

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN

CAPÍTULO 1 - EL ACEITE MINERAL AISLANTE DE BASE NAFTÉNICA.

- 1.1. Composición Química de los Aceites Minerales de Base Nafténica
 - 1.1.1. Hidrocarburos Isoparafínicos
 - 1.1.2. Hidrocarburos Nafténicos
 - 1.1.3. Hidrocarburos Aromáticos
 - 1.1.4. Compuestos minoritarios
 - 1.1.5. Aditivos Inhibidores Sintéticos contra la Oxidación
 - 1.1.6. Mezcla de aceites aislantes
- 1.2. Proceso de Degradación Química de los Aceites Minerales Aislantes
 - 1.2.1. Generalidades
 - 1.2.2. Factores básicos del deterioro del aceite aislante
 - 1.2.2.1. Factores básicos del deterioro del aceite aislante: El Oxígeno (O₂)
 - 1.2.2.2. Factores básicos del deterioro del aceite aislante: Catalizadores
 - 1.2.2.3. Factores básicos del deterioro del aceite aislante: Aceleradores
 - 1.2.3. El lodo, fase terminal del proceso
 - 1.2.4. Mecánica de oxidación y formación de lodos
- 1.3. Vida útil de un Aceite Aislante

CAPITULO 2 - AISLAMIENTO SÓLIDO: EL PAPEL AISLANTE

- 2.1. El Papel Aislante y su función dentro del transformador.
- 2.2. Composición Química del Papel Aislante y sus características
 - 2.2.1. Formulación Química de la Celulosa.
 - 2.2.2. ¿Porqué el Papel Kraft?
 - 2.2.3. Papel aislante Termoestabilizado (Upgraded Paper - UP)
 - 2.2.4. Aislamiento Papel - Aceite
- 2.3. Peso aproximado del papel aislante en un transformador.
- 2.4. Factores que inciden en la vida útil del papel aislante
 - 2.4.1. Sustancias polares, ácidos y lodos
 - 2.4.2. El Agua.
 - 2.4.3. Los esfuerzos eléctricos
 - 2.4.4. Efecto de la Temperatura
 - 2.4.5. Electrización estática del sistema de aislamiento papel-aceite
 - 2.4.6. Proceso de Envejecimiento del papel aislante:

CAPITULO 3 - DIAGNÓSTICO

- 3.1. Pruebas ASTM para aceites aislantes en operación.

- 3.2 Calificación de aceites nuevos y en operación según Normas ASTM, IEC, IEEE
 - 3.2.1. Norma ASTM D-3487
 - 3.2.2. Normas IEC
 - 3.2.2.1. Norma International IEC 60422 Numeral 5 – Tercera edición 2005-10
 - 3.2.3. Normas IEEE (Istitute of Electrical and Electronics Engineers)
- 3.3. Aporte de la Experiencia
- 3.4. Las pruebas de degradación, su interpretación y utilidad.
 - 3.4.1. Rigidez Dieléctrica Norma ASTM D 877
 - 3.4.2. Contenido de agua - Norma ASTM D-1533
 - 3.4.3. Número de Neutralización - ASTM D-974
 - 3.4.4. Tensión Interfacial - Norma ASTM D-971
 - 3.4.4.1. Índice de Calidad (IC)
 - 3.4.5. Color - Norma ASTM D-1500
 - 3.4.6. Gravedad Especifica - Norma ASTM D-1298
 - 3.4.7. Gravedad Especifica - Norma ASTM D-1298
 - 3.4.8. Contenido de Inhibidor Norma ASTM D- 4768
- 3.5. El Diagnóstico Dieléctrico y Fisicoquímico para qué? Detección de Metales por Espectrofotometría de Absorción Atómica.
 - 3.5.1. Códigos de Acción para Mantenimiento de Transformadores inmersos en aceite mineral aislante.
 - 3.5.1.1. Código de Acción A12: Tomar muestra en 12 meses.
 - 3.5.1.2. Código de Acción A6 : Tomar muestra en 6 meses.
 - 3.5.1.3. Código de Acción 100: Tratamiento por termovació y adición de inhibidor
 - 3.5.1.4. Código de Acción 200: Secado de la parte activa
 - 3.5.1.5. Código de Acción 400: Regeneración de aislamientos
 - 3.5.1.6. Código de Acción 500: Regeneración y secado de la parte activa
 - 3.5.2. Azufre Corrosivo
- 3.6. Medidas Eléctricas de Campo
 - 3.6.1. Pruebas que miden la Calidad del Aislamiento
 - 3.6.1.1. Medición del Factor de Potencia del Aislamiento
 - 3.6.1.2. Medición del Factor de Potencia Del Aceite
 - 3.6.1.3. Medición de la Resistencia de Aislamientos
 - 3.6.2. Pruebas que miden el comportamiento eléctrico
 - 3.6.2.1. Medición de la Corriente de Excitación
 - 3.6.2.2. Medición de la Relación de Transformación
 - 3.6.2.3. Medición de la Resistencia a la Corriente Continua de los Devanados
- 3.7. La Termografía como Diagnóstico
- 3.8. Diagnóstico predictivo por Cromatografía de Gases Disueltos en el Aceite, DGA.
 - 3.8.1. Generalidades
 - 3.8.2. Objetivos de una Cromatografía de Gases Disueltos
 - 3.8.3. Gases que analizan
 - 3.8.4. Mecanismos de formación de gases

- 3.8.5. Niveles de seguridad aceptables
- 3.8.6. Definición del tipo de falla
 - 3.8.6.1. Método del gas característico
 - 3.8.6.2. Método de las relaciones de Dornenburg
 - 3.8.6.3. Método de las relaciones de Rogers
 - 3.8.6.4. Criterios de la CEGB (Central Electricity Generating Board of Great Britain)
- 3.8.7. Rutina de seguimiento al comportamiento de la generación de gases en un transformador
- 3.8.8. Casos de fallas
- 3.8.9. Consideraciones sobre el Nitrógeno y el Oxígeno
- 3.9. Análisis de Furanos
 - 3.9.1. Niveles de aceptación
 - 3.9.2. Furanos y Grado de Polimerización
 - 3.9.3. Remoción de furanos
- 3.10. Chequeos periódicos preventivos
 - 3.10.1. Chequeos periódicos al aceite
- 3.11. Técnicas complementarias
 - 3.11.1. Emisiones Acústicas
 - 3.11.2. Análisis de Barrido de Respuesta en Frecuencia (SFRA)

CAPITULO 4 - MANTENIMIENTO DE TRANSFORMADORES EN CAMPO

- 4.1. Conceptos termodinámicos útiles aplicables en secado de transformadores en campo.
 - 4.1.1. Ecuación de estado
 - 4.1.2. Conceptos sobre el vacío
 - 4.1.2.1. Medición del vacío
 - 4.1.3. Conductancia
 - 4.1.4. Tiempo de evacuación de una cámara
- 4.2. Medición del estado de humedad de los aislamientos
 - 4.2.1. Mediciones cualitativas del agua en la celulosa
 - 4.2.1.1. Por medidas eléctricas
 - 4.2.1.2. Mediante la aplicación de los multiplicadores de Myers
 - 4.2.2. Medición cuantitativa
- 4.3. Formulaciones de mantenimiento
 - 4.3.1. Tratamiento al aceite por termovacío y adición de inhibidor (Código de Acción 100)
 - 4.3.2. Secado de transformadores en campo (Código de Acción 300)
 - 4.3.2.1. Calentamiento por cortocircuito, recirculación de aceite y aplicación de vacío
 - 4.3.2.2. Circulación de aceite caliente
 - 4.3.2.3. Circulación de aire caliente
 - 4.3.2.4. Aplicación de vacío únicamente
 - 4.3.2.5. Método de aspersión de aceite caliente (hot spray)
 - 4.3.2.6. Método criogénico (Cold Trap)

- 4.3.2.7. Secamiento por el método de Vapor
- 4.3.3. Regeneración de los aislamientos
- 4.3.4. Mantenimientos con el transformador energizado (en caliente) utilizando tecnología de super-filtración
- 4.4. Resultados que se deben obtener cuando se efectúa un mantenimiento adecuadamente diagnosticado y ejecutado
 - 4.4.1. Las pruebas ASTM de degradación del aceite deben mejorar considerablemente
 - 4.4.2. Las pruebas eléctricas de campo
 - 4.4.3. Casos de mantenimiento a transformadores con transformador desenergizado (en frío)
 - 4.4.2. Casos de mantenimiento a transformadores con transformador energizado (en caliente)

CAPITULO 5 - PROTECCIONES DE TRANSFORMADORES Y TIPOS DE REFRIGERACIÓN

- 5.1. Las protecciones se agrupan así
 - 5.1.1. Protecciones de variables físicas
 - 5.1.1.1. De temperatura
 - 5.1.1.2. De presión
 - 5.1.1.3. De gases
 - 5.1.1.4. Nivel de aceite
 - 5.1.2. Protecciones de variables eléctricas
- 5.2. Tipos de refrigeración

CAPITULO 6 – OTRAS OPCIONES DE FLUIDOS AISLANTES PARA REQUERIMIENTOS ESPECIALES

- 6.1 Bifenilos Policlorinados (PCBs)
 - 6.1.1. Composición química de los PCBs
 - 6.1.2. Propiedades más relevantes
 - 6.1.3. Utilización de PCBs en Transformadores
 - 6.1.4. Efectos Nocivos para el Hombre y el Medio Ambiente
 - 6.1.5. Destrucción de los PCBs
 - 6.1.6. Regulación ambiental en Colombia
 - 6.1.7. Caracterización de los PCBs
 - 6.1.8. Decisiones de manejo y disposición
- 6.2. Aceite Siliconados
- 6.3. Aceites Vegetales