del contacto principal
Temperatura ambiente	Corriente interrumpida
Continuidad de las bobinas de apertura y cierre	Tiempos de operación
Posición de los contactos auxiliares del disyuntor	Número de operaciones
Número de partidas del motor	
Autodiagnóstico del sistema	
Tensiones AC y DC	
Supervisión de los sensores	

Como podemos observar por la Figura , para que todo el sistema sea funcional, existen etapas sucesivas en la adquisición de los datos para que ellos puedan ser utilizados en las reglas de monitoreo.

- 1^{er} Etapa: el sensoriamiento de campo es responsable por la adquisición de todas las variables en el sistema de monitoreo de disyuntores, durante operaciones de apertura y cierre, carga de muelles, motor y variables que puedan ser obtenidas sin que haya operación, por ejemplo, la presión del gas SF6.
- 2^a Etapa: los datos obtenidos son transferidos para el software localizado en el servidor de monitoreo donde son efectuados todos los cálculos necesarios para que esas informaciones sean exhibidas al usuario. Todos esos datos son gravados en el banco de datos SQL Server instalado en el servidor de monitoreo después de esa etapa.
- 3^{er} Etapa: ese banco de datos SQL Server del OLM Explorer es leído por el sistema de monitoreo de disyuntores, a cada nuevo registro incluido, efectuando así todas las comparaciones y los cálculos necesarios para que el resultado de las reglas de monitoreo sean exhibidas a los usuarios.

Después de esa etapa, en el caso de alguna alarma ser detectada, la información será mostrada en la página Web del sistema de monitoreo y un alerta vía email será recibido por los responsables del sector de mantenimiento.

4.0 - EL SISTEMA DE REGLAS: TRANSFORMANDO INFORMACIONES EN DIAGNÓSTICOS

El sistema de reglas codificado en el software de monitoreo permite que las informaciones obtenidas por los sensores sean transformadas en diagnósticos automáticos, indicándole al equipo de mantenimiento la clase del problema, la gravedad y el tiempo máximo para la intervención, si esa situación se aplica.

En la Tabla 4 – Principales reglas de diagnóstico utilizadas por el sistema de monitoreo son mostradas las reglas de diagnóstico y su principal función:

Tabla 4 – Principales reglas de diagnóstico utilizadas por el sistema de monitoreo (8).

Nombre de la Regla	Descripción del Funcionamiento/Condición de Actuación
Corriente en el motor	Para que esa regla actúe es necesario que la corriente del motor, después de la operación de cierre y la carga del muelle, ultrapase los límites, alto o muy alto, bajo o muy bajo. Caso sea alto o muy alto será actuado el diagnóstico informando que la corriente está fuera de los límites establecidos, de la misma forma ocurre cuando el valor ultrapasa los límites de bajo o muy bajo.
Corriente interrumpida	Para que esa regla actúe es necesario que el porcentual de erosión de los contactos quede arriba de los 70% o su vida útil quede abajo de los 30%, conforme especificación del fabricante del disyuntor. Para que eso sea posible es efectuado el cálculo de suma de corriente a cada operación del disyuntor. Caso ultrapase esos límites descritos en el momento en que la alarma actúa, es hecha una tendencia en cuantas operaciones el disyuntor alcanzará 100% de la vida útil de los contactos. Alcanzando 100% de la vida útil de los contactos es informado el segundo nivel de diagnóstico.
Corriente en la bobina de abertura o cierre	Para que esa regla actúe es necesario que la corriente en la bobina de abertura o cierre en el momento de la operación de abertura o cierre quede fuera de los límites especificados.
Corriente nominal del sistema durante el cierre	Para que esa regla actúe es necesario que la corriente nominal del sistema quede arriba de los límites establecidos en la operación de cierre.
Densidad del gas SF6	Para que esta regla actúe es necesario que haya pérdida de densidad de SF6 en la cámara del disyuntor. Ese diagnóstico posee 3 niveles de alarma. Para el nivel de tendencia, el sistema efectúa un cálculo con las variables de densidad actual del SF6 y pérdida de densidad media diaria, entonces una tendencia en días para alcanzar la primer etapa del nivel de alarma de SF6 es obtenida. Después de llegar a esa etapa y si la pérdida permanece, el sistema continúa efectuando el mismo cálculo con tendencias en días para alcanzar el segundo nivel.
Diferencia de tiempos de abertura o cierre entre fases	Para que esa regla actúe es necesario que en el momento de la operación de abertura o cierre los tiempos de operación entre las fases queden fuera de los límites especificados.
Supervisión de la bobina de abertura 1 y 2	Esa regla es actuada cuando la bobina de abertura es interrumpida.
Supervisión de la bobina de cierre	Esa regla es actuada cuando la bobina de cierre es interrumpida.
Temperatura del panel de comando disyuntor	Para que esa regla actúe es necesario que la temperatura del panel de comando del disyuntor esté fuera de los límites establecidos.
Tiempo de abertura correlacionado a la velocidad de abertura y tensión DC	Para que esa regla actúe es necesario que el tiempo en el momento de la operación de abertura sea diferente de los límites establecidos, siendo que esa variable es inversamente proporcional a la variable correlacionada de velocidad de abertura del disyuntor.
Tiempo de abertura correlacionado a la tensión DC	Para que esa regla actúe es necesario que el tiempo en el momento de la operación de abertura sea diferente de los límites establecidos, siendo que esa variable es inversamente proporcional a la variable correlacionada (Tensión DC) del disyuntor.
Tiempo de abertura largo y tiempo de cierre corto	Para que esa regla actúe es necesario que el tiempo de abertura, en su operación, sea mayor que los límites establecidos, juntamente con el tiempo de cierre, en su operación.
Tiempo de cierre largo y tiempo de abertura corto	Para que esa regla actúe es necesario que el tiempo de cierre, en su operación, sea mayor que los límites establecidos, juntamente con el tiempo de abertura, en su operación.
Tiempo de carga del muelle	Para que esa regla actúe es necesario que el tiempo de carga del muelle en el momento de la operación de cierre sea mayor que los límites especificados, y su variable correlacionada (Tensión AC) es inversamente proporcional a su actuación.
Tiempo de extinción del arco	Esa regla é actuada en el momento de abertura, cuando quede fuera de los límites especificados, con eso es posible identificar cuando hay algún problema en la cámara, o en los contactos de arco principales.
Tensión auxiliar AC	Esa regla es actuada cuando el nivel de tensión auxiliar AC quede fuera de los límites establecidos. Esta regla puede actuar sin que haya operación en el disyuntor, siendo de extrema importancia para otras reglas, conforme citada arriba su correlación.
Velocidad de Abertura e Cierre	Para que esa regla actúe es necesario que en el momento de la operación de abertura o cierre el valor de velocidad quede fuera de los límites establecidos. Esa variable es utilizada para crear correlación para otras reglas.

El sistema emite diversos tipos de diagnósticos conforme las condiciones de actuación de cada una de esas reglas. El diagnóstico podrá ser reconocido por el usuario, liberando la condición de actuación de la regla.

5.0 - CONCLUSIONES

A partir de la técnica aquí propuesta, se puede desarrollar un procedimiento de diagnóstico y seguimiento del estado de los disyuntores a través del monitoreo de diversas variables relevantes a su diagnóstico.

El uso del sistema de reglas de diagnóstico asociado al monitoreo de señales posibilita la realización de un sistema de diagnóstico de faltas de disyuntores, pudiendo actuar como una herramienta auxiliar junto al sector de mantenimiento y en la prevención de futuras fallas.

El sistema de monitoreo de disyuntores basado en reglas de diagnóstico instalado en la SE Río Verde posee la interesante característica de la rápida interpretación de los datos obtenidos y la emisión de diagnósticos.

El sistema está instalado y en operación desde enero de 2010.

6.0 - BIBLIOGRAFÍA

1. **YAMAGIWA, T. et al.** Development of Preventive Maintenance System for Highly Reliable Gas Insulated Switchgear. *IEEE Transactions on Power Delivery*. 1991, Vol. 6, 2, pp. 840-848.
2. **MCLLOROY, C. et al.** Circuit Breaker Condition Based Monitoring Developments. *IEEE Transactions on Power Delivery*. 1994.
3. **GOTO, K. et al.** On-Line Monitoring and Diagnosis of Gas Circuit Breakers. *IEEE Transactions on Power Delivery*. 01 de 1989, Vol. 4, 1, pp. 375-381.
4. **MILACH, M.** *Manutenção de Disjuntores de Alta Tensão*. 1993.
5. **Janssen, A. L. J. et al.** *Summary of CIGRE´ 13.06 Working Group World Wide Reliability Data and maintenance Cost Data on High Voltage Circuit Breakers Above 63 kV*. s.l.: IEEE, 1994.
6. **IEEE.** Std C37.10-1995. *IEEE Guide for Diagnostics and Failure Investigation of Power Circuit Breakers*. 1995.
7. *Metodologia de desenvolvimento de um Sistema de Monitoramento e Diagnóstico de Disjuntores a SF6*. **Filho, José Eduardo N. S., Aguiar, Marcos A. e Jr, Pyramo P. Costa**. Belo Horizonte : Anais do XVII Sendi, 2006.
8. **Treetech Sistemas Digitais Ltda.** *Manual do Sistema Sigma - SE Rio Verde - Furnas*. Atibaia: s.n., 2010.