



Ventajas de la optimización del ciclo de vida de los interruptores de potencia con medio aislante en SF6 a partir de mejoras en la estrategia de mantenimiento

John Fredy Toro Jaramillo
Carmen Julia Machado Carreño

Monografía presentada para optar al título de Especialista en Gestión de Activos

Tutor
Juan Carlos Orrego Barrera, Magister en Gestión energética industrial

Universidad de Antioquia
Facultad de Ingeniería
Especialización en Gestión de Activos
Medellín, Antioquia, Colombia
2023

Cita	(Toro Jaramillo & Machado Carreño, 2023)
Referencia	Toro Jaramillo, J. F. & Machado Carreño, C. J. (2023). <i>Ventajas de la optimización del ciclo de vida de los interruptores de potencia con medio aislante en SF6 a partir de mejoras en la estrategia de mantenimiento</i> [Trabajo de grado especialización]. Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia.
Estilo APA 7 (2020)	



Especialización en Gestión de Activos, Cohorte III.



Centro de Documentación de Ingeniería (CENDOI)

Repositorio Institucional: <http://bibliotecadigital.udea.edu.co>

Universidad de Antioquia - www.udea.edu.co

Rector: John Jairo Arboleda Céspedes.

Decano: Francisco Vargas

Jefe departamento: Pedro León Simancas

El contenido de esta obra corresponde al derecho de expresión de los autores y no compromete el pensamiento institucional de la Universidad de Antioquia ni desata su responsabilidad frente a terceros. Los autores asumen la responsabilidad por los derechos de autor y conexos.

Dedicatoria

Con profundo agradecimiento y emoción, deseo dedicar esta monografía, fruto de mi esfuerzo y dedicación, a mis padres, Alonso y Lucelly, su constante apoyo, amor incondicional y sabios consejos han sido la fuente de inspiración que me ha impulsado a alcanzar esta meta académica. A mi amada esposa, Nathalia, agradezco tu paciencia, comprensión y apoyo incondicional a lo largo de este exigente proceso de especialización. Tu presencia ha sido mi refugio, y tu aliento constante ha sido el impulso que necesitaba para superar los desafíos. A mi hijo, Emmanuel, por el tiempo que no te pude dedicar. Cada esfuerzo realizado en este camino ha sido con la visión de construir un futuro mejor para nuestra familia. Eres mi mayor motivación y fuente de alegría.

John Fredy Toro Jaramillo

Dedico esta monografía a Dios, por permitirme realizar esta especialización y darme la fortaleza de emprender nuevos retos en mi vida. A mi madre, por su apoyo incondicional durante el tiempo de este nuevo reto, por el amor y la paciencia que me mostro durante este año.

Carmen Julia Machado Carreño

Agradecimientos

Queremos agradecer a todas las personas que han creído en nosotros y que fueron un apoyo en este proyecto profesional. A la Universidad de Antioquia por generar espacios de aprendizaje virtual y por compartirnos el conocimiento. A los docentes de la especialización, por su dedicación. A nuestras familias por su compañía y paciencia.

Tabla de contenido

Resumen.....	12
Abstract.....	13
Introducción.....	14
1 Planteamiento del problema.....	15
1.1 Antecedentes.....	15
2 Justificación.....	17
3 Objetivos.....	19
3.1 Objetivo general.....	19
3.2 Objetivos específicos.....	19
4 Marco teórico.....	20
4.1 Gestión de activos.....	20
4.1.1 Planificación y diseño.....	21
4.1.2 Adquisición o construcción.....	21
4.1.3 Operación y mantenimiento.....	21
4.1.4. Retiro y desmantelamiento.....	22
4.2 Conceptos asociados a los interruptores de potencia aislados en SF6.....	23
4.3 Conceptos de mantenimiento.....	24
4.4 Conceptos sobre sistemas de información.....	25
5 Metodología.....	29
5.1 Cronograma.....	30
6 Resultados.....	31
6.1 Extracción de data.....	31
6.1.1 Evolución de los interruptores de potencia para las subestaciones de energía.....	31
6.1.2 Inventario de interruptores.....	34

6.1.3 Evaluación del costo del ciclo de vida	36
6.1.4 Riesgos asociados	43
6.1.5. Equipos y elementos de seguridad.....	46
6.1.6 Costos del mantenimiento preventivo.....	49
6.1.7 Costos del mantenimiento basado en condición.....	49
6.1.8 Prueba de calidad del gas	49
6.1.9 Análisis de criticidad.....	53
6.2 Plan de mantenimiento MBC	58
6.2.1 Soportes aislantes.....	59
6.2.2 Fugas de SF6.....	60
6.2.3 Tanque y caja de mecanismo.....	60
6.2.4 Componentes y mecanismo de control.....	61
6.2.5 Contactos, boquillas y válvulas.....	61
6.2.6 Capacitores sincronizadores de contactos	62
6.2.7 Soporte, bases y puestas a tierra	62
6.2.8 Condición general	63
6.2.9 Tiempo de recorrido	63
6.2.10 Resistencia de contactos.....	64
6.2.11 Tiempo de recarga	64
6.2.12 Análisis de gases	65
6.2.13 Evaluación del puntaje para el índice de salud	65
6.2.14 Evaluación final del índice de salud.....	66
6.3 Estrategia	67
6.3.1 Paso 1. Evaluación de la situación actual.....	67
6.3.2 Paso 2. Selección de parámetros de monitoreo	67

6.3.3 Paso 3. Adquisición de equipamiento y tecnología	68
6.3.4 Paso 4. Implementación de monitoreo continuo	68
6.3.5 Paso 5. Análisis de datos y decisiones de mantenimiento	68
6.3.6 Paso 6. Planificación de mantenimiento	68
6.3.7 Paso 7. Evaluación y mejora continua	68
6.4 Beneficios	68
6.4.1 Formularios digitales	70
6.4.2 Medidores de control de interruptores	71
8 Discusión	73
9 Conclusiones	80
Referencias	81

Lista de tablas

Tabla 1. Marcas inventario interruptores en SF6	34
Tabla 2. Atributo de los interruptores, características técnicas	35
Tabla 3. Costo por fases del ciclo de vida de los interruptores	39
Tabla 4. Valor de un interruptor bajo la modalidad de Costos DDP por unidad constructiva (Junio/2023)	40
Tabla 5. Costo de montaje por unidad constructiva de subestaciones de nivel de tensión	40
Tabla 6. Costos de instalación por interruptor por su nivel de tensión	40
Tabla 7. Planes de mantenimiento preventivo en el software EAM Máximo etapa OPEX.....	41
Tabla 8. Tareas y tiempos de los mantenimientos preventivos para los interruptores de potencia	41
Tabla 9. Costos y cantidad de personal requerido el mantenimiento preventivo de un interruptor por hora.....	42
Tabla 10. Herramientas necesarias para el mantenimiento preventivo de un interruptor de potencia	42
Tabla 11. Materiales y repuestos utilizados para el mantenimiento preventivo de un interruptor de potencia.....	42
Tabla 12. Equipos de pruebas utilizados en el mantenimiento preventivo de un interruptor de potencia	43
Tabla 13. Riesgos, efectos y medidas de control asociados a los mantenimientos de interruptores de potencia.....	43
Tabla 14. Equipo de protección personal a utilizar durante un mantenimiento de un interruptor de potencia.....	46
Tabla 15. Equipos y elementos de seguridad	46
Tabla 16. Costo de mantenimiento preventivo de interruptores de 110KV.....	49
Tabla 17. Costo de mantenimiento basado en condición de interruptores de 110 KV	49
Tabla 18. Parámetros de variables permitidas en mediciones de gas SF6.....	50
Tabla 19. Costo de uso hora equipo.....	51

Tabla 20. Parámetros determinados para interruptores de potencia, los cuales se revisan por medio de la inspección visual, criterios definidos por el modelo y el técnico experto.....	59
Tabla 21. Criterios de evaluación de soporte aislante	59
Tabla 22. Criterios de evaluación de fugas de SF6	60
Tabla 23. Criterios de evaluación de tanque y caja de mecanismo	60
Tabla 24. Criterios de evaluación de componentes y mecanismo de control	61
Tabla 25. Criterios de evaluación de contactos, boquillas y válvulas	61
Tabla 26. Criterios de evaluación de capacitores sincronizadores de contactos.....	62
Tabla 27. Criterios de evaluación de soporte, bases y puestas a tierra	62
Tabla 28. Criterios de evaluación de condición general.....	63
Tabla 29. Criterios de evaluación de tiempo de recorrido	63
Tabla 30. Criterios de evaluación de resistencia de contactos.....	64
Tabla 31. Criterios de evaluación de tiempo de recarga	64
Tabla 32. Criterios de evaluación de análisis de gases	65
Tabla 33. Puntajes para determinar el índice de salud	65
Tabla 34. Acciones a tomar de acuerdo al resultado de índice de salud	66
Tabla 35. Comparación de costos de mantenimiento	69
Tabla 36. Medidores de control de los interruptores de potencia de acuerdo con la unidad de medida	71
Tabla 37. Información de fugas presentadas en interruptores SF6.....	77
Tabla 38. Comparación de cantidad de recurso humano y tiempo de intervención entre estrategias de mantenimiento.....	78

Lista de figuras

Figura 1. Objetos de impacto.....	15
Figura 2. Interruptor antiguo	16
Figura 3. Optimización de la frecuencia de mantenimiento.....	21
Figura 4. Relación entre términos clave y la evaluación de desempeño asociada.....	23
Figura 5. Flujo órdenes de trabajo EAM	26
Figura 6. CAPEX Y OPEX Contexto del ciclo de vida.....	27
Figura 7. EAM Máximo y el ciclo de vida del Activo.....	28
Figura 8. Interruptor de potencia	31
Figura 9. Subestación antigua de energía	32
Figura 10. Mantenimientos interruptores de potencia	33
Figura 11. Inventario capacidad instalada de interruptores.....	34
Figura 12. Dimensiones de un interruptor de potencia	39
Figura 13. Mantenimientos interruptores de potencia	47
Figura 14. Plantilla para pruebas eléctricas.....	48
Figura 15. GA 11 – Analizador de calidad de gas SF6	50
Figura 16. Criterios de criticidad.....	54
Figura 17. Variables y pesos por objeto de impacto	57
Figura 18. Inventario de Interruptores de potencia por nivel de tensión vs evaluación de criticidad.....	58
Figura 19. Formularios digitales	70
Figura 20. Metas SAIDI y SAIFI 2022 Operadores de Red.....	79

Lista de Ecuaciones

Ecuación 1. Ecuación de costos.....	37
Ecuación 2. Ecuación de costos por bajo desempeño.....	38
Ecuación 3. Ecuación para número total de pruebas de equipo de medición de gas SF6 en su vida útil.....	51
Ecuación 4. Costo de cada prueba realizada con equipo de medición de gas SF6.....	52
Ecuación 5. Cálculo del índice de salud de los interruptores de potencia.....	66
Ecuación 6. Tiempo de optimización en horas	73

Siglas, acrónimos y abreviaturas

EAM	Enterprise Asset Management
CAPEX	Capital Expenditure
CMD	Confiabilidad Mantenibilidad Disponibilidad
MBC	Mantenimiento Basado en Condición
OPEX	Operational expenditures
PHVA	Planificar-Hacer-Verificar-Actuar
SF6	Hexafluoruro de azufre

Resumen

El mantenimiento desempeña una función vital en todos los procesos productivos o de servicios industriales o empresariales, que utilizan máquinas, equipos y activos para cumplir su objetivo social, además de su misión social y contextual, ya que permite garantizar la funcionalidad plena de los activos cuando estos son requeridos para cumplir su razón de diseño, es por eso que el proyecto toma fuerza, ya que se presenta una innovadora forma organizacional de generar competitividad a partir de mantenimiento considerado como un recurso nuclear, capaz de generar acciones y factores claves de éxito, apoyado en los activos, como una forma de apalancamiento para poder cumplir la operacionalización real de sus acciones, el proceso se basa en un caso real empresarial, donde se aplica *analytics* avanzada, que permite visualizar el estado futuro de mediano plazo, entre dos meses y dos años, en el presente y enfoca a mantenimiento como una estructura de avanzada, fundamentada en una arquitectura empresarial moderna centrada en el servicio, diferente a lo clásico donde los activos generan utilidades financieras, el proceso correcto es mantenimiento generador de divisas bajo un enfoque moderno vanguardista, que rompa lo tradicional y aporte grandes beneficios a las empresas, a partir de la utilización de herramientas tecnológicas como *big data* (BD), *Business Intelligence* (BI), *Data Mining* (DM) & *Information Technology* (IT)(Seyedan & Mafakheri, 2020); con el fin de considerar el principio vanguardista de que mantenimiento es una capacidad avanzada y estratégica del negocio, que permite viabilizar la estrategia de la compañía, para alcanzar las metas y objetivos de la empresa.

Palabras clave: mantenimiento, ciclo de vida, mantenimiento MBC, interruptores de potencia SF6, gestión de activos, OPEX, confiabilidad.

Abstract

Maintenance performs a vital function in all the productive processes or industrial or business services, which involve machines, equipment and assets to fulfill their social objective, in addition to their social and contextual mission, since it allows to guarantee the complete functionality of the assets when these are required to fulfill their design reason, and it is for this reason that the project takes strength, due it shows an innovative organizational form presented to generate competitiveness from maintenance considered as a nuclear resource, capable of generating actions and key success factors, supported by assets, as a form of leverage to be able to comply with the real operationalization of its actions. This process is based on a real business case, where advanced analytics is applied, which allows to visualize the future state of medium time, between two months and two years, in the present and focuses on maintenance as an advanced structure, based on a corporate architecture, framework, modern service-centered, different from the classic one where assets generate financial utilities, the correct process is currency-generating maintenance under a modern avant-garde approach, which breaks away from the traditional and brings great benefits to companies, since its use of technological tools such as big data (BD), Business Intelligence (BI), Data Mining (DM) & Information Technology (IT); in order to consider the avant-garde principle that maintenance is an advanced and strategic capacity of the business, which allows the company's strategy to be viable, to achieve the company's goals and objectives.

Keywords: maintenance, life cycle, CBM maintenance, SF6 circuit breakers, asset management, OPEX.

Introducción

La gestión eficiente de activos, particularmente en el ámbito de los interruptores de potencia con aislante en SF6 utilizados en las subestaciones de energía, representa un desafío crucial en el sector energético. La presente monografía, titulada "Ventajas de la Optimización del Ciclo de Vida de los Interruptores de Potencia con Medio de Aislante en SF6 a partir de Mejoras en la Estrategia de Mantenimiento", aborda la necesidad imperante de perfeccionar las estrategias de mantenimiento asociadas a estos activos, motivada por los elevados costos del mantenimiento preventivo periódico, los tiempos de intervención, el impacto en el OPEX y la ausencia de un referente claro sobre el costo del ciclo de vida.

Apoyados en la norma ISO 55000 buscamos que una transición hacia el mantenimiento basado en condición (MBC) se establezca como una alternativa más efectiva y rentable. Este enfoque permite un monitoreo continuo del estado de los activos, interviniendo solo cuando es necesario, lo que contrasta con las metodologías tradicionales. La evolución constante de nuevas formas para mejorar la eficiencia, reducir costos, controlar riesgos, gestionar el desempeño y aumentar la rentabilidad, fundamenta la relevancia de este estudio.

A lo largo de esta investigación, se abordarán diferentes aspectos fundamentales que contribuyen a la comprensión y optimización de los interruptores de potencia aislados en SF6, se tiene en cuenta la criticidad de estos, un modelo de saludo de interruptores yendo más allá de un cambio de estrategia y proporcionando una perspectiva integral que permita avanzar hacia una gestión más eficiente de estos activos críticos en el sector energético e impactando todo el ciclo de vida.

1 Planteamiento del problema

El problema planteado es la necesidad de mejorar o cambiar las estrategias de mantenimiento de los interruptores aislados en SF6 debido a los altos costos que implica el mantenimiento preventivo periódico y la falta de un referente del costo del ciclo de vida del activo. La tendencia hacia el mantenimiento basado en condición (MBC) demuestra ser una estrategia más efectiva y rentable, ya que permite monitorear continuamente el estado de los activos y realizar el mantenimiento solo cuando es necesario. En la actualidad, esta tendencia continúa, ya que se buscan constantemente nuevas formas de mejorar la eficiencia, reducir los costos, controlar los riesgos y aumentar la rentabilidad basados en los objetos de impacto como se ve en la figura 1.

Figura 1

Objetos de Impacto

OBJETOS DE IMPACTO							
SEGURIDAD		AMBIENTE		FINANZAS		REPUTACION	
CONS.	PROB.	CONS.	PROB.	CONS.	PROB.	CONS.	PROB.
8	2	4	2	8	2	2	2
16		8		16		4	

Nota. Análisis de riesgo de los interruptores de potencia

1.1 Antecedentes

Como se menciona en el planteamiento del problema, los costos de mantenimiento son un factor fundamental en las decisiones operacionales de las organizaciones, y el mantenimiento preventivo periódico es una práctica común en la industria durante décadas, foto histórica figura 2. Sin embargo, este enfoque resulta en costos significativos debido a la cantidad de tiempo y recursos necesarios para llevar a cabo el mantenimiento programado, sin una clara certeza de si el activo lo requiere al cumplir su ciclo periódico o si, en muchas ocasiones, puede fallar antes de llegar al periodo asignado.

En los últimos años, existe una tendencia hacia el mantenimiento basado en condición (MBC), que se centra en monitorear continuamente el estado de los activos y sus diferentes variables para determinar cuándo es necesario llevar a cabo el mantenimiento. Esta estrategia demuestra ser más efectiva y rentable, y se espera que continúe en los próximos años.

En este contexto, surge la necesidad de mejorar o cambiar las estrategias de mantenimiento de los interruptores aislados en SF6, con el objetivo de reducir costos, mitigar los riesgos y mejorar el rendimiento. En la actualidad, las empresas realizan un mantenimiento preventivo periódico en intervalos regulares, independientemente del estado de los interruptores o su medio aislante.

Este enfoque de MBC es altamente efectivo para detectar y prevenir fallas tempranas, pero también requiere asumir costos iniciales significativos debido a la cantidad de tiempo y recursos necesarios para estabilizar el sistema e implementar el monitoreo.

Figura 2

Interruptor antiguo



Nota. Fuente: (Bizjan, 2018)

2 Justificación

En el ámbito de los procesos productivos de las organizaciones y si nos enfocamos en los operadores de redes de energía, es fundamental el papel del mantenimiento en la funcionalidad de activos, esto siendo incuestionable. Este proceso no solo asegura el correcto desempeño de los activos, sino que también se establece como un recurso para con el potencial de generar competitividad y factores clave de éxito para las organizaciones. En este contexto, la presente monografía cobra vital importancia al abordar una perspectiva innovadora de gestión de activos, específicamente en el caso de interruptores de potencia con aislante en SF6.

La necesidad de mejorar o cambiar las estrategias de mantenimiento se presenta como un desafío crítico, dado el mercado cambiante y las exigencias de este, adicional la incorporación de regulaciones nuevas que invitan a la búsqueda constante de alternativas que permitan a los operadores de red, entregar servicios más eficientes y con costos. La orientación hacia el mantenimiento basado en condición (MBC), como se propone en este proyecto, se alinea con las tendencias actuales que buscan eficiencia, reducción de costos, control de riesgos los que conllevaría a la generación de mayor valor.

La relevancia de esta monografía se ve respaldada por la innovadora forma organizacional que propone, donde el Mantenimiento Basado en Condición se posiciona no solo como un generador de utilidades financieras, sino como una capacidad avanzada y estratégica del negocio. Inspirado en un caso real de un operador de red y respaldado por herramientas tecnológicas como EAM Maximo, este enfoque trata de romper con lo tradicional, proponiendo una arquitectura integral al con la criticidad y la salud de los interruptores.

La monografía, se basará en la premisa de que el mantenimiento basado en condición tiene una capacidad avanzada para viabilizar una mejor estrategia empresarial, busca ofrecer no solo una solución a los desafíos actuales en la gestión de activos, sino también una oportunidad para que los operadores de red transformen su perspectiva sobre el mantenimiento. La implementación de esta visión puede generar beneficios significativos, no solo en términos de eficiencia y rentabilidad, sino también en la capacidad de los operadores de red para alcanzar sus metas y objetivos estratégicos a largo plazo. En este sentido, la monografía se presenta como un valioso recurso para aquellos involucrados en la gestión de activos en el sector energético y

áreas afines, ofreciendo un enfoque integral y avanzado para la optimización del ciclo de vida de los interruptores de potencia con SF6.

3 Objetivos

3.1 Objetivo general

Constatar el ciclo de vida de los interruptores de potencia SF6 mediante el cambio de la estrategia de mantenimiento periódico a mantenimiento basado en la condición, enfocando los esfuerzos económicos en el análisis del OPEX como referencia.

3.2 Objetivos específicos

- Lograr un plan de mantenimiento basado en la condición del medio aislante SF6 para los interruptores de Potencia.
- Probar el impacto positivo del cambio de estrategia de mantenimiento periódico a mantenimiento basado en la condición en los costos de mantenimiento (OPEX) asociados con los interruptores de potencia.
- Identificar todos los beneficios esperados, que se logran en el CMD de los interruptores, con el plan nuevo de mantenimiento y el cambio de estrategia de los interruptores SF6.
- Explicar los principales logros que se alcanzan con el proyecto.

4 Marco teórico

El marco teórico de esta monografía se enfoca en proporcionar una comprensión profunda de los conceptos teóricos esenciales necesarios para llevar a cabo un análisis del ciclo de vida de los activos, con el objetivo de optimizar los costos operativos (OPEX) y mejorar la estrategia de mantenimiento. En particular, se explorarán los principios y aplicaciones clave de la gestión de activos.

Uno de los enfoques centrales de este marco teórico será la introducción y explicación detallada del mantenimiento basado en condición (MBC). Se analizará en profundidad cómo el MBC difiere del mantenimiento periódico convencional y cómo puede contribuir a lograr una mayor eficiencia en la operación de interruptores de potencia con medio aislante en SF6.

Además, se abordarán los aspectos teóricos relacionados con la optimización de los costos en el OPEX. Esto implica un análisis crítico de las estrategias de mantenimiento periódico en comparación con el enfoque basado en condición. Se examinará cómo estas dos estrategias se traducen en costos y se evaluarán los beneficios potenciales en términos de ahorro de costos y reducción de riesgos.

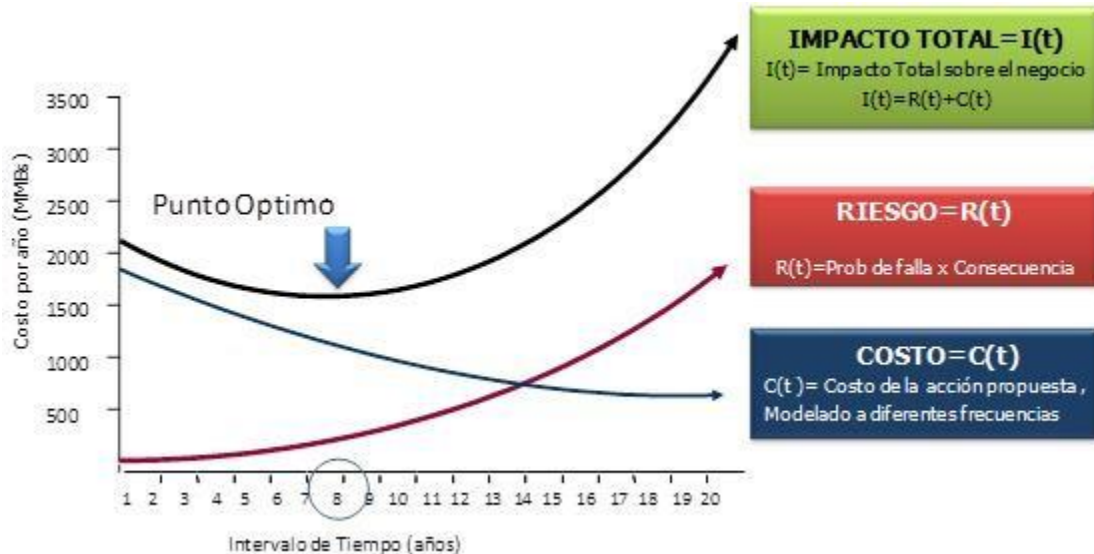
La gestión de activos será otro elemento fundamental de este marco teórico. Se explorarán los principios fundamentales de la gestión de activos, destacando su importancia en la toma de decisiones estratégicas relacionadas con los interruptores de potencia con medio aislante en SF6. Se discutirá cómo una sólida gestión de activos puede contribuir a la optimización de recursos y al aumento del rendimiento de estos activos críticos.

4.1 Gestión de activos

La Gestión de Activos en las organizaciones está tomando gran relevancia ya que busca que sus activos generen mayor valor para la organización administrando el costo, el riesgo y el desempeño, ver figura 3 y para esto, a través de la norma ISO 55000 toma referencias aplicables a todo su ciclo de vida (Institute of Asset Management, 2015).

Figura 3

Optimización de la frecuencia de mantenimiento.



Nota. Grafica ilustrativa del punto óptimo entre el impacto total, el riesgo y el costo. Fuente: (Romero de Pérez, 2016)

4.1.1 Planificación y diseño

En esta etapa, se realiza la planificación estratégica de los activos y se define su diseño. Se identifican las necesidades, se establecen los objetivos y se elabora un plan detallado para su adquisición o construcción.

4.1.2 Adquisición o construcción

En esta etapa, se adquieren o construyen los activos físicos de acuerdo con los planes y diseños establecidos. Esto puede incluir la compra de maquinaria, equipos, infraestructuras o instalaciones.

4.1.3 Operación y mantenimiento

Una vez que los activos están en funcionamiento, se lleva a cabo su operación y mantenimiento. Esto implica asegurarse de que los activos estén en condiciones óptimas de funcionamiento, realizar inspecciones, llevar a cabo tareas de mantenimiento preventivo y correctivo, y garantizar que los activos cumplan con los requisitos de seguridad y regulación.

4.1.4. Retiro y desmantelamiento

Finalmente, cuando los activos llegan al final de su vida útil o se vuelven obsoletos, se procede al retiro y desmantelamiento. En esta etapa, se realiza la eliminación segura y responsable de los activos, siguiendo los procedimientos adecuados para el manejo de residuos y minimizando el impacto ambiental.

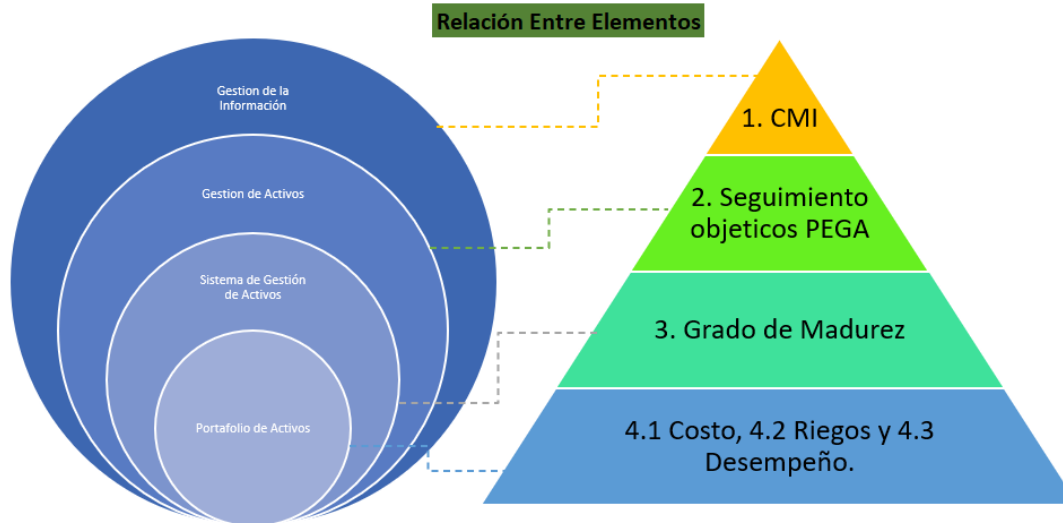
La norma ISO 55000 de Gestión de Activos da una visión general, principios y terminología que hace una presentación general de la gestión de activos, está compuesta por otras dos normas paralelas: la ISO 55001, norma específica los requisitos de un sistema de Gestión de Activos dentro del contexto de una organización y la ISO 55002, esta norma proporciona una guía para la aplicación de un sistema de gestión de activos conforme con los ciertos requisitos.

La gestión de activos generaliza actividades y prácticas coordinadas y sistemáticas por medio de las cuales una organización administra de manera óptima y sostenible sus activos y sistemas de activos, su desempeño, riesgo y costos asociados durante su ciclo de vida, con el fin de lograr su plan estratégico organizacional (Institute Of Asset Management, 2008).

Aunque la gestión de activos no se enfoca en el activo como entidad, si no en un todo como vemos la alineación en la figura 4, si busca que a través de este encontrar un valor real o potencial para una organización” El valor puede ser tangible o intangible, financiero o extra financiero incluyendo la consideración de riesgo y obligaciones. Puede ser positivo o negativo, en las diferentes etapas de la vida del activo. Activos físicos generalmente se refieren a equipamiento, inventarios y propiedades de la organización. Los activos físicos son lo opuesto a los activos intangibles, que son activos no físicos, como contratos, marcas, activos digitales, derechos de uso, licencias, derechos de propiedad intelectual, reputación o acuerdos. Una agrupación de activos denominado sistema de activos también podría considerarse como un activo. Luego de hablar de un activo físico productivo debemos de mirar jerárquicamente el Sistema de Gestión de Activos, donde su función principal es establecer la política de gestión de activos y los objetivos de gestión de activos (ICONTEC, 2015).

Figura 4

Relación entre términos clave y la evaluación de desempeño asociada



Nota. Gráfico Relación entre términos clave y la evaluación de desempeño asociada.

Podemos concatenar vida del activo con su ciclo de vida ya que uno es el periodo desde la creación del activo hasta el fin de la vida del activo y el otro son las etapas de la gestión de un activo, cada organización determina el nombre y la cantidad de etapas y las actividades desarrolladas pueden variar generalmente en los diferentes sectores industriales.

4.2 Conceptos asociados a los interruptores de potencia aislados en SF6

El SF6 se define como el hexafluoruro de azufre y es un gas incoloro, inodoro y no inflamable que se utiliza principalmente como aislante eléctrico en equipos de alta tensión, como transformadores, interruptores y capacitores. Uno de los problemas del SF6 es que produce gases de efecto invernadero extremadamente potentes, con un potencial de calentamiento global que es 23.500 veces mayor que el dióxido de carbono (CO2) durante un período de 100 años (UNIPEDA, 2016).

Las regulaciones ambientales buscan controlar el impacto que este puede generar y por eso el SF6 está regulado por varias agencias gubernamentales y organizaciones internacionales, incluyendo la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA) y el Protocolo de Kioto, lo cual ha incentivado a las organizaciones buscar alternativas en los últimos años, con

otros medios aislantes que tienen un impacto ambiental mucho menor, como el gas natural y los gases fluorados con un potencial de calentamiento global más bajo.

Se puede decir que debido a la regulación del SF6, se han establecido programas de reciclaje para evitar la liberación del gas en la atmósfera. Estos programas involucran la recolección y el tratamiento del SF6 utilizado en equipos eléctricos para su reutilización o eliminación segura (Consejo Internacional de Grandes Sistemas Eléctricos (CIGRÉ), 2005).

4.3 Conceptos de mantenimiento

Como estamos hablando de activos físicos productivos y activo operativo, debemos mencionar que se entiende como un activo operativo cuando tiene las condiciones necesarias para operar y puede hacerlo debido a la disponibilidad de otro activo diferente a los que confirman su grupo de activos (Ministerio de Minas y Energía, 2018).

Los sistemas de potencia son susceptibles a evento y situación que causa la indisponibilidad parcial o total de activo de uso y que ocurre de manera programada o no programada, esto genera indisponibilidad lo quiere decir un tiempo durante el cual un activo de uso no estuvo en servicio total o parcialmente. Un activo será indisponible, y se seguirá considerando en esta condición, aunque su función este siendo suplida por otro activo del SIN. La indisponibilidad se puede dar también por Mantenimiento sea rutinarios o mayores, lo que conlleva a generar indisponibilidad fijadas para el grupo de activos al que pertenece ese activo (Ministerio de Minas y Energía, 2018).

No podemos obviar que lo que se busca en los mantenimientos es conservar la confiabilidad y esta es la probabilidad de que un sistema, activo o componente lleve a cabo su función adecuadamente durante un período bajo condiciones operacionales previamente definidas y constantes.

Por otro lado, la mantenibilidad es la probabilidad de que un elemento, máquina o dispositivo, puedan regresar nuevamente a su estado de funcionamiento normal después de una avería, falla o interrupción productiva, mediante una reparación que implica realizar unas tareas de mantenimiento, para eliminar las causas inmediatas que generan la interrupción” (Mora Gutiérrez, 2009), buscando que el activo esté disponible para desarrollar una función requerida

bajo unas condiciones determinadas en un instante dado, asumiendo que se proveen los recursos externos requeridos (UNE-EN, 2003).

El ciclo PHVA, Planear, Hacer, Verificar y Actuar, debe contemplar un plan de mantenimiento estructurado y documentado con tareas que incluyen las actividades, procedimientos, recursos y la escala de tiempo necesario para realizar el mantenimiento (British Standards Institution (BSI), 2016).

Y el plan de mantenimiento se convierte en mantenimientos con acciones o procedimientos tendientes a preservar o restablecer un bien, a un estado tal que le permita garantizar la máxima confiabilidad (Ministerio de Minas y Energía, 2012).

Dado que la monografía está enfocada en el análisis de ciclo de vida de los interruptores de potencia aislados en SF6 no podemos desconocer términos como el de una subestación, que es un conjunto único de instalaciones, equipos eléctricos, destinado a la transferencia de energía eléctrica, mediante la transformación de potencia, y esta instalación alberga los Interruptor de potencia, activos focales del estudio y estos tiene como función principal la maniobra para subestaciones de energía construidos para abrir y cerrar los circuitos eléctricos con capacidad de interrumpir corrientes nominales y de cortocircuito (Ministerio de Minas y Energía, 2012).

4.4 Conceptos sobre sistemas de información

Para garantizar una calidad de la información, nos debemos de apoyar en Sistemas de información (SI), que no son más que un conjunto de tecnologías, procesos, aplicaciones de negocios y software disponibles para las personas dentro de una organización, para el desarrollo de la monografía.

Nos apoyaremos en un EAM (*Enterprise Asset Management*), el cual apoya la gestión de activos empresariales encaminado a encontrar la excelencia operacional a través de la gestión y el mantenimiento de activos. Este EAM nos permitirá consolidar la información que utilizaremos en el OPEX gastos operativos. Estos gastos están relacionados con las actividades necesarias para mantener y administrar el activo.

Parte de su columna vertebral son la ordenes de trabajo, que están a través de un flujo, Figura 5, nos enruta en la panificación, programación, ejecución y cierre de estas, cumpliendo el ciclo PHVA.

Figura 5

Flujo órdenes de trabajo EAM



Los gastos operativos son importantes para el funcionamiento continuo y la sostenibilidad de un negocio. La gestión eficiente de estos gastos es fundamental para mantener un equilibrio financiero y lograr rentabilidad. Las organizaciones suelen realizar un seguimiento y control riguroso de los gastos operativos para identificar oportunidades de reducción de costos y mejorar la eficiencia en todas las áreas de la organización.

Actualmente nuestros activos están siendo mantenidos por medio de la estrategia del mantenimiento periódico este se refiere a la realización de actividades de mantenimiento de forma regular y programada en intervalos predeterminados. Estas actividades se llevan a cabo de manera preventiva para garantizar que los equipos y activos se mantengan en buenas condiciones de funcionamiento y evitar fallas o averías imprevistas, el mantenimiento periódico se basa en un plan establecido que incluye tareas de inspección, limpieza, lubricación, ajustes y reemplazo de componentes según un calendario determinado.

El objetivo de la monografía es optimizar el ciclo de vida de los activos, figura 6, mejorando la estrategia de mantenimiento y se pretende analizar cómo es el impacto si se toma una nueva estrategia implementando el Mantenimiento Basado en la Condición (MBC) ya que este se enfoca en el monitoreo y la evaluación del estado y la condición de los equipos y activos en tiempo real. En lugar de realizar actividades de mantenimiento en intervalos fijos, el MBC se basa en datos y análisis para determinar cuándo y qué tipo de mantenimiento es necesario. Se utilizan técnicas

de monitoreo y diagnóstico, como sensores, termografía, análisis de gases, entre otros, para evaluar el estado de los activos y determinar cuándo es necesario intervenir en el OPEX (British Standards Institution (BSI), 2016).

Figura 6

CAPEX Y OPEX Contexto del ciclo de vida

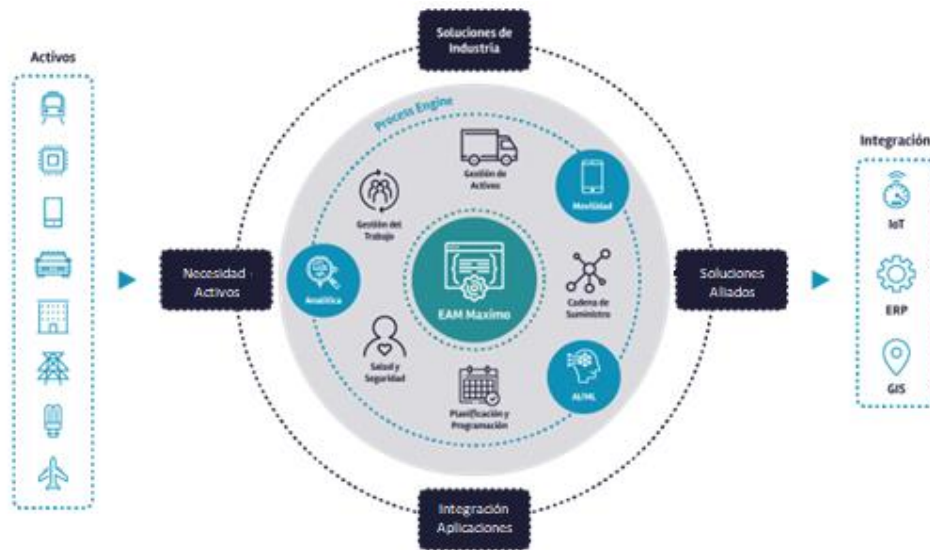


Nota. Contextos del ciclo de vida del activo

La ventaja del MBC es que permite realizar el mantenimiento de manera más precisa y eficiente, ya que se centra en los activos que realmente lo necesitan en función de su condición y rendimiento. Esto ayuda a reducir los costos de mantenimiento al evitar intervenciones innecesarias, al tiempo que mejora la confiabilidad y disponibilidad de los equipos al detectar problemas en etapas tempranas. El MBC permite pasar de un enfoque reactivo (reparar después de una falla) a un enfoque proactivo (prevenir fallas y optimizar el rendimiento). Este desarrollo tiene aplicabilidad con el EAM, Figura 7.

Figura 7

EAM Máximo y el ciclo de vida del Activo



Nota. Procesos en relación con el EAM en las etapas del ciclo de vida del activo. Fuente: (VCA Perú, & PERU, 2021)

5 Metodología

Metodología para cambiar la estrategia de mantenimiento preventivo a mantenimiento basado en condición:

Definir los criterios y procedimientos para la recolección, análisis e interpretación de datos de los interruptores y su medio aislante SF6: Se debe establecer un plan de monitoreo continuo del estado del medio aislante SF6 en los interruptores de potencia mediante la instalación de sensores y tecnología avanzada. Se definirán los criterios y procedimientos para la recolección, análisis e interpretación de los datos obtenidos, con el objetivo de detectar cualquier cambio en el estado del medio aislante y programar el mantenimiento solo cuando sea necesario.

Establecer un plan de mantenimiento basado en la condición del medio aislante SF6 para los interruptores de potencia: Una vez definidos los criterios y procedimientos para el monitoreo del estado del medio aislante SF6, se establecerá un plan de mantenimiento basado en la condición. Este plan incluirá la programación del mantenimiento solo cuando se detecte un cambio significativo en sus variables, componentes y el estado del medio aislante.

Generar un plan para la implementación a largo plazo de la estrategia sobre el mantenimiento basado en la condición: teniendo en cuenta información como es las corrientes de cortocircuito, la cantidad de aperturas del interruptor, el histórico del comportamiento de las presiones, los resultados de las pruebas eléctricas lo que podría implicar la instalación de sensores y nuevas tecnologías, así como la capacitación del personal encargado del mantenimiento. Se realizará un seguimiento continuo para evaluar el desarrollo de la elaboración del plan y realizar ajustes si es necesario.

Se evaluarán los resultados obtenidos después de la estructuración del plan de mantenimiento basado en la condición del medio aislante SF6. Se analizará la reducción de costos mediante la revisión del OPEX del mantenimiento periódico y el mantenimiento basado en condición.

6 Resultados

6.1 Extracción de data

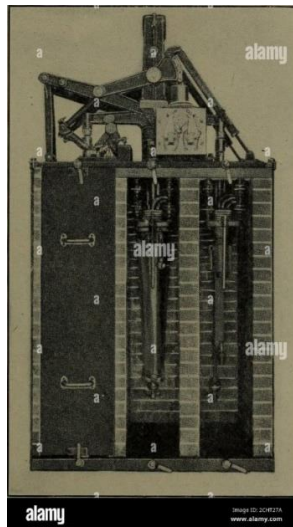
Para iniciar con el desarrollo técnico de la metodología, se inicia con la extracción de la siguiente información: evolución en el tiempo de los interruptores de potencia, revisión de las variables que afectan el ciclo de vida de los interruptores, información relacionada de los interruptores analizados en la monografía, costos relacionados a los tipos de mantenimiento analizados en el presente trabajo

6.1.1 Evolución de los interruptores de potencia para las subestaciones de energía

Hace muchos años, cuando las primeras redes eléctricas comenzaron a extenderse por las ciudades y regiones, la necesidad de controlar y proteger estas redes se volvió evidente. En ese momento, los interruptores de potencia, figura 8, eran simples dispositivos mecánicos que cumplían con la tarea de abrir y cerrar circuitos eléctricos cuando era necesario. Estos interruptores eran operados manualmente y, en ocasiones, requerían un esfuerzo considerable para funcionar.

Figura 8

Interruptor de potencia

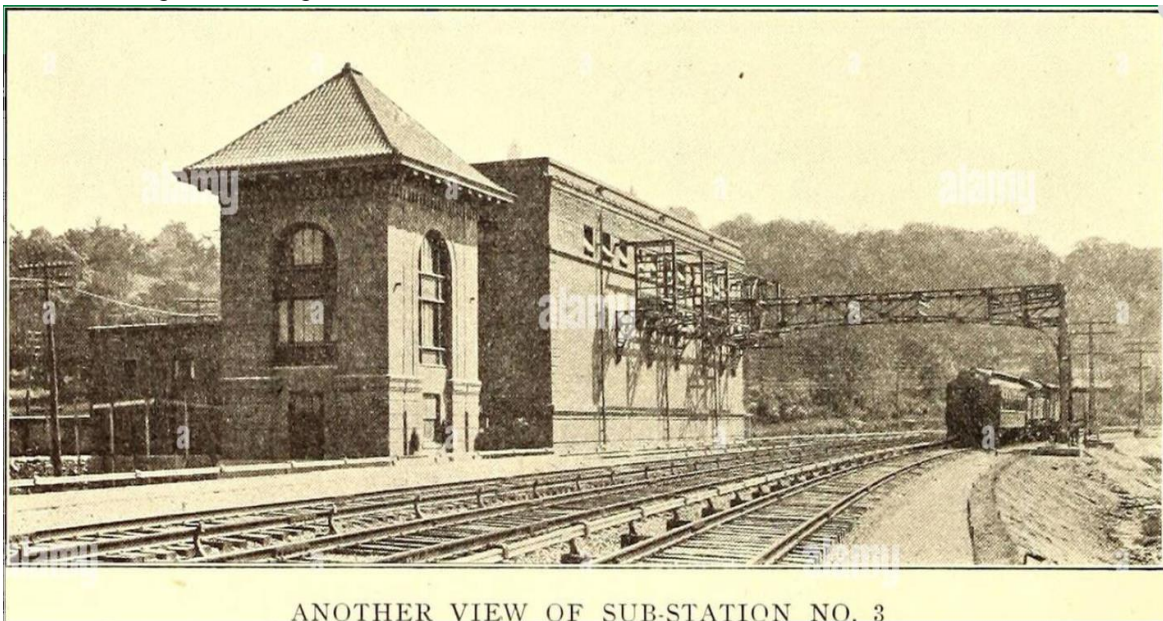


Nota. Imagen de un antiguo interruptor. Fuente: (Reading Room 2020, s.f.)

Con el tiempo, la demanda de energía eléctrica siguió creciendo, lo que llevó al desarrollo de subestaciones de energía, Figura 9, a distribuir electricidad de manera más eficiente y controlada. En este contexto, los interruptores de potencia se volvieron elementos esenciales en las subestaciones, ya que permitían el control de flujo de energía y la protección de equipos costosos.

Figura 9

Subestación antigua de energía



Nota. Subestación de energía de ferrocarril. Fuente: (Reading Room 2020, s.f.)

A medida que avanzaba la tecnología, los interruptores de potencia evolucionaron significativamente. Surgieron interruptores más avanzados y confiables que no solo eran capaces de cortar la corriente eléctrica en situaciones de emergencia, sino que también podían funcionar automáticamente en respuesta a condiciones anómalas, como cortocircuitos. Estos interruptores eran más seguros y reducían considerablemente el riesgo de daños a la infraestructura eléctrica.

La década de 1960 marcó un hito importante en la evolución de los interruptores de potencia con la introducción de los interruptores de vacío. Estos dispositivos aprovechaban el vacío para extinguir el arco eléctrico generado al abrir un circuito. Esta innovación aumentó la confiabilidad y la vida útil de los interruptores, lo que los convirtió en una opción preferida en las subestaciones.

Con la creciente conciencia ambiental y la preocupación por el uso del gas SF6 (hexafluoruro de azufre) como aislante en los interruptores, se desarrollaron interruptores de potencia con tecnología libre de SF6 en las últimas décadas. Estos interruptores utilizan tecnologías alternativas más respetuosas con el medio ambiente para el aislamiento, lo que los convierte en una opción más sostenible.

Hoy en día, los interruptores de potencia son componentes críticos en las subestaciones de energía, y su evolución continúa. La automatización, la digitalización y la conectividad son tendencias que están transformando la forma en que se controla y monitorea la red eléctrica. Los interruptores de potencia modernos, figura 10, están equipados con sensores y sistemas de comunicación que permiten la supervisión en tiempo real y el control remoto, lo que mejora la eficiencia operativa y la capacidad de respuesta ante fallas.

Figura 10

Mantenimientos interruptores de potencia



Nota. Imágenes de personal técnico desarrollando actividades de mantenimiento en subestación eléctrica.

6.1.2 Inventario de interruptores

Para el análisis del trabajo es importante analizar información relacionada con los interruptores de potencia, tal como:

- El inventario de interruptores en las subestaciones mostrado en la figura 11.
- Las marcas de interruptores presentes en las subestaciones mostrado en la tabla 1.

Figura 11

Inventario capacidad instalada de interruptores

Interruptores de Potencia						
Criticidad/Tensión	13.2KV	44KV	110KV	220KV	500KV	Total Criticidad
Baja	0	3	3	0	0	6
Media	5	6	5	0	0	16
Alta	0	2	4	4	0	10
Muy alta	131	189	232	90	6	648
Sin Clasificar	14	43	26	0	0	83
Total General nivel de tensión	150	243	270	94	6	763

Tabla 1

Marcas inventario interruptores en SF6

Marcas	INTERRUPTOR SF6
Otras	42
ABB	249
AEG	10
ALSTHOM	72
ASEA	47
MAGRINI GALILEO	28
MERLIN GERIN	93
SCHNEIDER ELECTRIC	18
SIEMENS	197
SIEYUAN	7
Total general	763

Nota. Descripción de la cantidad de interruptores por marca presentes en las subestaciones.

6.1.2.1 Especificaciones de los interruptores.

Para analizar de una mejor manera, los interruptores de potencia, se debe tener claro los atributos asociados a los interruptores de potencia con medio aislante SF6. En la tabla 2, podemos observar los atributos y la descripción ingresado en el software EAM, para los interruptores de estudio en el presente trabajo.

Tabla 2

Atributo de los interruptores, características técnicas

ATRIBUTO	DESCRIPCIÓN
APLIC_INTERRUPT	TIPO DE APLICACIÓN
MARCA	MARCA (FABRICANTE)
PAIS_FAB	PAIS DE FABRICACION
TNOM	TENSION NOMINAL
TIPO	TIPO (MODELO/REFERENCIA)
CERT_FAB	CERTIFICADO DE FABRICA
CONTRATO	CONTRATO DE INSTALACION
NORMA	NORMA
NBA	NIVEL BASICO DE AISLAMIENTO (BIL)
FREC	FRECUENCIA
INOM	CORRIENTE NOMINAL
N_POLOS	NUMERO DE POLOS
PO_CO_CO	PODER DE CORTE DE CORRIENTE
COMP_CC	COMPONENTE DE CC
FA_PR_PO	FACTOR DEL PRIMER POLO
PODER_CIE	PODER DE CIERRE
I_CO_DU	CORRIENTE DE CORTA DURACION
DURACION	DURACION
PMAX_OP	PRESION MAXIMA DE OPERACIÓN
PGAS20C	PRESION DE GAS (+ 20°C)
PLLENADO	PRESION DE LLENADO
PALARMA	PRESION DE ALARMA
PBLOQUEO	PRESION DE BLOQUEO
VPOLO	VOLUMEN POR POLO
MASA_GAS	MASA DE GAS
MASA_TOTAL	MASA TOTAL
SECU_OPE	SECUENCIA DE OPERACIÓN
CLAS_TEMP	CLASE DE TEMPERATURA
MECOP_TIPO	MECANISMO DE OPERACION TIPO

ANOFABR_MECOP	ANO DE FABRICACION MECANISMO DE OPERACIÓN
P_SERV_MECOP	PRESION DE SERVICIO MECANISMO
NORMA_MECOP	NORMA MECANISMO DE OPERACIÓN
MODO_SER	MODO DE SERVICIO
NS_MECOP	NUMERO DE SERIE MECANISMO DE OPERACIÓN
TENSION_OPERACION	TENSION NOMINAL DE OPERACIÓN
I_CO_CI	CORRIENTE DE CORTO CIRCUITO
CODUNIF	CODIGO UNIFILAR
TENSION_PICO	TENSION PICO

6.1.3 Evaluación del costo del ciclo de vida

Las variables que considera el modelo matemático para el análisis del costo de ciclo de vida son las siguientes:

- Costo de Inversión.
- Costo de Operaciones.
- Costos de Mantenimiento.
- Costos Por baja Confiabilidad.
- Costos por Bajo Desempeño.
- Costos por Desincorporación.

6.1.3.1 Costos de Inversión (CI).

Los Costos de Inversión se puede considerar como CAPEX (*Capital Expenditures*), ya que son todos los costos en los cuales incurre la organización previa a la puesta en servicio del activo o entrada en operación por la estrategia establecida (mejora, modernización, reemplazo).

6.1.3.2 Costos de Operación (CO).

Esta variable presenta los costos directos que se incurren para lograr la operación del equipo, dentro de los costos más comunes que se consideran en la industria tenemos:

- Gas.
- Insumos.
- Personal.

- Consumo interno de Energía, entre otros.

6.1.3.3 Costos de Mantenimiento (CM).

Los costos de mantenimiento incluyen los costos de todos los mantenimientos planificados normales, es decir:

- Mantenimientos preventivos y Predictivos (rutinarios o frecuente): Se establecen con variable de tiempo.
- Mantenimientos no frecuentes (Mayores, inspecciones, pruebas especializadas): Presentan una frecuencia de ejecución mayor a un año.

6.1.3.4 Costos por Baja Confiabilidad (CBC).

Cuando establecemos los aspectos de la confiabilidad de un activo, es normal que al pasar el tiempo exista desgaste en cualquiera de sus componentes, este aspecto lo podemos relacionar con la cantidad o tasa de falla, es decir, esta tasa tiende a aumentar a medida que aumenta el desgaste del equipo, para los costos contemplados en esta variable se considera el impacto económico total en el negocio por la ocurrencia de dichas fallas, pudiéndose estimar con la siguiente ecuación:

Ecuación 1

Ecuación de costos

$$Costos = \left(\frac{FF}{año} \right) \left(\frac{Consecuencia}{Falla} \right)$$

$$Costos = FF \times (Costos Materiales - Repuestos + Costos de mano de obra + Costos de penalización + Impacto en la producción)$$

Es importante destacar, que la ecuación 1, puede utilizarse para sacar los costos promedio año, dependiendo del tipo de dato o información que se disponga se puede establecer un resultado más exacto; que queremos decir con esto, se puede realizar una clasificación interna agrupando las diferentes fallas por impactos comunes o similares, es decir, no establecer un promedio simple si no ajustarlo a un promedio ponderado el cual reflejará mucho mejor la realidad del comportamiento de esta variable dentro del modelo matemático. Así como también considerar que estos costos deben ser pronosticados para los periodos futuros.

6.1.3.5 Costos por Bajo de Desempeño (CBD).

Estos costos debemos diferenciarlos de los costos por baja confiabilidad, aunque ambos pueden verse afectados por la condición de desgaste o pérdida de integridad del equipo con el tiempo. En el caso referido a la pérdida de desempeño, se enmarca en la disminución de la capacidad de cumplir con los objetivos establecidos del activo en condiciones normales de operación, un ejemplo práctico de este aspecto es la pérdida de eficiencia de un equipo en el tiempo. Una ecuación simple que podemos considerar para estos cálculos se muestra a continuación:

Ecuación 2

Ecuación de costos por bajo desempeño

$$\text{Costos} = \% \text{Disminucion de capacidad} \times \text{Impacto en el negocio}$$

6.1.3.6 Costos por Desincorporación (CD).

Como su nombre lo expresa, son todos aquellos costos que se involucran por desmontaje o desincorporar un activo de su ubicación actual. Es importante establecer que dependiendo el estudio o análisis este costo puede aplicar o no, en función al alcance del proyecto de remplazo o modernización, dentro de estos aspectos podemos establecer como ejemplo los siguientes:

- Labor – Mano de Obra.
- Maquinaria y equipos.
- Impacto en la producción (Si aplica).
- Impactos ambientales.
- Impuestos o pagos de acuerdo a leyes y reglamentos, entre otros.

6.1.3.7 Costos CAPEX de Interruptores aislados en SF6.

A continuación, definiremos los costos de los interruptores de potencia en las fases de los ciclos de vida de: diseño, compra, construcción y entrega a operación.

Tabla 4

Valor de un interruptor bajo la modalidad de Costos DDP por unidad constructiva [\(Junio/2023\)](#)

UC	ITEM	CANTIDAD	DDP
N2S1 (13.8KV)	Interruptor	1	\$ 43,231,195
N3S1 (44KV)	Interruptor	1	\$ 64,316,752
N4S1 (110 y 220KV)	Interruptor	1	\$ 87,942,159

6.1.3.8 Costos etapa construcción

A continuación, se muestra:

- Costo de montaje de cada interruptor, de acuerdo con el nivel de tensión de los interruptores, tabla 5.
- Costo de obras civiles, de acuerdo con el nivel de tensión de los interruptores, tabla 6.

Tabla 5

Costo de montaje por unidad constructiva de subestaciones de nivel de tensión

UC	ITEM	CANTIDAD	MONTAJE
N2S1 (13.8KV)	Interruptor	1	\$ 2,982,216
N3S1 (44KV)	Interruptor	1	\$ 3,719,451
N4S1 (110 y 220KV)	Interruptor	1	\$ 6,523,847

En la tabla 6, se muestra el costo de las obras civiles de acuerdo al nivel de tensión de los interruptores.

Tabla 6

Costos de instalación por interruptor por su nivel de tensión

UC	ITEM	CANTIDAD	OBRAS CIVILES
N2S1 (13.8KV)	Interruptor	1	\$ 1,491,108
N3S1 (44KV)	Interruptor	1	\$ 3,885,229
N4S1 (110 y 220KV)	Interruptor	1	\$ 5,232,729

6.1.3.9 Mantenimiento de los interruptores de potencia con medio aislante SF6.

Tabla 7

Planes de mantenimiento preventivo en el software EAM Máximo etapa OPEX

PLAN DE TRABAJO	DESCRIPCIÓN	DURACIÓN	TIPO DE PLANTILLA
TEMPINT34	MANTENIMIENTO PREVENTIVO INTERRUPTOR ALSTOM-13.2 KV SF6	1:00	MAINTENANCE
TEMPINT14	MANTENIMIENTO PREVENTIVO INTERRUPTOR SIEMENS 110 KV 3AP1FG-SF6_HID	8:00	MAINTENANCE
TEMPINT24	MANTENIMIENTO PREVENTIVO INTERRUPTOR ALSTOM GL309F1 72.5_SF6_MECANICO_44KV	6:00	MAINTENANCE

Nota. Información tomada de EAM

Tabla 8

Tareas y tiempos de los mantenimientos preventivos para los interruptores de potencia 44KV

AREA	DESCRIPCIÓN	DURACIÓN
10	REALIZAR OPERACIÓN CIERRE/APERTURA INTERRUPTOR, DEJAR INTERUTOR CON RESORTES DESCARGADOS Y CERRADOS	0:15
20	REALIZAR INSPECCION Y VERIFICAR FUNCIONAMIENTO DE MECANISMO DE OPERACIÓN	0:10
30	LUBRICAR MECANISMOS Y PARTES MOVILES DEL INTERRUPTOR	0:14
40	LIMPIAR EL INTERRUPTOR	0:12
50	VERIFICAR PRESION DE GAS SF6	0:06
60	REALIZAR PRUEBA DE HUMEDAD AL GAS SF6	0:15
70	REALIZAR MEDICION DE CALIDAD DEL GAS	0:15
80	REVISAR ALARMA POR BAJA PRESIÓN SF6	0:15
90	REVISAR BLOQUEO DE LA OPERACION DEL INTERRUPTOR POR BAJA PRESION DE GAS SF6	0:08
100	REALIZAR MEDIDA DE RESISTENCIA DE CONTACTOS EN LOS POLOS DEL INTERRUPTOR	0:10
110	REALIZAR PRUEBA DE TIEMPOS DE OPERACIÓN	0:10
120	REALIZAR PRUEBA DE FACTOR DE POTENCIA AL INTERRUPTOR	0:10
130	MEDIR CORRIENTE DIRECTA MINIMA PARA OPERACION DEL INTERRUPTOR	0:10
140	VERIFICAR EL FUNCIONAMIENTO DEL ANTIBOMBEO	0:10
150	REALIZAR AJUSTE DE CONEXIONES SUeltas O FLOJAS EN INTERRUPTOR	0:20
160	PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTOS EN CAMPO	1:30
170	PRUEBAS DE ALISTAMIENTO CON CENTRO DE CONTROL	1:00
180	ENTREGA EQUIPO A OPERACIÓN	0:30

Nota. Información tomada de EAM

Tabla 9

Costos y cantidad de Personal requerido el mantenimiento preventivo de un interruptor por hora

ESPECIALIDAD	CANTIDAD	HORAS DE ESFUERZO	TARIFA	COSTE DE LÍNEA
TEC_ELEC	1	1:00	\$20,133.30	\$ 20,133.30
MEC	1	1:00	\$13,067.63	\$ 13,067.63
Conductor	1	1:00	\$10,496.98	\$ 10,496.98

6.1.3.10 Herramientas, Materiales, Repuestos Y Equipos.

Tabla 10

Herramientas necesarias para el mantenimiento preventivo de un interruptor de potencia

HERRAMIENTAS		
Calibrador pie de rey milimétrico.	Llaves mixtas milimétricas de la 7 a la 32.	Copas milimétricas de la 8 a la 32.
Destornillador de pala de 12" x 3/8".	Destornillador de estrella de 6" x 3/8".	Extensión eléctrica de 20 ml calibre 2 x 12 awg.
Mango de sierra y Hojas de sierra.	Engrasadora.	Llaves hexágonas milimétricas de 3 a 14 mm.
Herramienta de mano personal.	Flexómetro.	Pinza zacapines rectas normales.
Destornillador de impacto.	Torquímetro escala inferior a 20 newton-metro.	Pinza zacapines rectas contrarias.

Tabla 11

Materiales y repuestos utilizados para el mantenimiento preventivo de un interruptor de potencia

MATERIALES Y REPUESTOS		
Gas SF6.	Papel de agua 400.	Aceite lubricante común.
Tela liencillo limpio.	Hilo estopa.	Grasa SKF64.
Limpia contactos eléctricos. (Aerosol).	Grasa siliconada.	Extensión eléctrica de 20 ml calibre 2 x 12 awg.
Brocha de 1".	Alcohol industrial.	Limpiador SS 25.

Tabla 12

Equipos de pruebas utilizados en el mantenimiento preventivo de un interruptor de potencia

EQUIPOS		
Regulador de SF6 con manguera de 3/8" y acople.	Detector de fugas de gas SF6.	Detector de humedad y acople.
Micrómetro.	Medidor de Factor de potencia.	Medidor de tiempos de operación.
Multímetro.	Regulador de nitrógeno con manguera.	Aspiradora.

6.1.4 Riesgos asociados

Tabla 13

Riesgos, efectos y medidas de control asociados a los mantenimientos de interruptores de potencia

RIESGOS ASOCIADOS (SEGÚN MATRIZ DE RIESGOS)			
CLASIFICACION	DESCRIPCION	EFFECTOS POSIBLES	MEDIDAS DE CONTROL DEL RIESGO
ELECTRICO	Contacto Directo	<ul style="list-style-type: none"> • Quemaduras • Electrocutación • Trastorno del ritmo Cardíaco • Amputación • Muerte 	<ul style="list-style-type: none"> • Cumplimiento de las reglas de oro para trabajos sin tensión • Utilizar dotación de empresa • Utilizar elementos de protección personal • No llevar elementos metálicos en el cuerpo • Utilizar equipos y herramientas aisladas de acuerdo al nivel de tensión
	Contacto Indirecto		
	Arco Eléctrico		
LOCATIVO	Condiciones de orden y aseo	<ul style="list-style-type: none"> • Contusiones • Heridas • Traumas • Fracturas 	<ul style="list-style-type: none"> • Almacenamiento adecuado de equipos, materiales y herramientas. • Disposición adecuada de los residuos generados • Utilizar dotación de empresa • Utilizar elementos de protección personal

VENTAJAS DE LA OPTIMIZACIÓN DEL CICLO DE VIDA DE LOS INTERRUPTORES DE POTENCIA CON MEDIO AISLANTE EN SF6 A PARTIR DE MEJORAS EN LA ESTRATEGIA DE MANTENIMIENTO

	Caídas a nivel menores a 1.5m		<ul style="list-style-type: none"> Almacenamiento adecuado de equipos, materiales y herramientas. Instalación de cinta antideslizante Utilizar dotación de empresa Utilizar elementos de protección personal.
	Caídas al mismo nivel		
ESFUERZO	Hiperextensión de miembros superiores al levantar o descargar un equipo, herramientas o materiales	<ul style="list-style-type: none"> Lesiones del sistema musculoesquelético 	<ul style="list-style-type: none"> Ayudas mecánicas: estibadora, grúa de brazo, motores para halar equipos de gran tamaño Utilizar dotación de la empresa Utilizar mesas y sillas apropiadas Adoptar posturas adecuadas Realizar pausas activas
	Carga estática de pie, sentado y en otras posiciones		
MECANICOS	Atrapamiento o contacto con mecanismos en movimiento:	<ul style="list-style-type: none"> Contusiones Heridas Traumas Contusiones Amputaciones 	<ul style="list-style-type: none"> Utilizar dotación de empresa Utilizar elementos de protección personal Utilizar guardas en las herramientas con riesgo de corte y atrapamiento Mantenimiento preventivo y correctivo de herramienta Realizar control de las energías mecánicas peligrosas(resortes, bielas, manivelas, palancas, etc.)
	Limpieza y mantenimiento a equipo, uso y manejo de herramientas manuales, lubricar piezas, hacer limpieza a mecanismos de los equipos, manipulación de canecas llenas o vacías, almacenamiento de herramientas, materiales y equipos		
QUIMICO	Contacto con productos químicos	<ul style="list-style-type: none"> Afectación de ojos, piel y sistema respiratorio 	<ul style="list-style-type: none"> Disponer y conocer las fichas de seguridad de los químicos a utilizar

	Inhalación de gases y vapores		<ul style="list-style-type: none"> • Utilizar dotación de empresa • Utilizar elementos de protección personal
BIOLOGICO	Ataque o contacto con animales o insectos	<ul style="list-style-type: none"> • Mordedura • Picadura • Reacciones alérgicas • Infecciones agudas o crónicas • Muerte 	<ul style="list-style-type: none"> • Utilizar dotación de empresa • Utilizar elementos de protección personal • Inspeccionar sitio de trabajo antes de iniciar actividades
PSICOSOCIAL	El tiempo del que se dispone para ejecutar el trabajo es insuficiente. Requiere trabajar a un ritmo muy rápido	<ul style="list-style-type: none"> • Estrés • Depresión • Mayor propensión a la accidentalidad y a la enfermedad • Agotamiento • Muerte 	<ul style="list-style-type: none"> • Planear los recursos necesarios y definir los tiempos de ejecución para actividades programadas y no programadas • Utilizar dotación de empresa • Utilizar elementos de protección personal
	Jornadas de trabajo prolongadas		<ul style="list-style-type: none"> • Asignar al personal jornadas de descanso y alimentación
FISICO	Trabajo en zonas con alto tráfico vehicular, explosiones súbitas, manejo de herramienta (pulidoras, caladoras, etc.)	<ul style="list-style-type: none"> • Daño auditivo por ruido 	<ul style="list-style-type: none"> • Utilizar dotación de empresa • Utilizar elementos de protección personal
	Trabajos en campo abierto con radiación solar alta, dificultando visibilidad y maniobrabilidad	<ul style="list-style-type: none"> • Dolor de cabeza • Fatiga visual • Irritación ocular 	
	Exposición a rayos UV generados por el sol	<ul style="list-style-type: none"> • Lesiones en piel benignas o malignas • Enfermedades visuales • Deshidratación 	<ul style="list-style-type: none"> • Utilizar dotación de empresa • Utilizar elementos de protección personal • Utilizar protector solar • Utilizar monja (protección de la cara)

6.1.4.1 Equipo de protección personal.

Tabla 14

Equipo de protección personal a utilizar durante un mantenimiento preventivo de un interruptor de potencia

EQUIPO DE PROTECCIÓN PERSONAL		
Casco de seguridad dieléctrico y con barboquejo. Zapatos dieléctricos.	Gafas con protección UV. Mascarilla de respiración.	Guantes de vaqueta y guantes de nitrilo.

6.1.5. Equipos y elementos de seguridad

Tabla 15

Equipos y elementos de seguridad

EQUIPOS Y ELEMENTOS DE SEGURIDAD		
Puestas a tierra manuales.	Detector de presencia de tensión.	Camilla rígida.
Botiquín de Primeros Auxilios	Cinta reflectiva.	

6.1.5.1 Descripción del instructivo para el mantenimiento preventivo.

Figura 13

Mantenimientos interruptores de potencia.

PRUEBAS ELÉCTRICAS DE INTERRUPTORES				
DIS-ASL-PMS-FR-006		VERSIÓN 04		PÁGINA 1 de 1
FECHA (AAAA-MM-DD):		SUBESTACIÓN:		BAHÍA:
MEDIO AISLANTE:		VOLTAJE:		NÚMERO OT:
SERIE:		AÑO DE FAB.:		TIPO MEC.:
PARÁMETRO MEDIDO	FASE R	FASE S	FASE T	VALOR DE REFERENCIA
Alarma por baja presión SF6				N/A
Bloqueo por baja presión SF6				N/A
Contenido de humedad				600 ppm int. Convensional 300 ppm int. GIS
% Puesta				97%
Contenido de SO2				500 ppm
Resistencia entre contactos				200 microhmios
Tiempo de apertura bobina # 1				30 - 60 milisegundos
Tiempo de apertura bobina # 2				30 - 60 milisegundos
Tiempo de cierre				70 - 120 milisegundos
Corriente bobina de apertura # 1				5 amperios
Corriente bobina de apertura # 2				5 amperios
Corriente bobina de cierre				5 amperios
Voltaje de corriente directa				120 - 135 voltios
PRUEBA DE AISLAMIENTO				
Capacitancia	Cámara			
	Soporte inf.			
% Factor de Potencia	Cámara			
	Soporte Inf.			
Megger	Cámara			
	Soporte Inf.			
OBSERVACIONES:				
RESPONSABLE	NOMBRE			CARGO
REALIZÓ				
REVISÓ				
NOTA: si el numeral descrito no aplica para describir el equipo en mención, se llena la casilla con NA.				
<input type="checkbox"/> Con novedad	<input type="checkbox"/> Con pendientes	<input type="checkbox"/> Con no conformidades		
<input type="checkbox"/> Trabajo suspendido	<input type="checkbox"/> Con ideas de mejora	<input type="checkbox"/> Fuera del tiempo programado		

Figura 14

Plantilla para pruebas eléctricas

Plantilla para pruebas eléctricas

FECHA (AAAA-MM-DD): <input type="text"/>		SUBESTACIÓN: <input type="text"/>		BAHÍA: <input type="text"/>	
MEDIO AISLANTE: <input type="text"/>		VOLTAJE: <input type="text"/>		NÚMERO DE O. T.: <input type="text"/>	
SERIE: <input type="text"/>		AÑO DE FAB.: <input type="text"/>		TIPO MEC.: <input type="text"/>	
PARÁMETRO MEDIDO	FA 8E R	FA 8E S	FA 8E T	VALOR DE REFERENCIA	
Presión de SF6/Nitrógeno	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	5 - 7 Bar	
Calibración del brazo	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	50 mm	
Presión válvula de alivio	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	6.5 Bar	
Cambio de contacto fijo	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	N/A	
Giro del contacto fijo	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	N/A	
Cambio de punta	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	N/A	
Medida del contacto móvil	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	Minar placas características	
Cambio de cámara de extinción	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	N/A	
Cambio del medio de extinción	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	N/A	
Rígidez dieléctrica	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	25 KV	
Desgaste de la cámara	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	N/A	
Cambio de indicador de presión	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	N/A	
Cambio de amortiguador	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	N/A	
Cambio de visor de nivel	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	N/A	
Resistencia de contactos INT	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>		
REVISAREJECUTAR					
Conectores	<input type="text"/>	Pintura cabezote	<input type="text"/>	Lubricación	<input type="text"/>
Óp. Local	<input type="text"/>	Acete hidráulico	<input type="text"/>	Limpieza general	<input type="text"/>
Óp. Remoto	<input type="text"/>	Clot	<input type="text"/>	Alarmas y bloqueos	<input type="text"/>
Calentación	<input type="text"/>	Resorte de apertura	<input type="text"/>	Distancia "C"	<input type="text"/>
Observaciones: <input type="text"/>					
NOMBRE				CARGO	
RESPONSABLE:	<input type="text"/>			<input type="text"/>	
REALIZÓ:	<input type="text"/>			<input type="text"/>	
REVISÓ:	<input type="text"/>			<input type="text"/>	
NOTA: si el numeral descrito no aplica para describir el equipo en mención, se llena la casilla con NA.					
<input type="checkbox"/> Con novedad		<input type="checkbox"/> Con pendiente		<input type="checkbox"/> Con no conformidad	
<input type="checkbox"/> Trabajo suspendido		<input type="checkbox"/> Con Ideas de mejora		<input type="checkbox"/> Fuera de tiempo programado	

NA: No Aplica

NC: No se Realizó

B: Bien

6.1.6 Costos del mantenimiento preventivo

Tabla 16

Costo de mantenimiento preventivo de interruptores de 110KV

COSTOS UNITARIOS DE MP DE INTERRUPTORES DE 110KV			
	4 años	Costos	
	MP	C/U	Total, MP
Personas	6	\$ 15,000.00	\$ 720,000.00
Materiales	5	\$ 100,000.00	\$ 500,000.00
Transporte	2	\$ 30,000.00	\$ 480,000.00
Equipos	3	\$ 370,000.00	\$ 740,000.00
tiempo (horas)	8		
			\$ 2,440,000.00

6.1.7 Costos del mantenimiento basado en condición

Tabla 17

Costo de mantenimiento basado en condición de interruptores de 110 KV

COSTOS UNITARIOS DE MBC DE INTERRUPTORES DE 110KV			
	2 años	Costos	
	MBC	C/U	Total, MBC
Personas	2	\$ 50,000.00	\$ 200,000.00
Insumos	1	\$ 100,000.00	\$ 100,000.00
Transporte	1	\$ 30,000.00	\$ 60,000.00
Equipos	1	\$ 70,000.00	\$ 140,000.00
Tiempo (horas)	2		
			\$ 500,000.00

6.1.8 Prueba de calidad del gas

Realizar una prueba de análisis de gas en un interruptor de potencia aislado en SF6 con el equipo MBW 973-SF6 Analyzer, figura 15, implica medir la composición de gases en el interior del interruptor para evaluar su condición. Las variables clave que se valoran en esta prueba incluyen la concentración de gases presentes, como los que se mencionan en la tabla 18. Los rangos permitidos y sus tolerancias pueden variar según las especificaciones del fabricante y las normativas aplicables, aquí están algunos valores típicos:

Figura 15. GA 11 – Analizador de calidad de gas SF6

GA 11 – Analizador de calidad de gas SF6



Nota. Instrumento utilizado en los mantenimientos de los interruptores de potencia con medio aislante SF6. Fuente: (Prima Process Metrology, s.f.)

Tabla 18

Parámetros de variables permitidas en mediciones de gas SF6

VARIABLE	VALOR PERMITIDO	TOLERANCIA
Concentración de SF6	98% - 99.8%	±0.2%
Contenido de Humedad	≤150 ppm	±10 ppm
Contenido de PPM	≤500 ppm	±50 ppm
Acidez (como HF)	≤0.3 ppm	±0.05 ppm
Contenido de aire	≤500 ppm	±50 ppm
Contenido de productos	<2 ppm	±0.5 ppm

Las pruebas de la calidad del gas SF6, son fundamentales en el mantenimiento basado en condición, debida a que estas pruebas periódicas no solo aseguran que el SF6 cumpla con los estándares de calidad, sino que también ayudan a detectar cualquier anomalía temprana que pueda indicar un problema en el interruptor de potencia. Esto es crucial para prevenir fallas catastróficas y costosas interrupciones en la distribución y transmisión eléctrica.

El técnico en gas SF6, junto con su equipo, trabaja con precisión y diligencia para mantener estas variables dentro de los rangos especificados. Su labor es esencial para garantizar

que los interruptores de potencia funcionen de manera óptima y que la energía fluya de manera controlada según el contexto operacional.

6.1.8.1 Costo por prueba de Calidad del Gas SF6.

Para determinar el costo por prueba, debemos considerar el costo total del equipo, su vida útil y la cantidad de pruebas que se pueden realizar durante ese período.

Adicionalmente, debemos de calcular el costo de utilización por hora del equipo y también determinar cuántas pruebas se pueden realizar durante la vida útil del equipo.

En la tabla 19, observamos las variables analizadas para determinar el costo de uso de una hora del equipo de medición para el análisis del gas SF6.

Tabla 19

Costo de uso por hora equipo

COSTA DE USO HORA EQUIPO	
Valor del MBW 973-SF6 Analyzer	\$ 251,755,800
Valor hora técnico/ Hora	\$ 50,000.00
Transporte a sitio/ Hora	\$ 30,000.00
Vida Útil según Fabricante / Años	5
Número máximo de pruebas / Día	3
Tiempo de duración de la prueba / Hora	2

Por medio de la ecuación 3, se determinará el número de pruebas que se puede realizar con el equipo.

Ecuación 3

Ecuación para número total de pruebas de equipo de medición de gas SF6 en su vida útil

$$\begin{aligned} & \text{Numero maximo de pruebas por dia} \times \text{Dias laborales al año} \times \text{Vida util del equipo} \\ & = \text{Total por prueba del equipo} \end{aligned}$$

Nota. Se toma como día laboral los días de lunes a viernes

Reemplazamos los valores:

$$3 \frac{\text{pruebas}}{\text{días laborales}} \times 240 \frac{\text{días laborales}}{\text{año}} \times 5 \text{ años} = 3600 \text{ pruebas}$$

Ahora, por medio de la ecuación 4, se calculará el costo de cada prueba.

Ecuación 4

Costo de cada prueba realizada con equipo de medición de gas SF6

$$\text{Costo por prueba} = \frac{\text{Costo total del equipo}}{\text{Numero total de pruebas}}$$

Reemplazamos los valores:

$$\text{Costo por prueba} = \frac{251,755,800 \text{ pesos}}{3600 \text{ pruebas}} = 69,932 \text{ pesos/prueba}$$

Entonces, el costo por prueba con el equipo MBW 973-SF6 Analyzer sería de aproximadamente 70,000 pesos y si consideramos que el equipo lo debe manipular un técnico con experiencia, un auxiliar y adicional a esto se requiere un desplazamiento a sitio, podemos calcular el costo total de la prueba.

El Mantenimiento basado en condición para los interruptores de potencia aislados en SF6 es una estrategia esencial que requiere de un modelo de inspección integral. Este modelo va más allá de la simple monitorización del estado del gas SF6 y se enfoca en evaluar de manera sistemática los componentes y partes del interruptor.

La inspección sistemática se lleva a cabo con el propósito de proporcionar una visión completa de la salud y el rendimiento de los componentes individuales, alineándose con los períodos de las pruebas del gas SF6. En este proceso, se establece un criterio de evaluación estandarizado que asigna una calificación en una escala del 0 al 4 a cada componente y parte, reflejando su condición actual.

Este enfoque integral permite que los profesionales de la gestión de activos tomen decisiones informadas y basadas en datos sólidos. Al tener un criterio base integrado y estandarizado, se simplifica la toma de decisiones sobre la gestión de activos, ya que se dispone de una evaluación coherente y precisa de la condición de los componentes y partes del

interruptor. Esto contribuye significativamente a la eficiencia y confiabilidad del mantenimiento basado en condición en interruptores de potencia aislados en SF6.

Además, es importante destacar que, al complementar este enfoque con metodologías adicionales, como la evaluación de la criticidad de los interruptores, se fortalecen aún más las decisiones en el proceso de mantenimiento basado en condición. La consideración de la criticidad de los interruptores permite ampliar el conjunto de criterios y datos a disposición al tomar decisiones.

Esta evaluación ampliada proporciona un enfoque más completo y exhaustivo, lo que resulta en decisiones más fundamentadas y sólidas en la gestión de activos. Al incorporar la criticidad de los interruptores como un factor adicional, se obtiene un panorama más extenso y detallado que ayuda a priorizar las acciones de mantenimiento y a optimizar la disponibilidad y confiabilidad de los interruptores de potencia aislados en SF6. Esto contribuye a la eficacia general del mantenimiento basado en condición y a la toma de decisiones más informadas y estratégicas.

6.1.9 Análisis de criticidad

La metodología de criticidad de activos es esencial en la gestión de interruptores de potencia en subestaciones eléctricas. Evalúa factores como la seguridad, el aspecto financiero, el medio ambiente, la calidad del servicio y la reputación. Esto permite identificar y priorizar la atención a los interruptores más críticos, asegurando la seguridad, reduciendo costos, evitando impactos ambientales, manteniendo la calidad del servicio y preservando la reputación de la empresa. Esta metodología es clave para mantener el sistema confiable y eficiente.

Figura 16. Criterios de criticidad

Criterios de criticidad

PROBABILIDAD		CONSECUENCIA				
		Minima	Memos	Moderada	Mayor	Maxima
Muy Alta	5					
Alta	4					
Media	3					
Baja	2					
Muy Baja	1					
		1	2	4	8	16

Nota. Escala de criticidad seleccionada para medir los parámetros de evaluación de salud de los activos y base matriz de riesgos

6.1.9.1 Definición tabla de impactos en personas.

Para la definición de la tabla de consecuencias de Personas, se contemplan los peligros que pueden generar afectación a la salud y seguridad de las personas puedan o no, estar en contacto directo con los activos, pero que puedan ser afectados debido al evento de falla funcional de los activos estudiados. Entendiendo como personas a los empleados de la compañía, personal contratista y comunidad. Se describen a continuación algunos ejemplos:

- Ruido: Puede generar afectación a las personas ocasionando pérdida auditiva.
- Inhalación de gases y/o material particulado, (fuga inesperada de gas Sf6, cloro) de aerosoles de agua cruda y agua clarificada.
- Caídas (pasamanos) tema de infraestructura, golpes y aplastamientos.
- Electrocutión.
- Explosiones.
- Ahogamiento.
- Contacto con productos químicos.
- Radiación por Incendios, etc.

6.1.9.2 Definición tabla de impactos ambientales.

Para la elaboración de la tabla de consecuencias Ambientales, se contemplan los peligros que pueden generar afectación en las condiciones ambientales en las cuales se desarrollan las actividades del nivel de gestión analizado en el aspecto ambiental (biótico, abiótico y social) en caso de ocurrir un evento de falla funcional de un equipo. Se describen a continuación algunos ejemplos:

- Fugas de fluidos o material particulado que produzca contaminación del aire.
- Fuga de cloro q genere contaminación de aire, fauna y flora.
- Fuga de sustancias químicas diferentes a cloro, cal, carbón activado, sulfato, soda cáustica (nivel medio), poli cloruro de aluminio, polímero, CO2.
- Explosión o incendio que afecte el entorno.
- Vertimientos no autorizados que generen contaminación, etc.
- Inundación.
- Ruido en la operación de la infraestructura que genera contaminación auditiva.
- Suspensión del servicio por más de 24 horas con impacto en bienestar de la comunidad.

6.1.9.3 Definición tabla de impactos en calidad.

Para la elaboración de la tabla de consecuencias de Calidad, se contemplan los peligros que pueden generar afectación en el aspecto de calidad, el cumplimiento del servicio o producto y la afectación con el incumplimiento de los indicadores o metas del negocio en el llegado caso de ocurrir un evento de falla funcional del activo. Se puede contemplar:

- Indicadores de Calidad.
- Cumplimientos Regulatorios.
- Estándares internos.
- Perdidas de disponibilidad del proceso o planta.
- Indicadores de disponibilidad, de cumplimiento, de desempeño.

6.1.9.4 Definición tabla de impacto en reputación.

Para la elaboración de la tabla de consecuencias de reputación, se contemplan los peligros que generan afectación en aspectos como confianza y credibilidad en los compromisos de la organización, eventos que afecten la reputación con una cobertura adversa de amplia difusión en medio a nivel nacional o internacional, eventos que afecten en forma negativa los valores corporativos, observaciones o sanciones de algún ente regulador, etc.

6.1.9.5 Definición tabla de impactos financieros.

Para la elaboración de la tabla de consecuencias Financieras, se contempla los topes financieros por ingreso, multas, costos de reparación, costo de reposición, sanciones regulatorias y/o indemnizaciones. Para este último impacto se propone indicar un valor en tiempo de parada de la planta o sistema a analizar en donde la falla del activo sea causa fundamental. Posterior a esto el departamento de riesgos financieros del negocio apoyaría dando una jerarquización para discriminar en cinco niveles de severidad.

Figura 17

Variables y pesos por objeto de impacto.

VARIABLES QUE INTERVIENE EN LOS OBJETOS DE IMPACTO				
IMPACTO	CONSECUENCIA		PROBABILIDAD	
	Peso	Descripción	Peso	Descripción
Reputación	25%	Cantidad de clientes en distribución	25%	Cantidad de aperturas del interruptor año
	15%	Clientes industriales a 110KV	25%	Año de fabricación del interruptor
	15%	Nivel de Tensión	25%	Salud de activo del Trafo asociado
	20%	Demanda no atendida	25%	Plan de protección de fauna
	15%	Ubicación		
	10%	Habitantes por municipio		
Ambiental	30%	Emisiones de SF6 al ambiente	33%	Fuga de Gas de los Interruptores
	20%	Limita con Bosques o zonas de reservas	33%	Cantidad de interruptores en SF6
	25%	Plan de protección Fauna	33%	Fallas por fauna
	25%	Tecnología del interruptor		
Financiero	33%	ingresos esperados año en curso	25%	Grado de explosión por Cortocircuito
	33%	Penalizaciones	25%	Año de fabricación del interruptor
	33%	demanda no atendida cantidad y frecuencia	25%	Criticidad de la subestación
			25%	Plan de protección de Fauna
Personas	15%	Presencia de operador en la subestación	30%	Criticidad de la subestación
	20%	presencia de vigilancia en la subestación	20%	Antigüedad del interruptor
	15%	oficinas o despachos en la subestación	20%	Antigüedad de las protecciones
	10%	limita con urbanizaciones o Casas	15%	Antigüedad de los equipos de patio
	10%	Limita con Escuelas, parques o Canchas	15%	Cumplimiento Retie
	10%	Tipo de Cerramiento		
	10%	Edificio/Reducida/Convencional		
	10%	Sistemas redundantes en seguridad		
Calidad	10%	Variabilidad de la subestación	25%	Grado de explosión por Cortocircuito
	10%	tecnología de la subestación	25%	Año de fabricación del interruptor
	10%	comunicaciones	25%	Criticidad de la subestación
	10%	conexión grandes clientes	25%	Plan de protección de Fauna
	10%	Numero de trafos		
	10%	Demanda no atendida		
	10%	Maniobras		
	10%	Capacidad de respaldo a subestaciones externas		
	10%	SAIDI		
	10%	SAIFI		

Figura 18

Inventario de Interruptores de potencia por nivel de tensión vs evaluación de criticidad.

Interruptores de Potencia						
Criticidad/Tensión	13.2KV	44KV	110KV	220KV	500KV	Total Criticidad
Baja	0	3	3	0	0	6
Media	5	6	5	0	0	16
Alta	0	2	4	4	0	10
Muy alta	131	189	232	90	6	648
Sin Clasificar	14	43	26	0	0	83
Total General nivel de tensión	150	243	270	94	6	763

6.2 Plan de mantenimiento MBC

Las partes y los componentes de un interruptor de potencia aislado en SF6, son susceptibles a mantenimiento por la naturaleza de su desgaste, pero si podemos evaluar por medio de la inspección con conocimiento técnico podríamos adelantarnos a aun posible falla si evidenciamos condiciones anómalas.

El principio del uso del hexafluoruro de azufre (SF6) en un interruptor es básicamente enfriar y extinguir el arco cuando el interruptor opera.

Los interruptores llenos de gas SF6 se basan en la tecnología de chorro de aire con gas SF6 que se utiliza en lugar de aire. Estos interruptores interrumpen las corrientes al abrir una válvula de explosión y permitiendo que el gas SF6 a alta presión fluya a través de una boquilla a lo largo del arco dibujado entre contactos fijos y móviles del interruptor. Este proceso rápidamente desioniza, enfría e interrumpe el arco. Después de la interrupción, el gas a baja presión es comprimido para su reutilización en la próxima operación y cada vez que sucede este efecto, el gas como sus componentes pueden degradarse, lo cual se podría evidenciar evaluando lo siguiente:

Tabla 20

Parámetros determinados para interruptores de potencia, los cuales se revisan por medio de la inspección visual, criterios definidos por el modelo y el técnico experto.

No.	PARTE O COMPONENTE
1	SOPORTE AISLANTE
2	FUGAS DE SF6
3	CONDICION DEL DE MECANISMO
4	COMPONENTES Y MECANISMO DE CONTROL
5	CONDICION DE CONTACTOS, BOQUILLAS Y VALVULAS
6	CAPACITORES
7	SOPORTE, BASE DE ACERO, PUESTA A TIERRA
8	CONDICION GENERAL DEL INTERRUPTOR
9	TIEMPO DE RECORRIDO
10	RESISTENCIA DE CONTACTOS
11	TIEMPO DE RECARGA NEUMATICA, HIDRAÚLICA Y DE RESORTES
12	ANALISIS DE GASES

Nota. La tabla presenta los parámetros que se analizaran para determinar el estado de salud de los interruptores de potencia con medio aislante SF6.

6.2.1 Soportes aislantes

Los soportes aislantes son como pasadores que permiten que la electricidad fluya a través de un interruptor. También proporcionan apoyo mecánico al interruptor. Se revisan para asegurarse de que estén fuertes y sin daños.

Tabla 21

Criterios de evaluación de soporte aislante

CRITERIO	PUNTAJE	CONDICION
Los soportes aislantes están en perfecto estado, sin roturas ni defectos visibles. La cementación y los sujetadores están asegurados.	4	Muy bueno
Los soportes aislantes no presentan roturas, pero se observan defectos menores o algunas grietas superficiales. La cementación y los sujetadores están asegurados.	3	Buena
Los soportes aislantes no están rotos, pero se notan chips importantes o grietas visibles. La cementación y los sujetadores están asegurados.	2	Media
Los soportes aislantes están rotos o dañados, o la cementación o los sujetadores no están asegurados.	1	Pobre
Los soportes aislantes o la cementación o los sujetadores están seriamente dañados y no pueden repararse.	0	Muy pobre

6.2.2 Fugas de SF6

Las fugas de SF6 son cuando el gas se escapa del interruptor. Esto es importante porque el gas se usa para apagar el arco eléctrico. Las fugas pueden afectar la operación y la seguridad del interruptor.

Tabla 22

Criterios de evaluación de fugas de SF6

CRITERIO	PUNTAJE	CONDICION
No se observan fugas de SF6.	4	Muy bueno
Fuga menor de SF6, no más del 0,5 %, por año, en peso, de la cantidad total de SF6 en el interruptor, según manómetro.	3	Buena
Fuga de SF6 de hasta 1,5%, por año, en peso, de la cantidad total de SF6 en el interruptor, según manómetro.	2	Media
Fuga de SF6 de hasta un 2 %, por año, en peso, de la cantidad total de SF6 en el interruptor, según manómetro.	1	Pobre
Fuga de SF6 superior al 2%, por año, por peso, de la cantidad total de SF6 en el interruptor, según manómetro.	0	Muy pobre

6.2.3 Tanque y caja de mecanismo

El tanque del interruptor contiene el mecanismo que lo hace funcionar. Se verifica visualmente para detectar óxido o daños en la caja de control y sellos. Esto se hace regularmente como parte del mantenimiento.

Tabla 23

Criterios de evaluación del mecanismo

CRITERIO	PUNTAJE	CONDICION
El mecanismo está en perfecto estado y funciona correctamente.	4	Muy bueno
El mecanismo tiene un funcionamiento aceptable, pero muestra signos de desgaste.	3	Buena
El mecanismo muestra signos de alerta con funcionamiento intermitente o problemas menores.	2	Media
El mecanismo presenta problemas significativos que afectan su funcionamiento.	1	Pobre
El mecanismo no funciona o está seriamente dañado.	0	Muy pobre

6.2.4 Componentes y mecanismo de control

Estos son los componentes mecánicos que hacen que el interruptor funcione. Se inspeccionan para detectar signos de desgaste o daño, como sobrecalentamiento o deterioro.

Tabla 24

Criterios de evaluación de componentes y mecanismo de control

CRITERIO	PUNTAJE	CONDICION
Todos los componentes y mecanismos de control están en óptimas condiciones y funcionan correctamente.	4	Muy bueno
Los componentes y mecanismos de control funcionan de manera aceptable, pero presentan señales de desgaste.	3	Buena
Los componentes y mecanismos de control muestran signos de alerta, como funcionamiento intermitente o problemas menores.	2	Media
Los componentes y mecanismos de control presentan problemas significativos que afectan su funcionamiento.	1	Pobre
Los componentes y mecanismos de control no funcionan o están seriamente dañados.	0	Muy pobre

6.2.5 Contactos, boquillas y válvulas

Estos componentes se revisan en busca de corrosión y acumulación que puedan afectar su funcionamiento. También se verifica la cámara interruptora.

Tabla 25

Criterios de evaluación de contactos, boquillas y válvulas

CRITERIO	PUNTAJE	CONDICION
Los contactos, boquillas y válvulas están en excelentes condiciones y no presentan desgaste visible.	4	Muy bueno
Los contactos, boquillas y válvulas están en condiciones aceptables, con desgaste menor.	3	Buena
Se observa desgaste significativo en los contactos, boquillas o válvulas, indicando una condición de alerta.	2	Media
Los contactos, boquillas o válvulas tienen desgaste importante que representa un riesgo significativo.	1	Pobre
Los contactos, boquillas o válvulas están gravemente dañados o no funcionan.	0	Muy pobre

6.2.6 Capacitores sincronizadores de contactos

Estos son importantes para distribuir el voltaje de manera uniforme en interruptores en serie. Se revisan para asegurarse de que funcionen correctamente.

Tabla 26

Criterios de evaluación de capacitores sincronizadores de contactos.

CRITERIO	PUNTAJE	CONDICION
Los capacitores están en óptimas condiciones y funcionan correctamente.	4	Muy bueno
Los capacitores funcionan de manera aceptable, pero presentan signos de desgaste.	3	Buena
Los capacitores muestran signos de alerta, como funcionamiento intermitente o problemas menores.	2	Media
Los capacitores presentan problemas significativos que afectan su funcionamiento.	1	Pobre
Los capacitores no funcionan o están seriamente dañados.	0	Muy pobre

6.2.7 Soporte, bases y puestas a tierra

Estas partes sostienen el interruptor en su lugar y se aseguran de que esté bien conectado a tierra. Esto es esencial para mantener el interruptor estable y seguro.

Tabla 27

Criterios de evaluación de soporte, bases y puestas a tierra

CRITERIO	PUNTAJE	CONDICION
El soporte, base de acero y sistema de puesta a tierra están en perfecto estado, sin roturas ni defectos visibles.	4	Muy bueno
El soporte, base de acero y sistema de puesta a tierra no presentan roturas, pero se observan defectos menores o algunas grietas superficiales.	3	Buena
El soporte, base de acero y sistema de puesta a tierra no están rotos, pero se notan chips importantes o grietas visibles.	2	Media
El soporte, base de acero o sistema de puesta a tierra están rotos o dañados, o los sujetadores no están asegurados.	1	Pobre
El soporte, base de acero o sistema de puesta a tierra están seriamente dañados y no pueden repararse.	0	Muy pobre

6.2.8 Condición general

Este factor evalúa la condición general del interruptor y se basa en las inspecciones anteriores. También tiene en cuenta el desgaste del interruptor.

Tabla 28

Criterios de evaluación de condición general

CRITERIO	PUNTAJE	CONDICION
El interruptor está en perfectas condiciones, sin ningún defecto visible, y funciona correctamente.	4	Muy bueno
El interruptor no presenta defectos importantes, pero puede haber señales de desgaste menores.	3	Buena
El interruptor muestra signos de alerta, como problemas menores en su funcionamiento o desgaste moderado.	2	Media
El interruptor tiene problemas significativos que afectan su funcionamiento.	1	Pobre
El interruptor no funciona o está seriamente dañado.	0	Muy pobre

6.2.9 Tiempo de recorrido

Se refiere al tiempo que lleva abrir y cerrar el interruptor. Esto es importante para su funcionamiento eficiente y se prueba durante el mantenimiento.

Tabla 29

Criterios de evaluación de tiempo de recorrido

CRITERIO	PUNTAJE	CONDICION
El tiempo de recorrido es óptimo y está dentro de los parámetros establecidos.	4	Muy bueno
El tiempo de recorrido es aceptable, aunque puede mostrar una ligera variación.	3	Buena
El tiempo de recorrido está en alerta, con variaciones notables o desviaciones moderadas.	2	Media
El tiempo de recorrido muestra problemas significativos, con variaciones importantes.	1	Pobre
El tiempo de recorrido está fuera de tolerancia o es inaceptable.	0	Muy pobre

6.2.10 Resistencia de contactos

Esta se mide la resistencia eléctrica de los contactos en busca de erosión o acumulación que pueda afectar su rendimiento.

Tabla 30

Criterios de evaluación de resistencia de contactos

CRITERIO	PUNTAJE	CONDICION
La resistencia de contactos es óptima y está dentro de los parámetros establecidos.	4	Muy bueno
La resistencia de contactos es aceptable, aunque puede mostrar una ligera variación.	3	Buena
La resistencia de contactos está en alerta, con variaciones notables o desviaciones moderadas.	2	Media
La resistencia de contactos muestra problemas significativos, con variaciones importantes.	1	Pobre
La resistencia de contactos está fuera de tolerancia o es inaceptable.	0	Muy pobre

6.2.11 Tiempo de recarga

Este se refiere al tiempo necesario para recargar la energía almacenada que hace funcionar el interruptor.

Tabla 31

Criterios de evaluación de tiempo de recarga

CRITERIO	PUNTAJE	CONDICION
El tiempo de recarga neumática, hidráulica y de resortes es óptimo y está dentro de los parámetros establecidos.	4	Muy bueno
El tiempo de recarga es aceptable, aunque puede mostrar una ligera variación.	3	Buena
El tiempo de recarga está en alerta, con variaciones notables o desviaciones moderadas.	2	Media
El tiempo de recarga muestra problemas significativos, con variaciones importantes.	1	Pobre
El tiempo de recarga está fuera de tolerancia o es inaceptable.	0	Muy pobre

6.2.12 Análisis de gases

Se analiza la calidad del gas SF6 en busca de descomposición. Esto es importante para asegurar que el gas pueda apagar el arco eléctrico de manera efectiva.

Tabla 32

Criterios de evaluación de análisis de gases.

CRITERIO	PUNTAJE	CONDICION
Sin indicaciones anormales. Dentro de la especificación IEC.	4	Muy bueno
Lecturas altas de humedad, aire o CF4.	3	Buena
Indicación probable de actividad eléctrica por la presencia de subproductos de descomposición.	2	Media
Indicaciones definitivas de actividad eléctrica por la presencia de subproductos de descomposición.	1	Pobre
Altos niveles de actividad anormal que no se pueden llevar a condiciones normales.	0	Muy pobre

6.2.13 Evaluación del puntaje para el índice de salud

Para la evaluación del puntaje que ayuda a determinar el índice de salud de los interruptores, se utiliza como la tabla 33, donde se observa el peso (Kj) que tiene el puntaje obtenido en cada uno de los parámetros de los interruptores de potencia.

Tabla 33

Puntajes para determinar el índice de salud

No.	PARAMETRO	Kj	PUNTAJE
1	Soporte aislante	4	4,3,2,1,0
2	Fugas de sf6	4	4,3,2,1,0
3	Condición del tanque y caja de mecanismo	4	4,3,2,1,0
4	Componentes y mecanismo de control	2	4,3,2,1,0
5	Condición de contactos, boquillas y válvulas de explosión	3	4,3,2,1,0
6	Capacitores sincronizadores de contactos	2	4,3,2,1,0
7	Soporte, base de acero, puesta a tierra	3	4,3,2,1,0
8	Condición general del interruptor	4	4,3,2,1,0

9	Tiempo de recorrido	3	4,3,2,1,0
10	Resistencia de contactos	2	4,3,2,1,0
11	Tiempo de recarga neumática, hidráulica y de resortes	2	4,3,2,1,0
12	Análisis de gases	3	4,3,2,1,0

Nota. El K_j es un coeficiente dado según la relevancia del componente o la parte del interruptor.

A continuación, veremos un ejemplo de aplicación de la Ecuación 5, para evidenciar como se hace el cálculo del índice de salud.

Ecuación 5

Cálculo del índice de salud de los interruptores de potencia

$$\text{Puntaje Inspección} = \text{Resultado Item 1} + \text{Resultado Item 2} + \dots + \text{Resultado Item 12}$$

$$\text{Índice de Salud} = K_i * \text{Puntaje Total Inspección}$$

Reemplazamos los valores:

$$\text{Índice de Salud} = 3 * 24 = 48$$

6.2.14 Evaluación final del índice de salud

Tabla 34

Acciones a tomar de acuerdo al resultado de índice de salud

ÍNDICE DE SALUD	CONDICIÓN	DESCRIPCIÓN	HORIZONTE DE REPOSICIÓN/ VIDA ÚTIL ESPERADA
85-100	Muy buena	Algún envejecimiento o deterioro menor de un número limitado de componentes	>15 años
70-85	Buena	Deterioro significativo de algunos componentes	10-15 años
50-70	Media	Deterioro significativo generalizado o deterioro avanzado de componentes específicos	3-10 años
30-50	Pobre	Deterioro avanzado generalizado	<3 años
0-30	Muy pobre	Deterioro avanzado generalizado	Reposición inmediata

6.3 Estrategia

Implementar un cambio de metodología de mantenimiento periódico de interruptores de potencia a mantenimientos basados en condición (MBC) es una decisión estratégica que puede optimizar los recursos, reducir costos y mejorar la confiabilidad de la red eléctrica. A continuación, proporcionamos una descripción detallada de cómo llevar a cabo esta transición y una tabla comparativa de costos.

6.3.1 Paso 1. Evaluación de la situación actual

Antes de realizar el cambio, es fundamental realizar una evaluación exhaustiva de la situación actual. Esto implica:

- **Inventario de Interruptores:** Identificar todos los interruptores de potencia en la red y clasificarlos según su importancia y criticidad para el sistema.
- **Histórico de Mantenimiento:** Analizar los registros de mantenimiento periódico de los interruptores, incluyendo costos asociados, frecuencia y resultados de inspecciones.
- **Análisis de Fallas:** Evaluar las fallas históricas y las consecuencias de estas fallas en términos de interrupciones y costos de reparación.
- **Evolución financiera:** Evaluar los costos que implica los mantenimientos tanto preventivos como basados en condición.

6.3.2 Paso 2. Selección de parámetros de monitoreo

Definir los parámetros de monitoreo necesarios para implementar el mantenimiento basado en condición.

- Medida de Calidad del gas
- Inspección de partes y componentes.
- Pruebas eléctricas.

6.3.3 Paso 3. Adquisición de equipamiento y tecnología

Para llevar a cabo el MBC, es necesario adquirir la tecnología adecuada, como equipos de prueba y software de análisis de datos.

6.3.4 Paso 4. Implementación de monitoreo continuo

Realizar pruebas de calidad del gas e inspecciones que permitan el monitoreo en los interruptores de potencia. Configurar una estrategia de mantenimiento con frecuencias de evaluación e inspección de los interruptores y generen alertas en caso de desviaciones.

6.3.5 Paso 5. Análisis de datos y decisiones de mantenimiento

Establecer umbrales y criterios de alarma para los parámetros monitoreados. Cuando se detecten desviaciones significativas, realizar un análisis detallado de los datos para determinar si es necesario llevar a cabo un mantenimiento.

6.3.6 Paso 6. Planificación de mantenimiento

Si se determina que es necesario realizar mantenimiento, planificar las intervenciones de manera anticipada, asegurando la disponibilidad de personal y recursos necesarios.

6.3.7 Paso 7. Evaluación y mejora continua

Regularmente, revisar los resultados del MBC y ajustar los umbrales y criterios de alarma según la experiencia acumulada. Esto permitirá mejorar la precisión del monitoreo y reducir costos innecesarios.

6.4 Beneficios

A continuación, se presenta una tabla comparativa de los costos entre el mantenimiento periódico tradicional y el mantenimiento basado en condición:

Tabla 35

Comparación de costos de mantenimientos

TABLA COMPARATIVA		
Tipo de ítem	Preventivos Periódicos	Basado en Condición
Frecuencia/años	4	2
Valor	\$2,440,000.00	\$500,000.00
Inventario	763	763
Inventario por año	190.75	381.5
Costo por año	\$465,430,000.00	\$190,750,000.00
Porcentaje de falla por año	2%	1%
Interruptores fallados por año	15.26	7.63
Tasa de falla por año	7,41%	3,85%
Valor por promedio falla	\$ 24,000,000.00	\$ 24,000,000.00
Costos interruptores fallados/Año	\$ 366,240,000.00	\$ 183,120,000.00
Costo total de intervenciones por año	\$ 831,670,000.00	\$ 373,870,000.00
Mantenimientos preventivos por condición	0	\$ 2,440,000.00
Probabilidad mantenimiento preventivo por condición	0	15%
Cantidad de interruptores a intervenir Preventivamente por condición	0	57.22
Costo de intervención por condición	0	\$139,616,800.00
Costo total por mantenimientos preventivos + Mantenimientos Correctivos	\$831,670,000.00	\$513,486,800.00
Diferencia Anual		\$318,183,200.00
% de ahorro Anual		38.3%
Diferencia cada 2 años		\$636,366,400.00
Diferencia cada 3 años		\$954,549,600.00
Diferencia cada 4 años		\$1,272,732,000.00

El cambio a un enfoque basado en condición puede implicar una inversión inicial moderada en tecnología, pero a largo plazo, tiende a reducir los costos totales al prevenir fallas costosas y programar mantenimientos de manera más eficiente. Además, mejora la confiabilidad del sistema eléctrico al reducir el riesgo de interrupciones no planificadas, disminuir la mantenibilidad y optimizar los tiempos de intervención.

6.4.1 Formularios digitales

Aprovechando las bondades del EAM, se crearon formularios digitales, para levantar la información de las inspecciones y los resultados de las variables, dicha información queda registrada sobre el activo y permite tener una trazabilidad del mismo, por otro lado, se ahorra al eliminar los formularios en papel, la transcripción de los datos y minimización de errores en la información.

Figura 19

Formularios digitales

IBM Maximo Asset Management

¿Ocultar preguntas opcionales? No

Todas Incompletas Completadas

INSPECCIÓN INTERRUPTORES EN SF6 5746706 INTERRUPTOR, LINEA, 145,0 KV, GL 312 ...

1. DATOS GENERALES PARA LA INSPECCIÓN

2. INSPECCION VISUAL

3. VALORES DE PRUEBAS

0/3 Total

Guardar y salir Completa

INSPECCIÓN INTERRUPTORES EN SF6

3. VALORES DE PRUEBAS

CONTENIDO DE HUMEDAD EN EL SF6 POLO R <=300PPM
Especificar lectura de medidor

CONTENIDO DE HUMEDAD EN EL SF6 POLO S <=300PPM
Especificar lectura de medidor

CONTENIDO DE HUMEDAD EN EL SF6 POLO T <=300PPM
Especificar lectura de medidor

PORCENTAJE DE PUREZA MONOFASICO
Sin especificar

PORCENTAJE DE PUREZA FASE R
Sin especificar

PORCENTAJE DE PUREZA FASE S
Sin especificar

PORCENTAJE DE PUREZA FASE T
Sin especificar

CANTIDAD DE DIOXIDO DE CARBONO MONOFASICO
Sin especificar

INSPECCIÓN INTERRUPTORES EN SF6

2. INSPECCION VISUAL

ESTADO DE BUJES Y AISLADORES

4 - Sin novedades

3 - Algunos defectos y grietas. Alguna evidencia de quemaduras por flashover; o salpicadura de cobre o lavado de cobre

2 - Algunos chips importantes y grietas Alguna evidencia de quemaduras por flashover o salpicadura o manchas de cobre. Cementación y los sujetadores están seguros.

FUGAS DE SF6

4 - Sin fugas de SF6

3 - Fuga menor de SF6, no más del 0,5 %, por año, en peso, de la cantidad total de SF6 en el interruptor

2 - Fuga de SF6 de hasta 1,5%, por año, en peso, de la cantidad total de SF6 en el interruptor

ESTADO TANQUE Y CAJAS DE MECANISMOS

4 - Sin óxido ni corrosión en el tanque principal.

3 - Un ligero ingreso de humedad o condensación en la caja del mecanismo

2 - Algo de óxido y corrosión en el tanque y en la caja de mecanismo

ESTADO COMPONENTES Y MECANISMOS DE CONTROL

4 - Sin novedad

3 - Signos normales de desgaste

2 - Alguna características de los componentes son inaceptable

CONDICIÓN DE CONTACTOS, BOQUILLAS Y VALVULAS DE EXPLOSION

1 - Rotos o dañados, o la cementación o los sujetadores no están asegurados.

0 - rotos y dañados sin posibilidad de reparación.

1 - Fuga de SF6 de hasta un 2 %, por año, en peso, de la cantidad total de SF6 en el interruptor

0 - Fuga de SF6 superior al 2%, por año, por peso, de la cantidad total de SF6 en el disyuntor

1 - Corrosión significativa en el tanque principal y en caja de mecanismo Sellado defectuoso

0 - Corrosión, humedad, agua, daños por insectos o roedores o degradación irreparable.

1 - Muchas características de los componentes son inaceptable

0 - Los componentes de control y mecanismo están dañado o degradado más allá de la reparación

Nota. Información tomada de EAM

6.4.2 Medidores de control de interruptores

Tabla 36

Medidores de control de los interruptores de potencia de acuerdo con la unidad de medida

MEDIDOR	UNIDAD DE MEDIDA
ADICION DE SF6 A EQUIPOS DE PATIO	KG
TIEMPO DE CIERRE POLO T	MSEG
CAPACITANCIA CAMARA POLO R	PF
CAPACITANCIA CAMARA POLO S	PF
CAPACITANCIA CAMARA POLO T	PF
CAPACITANCIA SOPORTE INFERIOR POLO R	PF
CAPACITANCIA SOPORTE INFERIOR POLO S	PF
CAPACITANCIA SOPORTE INFERIOR POLO T	PF
CANTIDAD APERTURAS INTERRUPTOR	NAP
CONTENIDO DE HUMEDAD EN EL SF6 POLO R	PPM
CONTENIDO DE HUMEDAD EN EL SF6 POLO S	PPM
CONTENIDO DE HUMEDAD EN EL SF6 POLO T	PPM
CONDICION POR INSPECCIÓN	
CORRIENTE APERTURA BOBINA 1 POLO R	A
CORRIENTE APERTURA BOBINA 1 POLO S	A
CORRIENTE APERTURA BOBINA 1 POLO T	A
CORRIENTE APERTURA BOBINA 2 POLO R	A
CORRIENTE APERTURA BOBINA 2 POLO S	A
CORRIENTE APERTURA BOBINA 2 POLO T	A
CORRIENTE DE CIERRE POLO R	A
CORRIENTE DE CIERRE POLO S	A
CORRIENTE DE CIERRE POLO T	A
CORRIENTE DE CORTOCIRCUITO APERTURA INTERRUPTOR	KA
FACTOR DE POTENCIA CAMARA POLO R	%
FACTOR DE POTENCIA CAMARA POLO S	%
FACTOR DE POTENCIA CAMARA POLO T	%
INDICADOR PRESION SF6 DEL INTERRUPTOR POLO R	
INDICADOR PRESION SF6 DEL INTERRUPTOR POLO S	
INDICADOR PRESION SF6 DEL INTERRUPTOR POLO T	
PRESION SF6 DEL INTERRUPTOR POLO R	MPA
PRESION SF6 DEL INTERRUPTOR POLO S	MPA
PRESION SF6 DEL INTERRUPTOR POLO T	MPA
RESISTENCIA ENTRE CONTACTOS FASE R	MICROOHM
RESISTENCIA ENTRE CONTACTOS FASE S	MICROOHM

RESISTENCIA ENTRE CONTACTOS FASE T	MICROOHM
TIEMPO DE APERTURA BOBINA 1 POLO R	MSEG
TIEMPO DE APERTURA BOBINA 1 POLO S	MSEG
TIEMPO DE APERTURA BOBINA 1 POLO T	MSEG
TIEMPO DE CIERRE POLO R	MSEG
TIEMPO DE CIERRE POLO S	MSEG

Nota. Elaboración a partir de las variables de un Interruptor de potencia

8 Discusión

Ahorro Sustancial de Costos: El cambio de mantenimiento preventivo a mantenimiento basado en condición ha demostrado ser altamente rentable. Se logra un ahorro anual del 38,3%, lo que representa una diferencia anual de \$318,183,200.00. Este ahorro aumenta significativamente con el tiempo.

Optimización de Tiempos: El nuevo enfoque de mantenimiento reduce la frecuencia de intervenciones, lo que se traduce en una mejor utilización de los recursos y una mayor eficiencia en el trabajo de mantenimiento.

Tomando los datos expuestos en la Tabla 35 podemos calcular por medio de la ecuación 6, el tiempo de optimización en horas.

Ecuación 6

Tiempo de optimización en horas

$$T_{OPT} = (A_{MP} \times t_{MP} \times P_{MP} \times T_{MP}) - (A_{MBC} \times t_{MBC} \times P_{MBC} \times T_{MBC}) - (0,15 A_{MP} \times t_{MP} \times P_{MP} \times 0,15 T_{MP})$$

Donde:

- T_{OPT} = Tiempo de optimización en horas
- A_{MP} = Total de activos a mantener por año con mantenimiento preventivo
- t_{MP} = Total horas de intervención por activo en mantenimiento preventivo
- P_{MP} = Total personal utilizado por intervención en mantenimiento preventivo
- T_{MP} = Total de años con mantenimiento preventivo
- A_{MBC} = Total de activos a mantener por año con mantenimiento basado en condición
- t_{MBC} = Total horas de intervención por activo en mantenimiento basado en condición
- P_{MBC} = Total personal utilizado por intervención en mantenimiento basado en condición
- T_{MBC} = Total de años con mantenimiento basado en condición

Ahora, sustituiremos los valores proporcionados en la fórmula:

- Total de activos a mantener por año con mantenimiento preventivo = 190.5

- Total horas de intervención por activo en mantenimiento preventivo = 6 horas
- Total personal utilizado por intervención en mantenimiento preventivo = 6 personas
- Total de años con mantenimiento preventivo = 1 año
- Total de activos a mantener por año con mantenimiento basado en condición = 381.5
- Total horas de intervención por activo en mantenimiento basado en condición = 2 horas
- Total personal utilizado por intervención en mantenimiento basado en condición = 2 personas
- Total de años con mantenimiento basado en condición = 1 año
- Total de activos a mantener por año con mantenimiento preventivo equivalente al 15% = 114.45

Ahora, sustituyendo estos valores en la fórmula:

$$T_{OPT} = (190.5 \times 6 \times 6 \times 1) - (381,5 \times 2 \times 2 \times 1) - (114.45 \times 6 \times 6 \times 1)$$

Calculamos cada término por separado:

- Primer término: 6858 horas
- Segundo término: 1524 horas
- Tercer término: 4120 horas

Ahora, sumamos los tres términos:

$$T_{OPT} = 6858 - 1524 - 4120 = 1214 \text{ horas}$$

Por lo tanto, al cambiar a la estrategia de mantenimiento basado en condición, se logra una optimización de tiempos de aproximadamente 1214 horas en un año.

Reducción de la Tasa de Fallas: Pasar de un porcentaje de falla del 2% al 1% es un logro significativo en términos de confiabilidad. Esto se traduce en menos interrupciones y una operación más estable de los interruptores.

Estrategia de Mantenimiento Preventivo:

- Número de interruptores intervenidos por mantenimiento preventivo en 4 años: 190,75 interruptores/año * 4 años = 763 interruptores.
- Número de interruptores intervenidos por mantenimiento correctivo en 4 años: 15,26 interruptores/año * 4 años = 61,04 interruptores.
- Total de interruptores intervenidos en 4 años: 763 (preventivo) + 61,04 (correctivo) = 824,04 interruptores.
- Tasa de falla en la estrategia de mantenimiento preventivo: $(61,04 \text{ interruptores} / 824,04 \text{ interruptores}) * 100 = 7,41\%$.

Estrategia de Mantenimiento Basado en Condición:

- Número de interruptores intervenidos por mantenimiento correctivo en 4 años: 7,63 interruptores/año * 4 años = 30,52 interruptores.
- Total de interruptores intervenidos en 4 años: 763 (basado en condición) + 30,52 (correctivo) = 793,52 interruptores.
- Tasa de falla en la estrategia de mantenimiento basado en condición: $(30,52 \text{ interruptores} / 793,52 \text{ interruptores}) * 100 = 3,85\%$.

Costos de Intervenciones Reducidos: El mantenimiento basado en condición permite intervenir solo cuando es necesario, lo que se traduce en un menor costo por intervención.

El costo de intervención en una año por mantenimiento preventivo es igual a \$465,430,000.00 para un total de 190,5 interruptores, mientras que si tomamos el costo de mantenimiento basado en condición en un año que es igual a \$190,750,000.00 para un total de 381,5 interruptores y le sumamos las intervenciones adicionales por condiciones encontradas por un valor de \$139,616,800.00 para un total aproximado de 57, 22 interruptores, como diferencia tendríamos un ahorro aun así de: $(\$465,430,000 - (\$190,750,000 + \$139,616,800)) = \$135,063,200$ por año.

Establecimiento de Criterios y Procedimientos: Se han establecido criterios y procedimientos claros para la recolección, análisis e interpretación de datos de los interruptores de potencia SF6, lo que brinda una base sólida para el mantenimiento basado en condición.

Plan de Mantenimiento MBC: Se ha desarrollado un plan de mantenimiento basado en condición específico para los interruptores de potencia, lo que garantiza un enfoque adecuado en la estrategia de mantenimiento.

Impacto Medido: Se ha evaluado el impacto del cambio de estrategia en los costos de mantenimiento (OPEX). Los resultados de la tabla 35 respaldan la efectividad del nuevo enfoque.,

Ciclo de Vida Extendido: La implementación del mantenimiento basado en condición contribuye a la extensión del ciclo de vida de los interruptores, lo que significa una mayor durabilidad y un mejor retorno de la inversión.

Ya que con esta estrategia se impacta:

- Tasa de Falla: Disminución de la tasa de falla del 7.41% al 3.85%.
- Costos de Mantenimiento: Reducción de costos de mantenimiento del 38.5%.
- Disminución de Intervenciones 4 años cada 2 años indica una mayor atención y monitoreo de los interruptores. Esto permite detectar problemas más temprano y tomar medidas preventivas antes de que ocurran fallas graves.

Para conocer el impacto en la ampliación del Ciclo de Vida, podemos utilizar el concepto de mantenibilidad. La mantenibilidad se refiere a la facilidad y rapidez con la que se puede restaurar un sistema o componente a su estado operativo después de una falla. Con un mantenimiento basado en condición más efectivo, es posible abordar problemas antes de que se conviertan en fallas críticas. Esto puede aumentar la vida útil técnica de los interruptores.

Un cálculo preciso de la ampliación del ciclo de vida requeriría datos específicos sobre la vida útil técnica restante de los interruptores en ambos casos (con y sin mantenimiento basado en condición) y la tasa de falla anual. Sin embargo, podemos realizar una estimación general:

Supongamos que un interruptor tenía una vida útil técnica original de 30 años con mantenimiento preventivo. Con la nueva estrategia de mantenimiento basado en condición, el modelo de salud de interruptores tabla 34 y el análisis de criticidad podríamos estimar una ampliación de la vida útil técnica en función de la reducción de la tasa de falla y la mayor capacidad de abordar problemas antes de que se vuelvan críticos. Podríamos estimar una ampliación de la vida útil de aproximadamente un 20-30% (de 30 años a 36-39 años), aunque

este cálculo es un estimado, debemos tener en cuenta que adicional de la vida útil técnica, se debe tener en cuenta la vida útil contable y la vida útil regulatoria.

Mayor Confiabilidad: Se esperan beneficios significativos en términos de confiabilidad de los interruptores, lo que se traduce en una operación más segura y menos interrupciones.

Información Accesible: Con el modelo de salud de activos de interruptores, basado en la inspección de partes y componentes proporciona información crucial para tomar decisiones oportunas y actuar antes de posibles fallas, generando un punto de referencia a hora de realizar posibles reposiciones de los activos como se detalla en la tabla 34.

Reducción del Impacto Ambiental: Al disminuir la frecuencia de intervenciones y optimizar el uso de recursos, se reduce la huella ambiental. Esto se alinea con objetivos de sostenibilidad y responsabilidad ambiental, con el mantenimiento Basado en Condición, bajamos la tasa de falla a 3,85%, para el 2023 se tuvieron 32 fugas de SF6, equivalentes en 34,5 Kg de gas con una tasa de falla de 7,41%, se espera garantizar una disminución comparada las fugas del 2023 a 17,9 kg.

Tabla 37

Información de fugas presentadas en interruptores SF6

		AÑO			
		2020	2021	2022	2023
INVENTARIO	Stock de SF6 (Kg) en equipos tipo cerrado en funcionamiento	4433.2	4538.4	4633.2	4705
	Stock de equipos nuevos instalados tipo cerrados por año	17	12	11	8
	Cantidad de fugas de SF6 (Kg) en equipos tipo cerrado	3.81	4.53	14.8	34.5
MANTENIMIENTO PREVENTIVO (TASA DE FALLA 7,41%)	Stock de equipos tipo cerrado que tuvieron mantenimiento	190	181	190	190
	% Fugas	0.1%	0.1%	0.3%	0.7%
	% Ordenes de trabajo por fugas	27	19	34	32
	%Cantidad fugas	14.21%	10.50%	17.89%	16.84%

Mejora de la Seguridad: El mantenimiento basado en condición permite identificar problemas antes de que se conviertan en fallas críticas, lo que contribuye a un entorno de trabajo más seguro y previene situaciones de emergencia.

Optimización de Recursos Humanos: Menos personal y tiempo se dedican al mantenimiento preventivo, lo que permite asignar recursos humanos a tareas de mayor valor agregado y especialización. El tiempo optimizado es aproximadamente un 52,22% entre estrategias de mantenimiento.

Tabla 38

Comparación de cantidad de recurso humano y tiempo de intervención entre estrategias de mantenimiento

DESCRIPCIÓN / TIPO DE MANTENIMIENTO	MANTENIMIENTO PREVENTIVO	MANTENIMIENTO BASADO EN CONDICIÓN	TOTAL HORAS ADICIONALES DE INTERVENCIÓN POR CONDICIÓN
Cantidad de recurso humano	6	2	6
Tiempo de intervención	6	2	6
Cantidad de interruptores x Año	190.75	381.5	57.22
Tiempo de intervención por mtto	6867	1526	2059.92
Total de estrategia	6867		3585.92
Ahorro		52.22%	

Satisfacción del Cliente: La mayor confiabilidad y disponibilidad de los interruptores mejoran la satisfacción del cliente al reducir las interrupciones del servicio y garantizar una operación sin problemas apuntando a indicadores como el SAIDI y el SAIFI. Debido a que estos indicadores impactan son las redes de distribución y para el desarrollo de la monografías la población de 763 interruptores cubre tanto redes de distribución y transmisión, la cantidad de interruptores que afectarían los indicadores directamente serian 150 para 13,2 KV y 243 para 44KV, pero no se conocen las metas de los operadores de red para el 2023, implícitamente se interpreta que entre menos aperturas tanto voluntarias por mantenimiento planeados o no planeados se tengan, podemos garantizar menos demanda no atendida, traducido en los

indicadores SAIDI: Cantidad de clientes sin servicio, como SAIFI frecuencia de interrupciones por clientes sin servicio.

SAIDI = (Total de minutos de interrupción en un período) / (Número de clientes promedio en ese período)

SAIFI = (Número total de interrupciones en un período) / (Número de clientes promedio en ese período)

Figura 20

Metas SAIDI y SAIFI 2022 Operadores de Red

Código SIC OR	Nombre Corto	SAIDI	SAIFI	Usuarios*	Nombre
EMSD	EMSA	15.7	18.61	379238	ELECTRIFICADORA DEL META S.A. E.S.P.
CNSD	CENS	22.611	6.616	598730	CENTRALES ELECTRICAS DEL NORTE DE SANTANDER S.A. E.S.P.
EPMD	EPM	13.14	7.87	2774345	EMPRESAS PUBLICAS DE MEDELLIN E.S.P.
EEPD Cartago	EEP	9.86	11.02	49880	EMPRESA DE ENERGIA DE PEREIRA S.A. E.S.P.
EMID	EMCALI	12.4	7.87	777014	EMPRESAS MUNICIPALES DE CALI E.I.C.E. E.S.P.
EGVD	ENERGUAVIARE	6.48228394	13.3254328	27128	EMPRESA DE ENERGIA ELECTRICA DEL DEPARTAMENTO DEL GUAVIARE S.A. E.S.P.
EPSD Valle	CELSIA VALLE	10.29	6.61	646309	CELSIA COLOMBIA S.A. E.S.P.
RTQD	RUITOQUE	9.67597563	6.47559153	2652	RUITOQUE S.A. E.S.P.
ENDD	ENEL	7.75	8.05	3828470	ENEL COLOMBIA SA ESP
EEPD Pereira	EPEPEREIRA	7	8.59	199372	EMPRESA DE ENERGIA DE PEREIRA S.A. E.S.P.

Nota. Informe de Operadores de Red – 2022 – XM Fuente: (XM, 2023)

9 Conclusiones

La gestión de activos ayuda a las empresas a obtener un mayor valor de los diferentes tipos de activos con los que cuenta en su organización. En este trabajo, nos enfocamos en la optimización del ciclo de vida los interruptores de potencias con medios aislante SF6, buscando la forma de mejorarlos, por medio del cambio en las actividades de mantenimiento de los mismos.

A través de la propuesta de un plan de mantenimiento basado en condición, se logra realizar un comparativo entre esta estrategia y la de mantenimiento preventivo, evidenciando mejoras como: ahorro de costos, optimización de tiempo, reducción de tasa de fallas y reducción de costos en intervenciones; lo cual nos da como resultado una optimización del ciclo de vida de estos equipos.

Al tener un impacto positivo en los interruptores con el cambio de estrategia, estamos impactando, no solo en la operación de las subestaciones, obtenemos beneficios adicionales como: reducción de impacto ambiental, optimización de recurso humano y un aporte positivo al SAIDI y al SAIFI.

Referencias

- Bizjan, A. (21 de Julio de 2018). *Alamy Limited*. Recuperado el 2023 de Septiembre de 23, de Transformador de alta tensión eléctrica subestación switchyard moderno: <https://www.alamy.es/transformador-de-alta-tension-electrica-subestacion-switchyard-moderno-image225752040.html>
- British Standards Institution (BSI). (2016). *Industrias de petróleo, petroquímica y gas natural - recolección e intercambio de datos de confiabilidad y mantenimiento de equipos (ISO 14224:2016)*. Recuperado el 3 de Junio de 2023, de https://www.academia.edu/44518114/ISO_14224_espa%C3%B1ol
- Consejo Internacional de Grandes Sistemas Eléctricos (CIGRÉ). (2005). *Brochure no. 276: Guide for the preparation of customised "Practical SF6 handling instructions*. (CIGRE, Ed.) Obtenido de <https://vdocuments.mx/cigre-sf6-276.html?page=1>
- ICONTEC. (2015). *Norma Técnica Colombiana NTC-ISO 55000*. Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC).
- Institute Of Asset Management. (2008). *Pass 55-1:2008*.
- Institute of Asset Management. (2015). *Asset Management - An Anatomy*. Recuperado el 3 de Junio de 2023, de <https://theiam.org/knowledge-library/asset-management-an-anatomy>
- Ministerio de Minas y Energía. (2012). Recuperado el 3 de Junio de 2023, de <https://www.minenergia.gov.co/documents/9024/9703.pdf>
- Ministerio de Minas y Energía. (2018). *Resolución No. 15 de 2018*. Obtenido de [http://apolo.creg.gov.co/publicac.nsf/1c09d18d2d5ffb5b05256eee00709c02/65f1aaf1d57726a90525822900064dac/\\$file/creg015-2018.pdf](http://apolo.creg.gov.co/publicac.nsf/1c09d18d2d5ffb5b05256eee00709c02/65f1aaf1d57726a90525822900064dac/$file/creg015-2018.pdf)
- Mora Gutiérrez, A. (2009). *Mantenimiento Planeacion, Ejecución y Control (Vol. 1)*. Alfaomega. doi:ISBN 978-958-682-769-0
- Prima Process Metrology. (s.f.). Recuperado el 2023 de Octubre de 14, de Analizador de gas SF6 – MBW 973-SF6: <https://primametrology.com/producto/analizador-de-gas-sf6-mbw-973-sf6/#>
- Reading Room 2020. (s.f.). *Alamy Foto de stock*. Recuperado el 23 de Septiembre de 2023, de Alamy Foto de stock: <https://www.alamy.es/ingenieria-ferroviaria-y-locomotora-un-diario-practico-de-energia-motriz-ferroviaria-y-material-rodante-tanque-significa-el->

calentamiento-del-alquitran-un-dispositivo-de-pulverizacion-y-locomotora-para-transportar-las-placas-y-escudos

Reading Room 2020. (s.f.). *Alamy Stock Photo*. Recuperado el 23 de Septiembre de 2023, de Alamy Stock Photo: <https://www.alamy.com/the-street-railway-journal-fig-3wiring-diagram-for-electrically-operated-automatic-oil-break-circuit-breaker-and-auxiliary-controlling-and-indicating-devices-together-by-bolts-through-the-angle-iron-frames-at-the-back-this-iron-frame-wo>

Romero de Pérez, M. T. (2 de Septiembre de 2016). *Linkedin*. Recuperado el 21 de Septiembre de 2023, de <https://www.linkedin.com/pulse/optimizaci%C3%B3n-costo-riesgo-para-la-determinaci%C3%B3n-de-o-romero-barrios/?originalSubdomain=es>

Schneider Electric, S.A. (s.f.). *Distribución Media Tensión Gama GI-E Disyuntor MT de gas SF6 para instalaciones exteriores*. Barcelona. Obtenido de https://obj.construmatica.com/construmatica/business/files/28205/distribucion_electrica_en_media_tension/aparallaje_media_tension/catalogo_disyuntor_mt_gi_e.pdf

UNE-EN. (2003). *NORMA UNE-EN 13306:2002 TERMINOLOGIA DEL MANTENIMIENTO*. (AENOR, Ed.) Recuperado el 2023

UNIPEDA. (2016). *Guide to the safe use of SF6 in gas insulated electrical*. (UNIPEDA, Ed.) Recuperado el 3 de Junio de 2023, de <https://studylib.net/doc/18742662/guide-to-the-safe-use-of-sf6-in-gas-insulated-electrical>

VCA Perú, & PERU. (10 de Julio de 2021). *IBM Máximo Perú | Gestión de activos empresariales y mantenimiento*. *VCA Perú | Gestión de Activos & Soluciones Cognitivas*. Recuperado el 23 de Septiembre de 2023, de <https://vcaperu.com/activos/>

XM. (28 de Abril de 2023). *Informe de operadores de red 2022*. Recuperado el 28 de Octubre de 2023, de https://sinergox.xm.com.co/infms/_layouts/15/WopiFrame.aspx?sourcedoc={D1862583-075B-4971-A01B-BAAE80BCEE56}&file=Informe%20Operadores%20de%20Red%20-%202022.pdf&action=default