



Technological Infrastructure for Asset Monitoring Systems

Wilson Castillo Bautista

EasyChair preprints are intended for rapid dissemination of research results and are integrated with the rest of EasyChair.

November 8, 2019

Technological Infrastructure for Asset Monitoring Systems

Wilson Castillo Bautista

Especialista Sistemas de Protección, Automatización y Telecomunicaciones

ISA INTERCOLOMBIA

Medellín, Colombia

wcastillo@INTERCOLOMBIA.com

Abstract— The knowledge of the condition of the assets allows companies to make wise decisions about the different activities that are executed on the equipment; maintenance, operation, disposal and renovation, in order to have greater competitiveness with high reliability. Monitoring systems are always the fundamental enabler to get to know the precise condition of the assets. However, sometimes the information provided by these systems is not used properly; either because it does not reach the appropriate sites to be used or because the monitoring system is isolated from the management systems or because the system is not operational, and nobody has noticed it. This paper presents the results of a monitoring platform implemented in ISA INTERCOLOMBIA and shows the basis for a present architecture, designed for the future with a view for interoperability, flexibility, low cost and easy expansion for the different systems that intend to integrate in the future. The establishment of this architecture guarantees the use and integration, with the different information systems, of the data. Consequently, data is converted into useful information for the business objectives.

Keywords— *Gestión de Activos, monitoreo en línea de activos, IEC61850, automatización, ciberseguridad, integración, sistema abierto, PAS 55, ISO 55001, BIG DATA, PEGA, APM.*

I. INTRODUCCIÓN

La iniciativa de digitalización del grupo ISA [1] busca la transformación de los diferentes procesos de la compañía con el fin capitalizar la integración como elemento diferenciador para la sostenibilidad del negocio.

El logro de este objetivo requiere de la inversión en infraestructura y tecnología. Sin embargo, este crecimiento en plataforma debe ser planeado y controlado, de lo contrario se pueden llegar a tener sistemas aislados que no permiten integración y que conllevan a sobrecostos e ineficiencias para la compañía.

En la búsqueda de estas eficiencias están los lineamientos estratégicos definidos en el PEGA, Plan Estratégico de Gestión de Activos [2], el cual tiene como uno de sus objetivos estratégicos, incorporar tecnologías y prácticas que aseguren operaciones seguras y costo efectivas.

Para el aporte en el logro de este objetivo estratégico, se presenta este trabajo que muestra los resultados del proceso de

diseño, que conllevó a la definición de una plataforma única, estándar, de arquitectura abierta, interoperable y costo efectiva, para el monitoreo y evaluación de la condición de los activos. Adicionalmente, se presenta el esquema de integración con diferentes plataformas de información como el ERP (SAP), el sistema SCADA (Monarch) entre otras. Esta plataforma se ha estado implementando en varias subestaciones de INTERCOLOMBIA con resultados satisfactorios.

La información generada por un sistema de monitoreo no tiene ninguna utilidad, si esta no es aprovechada por las diferentes aplicaciones, tecnologías o sistemas de información del negocio. Es por esta razón que se ve la necesidad de tener una arquitectura que permita recoger los datos entregados por los diferentes sistemas de monitoreo que alimentarán diferentes aplicaciones cliente. A continuación, se presentan las herramientas y tecnologías que se están trabajando para obtener, con mayor precisión, el estado actual de los activos a cargo de la compañía.

II. SISTEMAS DE MONITOREO Y SU USO

Los sistemas de monitoreo tienen por objeto sensar, vía dispositivos electrónicos, las variables físicas del activo bajo observación con el fin de recolectar información que sea utilizada por los diferentes sistemas de información y análisis.

El uso adecuado de la información forma parte importante para la determinación de la condición del activo. Esta información puede utilizarse en diferentes sistemas o aplicaciones tales como: APM¹, Analítica Avanzada, Mantenimiento, entre otros.

A. APM

Para empresas intensivas en activos, los costos de operación y mantenimiento forman parte importante del costo del ciclo de vida del activo. [3]. Por ello el APM se vale de diferentes herramientas y definiciones para lograr eficiencias en el ciclo de vida del activo [4].

APM como tecnología, es la unión de diferentes herramientas para la toma de decisiones, las cuales pueden ser tomadas solamente con datos correlacionados. Por consiguiente, la arquitectura presentada entregará los datos que permitirán ser utilizados por diferentes aplicaciones tales como; el Gemelo Digital, la optimización de las actividades de mantenimiento, y

¹ Asset Performance Management (APM)

el estado o condición actual de los activos (salud de equipos), entre otros.

1) Gemelo Digital

El gemelo digital busca tener en el mundo virtual una aproximación fidedigna del comportamiento y condición del activo bajo análisis. El gemelo digital trabaja en tres estados: “ver, pensar y hacer”. Primero, recoge información de los activos, luego analiza los datos recolectados y posteriormente realiza simulaciones donde se tienen en cuenta los beneficios y riesgos para realizar las recomendaciones de las acciones a ejecutar [5]. Actualmente, con los datos (Dominio de los Datos) se está trabajando en la creación de algoritmos que puedan predecir (Dominio de los Servicios) el comportamiento futuro del activo.

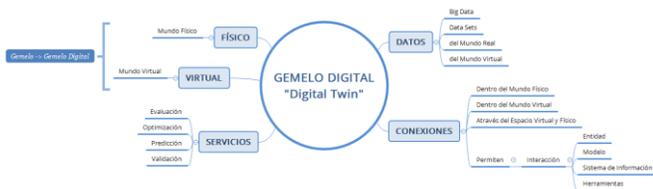


Fig. 1. Representación Funcional del Gemelo Digital. Cinco Dominios (Físico, Virtual, Datos, Conexiones y Servicios)

2) Actividades de Mantenimiento

El objetivo básico del mantenimiento busca, por todos los medios, reducir el costo final del ciclo de vida del activo, realizando las actividades necesarias para dar continuidad al proceso con mínimos riesgos [6]. Inicialmente se hablaba de dos tipos de mantenimiento.

- Mantenimiento Correctivo
- Mantenimiento Preventivo

El primero se realiza cuando hay una falla, para corregirla y el segundo se basa en algún grado de conocimiento sobre el activo para tratar de ejecutar actividades sobre el activo con el fin de evitar la falla de este.

Este alcance del mantenimiento, presentado previamente, no es suficiente para lograr eficiencias con una alta confiabilidad. Es allí donde el uso adecuado de la información, entregada por los sistemas de monitoreo, que hace un sistema APM, puede entregar nuevas y más eficientes formas de realizar el mantenimiento, tales como:

- Mantenimiento Basado en Condición
- Mantenimiento Predictivo
- Mantenimiento Prescriptivo

Uno de los objetivos primordiales de un sistema APM es poder llegar, a través del gemelo digital a definir actividades de mantenimiento prescriptivo. Que no es más que la detección, anticipada, de una posible falla y las actividades a realizar para evitarla [7].

3) Salud de Equipos

Un indicador importante en la priorización de planes de mantenimiento sobre activos y en acciones para priorizar inversiones de capital es el índice de salud. [8], el cual indica el estado de los activos analizados, para obtener una versión acertada del índice de salud es necesario tener algoritmos que se alimentan con información proveniente de los sistemas de monitoreo, entre otras.

B. Inteligencia de Negocio

Es un conjunto de soluciones de tecnología de la información (TI) que incluye herramientas para la recolección, análisis, y reporte de información acerca del desempeño de la organización y su entorno [9].

Actualmente, la información recolectada de los sistemas de monitoreo, en conjunto con la información operativa, de mantenimiento y financiera; permite la gestión a través de tableros de control para el apoyo en la toma de decisiones.

III. SISTEMA DE MONITOREO ISA INTERCOLOMBIA

ISA INTERCOLOMBIA ha trabajado en un sistema de monitoreo cuyos resultados, entre otros son:

- Tener una plataforma nacional que permita monitorear en tiempo real diferentes equipos.
- Aplicación de algoritmos de calificación con información en tiempo real
- La información puede ser revisada desde cualquier punto de la red corporativa, facilitando el acceso a la información por parte de los especialistas en estos equipos.
- La implementación se hizo con costos mínimos y pensando en el crecimiento futuro.
- La implementación utiliza estándares internacionales para el intercambio de información entre dispositivos. Como el estándar de comunicación IEC61850.

El sistema implementado permite su crecimiento gradual optimizando las inversiones y atacando los equipos críticos del STN.

A. BIG DATA

La gran cantidad de información que se generan desde diferentes fuentes generan retos para los sistemas de analítica avanzada; en primer lugar, se debe tener la capacidad de responder a los acontecimientos de manera oportuna con el fin de poder realizar las predicciones de aprendizaje histórico con toda la información recolectada previamente. Esto implica análisis de datos históricos correlacionados con los datos en tiempo real con gran variedad de información presentada volúmenes, velocidades diferentes [10]. Actualmente, se están utilizando herramientas Actualmente el grupo ISA está utilizando herramientas Azure² para el manejo de la información generada por los sistemas de monitoreo.

² Azure es un servicio de nube de Microsoft.

El sistema de monitoreo en línea de activos permite, entre otros:

- Reducción de los Costos de Mantenimiento:

El sistema permite recolectar en tiempo real las variables importantes del transformador permitiendo hacer un análisis inmediato y continuo, ya que se tiene la información actual e histórica del comportamiento del transformador. Este análisis ofrece la posibilidad de programar mantenimiento, solamente, cuando sea necesario y adicionalmente evita los mantenimientos programados.

- Prevención de Fallas y Reducción del Riesgo:

Debido a su característica de estar monitoreando en tiempo real las variables más importantes del transformador y con la posibilidad de efectuar mantenimiento sólo cuando sea necesario, se ayuda considerablemente en la prevención de evoluciones de fallas que no son posibles detectar entre las frecuencias de mantenimiento

- Mejora de la Vida Útil de los Equipos:

Al prevenir fallas junto con la programación de mantenimiento el sistema de monitoreo permite mejorar notablemente la vida útil del transformador, debido a que se tiene la posibilidad de detectar los momentos en los cuales el transformador está siendo sometido a condiciones críticas, las cuales si no se toman en cuenta en el momento adecuado degradan la vida útil del transformador. Analizando la información histórica de las condiciones a las cuales fue sometido el equipo es posible calcular estimativos de vida remanente.

B. Necesidades de un Sistema de Monitoreo en Línea

1) Gestión de Activos

La gestión de activos está cobrando un papel muy importante para la eficiencia operacional de todas las empresas en el mundo. **El monitoreo continuo del desempeño y condición del activo** juega un papel importante en el objetivo último de la gestión del activo: “La Evaluación y Mejora del desempeño del activo”.



Fuente: Tomado de [11]

Fig. 2. El sistema PASS 55-2008 se alimenta del monitoreo del desempeño y condición del activo

2) Mantenimiento centrado en confiabilidad

El mantenimiento centrado en confiabilidad se apoya del contexto operacional y el mantenimiento centrado en riesgo.

a) Contexto operacional

El contexto operacional tiene en cuenta las características del ambiente en el cual está instalado el transformador y a que

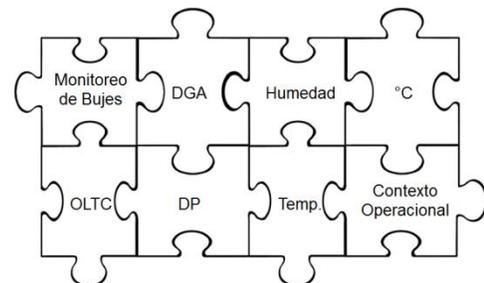
condiciones está sometido en todo momento, para ello tiene en cuenta las variables eléctricas típicas del transformador; Corriente, Tensión, Potencia Activa y Reactiva entre otras. Adicionalmente, se determina la cargabilidad del transformador actual e histórica para tener en cuenta los momentos en que se ha sometido a plena carga o cuando se ha superado su límite máximo y por cuanto tiempo.

b) Mantenimiento centrado en riesgo

El mantenimiento centrado en riesgo tiene en cuenta la criticidad e importancia del activo dentro del sistema interconectado nacional asociado a una probabilidad de falla. Esta última solamente se puede determinar con el estado actual del transformador el cual es dado por un sistema de monitoreo del desempeño y la condición del transformador.

3) Monitoreo del Desempeño y la Condición del Transformador

La probabilidad de falla del transformador se puede calcular con el estado actual de este y para la determinación del estado actual del transformador es importante tener las variables del proceso que permitan realizar un cálculo lo mas aproximado posible a la realidad del activo. Es allí donde cobra gran importancia un sistema de monitoreo que permita correlacionar en tiempo real las diferentes variables del proceso en conjunto con las variables eléctricas descritas en el contexto operacional.



Fuente: Tomado de [11]

Fig. 3. Monitoreo del Desempeño y la Condición: correlación de la información para un diagnóstico más preciso.

IV. PLATAFORMA DEL SISTEMA DE MONITOREO

Como se había descrito anteriormente, a raíz de las experiencias encontradas con los diversos sistemas de monitoreo en línea instalados en años anteriores fue necesario fijarse unas características mínimas de un sistema con el fin de cumplirlas a cabalidad para que el sistema pueda ser instalado y mantenido en el tiempo sin sobrecostos y de una manera eficiente.

A. Sistema Escalable

El sistema de monitoreo de activos ser diseñado de tal manera que pueda ser implementado por etapas y dependiendo de las necesidades de cada activo.

Esta filosofía permite ahorro en costos ya que la inversión en cada activo no será la misma.

B. Sistema de Fácil Acceso

Es de vital importancia que la información que genere el sistema sea accesible para todos los usuarios que la requieran.

El sistema de monitoreo debe permitir esta facilidad.

C. Sistema Integrado

El sistema de monitoreo debe integrarse con las diferentes herramientas del negocio:

- ERP (SAP)
- Sistema SCADA para información en tiempo real
- Sistema SAS de Cada Subestación

D. Sistema Abierto

Debe permitir la integración de sensores y soluciones de diferentes fabricantes con el fin de aprovechar las bondades que presenta el mercado y así disminuir costos en la implementación.

E. Sistema de Bajo Costo

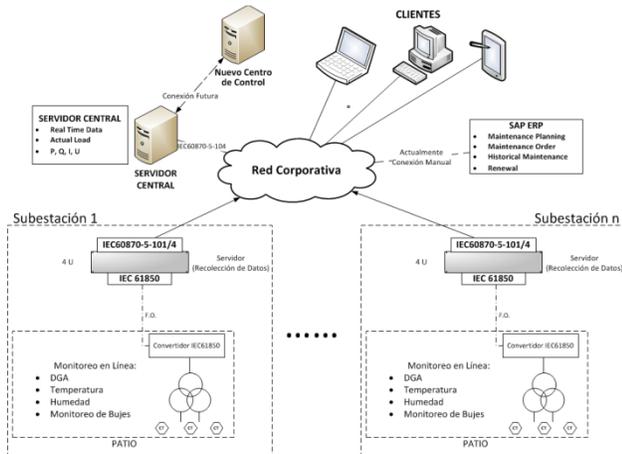
El costo de implementación es muy importante a la hora de tomar la decisión de instalar un sistema de monitoreo. En este proyecto fue igualmente importante el análisis de costos de implementación y fue tenido en cuenta a la hora de tomar la decisión del desarrollo de este

V. ARQUITECTURA DEL SISTEMA

En la siguiente gráfica se puede observar la arquitectura de la subestación. Allí se observa que el sistema está basado en una arquitectura de inteligencia distribuida. El sistema está compuesto por servidores que están instalados en las subestaciones y uno en la oficina principal del grupo ISA. Este servidor se encarga de recolectar la información de todos los servidores en las subestaciones y adicionalmente cumple la funcional de integración a las demás herramientas del negocio:

- Sistema ERP (SAP)
- Sistema SCADA
- Clientes del Sistema

El servidor principal permite el acceso a la información por parte de todo el personal de mantenimiento.



Fuente: Tomado de [12]

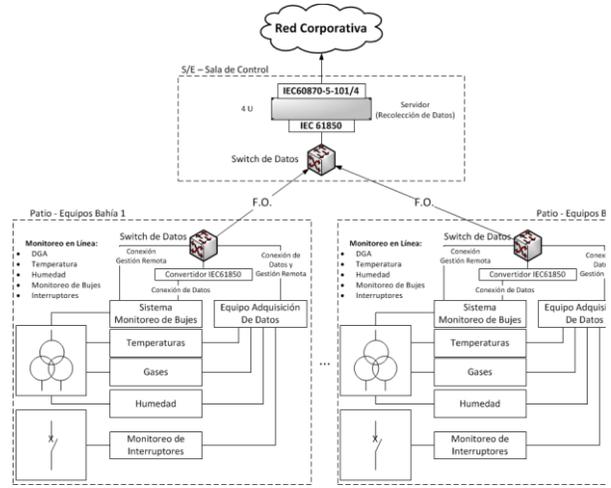
Fig. 4. Arquitectura de Comunicaciones para Sistemas de Monitoreo en Línea.

El costo de implementación del sistema por subestación tiene un valor aproximado de US\$30.000 por subestación, que incluye los servidores licencias y equipos de comunicación.

Las comunicaciones del sistema están basadas en estándares internacionales garantizando de esta manera la escalabilidad y la necesidad de que sea un sistema abierto. Los estándares de comunicación que se usan en el sistema son:

- IEC61850
- IEC60870-5-104
- DNP3.0

A. Arquitectura por Subestación



Fuente: Tomado de [12]

Fig. 5. Arquitectura por Subestación.

En cada subestación se instala un servidor que se comunica con el servidor central y se plantea un esquema de instalación de sensores de monitoreo, los cuales se instalan de acuerdo a la necesidad del transformador a monitorear.



Fuente: Tomado de [11]

Fig. 6. Servidor Instalado en cada Subestación

Allí se puede observar que en la subestación existe una inteligencia distribuida pues en cada banco de transformación se instala un equipo recolector de información que se comunica con el servidor de la subestación. Este esquema permite lograr una escalabilidad en el tiempo pues se instalan equipos de acuerdo a las necesidades de cada subestación. Esto sin incurrir en altos costos iniciales de inversión. INTEGRACIÓN DEL SISTEMA DE MONITOREO DE BUJES

Uno de los grandes resultados de la implementación del Sistema de Monitoreo de Activos, es la posibilidad de integrar sistemas de monitoreo de bujes sin incurrir en costos adicionales para la integración de la información.

Los resultados de la implementación e integración del sistema de monitoreo de bujes se presentan adelante.

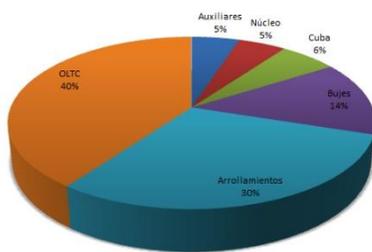
A. Monitoreo de Bujes

El factor de potencia y capacitancia son conocidos como los principales parámetros para determinar la condición del aislamiento de los bujes, porque estos son afectados directamente con el deterioro del aislamiento.

Una falla en el aislamiento en los bujes puede resultar en un daño total no solo del buje sino también del equipo asociado a este. Razón por la cual se programan actividades de mantenimiento preventivo para realizar pruebas de factor de potencia y capacitancia a los bujes de los transformadores y reactores. Estas pruebas se realizan con una periodicidad de 3 años, requiriendo la desenergización y desconexión del equipo.

Existe la posibilidad de presentarse daños en el aislamiento en el periodo entre cada prueba, resultando en fallas graves.

Como alternativa para contrarrestar las desventajas de las pruebas off-line, INTERCOLOMBIA instala sistemas de monitoreo de bujes de la empresa doble, permitiéndole consultar el factor de potencia y capacitancia de los bujes continuamente con el equipo en servicio.



Fuente: Tomado de [11]

Fig. 7. Índice de Fallas – CIGRE SC 12WG 12.05/1983

B. Beneficios del Monitoreo de Bujes

1) Reducción de Tiempos de Desconexión

Modificación de la actividad periódica de pruebas a bujes cada 3 años, actividad que requería desenergizaciones de hasta 15 horas en equipos de 500 kV y 10 horas para equipos de 230 kV.

2) Toma de Decisiones a Tiempo

Calificación automática del estado de los bujes.

Con la información que se tiene se facilita el análisis del proceso de envejecimiento del aislamiento de los bujes, de esta forma se cuenta con mas herramientas para decidir si aplazar el cambio hasta que la acción correctiva pueda ser programada.

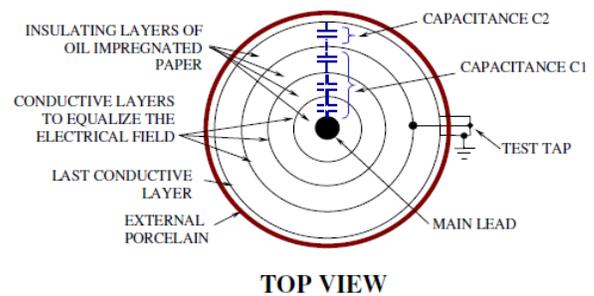
Frente a la desconexión cada 3 años para pruebas, se descarta la posibilidad de que no se detecten defectos en el aislamiento en el período de tiempo entre dos mediciones, culminando en fallas graves.

3) Monitoreo en Línea de Alarmas

Monitoreo de alarmas en tiempo real con diferentes niveles de alerta informativo, precaución y acción.

C. Modelamiento Aislamiento de Bujes

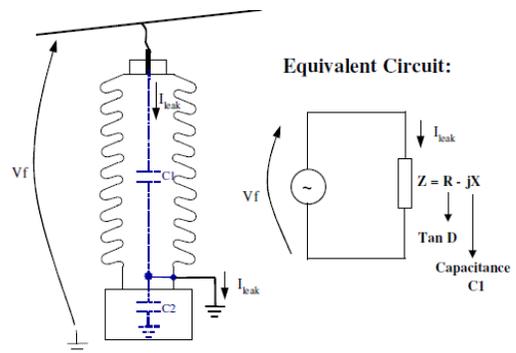
La representación gráfica de un sistema de aislamiento de bujes se puede observar en la siguiente gráfica. Allí 0,5 % es un valor típico de factor de potencia. El factor de potencia puede incrementarse con el tiempo. Se considera crítico un buje con factor de potencia superior a 0,7 %.



TOP VIEW

Fuente: Tomado de [11]

Fig. 8. Modelado del Aislamiento de Bujes. Parte A

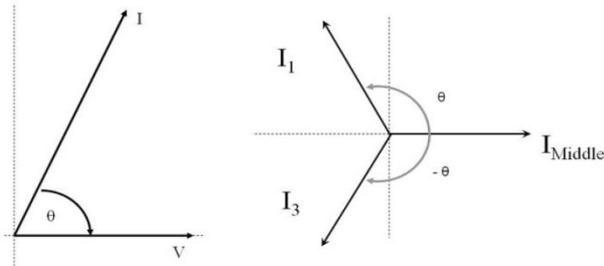


Fuente: Tomado de [11]

Fig. 9. Modelado del Aislamiento de Bujes. Parte B

D. Métodos de Medición del Aislamiento de Bujes

Se establecen dos métodos de medición. Off-Line y On-Line.

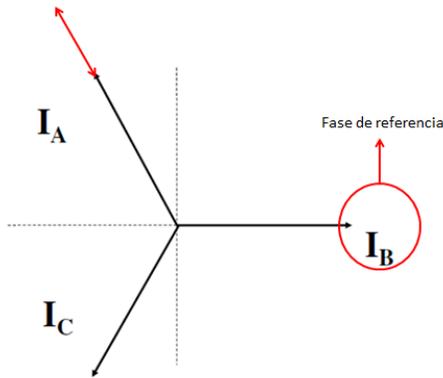


Fuente: Tomado de [11]

Fig. 10. Métodos de Medición del aislamiento

1) *Medición Off-Line*

Toma una medida absoluta. El voltaje aplicado es tomado como referencia y se determina el ángulo entre la referencia y la corriente medida para determinar el factor de potencia y la capacitancia.



Fuente: Tomado de [11]

Fig. 11. Medida Relativa en la Capacitancia

2) *Metodo On-line*

Toma una medida relativa. Se toma como referencia una fase para determinar la variación del factor de potencia y capacitancia

3) *Medida Relativa-Cambio en la Capacitancia*

Las corrientes de los bujes están desfasadas 120 grados entre ellas. Cuando la corriente de fuga incrementa, la capacitancia también incrementa.

$$\frac{\text{Voltaje}}{\text{Corriente}} = X_c = \text{Reactancia}$$

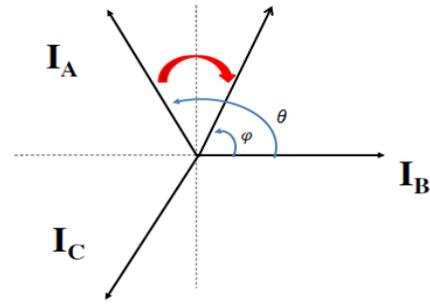
$$X_c = \frac{1}{2\pi fC}$$

$$\frac{\text{Voltaje}}{\text{Corriente}} = \frac{1}{2\pi fC}$$

Ecuación [1]

4) *Medida Relativa-Cambio en el Factor de Potencia*

Disminución del ángulo de desfase de la fase A indica incremento en el factor de potencia de la fase A.



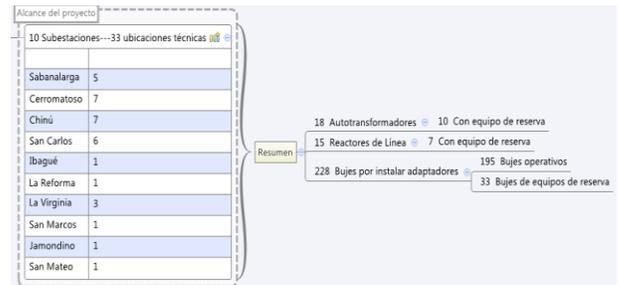
Fuente: Tomado de [11]

Fig. 12. Medida Relativa en el Factor de Potencia

Cambios simultáneos en el ángulo de desfase en la fase A y Fase B indica cambios en el factor de potencia de la fase B.

E. *Alcance del Proyecto*

El proyecto abarcó la instalación de sistemas de monitoreo de bujes para 33 autotransformadores localizados en 10 subestaciones.



Fuente: Tomado de [11]

Fig. 13. Sistemas Implementados.

1) *Instalación típica sistema de monitoreo de bujes integrado al sistema de monitoreo de activos*



Fuente: Tomado de [11]

Fig. 14. Sistema de Monitoreo de Bujes integrado al Sistema de Monitoreo de Activos.

En la gráfica se observará la instalación del sistema de monitoreo en línea que ya está integrado a un único sistema nacional donde cualquier usuario del sistema puede tener la información en tiempo real.

2) Acceso a la Información

Actualmente desde cualquier punto de la red corporativa es posible acceder al sistema. Esto se logra por la facilidad de la flexibilidad de acceso. Este acceso se puede dar igualmente vía VPN.

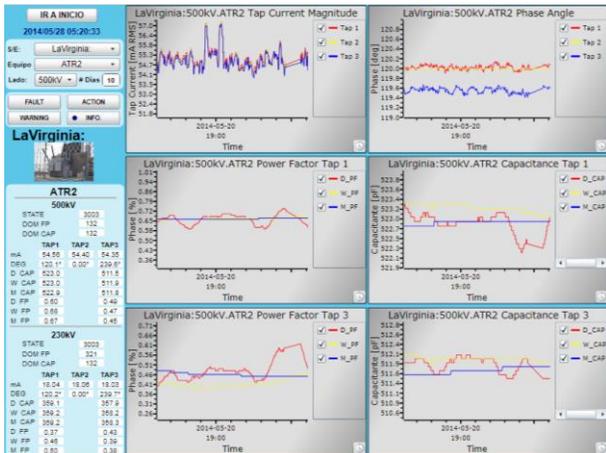


Fuente: Tomado de [11]

Fig. 15. Acceso al Sistema de Monitoreo de Activos.

3) Visualización en tiempo real de la información

El usuario puede observar las variables en tiempo real y tomar decisiones sobre el activo.



Fuente: Tomado de [11]

Fig. 16. Visualización de Valores del Sistema de Monitoreo de A.

4) Integración al Sistema SAP

El sistema se comunica con SAP para afectar los puntos de medida



Fuente: Tomado de [11]

Fig. 17. Comunicación con SAP

VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El sistema está funcionando desde el año 2013 con resultados satisfactorios. Se ha logrado implementar un sistema que cumple con las siguientes características:

- Escalable
- Flexible
- Abierto
- De Fácil Acceso

El sistema continúa en crecimiento y para los próximos años se continuará instalando en otras ubicaciones técnicas.

Una de las ventajas del sistema es la escalabilidad, ya que dependiendo de la criticidad del activo este se puede monitorear completamente con todas los sensores necesarios o simplemente se puede realizar un monitoreo básico.

El proyecto ya ha dado sus frutos con la detección de la falla de la fase B de un buje de un transformador de 500kV.

Lo anterior demuestra la importancia y beneficios de un Sistema Nacional de Monitoreo de Activos

REFERENCES

- [1] Grupo ISA, «Presentación Corporativa,» 11 03 2019. [En línea]. Available: http://www.isa.co/es/sala-de-prensa/Documents/relacion-con-inversionistas/presentaciones-corporativas/ISA_CorporativaJunio2018.pdf.
- [2] ISA INTERCOLOMBIA, «Plan Estratégico de Gestión de Activos, PEGA,» Medellín, 2017.
- [3] T. van der Lei, P. Herder y Y. Wijnia, Asset Management, Springer, 2012.
- [4] S. Wan, «Asset Performance Management for Power Grids,» de World Engineers Summit - Applied Energy Symposium & Forum: Low Carbon Cities & Urban Energy Joint Conference, Singapore, 2017.
- [5] W. D. Stephenson, The Future is Smart, New York: HarperCollins, 2018.

- [6] E. A. Villegas, «Mantenimiento,» Consultor CAPRE/GTZ, 2008.
- [7] S. Kennedy, «What is prescriptive maintenance and how soon will you need it?,» *Plant Services, Smart Industry*, vol. Technology Report, pp. 3-11, 2018.
- [8] A. Jahromi, R. Piercy, S. Cress, J. Service y W. Fan, «An approach to power transformer asset management using health index,» *IEEE Electrical Insulation Magazine*, vol. 25, nº 2, pp. 20-34, 2009.
- [9] D. A. Maheshwari, *Data Analytics Made Accessible*, Fairfield: Amazon, 2019.
- [10] A. Monleón, E. Vegas y F. Reverter, *BIG DATA, Hacia la Cuarta Revolución Industrial*, U. d. Barcelona, Ed., Barcelona: UBe, 2017.
- [11] W. Castillo, *Sistema de Monitoreo, Análisis, Diagnóstico y Calificación Automática de Equipo Inductivo.*, Cartagena de Indias: II Seminario Internacional Gestión de Activos de Transformadores (SIGAT), 2014.
- [12] W. Castillo, *Arquitectura del Sistema de Monitoreo en Línea de Equipo Inductivo*, Medellín: ISA, 2013.
- [13] J. O. Jiménez Duque, J. C. Garcés, L. A. Martínez, H. M. Salazar y V. M. Diez, «Informe de Referenciamiento en mejores prácticas O&M en Europa,» INTERCONEXIÓN ELÉCTRICA S.A., Medellín, 2018.
- [14] N. Foust y K. Steenstrup, «Market Guide for Asset Performance Management Software,» Gartner Inc, Stamford, 26 de Junio 2019.
- [15] W. Castillo Bautista, «Infraestructura Tecnológica para Sistemas de Monitoreo de Activos,» ISA Jornadas del Conocimiento 2019, Medellín, 2019.
- [16] W. Castillo Bautista, «Infraestructura Tecnológica para Integración de Sistemas de Monitoreo de Equipo Inductivo,» de *Presentación SIGAT CIER 2019*, Medellín , 2019.
- [17] R. Buyya, R. Calheiros y A. Dastjerdi, *BIG DATA Principles and Paradigms*, Morgan Kaufmann, 2016.
- [18] R. Arghandeh y Y. Zhou, *Big Data Applications in Power Systems*, Elsevier, 2018.
- [19] Grupo ISA, «Presentación Corporativa,» [En línea]. Available: http://www.isa.co/es/sala-de-prensa/Documents/relacion-con-inversionistas/presentaciones-corporativas/ISA_CorporativaJunio2018.pdf. [Último acceso: 11 Marzo 2019].