

Monitoreo de Equipos de Maniobra en Alta Tensión de la Subestación Margen Derecha (SEMD)

Emilio Antonio Arteta Román, Oscar Enrique González Acosta, Abel Eduardo Ríos Romero

ITAIPU Binacional

Paraguay/Brasil

1 RESUMEN

Actualmente la ITAIPU Binacional se encuentra en un proceso de actualización tecnológica que no solo abarca a la Casa de Máquinas, sino también contempla la modernización de la Subestación Margen Derecha (SEMD). Dicha subestación posee equipamientos de alta tensión que fueron fabricados en la década de los 80. Se prevé el reemplazo de gran parte de estos equipos, entre ellos transformadores de potencia, equipos de maniobra, equipos de medición, etc. Como también se prevé modernizar los sistemas secundarios. Aprovechando dicho proceso de modernización, se ha tomado la decisión de implementar un sistema de monitoreo en tiempo real para los equipos de maniobra en alta tensión y descargadores.

Gracias al desarrollo de la tecnología de sensores y comunicación, se ha incrementado la capacidad para monitorear diversos parámetros. Muchas empresas del sector eléctrico se enfrentan al dilema de reemplazar o complementar los regímenes de mantenimiento tradicionales con estos sistemas de monitoreo. Integrar estos sistemas en las herramientas de toma de decisiones presenta desafíos significativos. Es esencial identificar el valor agregado del monitoreo de condiciones y cómo se utilizará esta información para que sea valiosa en la operación y el mantenimiento de los equipos, logrando incluso prolongar su vida útil.

Este trabajo presenta el diseño, los desafíos y los beneficios de implementar un sistema de monitoreo en tiempo real para equipos de maniobras de alta tensión en la Subestación Margen Derecha (SEMD) de la Central Hidroeléctrica de ITAIPU. Este sistema pretende monitorear interruptores de potencia, seccionadores, descargadores y módulos híbridos compactos. Su objetivo principal es medir y evaluar los parámetros característicos que indiquen degradación de los equipos, proporcionando una solución integral para la supervisión y el diagnóstico en tiempo real de estos equipos críticos. Esto busca mejorar tanto su disponibilidad operativa como su vida útil.

2 PALABRAS CLAVE

Monitoreo en Tiempo Real, Equipos de Alta Tensión, Subestación Margen Derecha (SEMD), Dispositivos Electrónicos Inteligentes (IEDs), Estación de Monitoreo Central (EMC), Sistema de Automatización de Subestaciones (SAS), Norma IEC 61850.

XV SEMINARIO DEL SECTOR ELÉCTRICO PARAGUAYO - CIGRE
16 y 17 de octubre de 2024

3 INTRODUCCIÓN

La gestión de activos en subestaciones eléctricas y la comprensión de su rendimiento y condición son requisitos fundamentales para que las empresas eléctricas puedan proporcionar un sistema de energía confiable y seguro. En un contexto mundial de crecientes restricciones económicas, cada vez se realiza un mayor esfuerzo por mejorar y refinar los métodos, enfoques y herramientas utilizados para la gestión del rendimiento de los activos y el monitoreo de la condición de los equipos en subestaciones.

El objetivo principal de estos métodos y herramientas es evaluar la condición y el rendimiento de los equipos de manera oportuna y con un esfuerzo justificado. Es crucial que los análisis identifiquen a tiempo posibles fallas y el desarrollo de degradaciones en los equipos, para que se puedan tomar las acciones correctivas necesarias, manteniendo así operativas tanto la subestación como el sistema eléctrico, y minimizando los riesgos y las interrupciones no planificadas.

El monitoreo de la condición de los equipos es una herramienta valiosa que contribuye a evitar cortes inesperados y fallas catastróficas, permitiendo una operación continua y segura de la subestación. Este monitoreo se refiere, de manera general, a la supervisión del estado y el desempeño de los equipos en una subestación.

Este artículo presenta una visión general de las especificaciones técnicas y los enfoques adoptados para implementar un sistema de monitoreo en la Subestación Margen Derecha (SEMD), en el marco del Plan de Actualización Tecnológica. El sistema está diseñado para monitorear de manera sistemática y efectiva la condición de los equipos de alta tensión a lo largo de su vida útil, contribuyendo así a la mejora continua de la gestión de activos en la subestación.

3.1 SIGLAS

- EMC Estación de Monitoreo Central
- IEC International Electrotechnical Commission
- IED Dispositivo Electrónico Inteligente
- IHM Interfaz Humano Máquina
- IP Internet Protocol
- MHC Módulo Híbrido Compacto
- PML Panel de Monitoreo Local
- SAS Sistema de Automatización de Subestaciones
- PI System Plant Information System

XV SEMINARIO DEL SECTOR ELÉCTRICO PARAGUAYO - CIGRE
16 y 17 de octubre de 2024

-
- | | | |
|---|-------|--|
| • | SCADA | Supervisory Control And Data Acquisition |
| • | SEMD | Subestación de la Margen Derecha de ITAIPU |
| • | SF6 | Hexafloruro de Azufre |

3.2 DEFINICIONES Y TERMINOLOGÍA

Las definiciones presentadas a continuación se utilizan comúnmente en el contexto del monitoreo de la condición y la evaluación del rendimiento de los equipos utilizados en subestaciones, en el contexto del monitoreo y la gestión de dichos activos. Estas se basan en la forma en que están definidas en publicaciones técnicas, y especialmente en las definiciones del Folleto Técnico 462 de CIGRE (2011).

- a- Equipos de Alta Tensión:** se refiere a los equipamientos primarios individuales que van a ser monitoreados en la subestación, en el presente trabajo se incluyen los interruptores, seccionadores, módulos híbridos compactos y descargadores.
- b- Dispositivos:** se refiere a las aplicaciones utilizadas para monitorear el equipo en la subestación y la red, por ejemplo, para el monitoreo de condición en línea. El enfoque de monitoreo de condición en línea en subestaciones puede subdividirse básicamente en dos grupos principales, distinguiendo:

- i. **Dispositivos de monitoreo de equipos:** representan hardware y/o software especializado diseñado para ser instalado en cada pieza individual de equipo en la subestación.

Cada dispositivo de monitoreo de equipos está específicamente diseñado para el monitoreo de condición en línea, para el equipo primario específico, y el monitoreo en línea es su propósito principal.

- ii. **Dispositivos de monitoreo de la red:** son dispositivos o instalaciones ya instaladas en la subestación y la red, que pueden ser utilizadas para la evaluación de condición en línea o fuera de línea y el monitoreo del equipo en la subestación porque contienen datos relevantes para este equipo. Estos sistemas o dispositivos pueden incluir sistemas SCADA, registradores de transitorios, dispositivos de protección, etc. Recopilan información general y datos sobre todo el equipo en la subestación y la red. Estos datos, por sí solos o combinados con otros datos de la empresa de servicios públicos, permiten a los dispositivos de monitoreo dedicados evaluar la condición de un equipo mediante un análisis complejo y procesamiento utilizando software especializado.

Cada dispositivo de monitoreo de la red recopila datos de toda la subestación y de toda la red. Estos datos también pueden ser utilizados con éxito para el monitoreo de condición en línea; sin embargo, no es su propósito principal.

XV SEMINARIO DEL SECTOR ELÉCTRICO PARAGUAYO - CIGRE
16 y 17 de octubre de 2024

- c- Condición de un activo:** la condición de un activo es una expresión del estado del equipo en términos de funcionalidad, su capacidad para realizar sus tareas en la subestación y en el sistema de energía.

Tabla I: Clasificación, denominación y definiciones de condiciones del estado de los equipos.

Condición	Definición
Normal	No presenta problemas evidentes. No se justifica una acción correctiva. No hay evidencia de degradación.
Envejecido Normal en Servicio	Aceptable, pero no implica que esté libre de defectos.
Defectuoso	No tiene un impacto significativo en la fiabilidad a corto plazo, pero la vida útil del equipo puede verse afectada a largo plazo si no se realiza una acción correctiva.
Averiado	Puede continuar en servicio, pero es probable que la fiabilidad a corto plazo se vea reducida. Puede ser posible o no mejorar la condición mediante una acción correctiva.
Fallado	No puede continuar en servicio. Se requiere una acción correctiva antes de que el equipo pueda volver a estar operativo (puede que no sea rentable, lo que podría requerir su reemplazo).

- d- Monitoreo de Condición (Condition Monitoring - CM):** monitoreo de la condición del equipo de forma continua o en intervalos predefinidos durante su vida operativa.
- e- Monitoreo de Condición en Línea (On Line Condition Monitoring - OLCM):** "Monitoreo continuo en línea (equipo energizado y conectado a la red con el(los) dispositivo(s) instalado(s) permanentemente) del equipo primario para medir y evaluar uno o más parámetros característicos con la intención de determinar y reportar automáticamente el estado del equipo."
- f- Diagnóstico o pruebas de diagnóstico:** pruebas de investigación realizadas en equipos primarios o secundarios para verificar su funcionamiento mediante la medición de uno o más parámetros característicos. Una prueba de diagnóstico puede realizarse en línea (equipo energizado y conectado a la red) o fuera de línea (equipo desenergizado y desconectado de la red).

3.3 PRINCIPIOS DEL MONITOREO DE CONDICIONES

El estado de los equipos de la subestación se deteriora con el tiempo debido a diversos factores de estrés, conocidos o desconocidos. En la Figura 1, este deterioro se muestra mediante la curva azul que representa la disminución del estado del equipo, mientras que el aumento de los costos para restaurarlo a su condición "normal" se muestra con una curva roja.

XV SEMINARIO DEL SECTOR ELÉCTRICO PARAGUAYO - CIGRE
16 y 17 de octubre de 2024

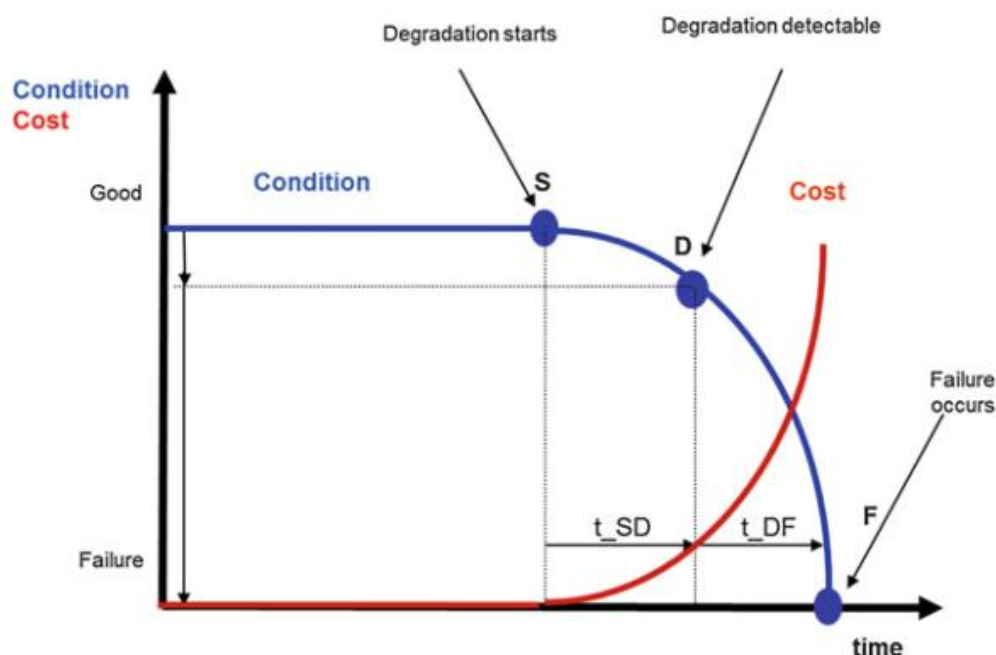


Figura 1: Formas típicas de evolución de la condición y costos para equipos de subestación a lo largo de su vida útil.

El monitoreo de condiciones es esencial para detectar oportunamente la degradación y evitar fallas inesperadas. Cabe resaltar la importancia de realizar acciones de diagnóstico y monitoreo para entender los cambios en el equipo y así poder tomar medidas correctivas antes de que ocurran fallas graves.

Los elementos clave para la evaluación del rendimiento y el monitoreo de condiciones incluyen la recopilación de datos sobre el equipo (como detalles de construcción, modos de operación, incidentes y fallas) y el conocimiento relacionado con los mecanismos de degradación, los materiales, y la evolución a lo largo del tiempo.

El proceso de monitoreo de condiciones en subestaciones enfocado de forma aislada enfrenta incertidumbres y datos incompletos, como defectos micro o inesperados, influencias externas no registradas y un conocimiento limitado sobre el comportamiento a largo plazo del equipo. Por ello, es necesario un enfoque sistemático y adaptado a cada tipo de equipo, basado en la recopilación y análisis de datos clave y en el conocimiento especializado de los mecanismos de degradación.

3.4 ESTRATEGIAS DE MONITOREO

Existen diversas estrategias para el monitoreo de condiciones, tomando en cuenta factores clave como la rapidez de respuesta requerida, el nivel de precisión de los datos, los costos asociados, y la integración de estos datos en la estrategia global de mantenimiento de la subestación. Estos factores permiten adaptar las estrategias de monitoreo de condiciones a las necesidades específicas,

XV SEMINARIO DEL SECTOR ELÉCTRICO PARAGUAYO - CIGRE
16 y 17 de octubre de 2024

optimizando tanto la operatividad de los equipos como la eficiencia de las intervenciones de mantenimiento. Estas estrategias son:

Monitoreo Convencional: Implica inspecciones regulares en el sitio, donde los técnicos realizan observaciones visuales y pruebas básicas para detectar posibles anomalías. Este tipo de monitoreo es particularmente útil para identificar signos visibles de desgaste o daños, aunque es menos efectivo para detectar problemas internos que podrían no ser evidentes en la superficie.

Monitoreo en Línea: Este enfoque utiliza tecnologías avanzadas para el monitoreo continuo de los equipos en tiempo real. Los sensores instalados en los equipos recopilan datos sobre parámetros críticos como temperatura, vibración, y presión. Esta información se transmite a un sistema centralizado, donde se analiza para detectar cambios sutiles que podrían indicar problemas emergentes. El monitoreo en línea es especialmente útil para equipos críticos cuya falla podría tener un impacto significativo en la operación de la subestación.

Monitoreo Híbrido o Mixto: Combina elementos del monitoreo convencional y en línea, proporcionando una cobertura más completa del estado de los equipos. Este enfoque permite realizar inspecciones regulares mientras se mantiene un monitoreo continuo de los parámetros críticos. De esta manera, es posible obtener una visión integral del estado de los equipos, maximizando la detección temprana de fallas potenciales.

4 DESCRIPCIÓN GENERAL DEL PLAN DE ACTUALIZACIÓN TECNOLÓGICA DE LA SEMD

4.1 MOTIVACIÓN

La expansión del sistema eléctrico interconectado, sumada al desgaste natural de los equipos conlleva a un incremento en los costos de mantenimiento, una reducción de la eficiencia operativa y un impacto negativo en la confiabilidad del sistema. Estos factores representan desafíos significativos para la Subestación Margen Derecha (SEMD).

La mayoría de los equipos instalados en los sectores 1 y 2 de la SEMD fueron fabricados en la década de 1980, lo que implica su proximidad al fin de su vida útil, obsolescencia y la inexistencia de piezas de repuesto.

Además, los valores de cortocircuito proyectados, que consideran escenarios de expansiones futuras del Sistema Interconectado, superan los valores actuales de soportabilidad de muchos equipos críticos dentro de la SEMD.

Por estas razones, el plan de actualización tecnológica de la SEMD constituye una necesidad de mejora, alineada con las tecnologías más recientes del mercado, centrándose en la modernización integral de los sistemas de protección y control, servicios auxiliares y el monitoreo de activos, todos ellos sistemas transversales a la subestación.

XV SEMINARIO DEL SECTOR ELÉCTRICO PARAGUAYO - CIGRE
16 y 17 de octubre de 2024

4.2 ALCANCE DEL PAT DE LA SEMD

4.2.1 Equipos Primarios

Transformadores de Potencia

- Autotransformadores Trifásicos de 470 MVA (500/220kV)
- Transformadores Reguladores Trifásicos de 470 MVA (220kV)
- Transformadores Trifásicos Auxiliares de 25 MVA (220/66/13,8kV)

Equipos de Maniobra

- Interruptores de Potencia de 500 kV, 220 kV y 66 kV
- Seccionadores sin PAT de 500 kV, 220 kV y 66 kV
- Seccionadores con PAT
- Módulos Híbridos Compactos de 66 kV

Transformadores de Instrumentos y Descargadores

- Transformador de Corriente de 500 kV, 220 kV
- Transformador de Corriente de Facturación de 220 kV
- Transformadores de Tensión Capacitivos de 500 kV y 220 kV
- Transformadores de Tensión Inductivos de 66 kV
- Descargadores de 420 kV

4.2.2 Obras Civiles

- Construcción de Casetas de relés nuevas
- Construcción y/o ampliación de Casas
- Construcción de Canaletas

4.2.3 Sistemas Transversales

- Sustitución y Suministro de los Sistemas de Protección
- Sustitución y Suministro de los Sistemas de Automatización
- Sustitución y Suministro de los Servicios Auxiliares
- Sustitución y Suministro de los Sistemas de Monitoreo de Activos

XV SEMINARIO DEL SECTOR ELÉCTRICO PARAGUAYO - CIGRE
16 y 17 de octubre de 2024

5 ESPECIFICACIÓN TÉCNICA DEL SISTEMA DE MONITOREO

El objetivo general del sistema de monitoreo es aumentar la disponibilidad operacional de los equipos de alta tensión, por medio del monitoreo en tiempo real, la predicción e identificación de fallas y el diagnóstico on-line de los activos instalados en la SEMD, de manera a facilitar las tareas de mantenimiento de la subestación, mediante la posibilidad de implementación de un esquema de monitoreo híbrido. Las informaciones para coleccionar, almacenar y analizar están relacionadas con la integridad física y funcional de los equipamientos de alta tensión instalados en la SEMD.

Para ello, en la figura 2 se muestra la arquitectura básica para el sistema de monitoreo propuesto para SEMD. La provisión deberá contemplar equipos (sensores, detectores y otros dispositivos) que deban ser utilizados como recolectores de datos para la detección y el monitoreo. Estos equipos deberán estar conectados a los PMLs (Paneles de Monitoreo Local) que estarán en la intemperie y tropicalizados para atender los requisitos climáticos de la SEMD.

Siempre que sea posible, los datos adquiridos por los sensores podrán ser adecuadamente almacenados en el hardware del propio IED, a la vez que los mismos deberán ser exportados para su almacenamiento en un banco de datos apropiado, el cual será alojado en el servidor de aplicaciones.

Cada dispositivo primario deberá estar provisto de todos los componentes (sensores, detectores, convertidores, relés auxiliares e interfaces necesarios y otros) para la medición on-line, en concordancia con las características técnicas de los componentes solicitados por ITAIPU. Estos componentes deberán estar concebidos, así como compuestos de dos módulos: un módulo de medición (sensores) y un módulo de interfaz. El módulo de interfaz puede ser un transmisor o un Dispositivo Electrónico Inteligente (IED). Las señales de salida de estos componentes deberán ser transmitidos a los PMLs por cables especiales, ajustados a los requisitos específicos de cada aplicación

Los datos recolectados y tratados por los PMLs serán encaminados hasta la EMC (Estación de Monitoreo Central) mediante la comunicación de acuerdo con la norma IEC 61850 y distribuidos en racks que estarán en cada caseta de acuerdo con el nivel de tensión (500 kV, 220 kV y 66 kV).

La topología de la red deberá ser del tipo estrella simple entre los PMLs y el switch asociado a éste; y anillo simple entre todos los switches del sistema, con medio físico constituido por fibras ópticas. Los equipamientos de red de las casetas deberán ser instalados en bastidores (gabinetes) separados, así como de la EMC.

La EMC, el servidor de aplicaciones y un switch serán instalados en el Edificio de Supervisión y Control. Se está viendo la posibilidad de virtualizarlo utilizando la red del RTA (Red de Tecnología de Automatización) de la SEMD.

Los diagnósticos deseados serán tratados en la fase del proyecto ejecutivo.

XV SEMINARIO DEL SECTOR ELÉCTRICO PARAGUAYO - CIGRE
16 y 17 de octubre de 2024

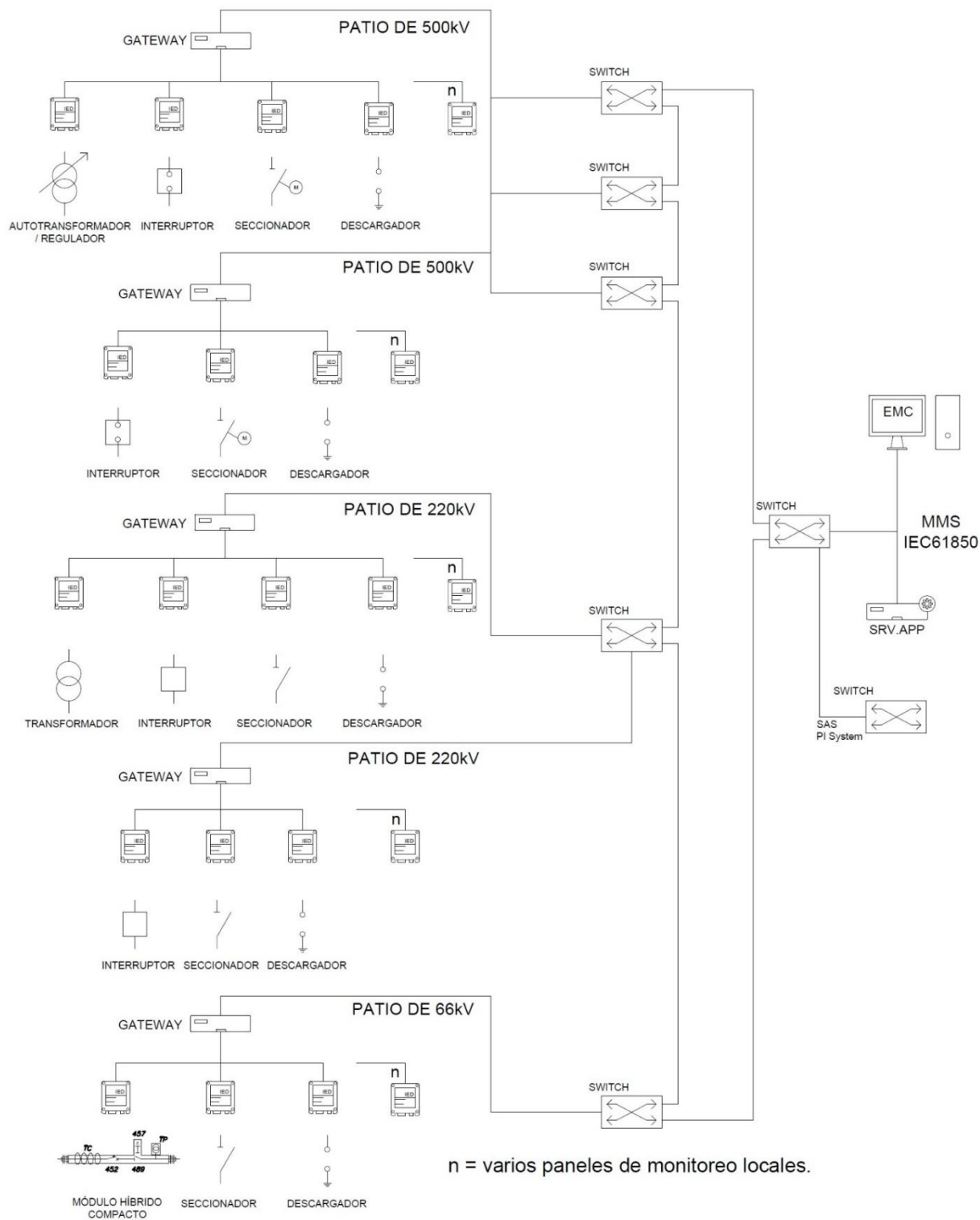


Figura 2, Arquitectura básica del sistema de Monitoreo

XV SEMINARIO DEL SECTOR ELÉCTRICO PARAGUAYO - CIGRE
16 y 17 de octubre de 2024

6 EQUIPOS Y PARÁMETROS A SER MONITOREADOS EN LA SEMD

6.1 EQUIPOS DE ALTA TENSIÓN A SER MONITOREADOS

Como parte del proyecto de actualización tecnológica, el sistema de monitoreo es transversal a todos los sectores de la Subestación Margen Derecha. No obstante, el presente trabajo no abarca el sistema de monitoreo de los transformadores y reguladores de potencia; se centra en los equipos de maniobra y descargadores, es decir, los equipamientos de alta tensión que se detallan a continuación:

6.1.1 Interruptores

- Interruptores aislados en SF6, tripolares, 500 kV, corriente nominal 4000 A, capacidad nominal de interrupción de 50 kA;
- Interruptores aislados en SF6, tripolares, 220 kV, corriente nominal 2000 A, capacidad nominal de interrupción de 40 kA;
- Interruptor aislado en SF6, 66kV, corriente nominal 2000 A, capacidad nominal de interrupción 31.5 kA.

6.1.2 Seccionadores

- Seccionadores tripolares, con cuchilla de puesta a tierra, 500 kV, corriente nominal 4000 A;
- Seccionadores tripolares, sin cuchilla de puesta a tierra, 500 kV, corriente nominal de 4000 A;
- Seccionadores tripolares, con cuchilla de puesta a tierra, 220 kV, corriente nominal de 2000 A;
- Seccionadores tripolares, sin cuchilla de puesta a tierra, 220 kV, corriente nominal 2000 A;
- Seccionadores tripolares, sin cuchilla de puesta a tierra, 66 kV, corriente nominal 600 A (Seccionadores “by-pass” montados en pórtico y seccionadores montados en patio).

6.1.3 Descargadores

- Descargador, 420 kV;
- Descargador, 240 kV;
- Descargador, 72 kV.

6.1.4 Módulo Híbrido Compacto

- Módulos híbridos compactos 66 kV.

XV SEMINARIO DEL SECTOR ELÉCTRICO PARAGUAYO - CIGRE
16 y 17 de octubre de 2024

6.2 PARÁMETROS PARA MONITOREAR

6.2.1 Interruptores

- Tiempos de operación y datos de posicionamiento del contacto (recorrido total, velocidades, overtravel y rebound);
- Corriente interrumpida; los valores acumulados y sumados con carga, sin carga o bajo corto circuito.
- Número de operaciones; el número de las operaciones bajo carga, sin carga y bajo corto circuito.
- Desgaste de los contactos;
- Densidad, presión, temperatura, humedad y SO₂ (caso aplicable el monitoreo de dióxido de azufre) del gas. La medición utilizará un sistema de transductor digital para enviar los parámetros medidos y calculados. Con el cálculo de la densidad efectuado en un aplicativo para obtener los tres parámetros. La densidad debe ser corregida a la temperatura de 20°C según tabla SF₆;
- Corriente de bobina de apertura y cierre, el cálculo de la resistencia de la bobina, así como verificación de su integridad;
- Alimentación de potencia en CA y CC;
- Temperatura en los gabinetes y/o cubículos (operación de los calefactores);
- Temperatura ambiente;
- Tiempo insumido en la carga del resorte (motor en operación);
- Corriente del motor de carga de resorte;
- Recorrido del resorte hasta el límite (resorte cargado y descargado);
- Número de arranques del motor;
- Horas trabajadas del motor (tiempo entre operaciones arranque / parada).

6.2.2 Seccionadores

- Corrientes, tensiones y potencia consumida por el motor durante las operaciones;
- Estado de los contactos de señalización del seccionador abierto / cerrado;
- Desplazamiento del contacto principal durante la operación, medido a través de “transductor de movimiento”;
- Tensión de comando;
- Temperatura del interior del mecanismo de accionamiento.

6.2.3 Descargadores

- Corriente de fuga total y corriente resistiva no corregida y corregida (por temperatura, cuya temperatura debe informarse a la EMC);
- Número total de descargas;
- Registro de descargas, incluyendo fecha / hora / minuto / segundo y corriente (A o kA) y/o energía de descarga en kJ.

XV SEMINARIO DEL SECTOR ELÉCTRICO PARAGUAYO - CIGRE
16 y 17 de octubre de 2024

Observaciones:

- 1- *En el EMC (u otro software específico para monitorear pararrayos), la corriente resistiva (ya corregida por temperatura) también debe ser corregida por el voltaje del sistema al que estuvo sujeto el pararrayos en el momento de la medición. (este voltaje se puede obtener del PI System). La Contratista podrá optar por realizar correcciones tanto de temperatura como de tensión en el software, si lo considera más conveniente.*
- 2- *El monitoreo actual que se tiene en la ITAIPU Binacional es de tipo **offline**, no obstante, para el alcance del monitoreo se debe integrar estos equipos a fin de obtener los parámetros de tipo **online**.*

6.2.4 Módulo Híbrido Compacto

Para el MHC

- Densidad, presión, temperatura, humedad y SO₂ (caso aplicable el monitoreo de dióxido de azufre) del gas. La medición utilizará un sistema de transductor digital con protocolo de Modbus y medio físico RS-485, para enviar los parámetros medidos y calculados. Con el cálculo de la densidad efectuado en un aplicativo para obtener los tres parámetros. La densidad debe ser corregida a la temperatura de 20°C según tabla SF₆;
- Temperatura del interior del mecanismo de accionamiento.
- Temperatura en los gabinetes y/o cubículos (operación de los calefactores);
- Temperatura ambiente (sensor de temperatura tipo Pt-100).

Para el interruptor

- Tiempos de operación y datos de posicionamiento del contacto (recorrido total, velocidades, overtravel y rebound);
- Corriente interrumpida; los valores acumulados y sumados con carga, sin carga o bajo corto circuito.
- Número de operaciones; el número de las operaciones bajo carga, sin carga y bajo corto circuito.
- Desgaste de los contactos;
- Densidad, presión, temperatura, humedad y SO₂ (caso aplicable el monitoreo de dióxido de azufre) del gas. Con el cálculo de la densidad efectuado en un aplicativo para obtener los tres parámetros. La densidad debe ser corregida a la temperatura de 20°C según tabla SF₆;
- Corriente de bobina de apertura y cierre, el cálculo de la resistencia de la bobina, así como verificación de su integridad;
- Alimentación de potencia en CA y CC;
- Temperatura en los gabinetes y/o cubículos (operación de los calefactores);
- Temperatura ambiente;
- Tiempo insumido en la carga del resorte (motor en operación);
- Corriente del motor de carga de resorte;
- Recorrido del resorte hasta el límite (resorte cargado y descargado);

XV SEMINARIO DEL SECTOR ELÉCTRICO PARAGUAYO - CIGRE
16 y 17 de octubre de 2024

- Número de arranques del motor;
- Horas trabajadas del motor (tiempo entre operaciones arranque / parada).

Para el seccionador

- Corrientes, tensiones y potencia consumida por el motor durante las operaciones;
- Estado de los contactos de señalización del seccionador abierto / cerrado;
- Desplazamiento del contacto principal durante la operación, medido a través de “transductor de movimiento”;
- Tensión de comando;
- Temperatura del interior del mecanismo de accionamiento.

6.3 DISPOSITIVOS, SENSORES Y TRANSDUCTORES PARA EL SISTEMA DE MONITOREO

Los equipos primarios a ser monitoreados deben estar equipados con todos los sensores y transductores necesarios para supervisar las variables de desempeño, con el fin de alcanzar los objetivos del sistema de monitoreo.

Estos los dispositivos esenciales se incluyen sensores de movimiento, sensores de corriente alterna, corriente continua, temperatura, entre otros, instalados tanto en los gabinetes de mando de los equipos como en el interior de ciertos dispositivos. Su función es poner a disposición las señales para el sistema de monitoreo.

Se presentan dos escenarios: uno en el que los equipos nuevos ya deberán suministrarse con estos dispositivos instalados internamente desde la fábrica, y otro en el que los equipos existentes deberán ser adaptados, instalando estos dispositivos en campo.

7 RESULTADOS ESPERADOS

Con la implementación del Sistema de Monitoreo dentro del Plan de Actualización Tecnológica de la SEMD se pretende obtener un enorme valor agregado, valor asociado en el desarrollo potencial de los principales resultados que se describen a continuación:

7.1 PREDICCIÓN DE FALLAS

El monitoreo continuo de los equipos de alta tensión permitirá detectar anomalías en las fases tempranas de su desarrollo, evitando fallas catastróficas que podrían resultar en costosas reparaciones y fuera de servicio prolongados. Esto no solo protege los activos, sino que también reduce significativamente los costos asociados con las interrupciones del servicio.

XV SEMINARIO DEL SECTOR ELÉCTRICO PARAGUAYO - CIGRE
16 y 17 de octubre de 2024

7.2 MINIMIZAR RIESGOS PARA LA SEGURIDAD HUMANA

El sistema de monitoreo contribuirá a identificar y mitigar riesgos potenciales para los operadores y el personal de mantenimiento. Al monitorear parámetros críticos y prever posibles fallas, se podrán implementar acciones correctivas de manera temprana, reduciendo así el riesgo de accidentes y mejorando la seguridad general en la subestación.

7.3 REDUCCIÓN DE COSTOS DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO

Al optimizar el mantenimiento de los equipos a través de un monitoreo basado en la condición, es posible reducir la frecuencia de intervenciones no planificadas, minimizando los costos operativos y de mantenimiento. Esto permite que los recursos se utilicen de manera más eficiente, focalizando las acciones de mantenimiento en los equipos que realmente lo requieren.

7.4 EXTENSIÓN DE LA VIDA ÚTIL

El monitoreo continuo facilitará la extensión de la vida útil de los activos principales de la SEMD. Al mantener los equipos en condiciones óptimas, se podrá diferir la necesidad de reemplazarlos, lo que a su vez permitirá aplazar las inversiones de capital significativas.

8 CONCLUSIONES

La tendencia general en los sistemas de monitoreo es pasar de la mera recolección y visualización de datos a un soporte integrado para la toma de decisiones y la gestión de activos, que permita un monitoreo sistemático, repetible y confiable de la condición y el rendimiento de los equipos de alta tensión dentro de la subestación.

El monitoreo y la evaluación del rendimiento de los equipos dentro de la SEMD es una tarea permanente dentro de la ITAIPU, que busca continuamente optimizarse para cumplir con los beneficios esperados sin sobrepasar los costos estimados.

La implementación del sistema de monitoreo en la Subestación Margen Derecha (SEMD) representa un avance significativo en la gestión de activos y en la modernización de la infraestructura de la subestación. Los beneficios esperados no solo incluyen la mejora en la seguridad y confiabilidad de la operación, sino también la optimización de los costos operativos y de mantenimiento, la extensión de la vida útil de los activos y la capacidad de manejar cargas más exigentes.

Este enfoque integral de monitoreo asegura que la SEMD esté alineada con los mejores estándares internacionales, utilizando tecnologías avanzadas para enfrentar los desafíos futuros del sistema eléctrico interconectado paraguayo y brasileño. Además, el sistema proporcionará una base sólida para la toma de decisiones informadas sobre el mantenimiento y la gestión de activos, lo que contribuirá a la sostenibilidad y eficiencia a largo plazo de la subestación.

XV SEMINARIO DEL SECTOR ELÉCTRICO PARAGUAYO - CIGRE
16 y 17 de octubre de 2024

BIBLIOGRAFIA

- [1] T. Krieg and J. Finn, *Substations*. CIGRE Green Books, Springer, 2019.
- [2] Working Group B3.44 CIGRE. “Substation servicing and supervision using mobile devices and smart sensing”, Technical Brochure 823, CIGRE, diciembre 2020.
- [3] Plan de Actualización Tecnológica de la SEMD. Especificación Técnica: Monitoreo de los Equipos de Alta Tensión. ITAIPU BINACIONAL, Paraguay, 2024.
- [4] IEC 61850 Series. “Communication networks and systems for power utility automation” (2024)