

UNIVERSIDAD NACIONAL TECNOLÓGICA DE LIMA SUR

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y GESTIÓN
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA**



**“TRATAMIENTO EN ACEITE DIELECTRICO A TRAVÉS DEL SISTEMA
DE TERMOVACIO APLICABLE A TRANSFORMADORES DE
DISTRIBUCIÓN EN LAS OFICINAS DE LA SUNAT”**

TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL

Para optar el Título Profesional de

INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA

PRESENTADO POR EL BACHILLER

TELLO RAMOS, FREDY CESAR

Villa El Salvador

2017

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a mis padres, que con sus consejos y orientaciones han hecho posible que pueda desarrollarme y culminar con éxito mis estudios profesionales.

AGRADECIMIENTO

A Dios, a mis padres y mis profesores de la UNTELS por sus sabios consejos y aliento absoluto para obtener mi título profesional.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	7
CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	
1.1. Descripción de la Realidad Problemática.....	11
1.2. Justificación del Proyecto.....	12
1.3. Delimitación del Proyecto.....	13
1.4. Formulación del Problema.....	13
1.5. Objetivos.....	13
1.5.1. Objetivo General.....	13
1.5.2. Objetivos Específicos.....	13
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO	
2.1 Antecedentes de la Investigación.....	15
2.2 Bases Teóricas.....	19
2.3 Marco Conceptual.....	75
CAPÍTULO III: DESCRIPCIÓN Y DESARROLLO DEL PROYECTO	
3.1 Descripción del Tratamiento de Aceite Dieléctrico mediante Sistema de Termovacío.....	80
3.2 Desarrollo del Tratamiento de Aceite Dieléctrico a través del Sistema de Termovacío.....	83
3.3 Revisión y Consolidación de resultados	88
CONCLUSIONES	90
RECOMENDACIONES	91
BIBLIOGRAFÍA	92
ANEXOS	94

LISTADO DE FIGURAS

- Figura N° 01:** Transformadores de distribución
- Figura N° 02:** Curva de sobrecarga para el transformador con enfriamiento por aceite
- Figura N° 03:** Curva de sobrecarga para el transformador seco
- Figura N° 04:** Curva de sobrecarga para el transformador con enfriamiento por aceite
- Figura N° 05:** Curva de sobrecarga para el transformador seco
- Figura N° 06:** Curva de oxidación de un aceite dieléctrico
- Figura N° 07:** Valores típicos de parámetros de calidad de aceites
- Figura N° 08:** Esquema de una máquina de termo vacío típica
- Figura N° 09:** Diagrama del proceso de tratamiento de aceite de dieléctrico por sistema termo vacío
- Figura N° 10:** Aplicación del ensayo paso 1
- Figura N° 11:** Aplicación del ensayo paso 2
- Figura N° 12:** Aplicación del ensayo paso 3
- Figura N° 13:** Aplicación del ensayo paso 4
- Figura N° 14:** Aplicación del ensayo paso 5
- Figura N° 15:** Aplicación del ensayo paso 6
- Figura N° 16:** Aplicación del ensayo paso 7
- Figura N° 17:** Aplicación del ensayo paso 8
- Figura N° 18:** Aplicación del ensayo paso 9

LISTADO DE TABLAS

- Tabla N° 01:** Características de láminas de grado de orientación para 60 HZ
- Tabla N° 02:** Descripción general de las partes de un transformador de distribución
- Tabla N° 03:** Limite con sobrecarga
- Tabla N° 04:** Limites de temperatura
- Tabla N° 05:** Clasificación de los aceites dieléctricos
- Tabla N° 06:** Numero de neutralización vs. Temperatura
- Tabla N° 07:** Protocolo de análisis aceites aislantes NRO: 2015-239
- Tabla N° 08:** Protocolo de análisis aceites aislantes NRO: 2016-332

INTRODUCCIÓN

Durante el transporte de la energía eléctrica se originan pérdidas que dependen de su intensidad. Para reducir estas pérdidas se utilizan tensiones elevadas, con las que para la misma potencia, resultan menores intensidades. Por otra parte es necesario que en el lugar donde se aplica la energía eléctrica, la distribución se efectúe a tensiones más bajas y además se adapten las tensiones de distribución a los diversos casos de aplicación.

Para transportar energía eléctrica de sistemas que trabajan a una tensión dada a sistemas que lo hacen a una tensión deseada, se utilizan los transformadores. A este proceso de cambio de tensión se le conoce como transformación.

El transformador es un dispositivo que convierte energía eléctrica de un cierto nivel de tensión, en energía eléctrica de otro nivel de tensión, por medio de la acción de un campo magnético interno. Está constituido por dos o más bobinas de alambre, por lo general aisladas entre si eléctricamente y arrolladas alrededor de un mismo núcleo de material ferromagnético.

Hoy en día en el país existe una gran cantidad de transformadores de distribución con muchos años de vida, cuyos aceites dieléctricos como producto de su envejecimiento, se encuentran deteriorados en función de la carga y del régimen de operación a que se han visto expuestos. Tomando como referencia que un transformador está diseñado para trabajar más de 30 años, se vuelve importante

no solo establecer el control periódico de su aceite sino tomar los correctivos del caso cuando es necesario recuperar o cambiar el aceite del transformador.

Los transformadores de distribución y potencia poseen una considerable cantidad de aceite, lo cual origina que su cambio tenga un costo considerable. Frente a lo expuesto, existe alternativas para realizar el tratamiento de aceite en un transformador de potencia.

Los tres componentes principales sujetos a la deteriorización y contaminación son: el papel usado para el aislamiento de los conductores, el cartón que es usado para el aislamiento principal y para los soportes de los arrollamientos y el aceite dieléctrico.

Los aceites minerales que son utilizados como fluidos aislantes y refrigerantes de transformadores muestran valiosa información sobre las condiciones de operación de los equipos que los usan. Los aceites aislantes minerales son productos que sufren degradación por los esfuerzos térmicos y eléctricos a los que están sometidos, generando productos de descomposición que son utilizados para evaluar la presencia de un problema o falla en los transformadores.

Reaccionan con el oxígeno, oxidándose y formando productos cuyas características aceleran la degradación de los demás materiales, disminuyendo la vida útil de los equipos.

La vida útil de un transformador está directamente relacionada con la vida del papel aislante, la celulosa se degrada por la acción del calor, deteriorando sus propiedades eléctricas y mecánicas.

El aceite cumple distintas funciones en los transformadores y otros aparatos, siendo las principales el aislamiento, la refrigeración por convección de las partes activas y la protección de los aislantes sólidos para que no absorban humedad del ambiente.

En ese sentido y con la finalidad de aportar para el desarrollo de alternativas relacionadas a garantizar la operatividad de un transformador de distribución a través del tratamiento del aceite, mediante el sistema de termovacio, he dividido mi proyecto de Ingeniería en 3 capítulos.

En el Capítulo I, se describe el planteamiento del problema, que está relacionado con los continuos reportes de deficiencia de operatividad de los Transformadores de potencia de las Agencias de la Sunat, motivo por el cual tome como referencia para el análisis el transformador de distribución de la sede Chucuito de 640kVA. Estas fallas son consecuencia de que en mucho tiempo no se realizó un tratamiento del aceite dieléctrico a los transformadores, evidenciando que parámetros como el de la rigidez dieléctrica se encuentre por debajo de lo establecido en la Norma ASTM D1816.

En el Capítulo II, se describe los fundamentos teóricos en la cual se sustenta la propuesta de solución, referente a las características de los transformadores

eléctricos de distribución y los parámetros que determinan el control de calidad de los aceites dieléctricos.

En el Capítulo III, se describe el desarrollo de la propuesta, que consiste en realizar una descripción del Sistema de Termovacio, resaltando sus componentes y funcionamiento, para luego aplicarlo al transformador de la Sunat de la Sede Chucuito de 640kVA, para finalizar con una interpretación de los resultados obtenidos.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 DESCRIPCIÓN DE LA REALIDAD PROBLEMÁTICA

El problema principal es que actualmente los transformador de distribución de las agencias de la Sunat, presentan reportes de deficiencia de operatividad. Estas fallas son consecuencia de que en mucho tiempo no se realizó un tratamiento de aceite dieléctrico a los transformadores, evidenciando que parámetros como el de la rigidez dieléctrica se encuentre por debajo de lo establecido en la Norma ASTM D1816.

Durante el funcionamiento de estos transformadores, se identificó varios factores que contribuyen con el deterioro del aceite aislante, como por ejemplo la humedad, la sobrecarga, el sobrecalentamiento y la falta de mantenimiento.

La falta de mantenimiento es justamente lo que conlleva a la situación o problema en que se encuentran los transformadores de distribución de las Agencias de la Sunat, los cuales evidencian oxidación producto del contacto entre el aceite aislante, el agua y el oxígeno, reaccionando debido a la acción de los catalizadores como el cobre y el fierro, originando luego la oxidación que forma sedimento en los transformadores.

1.2 JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO

El proyecto se justifica en que a partir del tratamiento de aceite dieléctrico a través del sistema de termovacio aplicable a los transformadores de distribución, se conseguirá mejorar la operatividad de los mismos.

Este proyecto también se justifica en que permitirá establecer los procedimientos para aumentar la vida útil de los transformadores de distribución, generando la reducción de gastos en recambio de transformadores, más aun cuando se trata de instituciones pertenecientes al estado como es la Sunat, los cuales buscan siempre minimizar sus presupuestos.

Es importante resaltar que este procedimiento pretende evitar o disminuir el riesgo a fallas de los transformadores manteniendo sus propiedades dieléctricas, ya que en medianas y altas tensiones, leves variaciones en la conductividad del fluido resultaría en una ruptura por arco eléctrico.

1.3 DELIMITACIÓN DEL PROYECTO

1.3.1 ESPACIAL

El proyecto se desarrollará en la oficina Sunat, sede Chucuito, ubicada en Lima. Av. Gamarra N° 680 - Chucuito – Callao.

1.3.2 TEMPORAL

El proyecto de ingeniería comprende el periodo del mes de Diciembre de 2016.

1.4 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

¿Cómo garantizar la operatividad del transformador de distribución de la Oficina de la Sunat, sede Chucuito de 640kVA, mediante el tratamiento de aceite dieléctrico a través del Sistema de Termovacio?

1.5 OBJETIVOS

1.5.1 OBJETIVO GENERAL

Garantizar la operatividad del transformador de distribución de la Oficina de la Sunat, sede Chucuito de 640kVA, mediante el tratamiento de aceite dieléctrico a través del Sistema de Termovacio.

1.5.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar si es posible y de qué manera se puede aplicar el sistema de Termovacio al transformador de distribución de la

oficina de la Sunat, sede Chucuito de 640kVA, con la finalidad de garantizar la operatividad del mismo.

- Verificar si mediante la aplicación del sistema de termovacio se logra optimizar los parámetros de calidad del aceite dieléctrico del transformador de distribución de la oficina de la Sunat, sede Chucuito de 640kVA, con la finalidad de garantizar la operatividad del mismo.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

Rivera (2016), en su tesis titulada “Diagnóstico del estado de los transformadores de potencia de las centrales molino y mazar basado en análisis de aceite”, para optar el Título de Ingeniero en Ingeniería Eléctrica en la Universidad de Cuenca, concluye que: “Del análisis estadístico se concluye que existen demasiados valores que están fuera del intervalo de confianza en todos los parámetros analizados, esto quiere decir que los valores no han seguido un patrón a lo largo de los años debido a la variabilidad de los datos. Esta variabilidad se debe principalmente al uso de diferentes equipos de análisis. Además, es poco factible establecer una tendencia de los gases ya que al realizar un trabajo de mantenimiento varía el valor de los mismos y por lo tanto el patrón de comportamiento se altera. En la central Molino, el aceite de los transformadores de la unidad U01 hasta la U06, con excepción de la unidad U04, presentan valores elevados

de Etano y Metano en su cuba principal, de acuerdo a la norma estos transformadores se encuentran en la condición 4. La presencia de estos gases se debe principalmente a descargas parciales o descomposición térmica del aceite”.¹

García (2010), en su tesis titulada “Diagnóstico y mantenimiento de Transformadores de Gran potencia en Aceite (Aplicado a un transformador de 160 MVA, 13,8 kV/138 kV de la central térmica trinitaria)” para optar el Título de Ingeniero en Ingeniería Eléctrica en la Universidad Politécnica Salesiana de Guayaquil, concluye que: “La experiencia nos dicta que la vida útil del transformador de potencia enfriado en aceite mineral está en la degradación del sistema aislante y en especial del papel debido a varios factores como son: la humedad, oxígeno, calor y contaminaciones que inciden a este deterioro. El análisis fisicoquímico de los aceites nos permiten una información sobre la calidad del aceite, indicando sus condiciones químicas, mecánicas y eléctricas, además el análisis fisicoquímico se compone de un grupo de pruebas que son necesarios para determinar la calidad del aceite y establecer en qué estado se encuentra el transformador y estimar las posibles fallas que se están presentando al interior de este y poder determinar un diagnóstico preciso”.²

¹RIVERA, L. (2016). Diagnóstico del estado de los transformadores de potencia de las centrales molino y mazar basado en análisis de aceite. (Tesis de Pre Grado). Universidad de Cuenca. Ecuador.

²GARCIA, E. (2010). Diagnóstico y mantenimiento de Transformadores de Gran potencia en Aceite (Aplicado a un transformador de 160 MVA, 13,8 kV/138 kV de la central térmica trinitaria). Tesis de Pre Grado. Universidad Politécnica Salesiana, Guayaquil, Ecuador.

Saguay (2011), en su tesis titulada “Análisis de comportamiento de medios eléctricos ante las altas tensiones eléctricas” para optar el Título de Ingeniero en Ingeniería Eléctrica en la Universidad de Cuenca, concluye que: “Se obtuvo un nivel de tensión de ruptura promedio de 32kV. Misma que satisface la exigencia de la norma. La coloración de un aceite dieléctrico es un identificador confiable para saber que un aceite necesita recuperación, sin conocer cualquier otra característica eléctrica de dicho aceite, siempre y cuando el aceite este completamente seco. La vida útil de un aceite dieléctrico es aproximadamente 10 años, cuando trabaja a temperatura entre 60 °C y 70 °C en cualquier equipo eléctrico de alta tensión. El envejecimiento del líquido aislante está en función del tiempo, de la temperatura, el contenido de humedad y el contenido de oxígeno. Con la tecnología para la conservación de aceite, se puede minimizar los niveles de humedad, y de oxígeno que contribuyen con el deterioro del aislamiento, dejando a la temperatura del aislamiento como único parámetro de control. Para determinar el estado del aceite en un equipo eléctrico de alta tensión, se utiliza comparaciones con estándares nacionales e internacionales de límites máximos y mínimos. Con estos valores, se calcula el índice de calidad, el cual nos permite estimar el tiempo de vida de servicio del aceite dieléctrico”.³

Avelino (2010), en su libro titulado “Transformadores de distribuciones”, señala que: “En todo sistema eléctrico de potencia los transformadores de

³SAGUAY, J. (2011). Análisis de comportamiento de medios eléctricos ante las altas tensiones eléctricas. (Tesis de Pre Grado). Universidad de Cuenca. Ecuador.

distribución son la fase última para la utilización de la energía eléctrica en alta o baja tensión. Lo definimos como un aparato estático que tiene una capacidad nominal desde 5 hasta 500 kVA y una tensión eléctrica nominal de hasta 34500 volts en el lado primario y hasta 15000 volts nominales en el lado secundario. En USA se manejan tensiones de distribución más elevadas, clase 46 kV y clase 69 kV. Dentro de los transformadores de distribución existen cuatro tipos: transformador tipo pedestal, transformador tipo subestación, transformador tipo sumergible y transformador tipo poste. De entre estos tipos de transformadores el transformador de distribución tipo poste es el más comúnmente empleado en los sistemas de distribución, por lo que nuestro estudio estará enfocado a estos. Sin embargo, decimos en forma anticipada que el procedimiento del cálculo y el diseño constructivo del conjunto núcleo-bobina, prácticamente es el mismo para los cuatro tipos: solo hay cambios en sus presentaciones externa, o sea, en la configuración de sus tanque o cuba y de los accesorios adicionales”.⁴

E.E. Staff – M.I.T (2003), en su libro titulado “Circuitos magnéticos y transformadores” señala que: “Uno de los medios más satisfactorios de refrigeración consiste en sumergir en aceite las partes del transformador que funcionan, lo cual sirve para el doble propósito de facilitar la extracción del calor del núcleo y devanados y al propio tiempo proporcionar unas propiedades aislantes apreciablemente buenas. El aceite deberá tener gran rigidez dieléctrica, poca viscosidad, punto de congelación bajo y punto de

⁴ AVELINO, P. (2010). Transformadores de Distribución. México: REVERTE

ignición elevado, debiendo estar exento de ácidos corrosivos, álcalis y azufre. El aceite no debe oxidarse ni formar barro. Desgraciadamente, la presencia de pequeñas cantidades de humedad o de partículas en suspensión afecta seriamente a la rigidez dieléctrica del aceite, por lo que los transformadores grandes se proveen de medios especiales para evitar la penetración de humedad. ”.⁵

Reeves (2004), en su libro titulado “Vademécum de Electricidad”, señala que: “Los dieléctricos líquidos usados para aislamientos son aceites minerales refinados y aceites sintéticos, tales como el difenil clorado. Muchos otros aceites tienen propiedades aislantes buenas, pero por varias razones no son adecuados para uso general directo como aislantes. El uso principal de los dieléctricos líquidos es: como un medio de relleno y refrigeración para transformadores, condensadores y reóstatos”.⁶

2.2. BASES TEORICAS

2.2.1 TRANSFORMADORES DE DISTRIBUCION

En los sistemas de distribución de energía eléctrica, para poder llegar con la energía producida, hasta los consumidores finales, se necesita de un dispositivo llamado transformador. La energía producida en forma masiva, es transmitida desde, la central de generación, hasta una subestación. De éstas, salen los

⁵ E.E. STAFF – M.I.T (2003). Circuitos magnéticos y transformadores. Barcelona, España: REVERTE

⁶REEVES, E. (2013). Vademécum de Electricidad. Barcelona, España: REVERTE

alimentadores primarios hacia las áreas de consumo, en donde se alimentan a los transformadores de distribución, que son los encargados de transmitir la energía hasta los consumidores finales a niveles de tensión convenientes.



FIGURA Nº 01: TRANSFORMADORES DE DISTRIBUCIÓN

LAS NORMAS UTILIZADAS EN LA FABRICACIÓN SON:

- ✚ ANSI C57.12.20. Para transformadores de Distribución
- ✚ NTP ITINTEC 370.002 Para diseño, fabricación y pruebas.
- ✚ IEC. 600 76 PUB. 76 Para diseño, fabricación y pruebas.
- ✚ IEC. 600 76 PUB. 76 Para aceites aislantes.
- ✚ IEC 60422 Para aceite mineral aislantes equipos.
- ✚ IEC 60422 Método de toma de muestra de aceite.
- ✚ ANSI / IEEE STD. 386-1977 para Bushing y aisladores.

2.2.1.1 CLASIFICACIÓN Y UTILIZACIÓN DE LOS TRANSFORMADORES

Los transformadores, se clasifican según la operación, la construcción y la utilización.

2.2.1.1.1 POR LA OPERACIÓN

Se refiere a la energía o potencia que manejan dentro del sistema eléctrico de potencia.

TRANSFORMADORES DE DISTRIBUCIÓN

Son aquellos transformadores; monofásicos o trifásicos, que tienen capacidades entre 5 a 500 kVA.

TRANSFORMADORES DE POTENCIA

Aquellos transformadores con capacidades mayores a 500 KVA.

2.2.1.1.2 POR EL NÚMERO DE FASES

De acuerdo a las características del sistema al cual se conectará, tenemos:

TRANSFORMADOR MONOFÁSICO

Son transformadores de potencia o distribución, que son conectados a una línea o fase y un neutro o tierra.

Estos transformadores tienen un solo devanado de alta tensión y uno de baja tensión.

TRANSFORMADOR TRIFÁSICO

Transformadores de potencia o distribución, que son conectados a tres líneas o fases y pueden estar o no conectados a un neutro común o tierra.

Estos transformadores tienen tres devanados de alta tensión y tres de baja tensión.

2.2.1.1.3 POR SU UTILIZACIÓN

TRANSFORMADOR PARA GENERADOR

Son transformadores de potencia que van conectados a la salida del generador. Son aquellos, que

proporcionan la energía a la línea de transmisión.

TRANSFORMADOR PARA SUBESTACIÓN

Son aquellos transformadores de potencia que van conectados al final de la línea de transmisión para reducir la tensión a nivel de subtransmisión.

TRANSFORMADORES DE DISTRIBUCIÓN

Son transformadores que reducen la tensión de subtransmisión a nivel de consumo.

TRANSFORMADORES ESPECIALES

Son transformadores de potencia que son utilizados como por ejemplo para: reguladores de tensión, transformadores para rectificadores, transformadores para horno de arco eléctrico, transformadores, defasadores, autotransformadores

para mina, transformadores para prueba, transformadores para fuentes de corriente directa.

TRANSFORMADORES DE INSTRUMENTOS

Son transformadores de potencial y de corriente. Estos transformadores son utilizados para la medición, en la protección y en el control.

2.2.1.1.4 POR LA FORMA DEL NÚCLEO

Generalmente se conocen los siguientes tipos, por la posición que existe entre la colocación de las bobinas y el núcleo.

NÚCLEO ACORAZADO

Es aquel en el cual el núcleo se encuentra cubriendo los devanados de baja y alta tensión.

NÚCLEO TIPO COLUMNAS

Llamado también núcleo no acorazado, es aquel en el cual las bobinas abarcan una parte considerable del circuito magnético.

2.2.1.1.5 POR LAS CONDICIONES DE SERVICIO

PARA USO INTERIOR

Un transformador para uso interior tiene como características una tensión bifásica y los terminales aislados de tierra a su plena tensión de aislamiento. Es de tipo seco aislado en bloque de resina. Se los utiliza para medida y protección hasta con dos devanados secundarios.

PARA USO A LA INTEMPERIE

Un transformador para uso a la intemperie es de tipo seco, aislado en bloque de resina. Transformador de Tensión para medida y protección hasta con 3 devanados secundarios. Diseñado para soportar condiciones como por ejemplo: temperatura ambiente del aire, humedad, polución, etc.

2.2.1.1.6 EN FUNCION EN LOS LUGARES DE INSTALACION

TIPO POSTE

La aplicación principal de los transformadores tipo poste es la distribución de energía eléctrica, reduciendo el voltaje de las líneas de transmisión de media tensión a los niveles de baja tensión residencial o industrial. Normalmente se utiliza aceite mineral como aislante.

TIPO SUBESTACIÓN

Este tipo de transformador está diseñado para trabajar bajo techo o a la intemperie. Es adecuado para suministrar energía eléctrica en edificios, e instalaciones en general que requieren un alto grado de seguridad.

Permiten ser instalados cerca de los centros de consumo, reduciendo al mínimo la pérdida de potencia y los costos de instalación. Pueden ser suministrados sumergidos en aceite aislante o en fluido incombustible de

silicona cuando por razones de seguridad así requiera.

TIPO PEDESTAL

El transformador de distribución para montaje sobre pedestal PADMOUNTED está diseñado para proveer servicio eléctrico en sistemas de distribución subterráneos. Este tipo transformador está diseñado para instalarse en el interior o exterior de zonas residenciales o en terrazas de edificios.

TIPO SUMERGIBLE

Los transformadores tipo sumergible, están destinados a ser instalados en cámara o bóveda bajo el nivel del suelo, donde existe la posibilidad de inmersión ocasional con agua. Podrán permanecer sumergidos durante 12 horas en un volumen de agua de 3 metros sobre el transformador sin que ocurran filtraciones.

2.2.1.1.7 DE ACUERDO AL TIPO DE AISLAMIENTO

Existen transformadores sumergidos en aceite y de tipo seco. Entre los sumergidos en aceite tenemos:

TIPO OA

Transformador sumergido en aceite y con enfriamiento natural. Es el enfriamiento más común y con resultados más económicos. En este tipo de unidades el aceite aislante circula por convección natural dentro de un tanque con paredes llanas o corrugadas, o bien provistos de enfriadores tubulares.

TIPO OA/FA

Transformador sumergido en aceite con enfriamiento a base de aire forzado. Básicamente es una unidad OA, a la cual se le han aumentado ventiladores, para una mayor disipación de calor; y por ende,

aumentar los kVA a la salida del transformador.

TIPO OA/FA/FOA

Transformador sumergido en aceite con enfriamiento propio, con enfriamiento a base de aire forzado y a base de aire forzado.

TIPO FOA

Transformador sumergido en aceite con enfriamiento con aceite forzado con enfriadores de aire forzado. El aceite de estas unidades es enfriado cuando éste pasa por los cambiadores de calor de aire y aceite, ubicados afuera del tanque.

TIPO OW

Transformador sumergido en aceite con enfriamiento por agua. Este tipo de unidades está diseñado con un cambiador de calor tubular, ubicado fuera del tanque.

TIPO FOW

Transformador sumergido en aceite, con enfriamiento de aire forzado con enfriadores de agua forzada. El enfriamiento del aceite se hace por medio de agua sin tener ventiladores.

Dentro de los tipos secos tenemos:

TIPO AA

Transformadores tipo seco con enfriamiento propio. La característica es que no posee ningún líquido aislante para las funciones de aislamiento y de enfriamiento. El aire es el que cumple éstas funciones.

TIPO AFA

Transformador tipo seco con enfriamiento por aire forzado. Este tipo de unidades está diseñado con un ventilador que empuja el aire por un ducto colocado en la parte interior de la unidad.

TIPO AA/FA

Transformador tipo seco con enfriamiento propio y con enfriamiento por aire forzado. Posee dos regímenes de operación, uno por enfriamiento natural y el otro con el enfriamiento forzado (ventiladores), dichos regímenes son controlados de forma automática por medio de un relé térmico.

2.2.1.2 PARTES DE UN TRANSFORMADOR

Las partes que componen un transformador se dividen en cuatro grandes grupos, los cuales son:

2.2.1.2.1 CIRCUITO MAGNÉTICO

Al circuito magnético se lo conoce también como el núcleo. En esta parte del transformador es, en donde se conduce el flujo magnético generado en las bobinas, el cual concatenará magnéticamente los circuitos eléctricos del transformador. El núcleo está formado por láminas de acero al silicio de grado orientado, de bajas pérdidas y de alta permeabilidad

magnética. Las láminas que forman el núcleo están recubiertas y por ende aisladas por un componente inorgánico llamado “carlite”. Esta capa es aplicada a las láminas al final del proceso de planchado y recocido.

GRADO DE ORIENTACIÓN	ESPESOR		WATTS POR Lb		WATTS POR Kg	
	Pulg.	mm	15 kGauss	17kGauss	15kGauss	17KGauss
M-2	0,007	0,18	0,42	-	0,93	-
M-3	0,009	0,23	0,46	-	1,01	-
M-4	0,011	0,28	0,51	0,74	1,12	1,63
M-6	0,014	0,35	0,66	0,94	1,46	2,07

TABLA N° 01: CARACTERÍSTICAS DE LÁMINAS DE GRADO DE ORIENTACIÓN PARA 60 HZ

2.2.1.2.2 CIRCUITO ELÉCTRICO

El circuito eléctrico está compuesto por los devanados primario y secundario.

Dichos devanados se fabrican en diferentes tipos, dependiendo de las necesidades del diseño. Los materiales más utilizados son el cobre y el aluminio.

Los devanados primarios, crean un flujo magnético, para inducir al devanado

secundario, una fuerza electromotriz, y transferir una potencia del primario al secundario, todo esto mediante el principio de inducción electromagnética.

En este proceso se pierde una pequeña cantidad de energía.

Las ventajas de devanados de cobre para devanados son las siguientes:

- ✚ Resistencia mecánica
- ✚ Tiene una buena conductividad eléctrica.

Las ventajas del devanado de aluminio son:

- ✚ Estabilidad del costo por suministro.
- ✚ Mayor eficiencia para disipar el calor.
- ✚ Considerable reducción del peso.

2.2.1.2.3 SISTEMA DE AISLAMIENTO

El sistema de aislamiento está compuesto de algunos materiales aislantes, entre los cuales tenemos:

- ✚ Cartón prensado.

- ✚ Papel kraft.
- ✚ Papel manila o corrugado.
- ✚ Cartón prensado de alta densidad.
- ✚ Collares de catón prensado y aislamientos finales.
- ✚ Partes de catón prensado laminados.
- ✚ Esmaltes y barnices.
- ✚ Recubrimientos orgánicos e inorgánicos para la laminación del núcleo.
- ✚ Porcelanas (boquillas).
- ✚ Recubrimientos de polvo epóxico.
- ✚ Madera de maple.
- ✚ Fibra vulcanizada.
- ✚ Algodón, hilos, cintas.
- ✚ Plásticos y cementos, telas y cintas adhesivas, cintas de fibra de vidrio.
- ✚ Fluido líquido dieléctrico, que puede ser aceite mineral, aceite de siliconas.

Este sistema aísla los devanados del transformador entre sí y de tierra, así como de las partes cercanas del núcleo y de las partes de acero que forma la estructura.

El sistema de aislamiento sólido, deben cumplir con las cuatro funciones siguientes:

- ✚ Calidad para soportar las tensiones relativamente altas, sucedidas en servicio normal (esfuerzos dieléctricos). Esto incluye ondas de impulso y transitorios.
- ✚ Calidad para soportar esfuerzos mecánicos y térmicos (calor) los cuales, generalmente acompañan a un circuito.
- ✚ Calidad para prevenir excesivas acumulaciones de calor (transmisión de calor.)

2.2.1.2.4 TANQUE Y ACCESORIOS

Las partes principales y los accesorios de un transformador se describen a continuación. Se tomará como ejemplo al transformador de distribución de 10 kVA.

ITEM	CANTIDAD	DESCRIPCION
1	1	Cuba del transformador
2	1	Tapa
3	2	Soportes de montaje
4	2	Soportes de izado
5	1	Banda de cierre
6	1	Pasatapas de media tensión
7	3	Pasatapas de baja tensión
8	1	Válvula de sobrepresión
9	1	Nivel de aceite
10	1	Conectores de tierra
11	1	Cambiador de derivaciones 5 posiciones
12	1	Potencia
13	1	Placa característica
14	1	Pararrayo
15	1	Breaker
16	1	Luz de emergencia

TABLA Nº 02: DESCRIPCION GENERAL DE LAS PARTES DE UN TRANSFORMADOR DE DISTRIBUCIÓN

2.2.2 SELECCIÓN DE LA POTENCIA DE LOS TRANSFORMADORES

El cálculo o diseño de transformadores se puede decir que es un aspecto suficientemente tratado, en el que intervienen algunas variantes dependiendo del tipo de transformador y de los materiales empleados. En la actualidad los fabricantes de transformadores a gran escala, disponen por lo general de programas por computadora para diseño y de laboratorio apropiados para prueba. No obstante, los conceptos básicos del cálculo de transformadores se deben conocer por las personas relacionadas con las máquinas

eléctricas, ya que esto no solo permite una mejor comprensión de su funcionamiento, sino también se está en posibilidad de entender mejor las posibles fallas que tienen y su reparación.

Las normas para transformadores cuando hablan de potencia nominal, se refieren a una potencia que es el producto de la corriente por el voltaje en vacío. La potencia nominal es por lo tanto una “potencia aparente” que es la misma, ya sea que se considere el devanado primario o el devanado secundario. La razón de esta definición que es sólo convencional, se debe al hecho de que se caracteriza a la máquina desde el punto de vista del dimensionamiento.

Las prestaciones de una máquina eléctrica están limitadas por el calentamiento de sus componentes, las cuales están causadas por las pérdidas que tiene. En particular, en un transformador se tienen las pérdidas en el núcleo y las pérdidas en los devanados.

La potencia aparente que puede soportar el transformador en funcionamiento continuo sin sobrepasar los límites de calentamiento es:

$$S_N = \sqrt{3V_N \times I_N}$$

Como el transformador no siempre funciona bajo condiciones nominales, entonces se debe establecer el índice de carga C:

$$C = \frac{I_1}{I_{N_1}} = \frac{I_2}{I_{N_2}}$$

Este índice de carga se relaciona con las pérdidas en el transformador.

Si $C < 1$ El transformador funciona descargado.

Si $C > 1$ El transformador estará funcionando sobrecargado.

Para el núcleo magnético, las pérdidas dependen de la inducción magnética B, la cual es proporcional a la tensión inducida, en los devanados, las pérdidas son proporcionales al cuadrado de la corriente. La prueba de corto circuito de transformador, permite obtener las pérdidas a plan carga con los devanados, a partir de éstas se pueden calcular para cualquier otro valor de carga. La llamada prueba de “circuito abierto” en el transformador, permite obtener el valor de las llamadas pérdidas en vacío o pérdidas del núcleo, que como se mencionó, consisten de dos partes, las pérdidas por histéresis y las pérdidas por corriente circulantes.

En la prueba de circuito abierto, el devanado que se alimenta es por lo general el de bajo voltaje, debido a que resulta el más conveniente para la medición. En los sistemas industriales de

suministro eléctrico, la potencia de los transformadores debe garantizar, en condiciones normales, la alimentación de todos los consumidores o receptores. En la selección de la potencia de los transformadores, se debe tratar de obtener tanto el régimen de trabajo económicamente útil, como la alimentación de reserva de los consumidores.

Además, la carga de los transformadores en condiciones nominales no debe (por calentamiento) conducir al acortamiento de su tiempo de vida útil. La capacidad del transformador debe garantizar la demanda indispensable de potencia durante el periodo posterior a la desconexión del transformador averiado, en dependencia de los requerimientos presentados por los consumidores. Como regla general, todas las instalaciones, de año en año, aumentan su producción y se amplían, ya por la construcción de nuevas áreas de producción o por la utilización más racional de las existentes. Ya sea por una causa o por otra, la potencia eléctrica demandada por la producción industrial suele crecer.

Por ello es conveniente, para tomar en cuenta el crecimiento de la demanda de potencia, prever la posibilidad del incremento de potencia de las subestaciones a través del cambio de los transformadores por otros más potentes; esto es, prever la posibilidad de la instalación de transformadores mayores en un grado de potencia estándar. Por ejemplo, si se instalan dos

transformadores de 6300 kVA los cimientos y los restantes elementos, la instalación debe posibilitar la instalación de dos transformadores de 10000 kVA sin la modificación de la subestación existente.

2.2.2.1 SELECCIÓN DE LA POTENCIA DE LOS TRANSFORMADORES TENIENDO EN CUENTA LA SOBRECARGA

Es conveniente seleccionar la potencia de los transformadores teniendo en cuenta su capacidad de sobrecarga. El no prestar atención a la capacidad de sobrecarga del transformador, significa depender innecesariamente de la capacidad nominal. Esta capacidad de sobrecarga se determina en dependencia del gráfico de carga del transformador en cuestión.

La magnitud y duración de las corrientes de falla son de una importancia extrema estableciendo una práctica coordinada de protección para los transformadores, tanto los efectos térmicos como mecánicos de las corrientes de falla deberán ser considerados. Para las magnitudes de las corrientes de falla cerca a la capacidad de diseño del transformador, los efectos mecánicos son más importantes que los efectos térmicos.

Con magnitudes bajas de corriente de falla acercándose al valor de sobrecarga, los efectos mecánicos asumen menos importancia, a menos que la frecuencia de la ocurrencia de falla sea elevada. El punto de transición entre el interés mecánico y el interés térmico no puede ser definido exactamente, aunque los efectos mecánicos tienden a tener un papel más importante en las grandes capacidades nominales de kilovoltios-amperios, a causa de que los esfuerzos mecánicos son elevados.

SOBRECARGA DE TRANSFORMADORES INMERSOS EN ACEITE

La expectativa de vida normal de un transformador es una referencia convencional que se basa en considerar su funcionamiento en servicio continuo con su carga nominal, en un medio ambiente cuya temperatura es de 20°C y con una sobre-elevación de temperatura del punto caliente de 78°C (temperatura 98°C).

Si este valor se supera debe esperarse una reducción de la vida. En esta condición de funcionamiento la temperatura del punto caliente excede en 13°C el valor de sobre-elevación medio de temperatura de 65°C del arrollamiento (medido por variación de resistencia) adoptado

en la guía IEC 354 para transformadores de distribución. En transformadores medianos y grandes, dependiendo del tipo de refrigeración, la guía fija para la sobre-elevación del arrollamiento valores que son inferiores a los límites impuestos por la norma, aclarando que según sea el diseño alcanzar los límites podría llevar a superar el valor de 78°C correspondiente al punto caliente.

Si se representa el ciclo de carga diario por medio de un diagrama equivalente simplificado de dos escalones, para distintos ciclos de carga, y valores de temperatura ambiente comprendidos entre -25°C y 40°C, la guía propone curvas (para carga cíclica normal) con consumo de vida normal, y tablas (para carga cíclica de emergencia) con un consumo de vida expresado en días equivalentes de funcionamiento a potencia nominal con temperatura ambiente de 20°C, que permiten determinar el pico de carga para una dada duración y una determinada carga inicial.

✚ VALORES LÍMITES CON SOBRECARGA PARA TRANSFORMADORES DE DISTRIBUCIÓN

También para sobrecarga se recomienda no superar ciertos límites de corriente en valor relativo y temperaturas del punto caliente y del aceite en la capa superior, la tabla anterior muestra a modo de ejemplo estos valores para un tipo de transformador. Utilizando las curvas y suponiendo que la tensión aplicada al transformador permanece constante, se puede también determinar la potencia nominal de un transformador (esperando un consumo de vida normal) para un perfil de carga rectangular definido por la relación entre el pico de carga y la carga inicial (K_2/K_1). Un cambio en las condiciones de carga se trata como una función escalón.

El perfil rectangular de la carga, consiste en un escalón con una cierta duración seguido por un descenso también en escalón. Para una variación de carga continua, la función escalón se aplica para lapsos pequeños y el cálculo de la temperatura del punto caliente, consiste en un

procedimiento repetitivo. Para determinar el incremento de temperatura del aceite durante un transitorio a partir de la temperatura inicial, se debe utilizar la constante de tiempo del aceite y conocer la temperatura final.

El valor de la constante de tiempo depende del tipo de transformador, la guía adopta 3 horas para transformadores de distribución, 2.5 horas para transformadores de media y gran potencia con refrigeración natural en aceite y 1.5 horas para refrigeración forzada o dirigida.

Cuando se tiene un aumento de la carga, la variación de la sobre elevación de temperatura entre el devanado y el aceite se debe calcular utilizando la constante de tiempo característica del devanado, pero como normalmente este parámetro es muy pequeño (5 a 10 minutos), el incremento de temperatura del punto caliente se alcanza en forma casi instantánea (aún para cargas breves de alto valor). La guía considera nula la constante de tiempo de los devanados debido a que el tiempo de duración del pico de

sobrecarga utilizado en las tablas es de 30 minutos o más.

	CÍCLICA NORMAL	EMERGENCIA LARGA DURACIÓN	EMERGENCIA CORTA DURACIÓN
Corriente	1.5	1.8	2.0
Punto Caliente y partes metálicas en contacto con aislantes (°C)	140	150	si la temperatura del punto caliente supera 140..160 (°C) puede resultar riesgoso
Aceite capa superior (°C)	105	115	

TABLA Nº 03: LIMITE CON SOBRECARGA

SOBRECARGA DE TRANSFORMADORES SECOS

La siguiente tabla indica los límites de temperatura del punto caliente en función de la clase del sistema aislante, para un consumo de vida normal (ϕC) y el límite máximo (ϕCC).

TEMPERATURA SISTEMA AISLANTE (°C)	TEMPERATURA PUNTO CALIENTE DEL DEVANADO (°C)		SOBRE ELEVACIÓN MEDIA DEVANADO (K)
	Nominal (ϕC)	Máximo (ϕCC)	
105 (A)	95	140	60
120 (E)	110	155	75
130 (B)	120	165	80
155 (F)	145	190	100
180 (H)	175	220	125
220 (C)	210	250	150

TABLA Nº 04: LIMITES DE TEMPERATURA

También para transformadores secos se proponen, para las distintas clases de

aislamiento, curvas de carga que indica la corriente de carga permisible para un consumo de vida normal. Estas curvas son aplicables tanto para servicio continuo como para cargas cíclicas con distintas temperaturas del aire de refrigeración. Se supone que la refrigeración del transformador es adecuada y que el incremento de carga no afecta la temperatura del ambiente en que se encuentra el transformador. Las curvas se presentan para constante de tiempo de 0.5 y 1 hora.

Esta guía es aplicable con las siguientes limitaciones:

- La corriente no debe superar 1.5 veces la nominal para un ciclo de carga normal.
- Para cada clase de aislamiento el punto caliente no debe superar el valor máximo (φ_{cc}) indicado en la tabla.
- Se desprecia la influencia de las pérdidas en el hierro en la sobre elevación de temperatura de los devanados.

TIPOS DE SOBRECARGA

En condiciones de explotación, se admiten dos tipos de sobrecarga: de emergencia y sistemáticas.

- **SOBRECARGAS DE EMERGENCIA**

Para transformadores con sistemas de enfriamiento por aceite, se puede admitir (aparte de la dependencia de la duración de la carga precedente, temperatura del medio refrigerante y localización del transformador) una sobrecarga de corta duración.

Esta capacidad de sobrecarga la da el fabricante. En su defecto, se puede determinar en correspondencia con la curva presentada. En dependencia del estado de carga precedente, la sobrecarga admisible puede ser mayor.

Así, en aquellos casos en que la carga anterior no sobrepase el 93% de la potencia de placa, el transformador se puede sobrecargar durante 5 días en un 40%, siempre que ese estado no exceda 6 horas

cada día, ya sea en forma consecutiva o a intervalos.

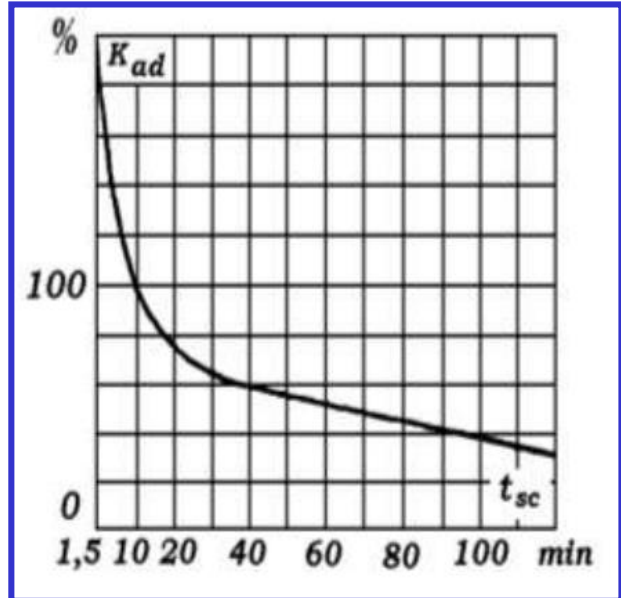


FIGURA N° 02: CURVA DE SOBRECARGA PARA EL TRANSFORMADOR CON ENFRIAMIENTO POR ACEITE

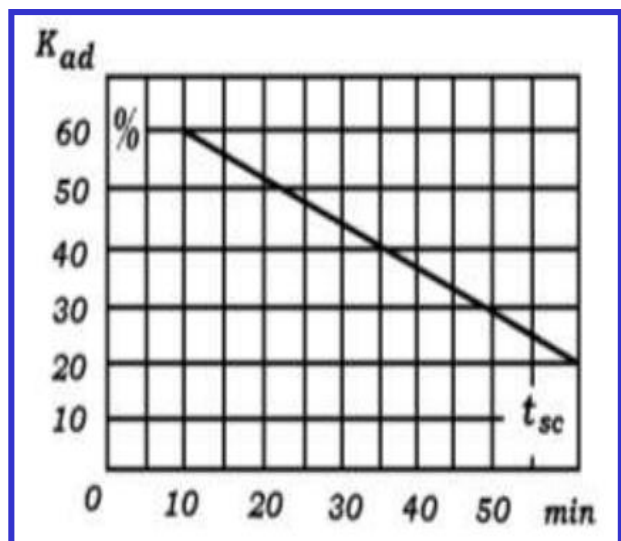


FIGURA N° 03: CURVA DE SOBRECARGA PARA EL TRANSFORMADOR SECO

- **SOBRECARGA SISTEMÁTICA**

Se debe determinar la sobrecarga que puede soportar el transformador cada día en las horas de máxima carga. De cualquier forma, la sobrecarga no debe exceder el 30%.

$$S_p \leq 1,3S_N$$

Donde:

SN = Potencia Nominal del Transformador
(kVA)

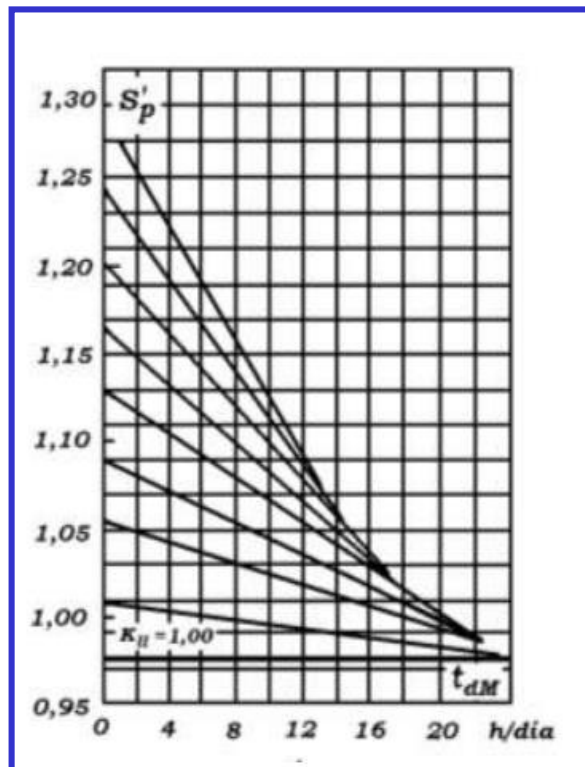


FIGURA Nº 04: CURVA DE SOBRECARGA PARA EL TRANSFORMADOR CON ENFRIAMIENTO POR ACEITE

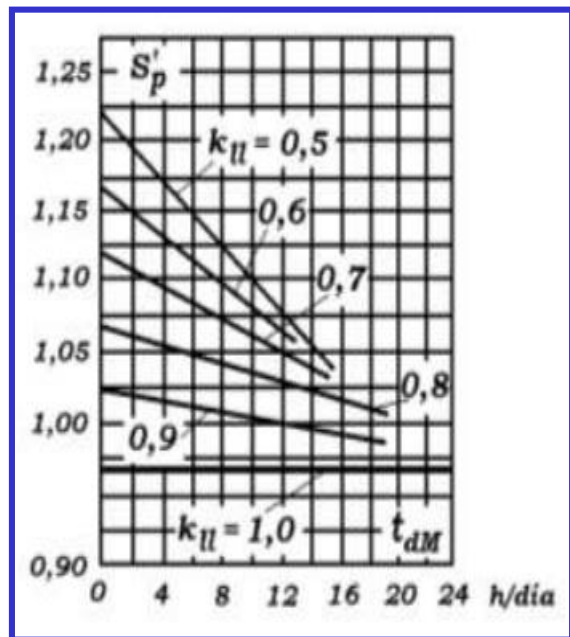


FIGURA Nº 05: CURVA DE SOBRECARGA PARA EL TRANSFORMADOR SECO

2.2.3 ACEITES DIELECTRICOS

Los aceites dieléctricos de origen mineral se obtienen de un derivado secundario del petróleo en cuya composición predominan los hidrocarburos nafténicos. Las propiedades de un buen aceite de transformador no son propias o no están presentes, en forma exclusiva, en un determinado tipo de hidrocarburo, sino que por el contrario se encuentran repartidas entre varios (Nafténicos, parafínicos y aromáticos). Una composición típica de un buen aceite dieléctrico responde a las siguientes proporciones:

- ✚ Hidrocarburos Aromáticos: 4 a 7%
- ✚ Hidrocarburos Isoparafínicos: 45 a 55%
- ✚ Hidrocarburos Nafténicos: 50 a 60%

Los aceites minerales representan el 90% del volumen de ventas de aceites dieléctricos a nivel mundial, casi todo usado en transformadores e interruptores de potencia. Una cantidad menor es usada en capacitores y cables. La mayoría de los lubricantes dieléctricos están basados en aceites minerales sin aditivos y sólo en caso de aplicaciones severas se emplean aceites aditivados con inhibidor de oxidación. El proceso de fabricación involucra la destilación del crudo y su posterior refinación mediante algunos de los siguientes tratamientos: Por ácidos, extracción por solventes o hidrogenación.

Propiedad	Parámetro	Método ASTM	Aceite Tipo 1	Aceite Tipo 2	
Física	Punto de anilina, °C	D-611	63-84	63-84	
	Color, Máx.	D-1500	0,5	0,5	
	Punto de inflamación, Min. °C	D-92	145	145	
	Tensión interfacial a 25 °C, Min. dinas/cm.	D-971	40	40	
	Punto de fluidez, Máx. °C	D-97	-40	-40	
	Gravedad específica, 15°C/15°C Máx.	D-1298	0,91	0,91	
	Viscosidad Máx, cSt	100°C	D-445 ó		
		40°C	D-88	3,0	3,0
		0°C		12,0	12,0
				76,0	76,0
	Inspección visual			Claro y traslúcido	
Eléctrica	Caida dieléctrica de voltaje, a 60Hz				
	- Electrodo de disco, Min. kV	D-877	30,00	30,00	
	- Electrodo VDE, Min gap.				
	0.040 pulg. (1.02 m.m.)	D-1816	28,00	28,00	
	0.080 pulg. (2.03 m.m.)		56,00	56,00	
	Caida dieléctrica de voltaje	D-3300	145,00	145,00	
	condición de impulso, 25°C, Min. kV 1", gap.	D-2300	+15,00	+15,00	
	Factor de disipación (o factor de potencial) a 60 Hz. Máx. %	25°C	D-924	0,05	0,05
		100°C		0,30	0,30
	Química	Estabilidad a la oxidación (prueba de lodos ácidos)	D-2240		
72 horas: % lodo, Máx. por masa			0,15	0,10	
TAN, mgr KOH/gr.ac.us			0,50	0,30	
164 horas: % lodo, Máx. por masa			0,30	0,20	
TAN, mgr KOH/ gr.ac.us			0,60	0,40	
Estabilidad a la oxidación (bomba rotativa), Min. minutos		D-2112		195,00	
Contenido de inhibidor de oxidación		D-1473	0,08	0,30	
Máx. % por masa		D-2628			
Azufre corrosivo		D-1275			
Agua, Máx. ppm		D-1533	35,00	35,00	
Número de neutralización	D-974	0,03	0,03		
Número ácido total, Máx. mgr KOH/gr.ac.us. Cont. de BCP* ppm	D-4059		No detectable		

TABLA Nº 05: CLASIFICACION DE LOS ACEITES DIELECTRICOS

2.2.3.1 PROPIEDADES DE LOS ACEITES DIELECTRICOS

Para que un aceite dieléctrico cumpla adecuadamente con su trabajo debe tener ciertas características físicas, químicas y eléctricas.

2.2.3.1.1 PROPIEDADES FISICAS

VISCOSIDAD

La viscosidad de un fluido es la resistencia que dicho fluido presenta al moverse o deslizarse sobre una superficie sólida.

Mientras más viscoso es el aceite, mayor será la resistencia que ofrecerá a moverse dentro del transformador y será menos efectiva su función de refrigeración.

Por esta razón, los aceites dieléctricos deben tener una baja viscosidad para facilitar la disipación del calor generado en la operación del transformador. Las viscosidades máximas establecidas para aceites dieléctricos, a las

diferentes temperaturas de evaluación, mediante el método

ASTM D- 445 o D-88, son:

- 100°C → 3 cSt.
- 40°C → 12 cSt.
- 0°C → 76 cSt.

PUNTO DE FLUIDEZ

Se define como la temperatura a la cual el aceite deja de fluir, mientras se somete a un proceso de enfriamiento progresivo. Este dato sirve para identificar diferentes tipos de aceites aislantes. Un punto de fluidez igual o mayor que 0°C indica la presencia dominante de hidrocarburos parafínicos, en tanto que puntos de fluidez del orden de -10°C son propios de las fracciones de petróleo en las cuales predominan los hidrocarburos isoparafínicos.

Las fracciones de hidrocarburos nafténicos tienen puntos de fluidez entre -20 a -35°C y las fracciones de hidrocarburos aromáticos llegan a tener puntos de fluidez del orden de los -40 a -60°C . Puntos de fluidez aceptables para aceites dieléctricos, evaluado mediante el método ASTM D-97, es de -40°C a -50°C .

PUNTO DE INFLAMACION

Se define como la mínima temperatura a la cual el aceite emite una cantidad de vapores que es suficiente para formar una mezcla explosiva con el oxígeno del aire en presencia de una llama.

El punto de inflamación de los aceites dieléctricos se ha fijado con un valor mínimo de 145°C y mientras más alto, será más segura su utilización en transformadores e interruptores de potencia.

TENSION INTERFACIAL

Conviene recordar que la solubilidad de un líquido en otro y también la viscosidad de ellos dependen, en buena parte, de su tensión superficial. Así por ejemplo, cuando dos líquidos tienen una tensión superficial muy diferente son insolubles, tal como sucede con el aceite y el agua. Ahora bien, en la interface o superficie de contacto de dos líquidos insolubles, se sucede una interacción molecular que tiende a modificar la tensión superficial de ambos líquidos en la zona de contacto; en este caso se habla de tensión interfacial, la cual casi siempre es referida al agua, como patrón de comparación.

Existen compuestos que se forman de la descomposición natural de los aceites dieléctricos de origen mineral, que son igualmente solubles tanto en el agua como en

el aceite, modificando su tensión interfacial, causando un aumento considerable de la humedad de saturación del aceite y haciéndolo más conductor de la electricidad.

La tensión interfacial mínima aceptada para aceites dieléctricos, evaluada por el método ASTM D-971, es de 40 dinas/cm.

PUNTO DE ANILINA

Temperatura a la cual un aceite dieléctrico se disuelve en un volumen igual de anilina. Sirve como parámetro de control de calidad, ya que un aceite dieléctrico con alto contenido de aromáticos disuelve la anilina a menor temperatura. Temperaturas de disolución entre 78 y 86°C corresponden a un buen dieléctrico. El punto de anilina aceptado para aceites dieléctricos, evaluado

mediante el método ASTM D-611, es de 63 a 84°C.

COLOR

La intensidad de color del aceite dieléctrico depende de los tipos de hidrocarburos que predominen en dicho aceite. Así por ejemplo, las fracciones parafínicas e isoparafínicas son blancas y transparentes, color agua. Las nafténicas varían de amarillo claro a amarillo verdoso.

Las aromáticas poseen coloraciones que van desde el amarillo rojizo (naranja) al marrón oscuro. Para los aceites dieléctricos se ha fijado un color máximo de 0,5 (amarillo claro), buscando que el aceite sea predominantemente nafténico. El color se determina mediante el método ASTM D- 1500.

2.2.3.1.2 PROPIEDADES ELECTRICAS

FACTOR DE POTENCIA

El factor de potencia mide las pérdidas de corriente que tienen lugar dentro del equipo cuando se encuentra en operación. Estas pérdidas de corriente son debidas a la existencia de compuestos polares en el aceite y a su vez son la causa de los aumentos anormales de temperatura que se suceden en los equipos bajo carga.

El factor de potencia máximo permisible (%), evaluado mediante el método ASTM D-924, es:

- 25°C → 0,05%
- 100°C → 0,3%

RIGIDEZ DIELECTRICA

La rigidez dieléctrica de un aceite aislante es el mínimo voltaje en el que un arco eléctrico ocurre entre dos electrodos metálicos. Indica la habilidad del aceite para soportar

tensiones eléctricas sin falla. Una baja resistencia dieléctrica indica contaminación con agua, carbón u otra materia extraña. Una alta resistencia dieléctrica es la mejor indicación de que el aceite no contiene contaminantes.

Los contaminantes que disminuyen la rigidez dieléctrica pueden usualmente ser removidos mediante un proceso de filtración (filtroprensa) o de centrifugación.

2.2.3.1.3 PROPIEDADES QUIMICAS

ESTABILIDAD A LA OXIDACION

Los aceites dieléctricos, en razón de su trabajo, están expuestos a la presencia de aire, altas temperaturas y a la influencia de metales catalizadores tales como hierro y cobre, lo cual tiende a producir en el aceite cambios químicos que resultan en la formación de ácidos y lodos. Los ácidos atacan el tanque del

transformador y reducen significativamente la capacidad aislante del aceite con las consecuentes pérdidas eléctricas.

Los lodos interfieren en la transferencia de calor (enfriamiento), haciendo que las partes del transformador estén sometidas a más altas temperaturas, situación que también conduce a pérdidas de potencia eléctrica. Como resulta obvio, es importante reducir al mínimo posible la presencia de estas sustancias perjudiciales (ácidos y lodos). Por esta razón es esencial el uso de aceites refinados que posean óptima resistencia a la oxidación y estabilidad química que garanticen amplios periodos de funcionamiento y alarguen la vida de los equipos.

2.2.3.2 PROCESO DE DEGRADACION DE LOS ACEITES DIELECTRICOS

Al igual que ocurre en otras aplicaciones, los lubricantes para servicio en transformadores están sometidos a diversas condiciones de operación y expuestos a la presencia de elementos que conllevan al deterioro gradual de sus propiedades.

- ✚ El proceso de oxidación de los aceites dieléctricos depende, entre otros, de los siguientes factores:
- ✚ La naturaleza o composición del aceite.
- ✚ La cantidad de oxígeno disponible para la reacción de oxidación.
- ✚ La presencia del agua y otros catalizadores de oxidación, tales como partes de cobre.
- ✚ El nivel de temperatura al cual es sometido el aceite dieléctrico durante el servicio.

Como ya se ha mencionado, dependiendo del tipo y balance de hidrocarburos empleados en la fabricación del aceite dieléctrico, éste presentará mejores o peores propiedades tanto refrigerantes como de estabilidad química y a la oxidación, factores de gran influencia en el proceso de oxidación del aceite.

El oxígeno disponible para las reacciones de oxidación proviene:

- ✚ Del aire que normalmente está disuelto en dicho aceite.
- ✚ De las electrólisis del agua presente en el equipo.

A mayor cantidad de oxígeno presente en el aceite, las reacciones de oxidación son más completas y frecuentes. El agua, además de aportar oxígeno para las reacciones de oxidación que ocurren en el aceite, es un buen catalizador para éstas mismas y sobre todo para aquellas que afectan a los metales ferrosos presentes en el equipo (corrosión de la carcasa y del núcleo del transformador).

Conviene recordar que el hierro, el cobre y cualquier otro metal en contacto con el aceite son también catalizadores de las reacciones de oxidación que afectan a éste. El nivel de temperatura a que normalmente opera el equipo es un factor muy importante en la velocidad de oxidación del aceite dieléctrico y mientras más alta sea dicha temperatura, más rápida será la degradación del aceite.

NUMERO DE NEUTRALIZACION vs. TEMPERATURA	
TEMPERATURA DE OPERACION DEL EQUIPO	VIDA UTIL DEL ACEITE* DIELECTRICO EN AÑOS
60°C	20,00
70°C	10,00
80°C	5,00
90°C	2,50
100°C	1,25
110°C	7 meses

*Tiempo estimado para que el número de neutralización del aceite alcance una acidez equivalente a 0,25 mg KOH/g.

TABLA Nº 06: NUMERO DE NEUTRALIZACION vs. TEMPERATURA

Los transformadores modernos operan con tensiones o voltajes más altos y son de menor tamaño que los equipos de comienzo de siglo. En consecuencia, la cantidad de aceite dieléctrico requerida por estos transformadores es considerablemente menor, por lo cual su temperatura de operación depende en gran medida de la eficiencia de su sistema de refrigeración, o en otras palabras, de la capacidad refrigerante del aceite. En la gráfica se muestra la diferencia existente entre las curvas de oxidación de un aceite no inhibido y otro inhibido.

Como se puede ver, los inhibidores artificiales de oxidación mantienen la acidez del aceite a un nivel más bajo que los aceites sin inhibidor. Ahora bien, cuando se agota el aditivo antioxidante en el aceite inhibido la reacción de oxidación se acelera drásticamente y por

tanto la curva toma forma exponencial con una pendiente mayor que la del aceite no inhibido. El control requerido sobre el nivel de acidez de un aceite dieléctrico inhibido, en su período final de servicio, es muy exigente debido al cambio radical en el comportamiento de su proceso oxidativo, lo cual podría dar origen a formación excesiva de lodos en el transformador con las consecuentes fallas en su funcionamiento.

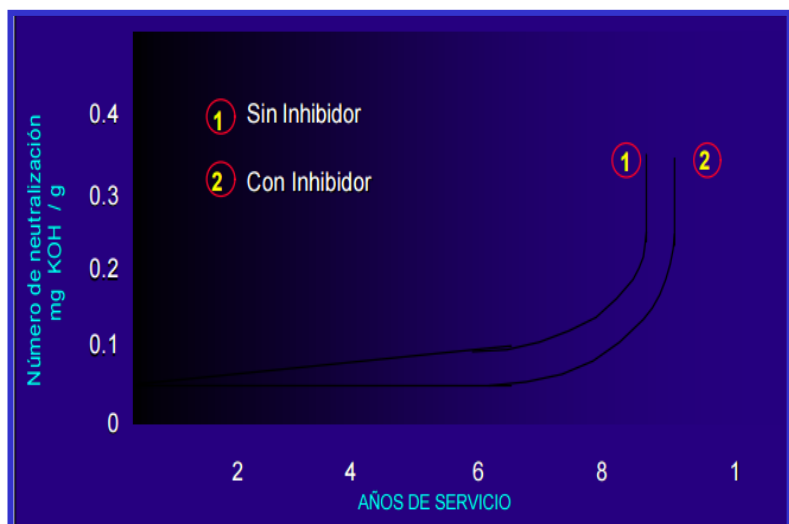


FIGURA Nº 06: CURVA DE OXIDACION DE UN ACEITE DIELECTRICO

2.2.3.3 CONTROL DE CALIDAD DE LOS ACEITES DIELECTRICOS

Las pruebas que se realizan con el propósito de evaluar el estado de las propiedades de los aceites dieléctricos de origen mineral, se orientan a determinar tres características básicas en dichos aceites:

- ✚ Su composición (pruebas de composición).
- ✚ Su pureza (pruebas de pureza).
- ✚ Su estabilidad (pruebas de estabilidad).

La composición de un aceite dieléctrico, una vez que ha sido formulado y elaborado adecuadamente, no varía significativamente mientras permanece en servicio. La estabilidad del mismo depende primordialmente de su composición.

Esto significa que las pruebas de composición y estabilidad no son muy necesarias cuando se trata de controlar la calidad de un aceite dieléctrico en servicio, teniendo en cuenta que son estrictamente efectuadas para los aceites nuevos. En conclusión, las pruebas de pureza son las que tienen mayor peso en la determinación del comportamiento o desempeño de los aceites dieléctricos en servicio; por lo tanto son éstas pruebas las que se incluyen con más frecuencia en los programas de control.

✚ **CONTENIDO DE HUMEDAD**

Como se sabe, el agua es poco soluble en los aceites dieléctricos, pero aun así, pequeñas cantidades de humedad son suficientes para aumentar drásticamente su conductividad

eléctrica, reducir su rigidez dieléctrica y subir su factor de potencia. El agua puede proceder del aire atmosférico o resultar de la degradación de materiales aislantes. La solubilidad del agua en el aceite para transformadores aumenta en función de la temperatura y del índice de neutralización.

Cuando el contenido de agua sobrepasa un cierto nivel (valor de saturación) no puede permanecer en solución, y el agua, ahora libre, aparece en forma de turbulencia o de gólicas provocando invariablemente una disminución en la rigidez dieléctrica. El agua no sólo es perjudicial para el aceite porque aumenta su conductividad eléctrica sino que además es un elemento altamente corrosivo a los metales ferrosos y por ello forma óxido de hierro que al disolverse en el aceite lo hace aún más conductor.

También, el agua suspendida o depositada en el fondo de los transformadores propicia el crecimiento de bacterias que contribuyen a acelerar el proceso de degradación de los aceites dieléctricos. Dentro de un transformador el contenido total de agua se reparte entre el papel

y el aceite en una relación predominante para el papel.

Las variaciones pequeñas de temperatura modifican sensiblemente el contenido de agua del aceite pero muy poco la del papel.

Un alto contenido de agua acelera la degradación química del papel aislante y es un indicio de malas condiciones de funcionamiento o de un mantenimiento que necesita medidas correctivas.

Valores típicos de contenido de agua para aceites dieléctricos nuevos están en el orden de 15 ppm a 30 ppm. Resulta evidente que se requiere someterlos a un proceso de secado previo a su uso.

TENSIÓN INTERFACIAL

Este es uno de los test más ampliamente usados para determinar el nivel de deterioro y contaminación de un aceite dieléctrico. Esta característica cambia rápidamente durante las etapas iniciales de envejecimiento, luego su evolución se estabiliza, cuando la degradación es

aún moderada. Es por esta razón que los resultados son bastante difíciles de interpretar en términos de mantenimiento del aceite. Los valores típicos de tensión interfacial de los aceites nuevos están alrededor de 45 dinas/cm; sin embargo, aceites con valores de 20 o más se consideran apropiados para el servicio.

Tensiones interfaciales por debajo de 20 dinas/cm indican la contaminación del aceite con productos de oxidación, barnices, glicol, jabones de sodio, y posiblemente otras materias extrañas. La filtración del aceite, especificada en la norma ASTM D-971, puede reportar valores altos de tensión interfacial.

NÚMERO DE NEUTRALIZACIÓN

El índice de neutralización de un aceite es una medida de la mayor o menor cantidad de ácidos que se han formado en el aceite durante el tiempo en que ha permanecido en servicio. Su valor, poco importante para un aceite nuevo, aumenta como consecuencia del envejecimiento por oxidación y es utilizado como guía general para establecer el momento preciso para reemplazarlo

o regenerarlo, siempre que se hayan establecido los límites de rechazo y que otros ensayos lo confirmen.

El número de neutralización de un aceite nuevo no debería exceder 0.025 mgKOH/g. Aceites con valores de TAN del orden de 0.5 mgKOH/g son considerados inaceptables para el servicio. Es importante aclarar que un TAN bajo no descarta la presencia de contaminantes en el aceite, ya que puede tratarse de un material de tipo alcalino. Un caso encontrado con alguna frecuencia es la contaminación del aceite con silicato de sodio, que es un material empleado por los fabricantes de transformadores en el aislamiento.

RIGIDEZ DIELECTRICA

La tensión de ruptura es importante como una medida de la aptitud de un aceite para resistir los esfuerzos eléctricos. Un aceite seco y limpio se caracteriza por una tensión de ruptura alta. El valor alcanzado en la prueba de tensión de ruptura o rigidez dieléctrica dependerá casi exclusivamente de la cantidad de contaminantes tales como el agua, partículas conductoras,

lodos, polvo, y gases disueltos contenidos en el aceite; los cuales reducen severamente esta propiedad.

La rigidez dieléctrica disminuye con los aumentos de la temperatura del aceite, por lo cual, para efectos de control, se especifica una temperatura de 20°C para la realización de esta prueba.

Propiedad	Minerales	Mineral Alto P.F.	Siliconas
Punto de Fulgor (°C)	140	260	300
Pérdidas Dieléctricas a 25° C	0,05	0,05	0,001
Estabilidad	Regular	Regular	Regular
Compatibilidad	Buena	Buena	Optima
Resistencia al Fuego	Mala	Buena	Optima
Rigidez Dieléctrica ASTM D-1816	40	40	40

FIGURA N° 07: VALORES TIPICOS DE PARAMERTROS DE CALIDAD DE ACEITES

FACTOR DE POTENCIA

El factor de potencia de un aceite nuevo no debería exceder de 0.05% a 25oC. Un valor alto en un aceite usado indica deterioro y

contaminación con carbón, barnices, sodio, glicol, u otras materias conductoras.

COLOR Y ASPECTO

El color de un aceite aislante está determinado por la luz transmitida y está expresado por un número obtenido de su comparación con una serie de colores normalizados o estandarizados.

Un cambio en el color del aceite en servicio indica contaminación o deterioro. Además del color, el aspecto visual de un aceite puede poner en evidencia turbulencias y sedimentos, lo que puede indicar la presencia de agua libre, lodos insolubles, carbón, polvo, fibras, etc.

ANÁLISIS DE GASES DISUELTOS

Este tipo de prueba se estudiará ampliamente en la siguiente sección de este módulo; Diagnóstico de fallas en transformadores.

2.2.3.4 PROCESO DE SECADO POR TERMOVACÍO

Es el proceso más eficaz para la remoción de humedad y sustancias volátiles presentes en el aceite (Gases), con la aplicación de vacío se reduce la temperatura de

ebullición del agua que es removida en la fase de vapor por la recámara de vacío.

Durante éste proceso se aplica vacío (1Torr) y se obtienen bajas concentraciones de agua en el aceite, lo cual incrementa considerablemente la rigidez dieléctrica del aceite.

El efecto de la humedad sobre las propiedades del aceite depende de la forma en la cual se encuentre, por ejemplo una pequeña cantidad de agua emulsificada tiene una marcada influencia en la reducción de la rigidez dieléctrica.

El termovacío es una de las formas más eficientes en la reducción del contenido de agua a valores muy bajos.

En el termovacío el aceite es sometido a un calentamiento y un vacío por un corto intervalo de tiempo. Además de remover la humedad del aceite, el termovacío realiza un proceso de desgasificación y eliminación de los compuestos ácidos más volátiles.

El procedimiento de Termovacío puede ser realizado con el transformador energizado o desenergizado y al

igual que en la regeneración cada caso debe ser estudiado por separado para tomar la decisión correcta del procedimiento más apropiado.

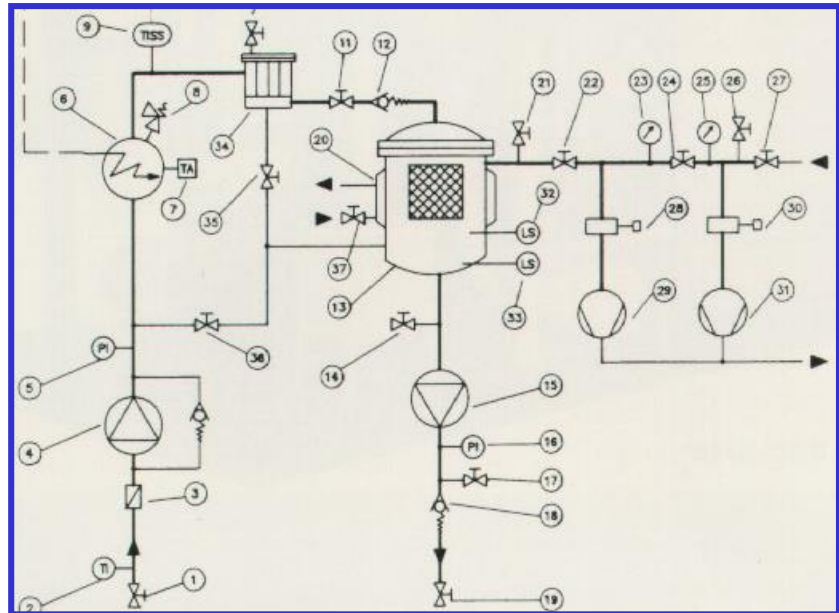


FIGURA N° 08: ESQUEMA DE UNA MÁQUINA DE TERMOVACÍO TÍPICA

El equipo de termovacío es conectado al transformador por medio de mangueras resistentes al aceite dieléctrico, la conexión es realizada por medio de válvulas superior e inferior del aceite, la cantidad de pasadas del aceite por el filtro dependerá del volumen del aceite a tratar y de la cantidad de agua contenida un proceso típico realiza cuatro pasadas por el filtro.

Cuando se requiere realizar procesos de secado a transformadores con contenidos de humedad mayores a

60 ppm es más recomendable realizar un secado en horno debido a que la celulosa se encuentra muy saturada con agua.

Cuando se realizan procesos de termovaciación o que involucran movimiento de aceite se recomienda realizar buenas conexiones a tierra tanto de las mangueras como del equipo, para evitar riesgos de incendio ocasionados por cargas electrostáticas en medio de un líquido inflamable como el aceite.

La eficiencia del proceso de secado en un transformador depende de factores como la temperatura del aceite y la presión de vacío. El usar excesivas temperaturas promueve la degradación de la celulosa.

2.2.3.5 SECADO DE TRANSFORMADORES

Para equipos que presentan humedad interna existen varios procesos de secado que pueden ser utilizados dependiendo del grado de contaminación de la celulosa por la humedad.

Cuando en un aceite de transformador, los ensayos presentan solamente valores de humedad elevados, esta humedad se puede retirar hasta con el mismo

transformado energizado con el empleo de un equipo de secado por termovacío.

Cuando los contenidos de humedad son por encima de 65 ppm ocurre impregnación de los materiales celulósicos del transformador por la humedad, haciéndose necesario un secado completo de la unidad, existen métodos como el vapor phase que es un método desarrollado por General Electric y consta de dos procesos:

- ✚ Ciclo de calentamiento
- ✚ Ciclo de vacío.

2.3. MARCO CONCEPTUAL

- ✚ Aislante: Un material que, debido a que los electrones de sus átomos están fuertemente unidos a sus núcleos, prácticamente no permite sus desplazamientos y, por ende, el paso de la corriente eléctrica, cuando se aplica una diferencia de tensión entre dos puntos del mismo. Material no conductor que, por lo tanto, no deja pasar la electricidad.
- ✚ Alimentador eléctrico: Circuito normalmente conectado a una estación receptora, que suministra energía eléctrica a uno o varios servicios directamente a varias subestaciones distribuidoras.
- ✚ Alta tensión: Tensión nominal superior a 1 kV (1000 Volts)

- ✚ Autotransformador: Transformador con sus bobinados conectados en serie. Su conexión tiene efecto en la reducción de su tamaño.
- ✚ Banco de transformación: Conjunto de tres transformadores o autotransformadores, conectados entre sí para que operen de la misma forma que un transformador o autotransformador trifásico.
- ✚ Bobina: Arrollamiento de un cable conductor alrededor de un cilindro sólido o hueco, con lo cual y debido a la especial geometría obtiene importantes características magnéticas.
- ✚ Calidad: Es la condición de tensión, frecuencia y forma de onda del servicio de energía eléctrica, suministrada a los usuarios de acuerdo con las normas y reglamentos aplicables.
- ✚ Capacidad: Medida de la aptitud de un generador, línea de transmisión, banco de transformación, de baterías, o capacitores para generar, transmitir o transformar la potencia eléctrica en un circuito; generalmente se expresa en MW o kW, y puede referirse a un solo elemento, a una central, a un sistema local o bien un sistema interconectado.
- ✚ Capacidad de generación: Máxima carga que un sistema de generación puede alimentar, bajo condiciones establecidas, por un período de tiempo dado.
- ✚ Capacidad de transmisión: Potencia máxima que se puede transmitir a través de una línea de transmisión; tomando en cuenta restricciones técnicas de operación como: el límite térmico, caída de tensión, límite de estabilidad en estado estable, etc.

- ✚ Capacidad instalada: Potencia nominal o de placa de una unidad generadora, o bien se puede referir a una central, un sistema local o un sistema interconectado.
- ✚ Demanda eléctrica: Requerimiento instantáneo a un sistema eléctrico de potencia, normalmente expresado en Mega watts (MW) o kilowatts (kW).
- ✚ Distribución: Es la conducción de energía eléctrica desde los puntos de entrega de la transmisión hasta los puntos de suministro a los Usuarios.
- ✚ Energía: La energía es la capacidad de los cuerpos o conjunto de éstos para efectuar un trabajo. Todo cuerpo material que pasa de un estado a otro produce fenómenos físicos que no son otra cosa que manifestaciones de alguna transformación de la energía.
- ✚ Equipo: Dispositivo que realiza una función específica utilizando como una parte de o en conexión con una instalación eléctrica, para la operación.
- ✚ Factor de demanda: Relación entre la demanda máxima registrada y la carga total conectada al sistema. Relación entre la potencia máxima absorbida por un conjunto de instalaciones durante un intervalo de tiempo determinado y la potencia instalada de este conjunto.
- ✚ Factor de operación: Relación entre el número de horas de operación de una unidad o central entre el número total de horas en el período de referencia.
- ✚ Factor de potencia: Coseno de ángulo formado por el desfase existente entre la tensión y la corriente en un circuito eléctrico alterno;

representa el factor de utilización de la potencia eléctrica entre la potencia aparente o de placa con la potencia real.

- ✚ Generación de energía eléctrica: Producción de energía eléctrica por el consumo de alguna otra forma de energía.
- ✚ Línea de transmisión: Es el conductor físico por medio del cual se transporta energía eléctrica, a niveles de tensión alto y medio, principalmente desde los centros de generación a los centros de distribución y consumo.
- ✚ Mantenimiento: Es el conjunto de actividades para conservar las obras e instalaciones en adecuado estado de funcionamiento.
- ✚ Planta: Sinónimo de central, estación cuya función consiste en generar energía eléctrica.
- ✚ Potencia: Es el trabajo o transferencia de energía realizada en la unidad de tiempo. Se mide en Watt (W).
- ✚ Potencia eléctrica: Tasa de producción, transmisión o utilización de energía eléctrica, generalmente expresada en Watts.
- ✚ Potencia instalada: Suma de potencias nominales de máquinas de la misma clase (generadores, transformadores, convertidores, motores) en una instalación eléctrica.
- ✚ Potencia máxima: Valor máximo de la carga que puede ser mantenida durante tiempo especificado.
- ✚ Potencia real: Parte de la potencia aparente que produce trabajo. Comercialmente se mide en KW.
- ✚ Potencia real instalada: Ver capacidad efectiva.

- ✚ Producción de una central: Energía eléctrica efectivamente generada por una central durante un período determinado.
- ✚ Red de distribución: Es un conjunto de alimentadores interconectados y radiales que suministran a través de los alimentadores la energía a los diferentes usuarios.
- ✚ Tensión: Potencial eléctrico de un cuerpo. La diferencia de tensión entre dos puntos produce la circulación de corriente eléctrica cuando existe un conductor que los vincula.
- ✚ Transformación: Es la modificación de las características de la tensión y de la corriente eléctrica para adecuarlas a las necesidades de transmisión y distribución de la energía eléctrica.
- ✚ Transformador: Dispositivo que sirve para convertir el valor de un flujo eléctrico a un valor diferente. De acuerdo con su utilización se clasifica de diferentes maneras.
- ✚ Transmisión: Es la conducción de energía eléctrica desde las plantas de generación o puntos interconexión hasta los puntos de entrega para su distribución
- ✚ Volt: Se define como la diferencia de potencial a lo largo de un conductor cuando una corriente de un amper utiliza un Watt de potencia. Unidad del Sistema Internacional.
- ✚ Volt-ampere: Unidad de potencia eléctrica aparente y se abrevia VA.
- ✚ Volt-ampere reactivo: Unidad de potencia eléctrica reactiva y se abrevia VAr.
- ✚ Watt: E la unidad que mide potencia. Se abrevia W.

CAPÍTULO III

DESCRIPCIÓN Y DESARROLLO DEL PROYECTO

3.1 DESCRIPCIÓN DEL TRATAMIENTO DE ACEITE DIÉLECTRICO MEDIANTE SISTEMA DE TERMOVACIO

En referencia a los objetivos planteados en este proyecto de ingeniería, a continuación procederé a describir el tratamiento de aceite dieléctrico mediante el sistema de Termovacio.

Inicialmente encenderé el tablero electrónico de control y procederé a realizar la configuración del sistema de Termovacio. El tablero electrónico está diseñado para trabajar de manera manual o automática, con una fuente de energía eléctrica de 220 Voltios a 60 Hertz, trifásico. Desde el tablero de control, configuraré:

- La temperatura de operación de las resistencias eléctricas.
- El tiempo de arranque y paro de la bomba de descarga.
- El arranque y paro de la bomba de vacío.

Es importante señalar que el tablero electrónico consta de un pirómetro para visualizar la temperatura, un interruptor para determinar el control automático o manual, un interruptor para controlar el apagado o encendido del calentador y tres botones que sirven para controlar la bomba de entrada, bomba de descarga y bomba de vacío. Una vez configurado el tablero de control se conectare la manguera para la succión del aceite, para pasar por el filtro de admisión (entrada de aceite contaminado).

Luego la bomba de engrane entra en funcionamiento para mandar el aceite a la resistencia. Este sistema de calentamiento es usado para mantener la temperatura del aceite por regenerar, a niveles no mayores a 50° C, para lo cual se cuenta con resistencias de 1500 watts, cada una inmersa en aceite. Las resistencias cuentan con un termopar marino tipo PT100, que sirve para graduar la temperatura.

La salida del aceite de la resistencia va hacia la cámara de eliminación de gases, pasando por un indicador de flujo. La eliminación de agua se da por medio de la diferencia de densidades y punto de ebullición. Esta cámara de eliminación de gases consiste en:

- Atomizado del aceite por medio de espreas
- Tanque de expansión de alto de vacío, con control de nivel de aceite.
- Sistema de calentamiento del aceite regulado.
- Filtro tipo silica.

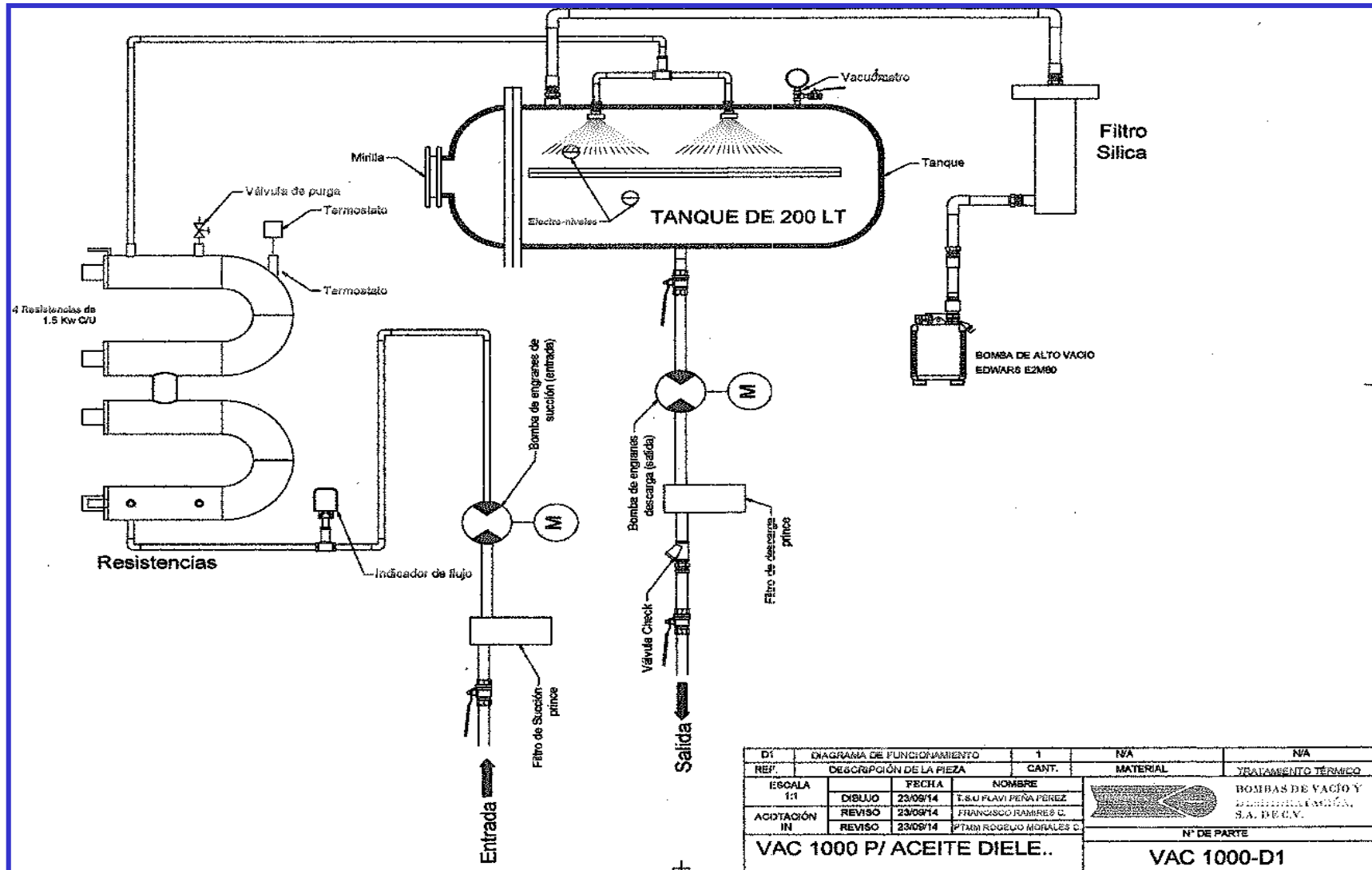


FIGURA N° 09: DIAGRAMA DEL PROCESO DE TRATAMIENTO DE ACEITE DE DIELECTRICO POR SISTEMA TERMOVACIO

3.2 DESARROLLO DEL TRATAMIENTO DE ACEITE DIELECTRICO A TRAVES DEL SISTEMA DE TERMOVACIO

A continuación se detalla el desarrollo del tratamiento de aceite dieléctrico a través del Sistema de Termovacio.

APLICACIÓN DE SISTEMA DE TERMOVACIÓN TRANSFORMADOR DE DISTRIBUCIÓN DE LA SEDE CHUCUITO - SUNAT.

Los resultados del análisis fisicoquímico de un año anterior, indicaron rigidez dieléctrica bajo por partículas de suspensión en el aceite y partículas de agua, se procedió a programar el tratamiento de aceite dieléctrico mediante el sistema de termovació del transformador.

Proceso del tratamiento del transformador

- Paso N°1

Transporte de la máquina de termo vacío a la sede chucuito y traslado a la subestación eléctrica.



FIGURA N° 10: APLICACIÓN DEL ENSAYO PASO 1

- Paso N°2.

Previo corte de energía, se procedió a la desconexión del transformador de 640 kva de las barras de MT y cables de BT.



FIGURA N° 11: APLICACIÓN DEL ENSAYO PASO 2

- Paso N°3.

Conexión de las mangueras de entrada y salida del aceite en la máquina y en el transformador la conexión en la válvula (grifo) y en grifo de llenado del tanque de expansión del transformador de 640 kva respectivamente.

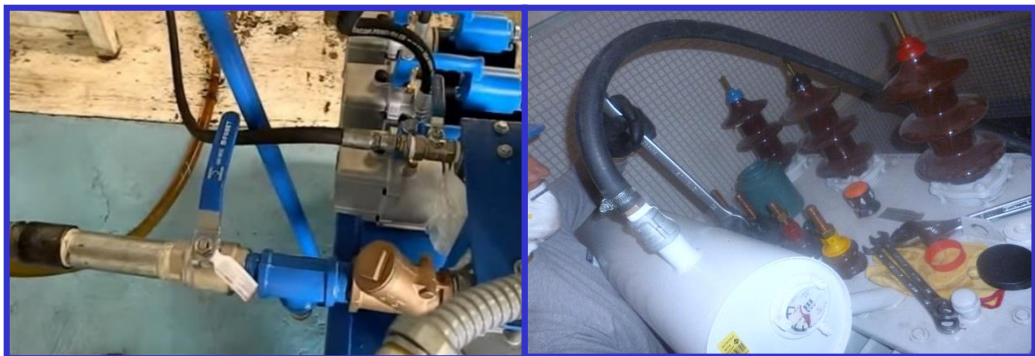


FIGURA N° 12: APLICACIÓN DEL ENSAYO PASO 3

- Paso N°4.

Abrir las válvulas de la bomba succión (entrada), de expulsión (salida), la válvula de vacío y de descarga de la máquina de termo vacío.



FIGURA N° 13: APLICACIÓN DEL ENSAYO PASO 4

- Paso N°5.

Reconexión de los interruptores termomagnético de la máquina para comenzar el proceso.

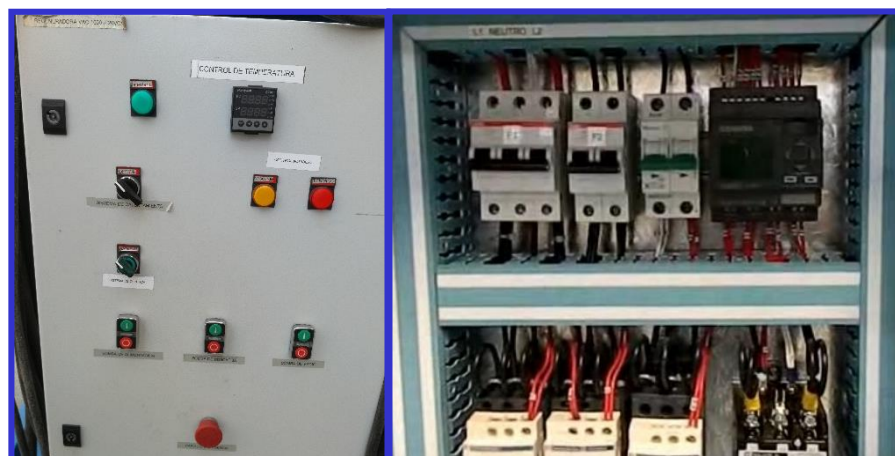


FIGURA N° 14: APLICACIÓN DEL ENSAYO PASO 5

- Paso N°6.

Encender la bomba de vacío, después de unos minutos encender la bomba de succión (alimentación) y posteriormente el calentador. Una vez que la resistencia llegue a la temperatura de operación se encenderá la bomba de descarga para comenzar el ciclo.



FIGURA N° 15: APLICACIÓN DEL ENSAYO PASO 6

- Paso N°7.

Aproximadamente 10 minutos antes de terminar un ciclo de tratamiento se extrae una muestra de aceite desde la máquina para realizar la prueba de campo de resistencia dieléctrica con el espinterómetro.



FIGURA N° 16: APLICACIÓN DEL ENSAYO PASO 7

- Paso N°8.

Se realizó la última prueba de resistencia dieléctrica arrojando un valor aceptable de aislamiento. Se extrajo una muestra de aceite apuntando los datos necesarios de la placa del transformador para enviarlo al laboratorio para el análisis físico químico completo correspondiente.



FIGURA N° 17: APLICACIÓN DEL ENSAYO PASO 8

- Paso N°9.

Se procedió a la desconexión de la máquina de termo vacío y conexión del transformador.



FIGURA N° 18: APLICACIÓN DEL ENSAYO PASO 9

3.3 REVISIÓN Y CONSOLIDACION DE RESULTADOS

A continuación, se muestra el protocolo de análisis de aceite, al que fue sometido el transformador de distribución de la Sunat, sede Chucuito de 640kVA.

TABLA N° 07: PROTOCOLO DE ANÁLISIS ACEITES AISLANTES NRO: 2015-239

PROTOCOLO DE ANÁLISIS ACEITES AISLANTES NRO: 2015 - 239				
DATOS DEL EQUIPO				
CLIENTE:	TÉCNICA INGENIEROS S.R.L.	FECHA EMISIÓN PROTOCOLO:	17/06/2015	
USUARIO:	SUNAT CHUCUITO	TENSIÓN:	10 / 0.46 KV	
SUBESTACION:	1	POTENCIA:	640 KVA	
CLASE DE EQUIPO:	TRANSFORMADOR	AÑO FABRICACIÓN:	2009	
NRO SERIE:	L - 174669	FABRICANTE:	ABB	
EN SERVICIO?	NO INDICA	CANTIDAD DE ACEITE:	NO INDICA	
TIPO DE ACEITE:	MINERAL	CONMUTADOR?:	NO INDICA	
TANQUE DE EXPANSIÓN?	NO INDICA	SÍLICA GEL?:	NO INDICA	
FECHA EXTRACCIÓN MUESTRA:	NO INDICA			
OTROS:	Análisis Físico Químico del aceite aislante, muestra extraída por el cliente.			
PRUEBAS	NORMA	UNIDADES	RESULTADOS	LÍMITES
PRUEBAS ELÉCTRICAS:				
RIGIDEZ DIELECTRICA	ASTM D1816	KV/2.0 MM	25	≥ 40
PRUEBAS FÍSICAS				
DENSIDAD	ASTM D1298	gr /ml	0.854	< 0.90
TENSIÓN INTERFACIAL	ASTM D971	dynas/cm	32	≥ 25
COLOR	ASTM D1500	-	0.5	≤ 3,0
APARIENCIA	ASTM D1524	-	B Y C	Brillante y Claro
PRUEBAS QUÍMICAS:				
CANTIDAD DE AGUA	ASTM D1533	ppm	13	≤ 30
ACIDEZ	ASTM D974	mg KOH /gr aceite	0.01	< 0,10

TABLA N° 08: PROTOCOLO DE ANÁLISIS ACEITES AISLANTES NRO: 2016-332

PROTOCOLO DE ANÁLISIS ACEITES AISLANTES NRO: 2016 - 332				
DATOS DEL EQUIPO				
CLIENTE:	TÉCNICA INGENIEROS S.R.L.		FECHA EMISIÓN PROTOCOLO:	17/12/2016
USUARIO:	SUNAT CHUCUITO		TENSIÓN:	10 / 0.46 KV
SUBESTACION:	1		POTENCIA:	640 KVA
CLASE DE EQUIPO:	TRANSFORMADOR		AÑO FABRICACIÓN:	2009
NRO SERIE:	L - 174669		FABRICANTE:	ABB
EN SERVICIO?	NO INDICA		CANTIDAD DE ACEITE:	NO INDICA
TIPO DE ACEITE:	MINERAL		CONMUTADOR?:	NO INDICA
TANQUE DE EXPANSIÓN?	NO INDICA		SÍLICA GEL?:	NO INDICA
FECHA EXTRACCIÓN MUESTRA:	11/12/2016			
OTROS:	Análisis Físico Químico del aceite aislante, muestra extraída por el cliente.			
PRUEBAS	NORMA	UNIDADES	RESULTADOS	LÍMITES
PRUEBAS ELÉCTRICAS:				
RIGIDEZ DIELECTRICA	ASTM D1816	KV/2.0 MM	42	≥ 40
PRUEBAS FÍSICAS				
DENSIDAD	ASTM D1298	gr /ml	0.854	< 0.90
TENSIÓN INTERFACIAL	ASTM D971	dynas/cm	33	≥ 25
COLOR	ASTM D1500	-	0.5	≤ 3,0
APARIENCIA	ASTM D1524	-	B Y C	Brillante y Claro
PRUEBAS QUÍMICAS:				
CANTIDAD DE AGUA	ASTM D1533	ppm	4	≤ 30
ACIDEZ	ASTM D974	mg KOH /gr aceite	0.01	< 0,10

En referencia a los resultados obtenidos en el ensayo anterior, correspondiente a las pruebas de número de neutralización, color, densidad relativa, cantidad de agua y apariencia, se encuentran dentro de los valores recomendados, esto significa que los parámetros de calidad del aceite aislante del transformador de potencia muestran condiciones adecuadas, que garantizan la operatividad del mismo.

CONCLUSIONES

- Se concluye que si fue posible la aplicación del Sistema de Termovacio al transformador de distribución ubicado en la oficina de la Sunat, sede Chucuito de 640kVA, mejorando los parámetros de calidad del dieléctrico, garantizando su operatividad.
- Se concluye que logró verificar que mediante el sistema de termovacio se logra optimizar los parámetros de calidad del aceite dieléctrico del transformador de distribución de la oficina de la Sunat, sede Chucuito de 640kVA.
- Finalmente se concluye que mediante el tratamiento de aceite dieléctrico a través del Sistema de Termovacio se logra garantizar la operatividad del transformador de distribución de la Oficina de la Sunat, sede Chucuito de 640kVA.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda aplicar este tratamiento a los transformadores de distribución de otras sedes de la SUNAT a fin de garantizar la operatividad de los mismos.

- Se recomienda realizar un análisis comparativo en cuanto a costos en relación a la regeneración de aceite dieléctrico por tierra fuller.

- Se recomienda realizar un análisis de los estados de operatividad de los transformadores de distribución de todas las sedes de la SUNAT a fin de identificar a que transformadores es necesario aplicarle esta propuesta de mejora.

BIBLIOGRAFÍA

1. **RIVERA. L.** (2016). Diagnóstico del estado de los transformadores de potencia de las centrales molino y mazar basado en análisis de aceite. (Tesis de Pre Grado). Universidad de Cuenca. Ecuador.
2. **GARCIA. E.** (2010). Diagnóstico y mantenimiento de Transformadores de Gran potencia en Aceite (Aplicado a un transformador de 160 MVA, 13,8 kV/138 kV de la central térmica trinitaria). Tesis de Pre Grado. Universidad Politécnica Salesiana, Guayaquil, Ecuador.
3. **SAGUAY. J.** (2011). Análisis de comportamiento de medios eléctricos ante las altas tensiones eléctricas. (Tesis de Pre Grado). Universidad de Cuenca. Ecuador.
4. **AVELINO. P.** (2010). Transformadores de Distribución. México: REVERTE
5. **E.E. STAFF – M.I.T** (2003). Circuitos magnéticos y transformadores. Barcelona, España: REVERTE
6. **REEVES. E.** (2013). Vademécum de Electricidad. Barcelona, España: REVERTE

BIBLIOGRAFÍA ELECTRÓNICA

1. Análisis Técnico y Económico de la recuperación de los aceites dieléctricos con tierra fuller y descodificación
<https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/3079/1/5596.pdf>
2. Mantenimiento de Transformadores de Potencia
<http://repositorio.uis.edu.co/jspui/bitstream/123456789/3082/2/116662.pdf>
3. Metodología de Gestión Ambiental para Aceite Dieléctrico de Transformador: “Análisis del Ciclo de Vida (ACV)”
<http://www.bdigital.unal.edu.co/12032/1/75083469.2014.pdf>
4. Pruebas Eléctricas de diagnóstico a los transformadores de Potencia
<http://159.90.80.55/tesis/000156855.pdf>

ANEXOS

RESULTADOS DE ANALISIS FISICO-QUIMICO DE TRANSFORMADORE													
SEDES: EN EL AMBITO NACIONAL.													
I T E M	SEDE	CARACTERISTICAS TECNICAS						INDICE DE ACIDEZ (mgKOH/gr)ASTM D974			RIG.DIELECTRICA (kv/2.5mm) ASTM D974		
		EQUIPO	MARCA	POTENCIA KVA	REL/TRANSF KV	N° SERIE	AÑO FAB.	≤0.05			≥40		
								2014	2015	2016	2014	2015	2016
14	PISCO SE SUPERFICIE	TR	HIGH POWER	250	10/0.46-0.23	0005	2007	0.01	0.03		45	35.5	
15	CHUCUITO	TR	ABB	640	10/0.23	L-17469	1992	0.01	0.01		45.4	24.9	
16	CHUCUITO 2 SE SOTANO	TR	DELCROSA	500	10/0.23	116731T1	1979	0.05	0.06		32.2	24.4	
		TR	DELCROSA	500	10/0.23	116731T2	1979		0.08			33.7	
17	TACNA SE SUPERFICIE	TR	ME	800	10/0.40	10133	2007	TIENE TRANSFORMADOR SECO, NO SE SACA MUE					
18	AREQUIPA SE SOTANO	TR	ABH	300	22.9/0.46- 0.23	363	2008	0.01	0.03		46.3	36.2	



Corte efectivo desde seccionador y revelado de tensión para iniciar labores de mantenimiento preventivo y correctivo.



Pintado de techo y pared con pintura vancelatex color blanco decorativo y blanco humo.



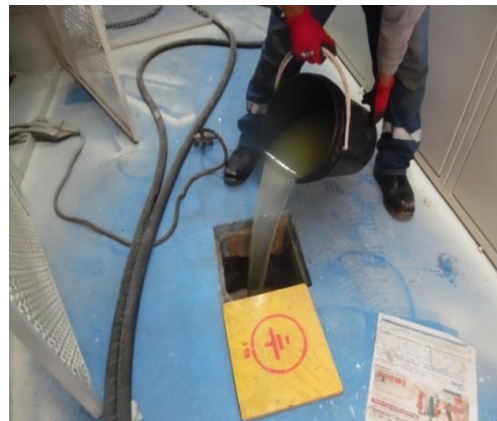
Mantenimiento de pozos a tierra de Media tensión y baja tensión de sede CHUCUITO 1



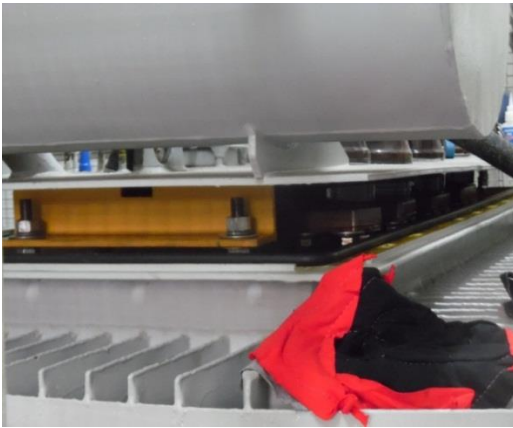
Megado de transformador de 640 KVA, con equipo Megometro de 15 KVi.



Pintado de transformador de 640 KVA, con color ral 7035 pintura Gloss.



Tratamiento de pozos a tierra con sales de thorgel y abundante agua.



Cambio de empaquetaduras de transformador antes de iniciar tratamiento termovacio.



Pintado de tableros de Baja tensión con pintura gloos ral 7032 de sub-estación CHUCUITO 1.



Limpieza de seccionador automático de sede CHUCUITO 1 con trapo industrial y solvente dieléctrico.



Limpieza de barras, aisladores y pintado de tren de barras de acuerdo al CNE.



Sub-estación terminada techo pared y tableros repintado según TDR



Finalmente pintado de piso con pintura epoxica color celeste. Trabajos concluidos.