

1994-11-23

**ELECTROTECNIA.
GUÍA PARA LA INSTALACIÓN DE
TRANSFORMADORES SUMERGIDOS EN ACEITE
(POTENCIA MAYOR DE 10 MVA, RANGO DE
TENSIÓN 69 kV - 287 kV)**



E: GUIDE FOR INSTALLATION OF OIL-INMERSED
TRANSFORMERS 10 MVA AND LARGER 69 kV - 287 kV
RATING

CORRESPONDENCIA: esta norma es equivalente (EQV) a la
ANSI/IEEE C57.12.11

DESCRIPTORES: transformador, transformador sumergido.

I.C.S.: 29.180.00

Editada por el Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC)
Apartado 14237 Santafé de Bogotá, D.C. - Tel. 6078888 - Fax 2221435

Prohibida su reproducción

PRÓLOGO

El Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación, **ICONTEC**, es el organismo nacional de normalización, según el Decreto 2269 de 1993.

El **ICONTEC** es una entidad de carácter privado, sin ánimo de lucro, cuya Misión es fundamental para brindar soporte y desarrollo al productor y protección al consumidor. Colabora con el sector gubernamental y apoya al sector privado del país, para lograr ventajas competitivas en los mercados interno y externo.

La representación de todos los sectores involucrados en el proceso de Normalización Técnica está garantizada por los Comités Técnicos y el período de Consulta Pública, este último caracterizado por la participación del público en general.

La GTC 9 fue ratificada por el Consejo Directivo el 94-11-23.

Esta norma está sujeta a ser actualizada permanentemente con el objeto de que responda en todo momento a las necesidades y exigencias actuales.

A continuación se relacionan las empresas que colaboraron en el estudio de esta norma a través de su participación en el Comité Técnico 383101 Transformadores eléctricos.

ASEA BROWN BOVERI LTDA.
ASOCIACIÓN COLOMBIANA POPULAR DE INDUSTRIALES
BOBITEC Y/O JULIO CESAR CUADROS SALAZAR
CÁMARA COLOMBIANA DE LA CONSTRUCCIÓN PRESIDENCIA COMERCIALIZACIÓN LTDA.
CONFECCIONES ELÉCTRICAS LTDA.
CONSULTORES REGIONALES ASOCIADOS CORPORACIÓN ELÉCTRICA DE LA COSTA ATLÁNTICA
ECOLSULTING LTDA.
ELÉCTRICOS CALI LTDA.
ELECTRIFICADORA DE CORDOBA S.A.
ELECTRIFICADORA DE SANTANDER S.A.
ELECTRIFICADORA DEL TOLIMA S.A.
ELECTRÓNICAS LASER LTDA.
ELECTROPORCELANA GAMMA S.A.
EMPRESA COLOMBIANA DE PETRÓLEOS S.A.
EMPRESA DE ACUEDUCTO Y ALCANTARILLADO DE BOGOTÁ
EMPRESA DE ENERGÍA DE BOGOTÁ
EMPRESAS PÚBLICAS DE MEDELLÍN
EMPRESAS MUNICIPALES DE CALI
ENERGEX LTDA.
ESPECIALIDADES ELÉCTRICAS PETROLERAS

F Y R INGENIEROS LTDA.
FBM LTDA.
HERRAJES DEL PACÍFICO LTDA.
INDUSTRIA COLOMBIANA DE ARTEFACTOS S.A.
INDUSTRIA ITALO COLOMBIANA DE CONDUCTORES ELÉCTRICOS LTDA.
INDUSTRIAS ELÉCTRICAS VOLTEX LTDA.
INDUSTRIAS ELKA LTDA.
INTERCONEXIÓN ELÉCTRICA S.A.
MOBIL DE COLOMBIA
PRODUCTOS ELETTRÓNICOS WESTON LTDA.
PROTECVOLT LTDA.
ROY ALPHA S.A.
RYMEL INGENIERÍA ELÉCTRICA LTDA.
SERVICIOS ELECTROINDUSTRIALES L.K.S. LTDA.
SERVICIOS TECNOELECTROINDUSTRIALES R.B.T BARRETO
SERVIELEC LTDA.
SHELL COLOMBIA S.A.
SIEMENS SOCIEDAD ANÓNIMA
SPECTRONIC LTDA.
TELSA TRANSFORMADORES LTDA.
TEXAS PETROLEUM COMPANY
TRANSFORMADORES C.D.M. LTDA.

TRANSFORMADORES SIERRA LTDA.
UNILENH LTDA.
UNIVERSIDAD DE ANTIOQUIA
UNIVERSIDAD DEL VALLE
UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA

El **ICONTEC** cuenta con un Centro de Información que pone a disposición de los interesados normas internacionales, regionales y nacionales.

DIRECCIÓN DE NORMALIZACIÓN

ELECTROTÉCNIA.**GUÍA PARA LA INSTALACIÓN DE TRANSFORMADORES
SUMERGIDOS EN ACEITE (POTENCIA MAYOR DE 10 MVA,
RANGO DE TENSIÓN 69 kV - 287 kV)****1. ALCANCE E INTRODUCCIÓN**

Las recomendaciones presentadas en esta guía están dirigidas para ser aplicadas principalmente en los transformadores de gran potencia, nuevos, del tipo sumergido en aceite y con devanados de alta tensión de 69 kV a 287 kV inclusive. Sin embargo, algunos numerales específicos de esta guía pueden ser aplicados en transformadores con tensión más baja cuando existan condiciones similares y cuando sean de construcción similar, y también puedan ser usados en transformadores antiguos que se encuentren en servicio, que han sido abiertos para trabajos de mantenimiento o reparación.

El incremento de la aplicación de transformadores de gran potencia y alta tensión con aislamiento reducido ha generado paralelamente la necesidad de incrementar los cuidados durante su instalación y servicio. Para mantener la rigidez dieléctrica del aislamiento es esencial evitar el ingreso de humedad y así mismo, que quede atrapado aire o burbujas de gases en su interior. Debido a que el aceite es una parte esencial de la estructura del aislamiento eléctrico de un transformador, la calidad y su cuidado en el manejo son extremadamente importantes.

Los transformadores de gran potencia despachados son usualmente embarcados sin aceite con objeto de reducir su peso. El tanque se llena con gas seco (generalmente nitrógeno bajo presión) para prevenir la entrada de humedad durante su transporte. El usuario debe cumplir con las recomendaciones mínimas dadas por el fabricante del transformador.

Nota. En algunos casos, cuando se reciben transformadores, estos se encuentran llenos de aceite en cuyo caso puede desatenderse las instrucciones contempladas en esta norma, relativas al llenado inicial con aceite. No será necesario drenar el aceite contenido en el transformador excepto cuando sea necesario realizar una inspección y reparación o cuando el llenado original realizado por el fabricante no haya sido hecho por el método de vacío.

Para evitar la exposición del aislamiento a la humedad en el sitio de instalación se deberán adoptar todas las precauciones posibles. Estas deberán servir de ayuda al usuario para poner en servicio un transformador nuevo al menos en una condición tan buena como cuando sale de fábrica. Antes de iniciar la instalación del transformador, deberá desarrollarse un procedimiento detallado para el manejo, la inspección, el ensamble, el tratamiento en vacío y los ensayos del transformador, y todos los aspectos contemplados deberán ser acordados entre las partes interesadas.

Para asegurar una vida útil larga, se recomienda que todos los transformadores de esta clase sean llenados con un aceite aislante de alta calidad, bajo un vacío tan alto como lo permitan las condiciones, pero no menor que el valor especificado por el fabricante.

2. INSPECCIÓN DE RECEPCIÓN

Cuando el transformador es recibido, se debe realizar una inspección externa completa antes que éste sea retirado del vehículo que la transportó. Se deberá chequear la presión del gas dentro del tanque y en los cilindros de alimentación, en caso de que estos hayan sido instalados. Si la presión del gas dentro del transformador es positiva, por encima de cero, puede asumirse que el sello del tanque aún es efectivo. Si la presión es cero o negativa, existe la posibilidad de que haya ingresado humedad dentro del tanque y por tanto deberá notificarse al fabricante. Si se dispone de los instrumentos necesarios, se deberá verificar el contenido de oxígeno y el punto de rocío del gas dentro del tanque. Si el contenido de oxígeno es menor del 1 % y el punto de rocío indica una humedad relativa menor del 1 %, puede asumirse con seguridad que el transformador no ha sido contaminado con aire o humedad durante su transporte. Si el contenido de oxígeno y el punto de rocío son superiores a estos valores, puede ser necesario el secamiento de los devanados y el fabricante deberá ser notificado.

Si hay evidencia de un daño o de un manejo rudo durante el transporte del transformador, se debe requerir la presencia de un inspector representante del transportador y notificar del hecho al fabricante. Para aquellos transformadores equipados con registradores de impacto, deberán estar presentes los representantes del fabricante, del comprador y del transportador en el momento de examinar las cartas o registros. Si se sospecha de un daño, adicionalmente se deberá realizar una inspección interna del transformador.

Debido a la ocurrencia de algunos casos de daños internos sin tener evidencia de daños externos, puede ser conveniente hacer una inspección interna del transformador antes de ser descargado. Algunos usuarios prefieren en todos los casos hacer la inspección interna antes del descargue.

Si el transportador no permite realizar la inspección interna del transformador sobre el vehículo, se deberá dejar una nota en el formato de aceptación indicando que existen "posibles daños internos u ocultos". Cuando el transformador vaya a ser retirado del vehículo y llevado al sitio de instalación o a alguna otra localización conveniente donde pueda realizarse la inspección interna, se deberá proceder de acuerdo con lo indicado en el numeral 3. Se deberá solicitar que un representante del transportador esté presente durante la inspección.

3. INSPECCIÓN INTERNA

3.1 CONDICIONES ATMOSFÉRICAS

La humedad puede condensarse sobre cualquier superficie que se encuentre más fría que el aire que la rodea. La humedad presente en el aislamiento o el aceite, disminuye la rigidez dieléctrica y puede causar una falla del transformador. El transformador no deberá ser abierto bajo circunstancias que permita la entrada de humedad, como ocurre en días de alta humedad relativa. Si el transformador es llevado a una localización más caliente que el propio transformador, el transformador deberá permanecer sin destapar hasta que los signos de condensación externa hayan desaparecido.

3.2 LLENADO CON ACEITE ANTES DE ABRIR EL TANQUE

Antes de abrir el tanque del transformador, este deberá ser llenado con aceite limpio y seco, hasta cubrir las bobinas y el aislamiento. Algunos usuarios prefieren llenar con aceite a una temperatura aproximadamente de 30 °C (90 °F) para calentar el núcleo y las bobinas, minimizando así la posibilidad de condensación de humedad dentro del transformador. Todo el aceite deberá ser filtrado y ensayado antes de ser bombeado por la parte inferior del tanque dentro del transformador, de acuerdo con lo indicado en el numeral 7.1. Cuando el aceite ingrese al transformador se deberá ventilar a la atmósfera todo espacio superior del tanque donde puede haber gas acumulado, y por medio de un manómetro se debe controlar que se mantenga una ligera presión positiva en el espacio del gas hasta que el nivel del aceite esté por encima de los devanados. Debido a que este aceite fue introducido sin vacío y por lo tanto no fue desgasificado, se debe tener la precaución de removerlo antes del tratamiento final con vacío y que el llenado posteriormente con aceite esté conforme con lo indicado en los numerales 6 y 7.

3.3 MÉTODO ALTERNO DE LLENADO CON ACEITE ANTES DE ABRIR EL TANQUE

Algunos fabricantes especifican que el llenado inicial con aceite deberá realizarse por el método de vacío indicado en los capítulos 6 y 7, asumiendo que el transformador se encuentra en condiciones adecuadas cuando es recibido. Si después de realizada la inspección interna, no se indica la necesidad de retirar la totalidad del aceite, después del montaje, el aceite retirado o restante puede ser adicionado por el método de vacío; o alternativamente y debido a que el aceite pudo haber absorbido una cantidad de gas durante este período, puede ser conveniente retirar todo el aceite y llenar posteriormente por el proceso de vacío.

3.4 CONSIDERACIONES ESPECIALES PARA DIFERENTES TIPOS DE TANQUES

Si el transformador es del tipo de construcción de tanque seccionado y éste ha sido despachado (embarcado) con la parte superior del tanque removida, será necesario retirar temporalmente las tapas, en ambas secciones del tanque antes de poder unir las dos partes. A causa de los diferentes tipos de construcción interna del transformador y de las diferentes formas usadas para unir las dos secciones de los tanques, será necesario seguir detalladamente las instrucciones suministradas por el fabricante del transformador para poder realizar esta operación.

3.5 INSPECCIÓN

Si el transformador fue despachado en su tanque definitivo, el acceso para la inspección interna y el montaje se realiza a través del agujero de inspección.

Precaución: después de removerse la cubierta del agujero de inspección, no deberá entrar en los transformadores hasta tanto el nitrógeno u otro gas contenido sea completamente evacuado con aire, y se esté seguro de que el contenido de oxígeno sea del 19,5 % al menos. Este reemplazo del gas con aire seco es necesario para proporcionar el oxígeno suficiente para sostener la vida humana.

Para evitar el daño que pueda ocasionar cualquier objeto extraño que caiga dentro del transformador, todos los trabajadores que se encuentren encima del transformador cuando el tanque este abierto deberán vaciar completamente todos sus bolsillos de los objetos que se puedan perder y todas las herramientas que sean utilizadas deberán ser amarradas con cintas de algodón o cuerdas limpias y aseguradas firmemente por el otro extremo, al lado externo del

tanque del transformador o a algún punto fácilmente accesible dentro del tanque. Se deberá evitar portar herramientas con partes que pueden llegar a desprenderse o separarse. Si cualquier objeto cae dentro del transformador y no puede ser recuperado, se deberá notificar al fabricante.

Mientras se realiza la inspección interna, se deberá poner particular atención a la condición de los conductores, a la operación desenergizada del cambio en las derivaciones, a las conexiones, al aislamiento, a los bloques de madera, al núcleo, a los transformadores de corriente internos y a cualquier superestructura que pueda formar parte del ensamble interno del transformador. En caso de existir soportes temporales utilizados para el despacho, éstos deberán ser retirados. Los soportes menores no siempre están cobijados específicamente en las instrucciones de los fabricantes, sin embargo, deberán ser siempre consultadas cuidadosamente para detectar tales informaciones. Si cualquier daño interno se detecta durante esta inspección y posiblemente fue causado por un manejo rudo durante su transporte, se deberá notificar al transportador y al fabricante. Igualmente el fabricante deberá ser notificado en caso de descubrir la existencia de cualquier material extraño.

4. MANEJO

4.1 TRANSFORMADOR COMPLETO

El transformador siempre deberá ser manejado en su posición normal vertical a menos que cualquier otra información proveniente del fabricante indique que puede ser manejado en otra posición. Donde un transformador no pueda ser manejado por una grúa o movido sobre rieles, éste puede ser deslizado o movido sobre rodillos o platinas deslizantes, dependiendo de la compatibilidad del diseño de la base del transformador y del tipo de superficie sobre la cual va a ser movido. Los transformadores construidos de acuerdo con las normas comunes tienen bases diseñadas para rodar en dos direcciones.

4.2 LEVANTAMIENTO CON ESLINGAS

Para el levantamiento del transformador completo normalmente se proveen orejas y ojos de levantamiento y también medios adicionales para levantar las diferentes partes de su ensamble.

Las orejas y los ojos de levantamiento son diseñados solamente para el levantamiento vertical. Cuando se requiera levantar el transformador completo o una pieza pesada, el cable deberá ser el adecuado para proporcionar un empuje vertical a cada oreja. Como una precaución adicional para prevenir que las paredes del tanque se arqueen se deberá estar seguro que la tapa o cubierta del tanque sea puesta rápidamente en su lugar. Los cables de levantamiento por utilizar deberán ser de longitud apropiada para que el transformador pueda ser levantado completamente nivelado. Las orejas de levantamiento en la mayoría de los transformadores son diseñadas para levantar los transformadores completamente ensamblados y llenos con aceite. El peso total aproximado de los transformadores está dado en la placa de características y en los planos esquemáticos.

4.3 LEVANTAMIENTO CON GATOS

Todos los transformadores de esta clase son provistos con cajas o sillines que permitan el levantamiento por medio de gatos mecánicos. En algunos transformadores, los gatos mecánicos deberán ser colocados debajo de la platina inferior del transformador en los puntos designados por el fabricante. Se deberá consultar los planos o el manual de instrucciones del fabricante.

5. ENSAMBLE DE LOS ACCESORIOS

5.1 GENERALIDADES

Después que haya sido completada la inspección interna del transformador, se deberán instalar los bujes aisladores y los radiadores o las unidades de enfriamiento. Los radiadores, los enfriadores y los bujes aisladores pueden ser manejados de acuerdo con las instrucciones del fabricante del equipo, pero en general deben ser levantados en posición vertical durante su manejo e instalación. Muchos tipos y formas diferentes de empaques pueden ser usados para el montaje de los componentes para los cuales usualmente el fabricante proporciona instrucciones específicas.

5.2 BUJES AISLADORES

Los bujes aisladores en el momento de ser instalados deberán estar absolutamente limpios y secos. Los empaques y los nichos receptores de los empaques se deberán limpiar cuidadosamente. Los empaques se deberán colocar cuidadosamente y presionar uniformemente hasta lograr el ajuste exacto de los sellos. Las conexiones de los elementos conductores de corriente en los bujes se deberán limpiar concienzudamente y atornillar sólidamente, excepto cuando se utilicen arandelas de presión tipo Belville, las cuales no deben ser presionadas más de la mitad de su espesor. Las instrucciones para el manejo de los bujes de alta tensión debe ser incluida con el embalaje del buje. Las cargas mecánicas en los extremos de los bujes no deben exceder los límites de diseño.

5.3 INTERCAMBIADORES DE CALOR Y TUBERÍAS

Los radiadores o intercambiadores de calor, las tuberías de aceite, las válvulas y los herrajes se deben limpiar concienzudamente y enjuagados con aceite limpio, a una temperatura de 25 °C a 35 °C (80 °F - 100 °F) antes de ser fijados al transformador, a menos que esto no sea requerido por el fabricante. Al momento de su instalación, se deberá tener la seguridad que todos los empaques estén colocados apropiadamente en sus asientos.

Donde sea necesario montar un empaque en un plano vertical, puede requerirse el uso de pegante o cemento cuyo fin es mantener el empaque en su lugar durante la instalación. Los radiadores o los intercambiadores de calor usualmente pueden soportar el vacío absoluto. En caso contrario éstos deben ser retirados hasta después de la operación de llenado con aceite bajo vacío. Si está prevista la instalación de intercambiadores de calor aceite-agua, se recomienda drenar y ventilar previamente a la atmósfera, el conducto del agua antes de iniciar el vacío sobre el tanque del transformador. El ensayo de presión del conducto de aceite en los intercambiadores de calor se debe realizar con aceite filtrado.

5.4 OTROS ACCESORIOS

El cambiador de derivaciones desenergizado, el indicador de nivel de aceite, los medidores de temperatura y otros accesorios deberán ser ensamblados de acuerdo con las instrucciones del fabricante. Se debe verificar la operación del cambiador de derivaciones hasta estar seguro que opera apropiadamente en ambas direcciones, que se obtiene un contacto pleno en todas las derivaciones y que es ejercida una presión adecuada sobre todos los contactos. Así mismo, se debe verificar la operación del indicador de nivel.

6. TRATAMIENTO CON VACÍO

6.1 PREPARACIÓN

Se debe retirar provisionalmente el diafragma de liberación de presión o protegerlo de posible daño hasta después del llenado final con vacío, a menos que las instrucciones del fabricante indiquen que el diafragma puede soportar un vacío completo. Si los tanques para expansión de aceites separados, o equipo de gas inerte, u otros aparatos instalados, no pueden soportar un vacío completo, éstos deberán ser aislados del tanque principal antes de iniciar el vacío. Cuando en algunos transformadores existan barreras entre el tanque principal y otros compartimientos que no puedan soportar un vacío completo en un lado y presión atmosférica sobre el otro lado, se deberá establecer sobre el otro lado, un vacío parcial de tal forma que la diferencia de presión no dañe dicha barrera.

Después que todas las partes hayan sido ensambladas, el tanque debe ser sellado y ensayado con presión para asegurar que todas las uniones están ajustadas. Algunos fabricantes recomiendan realizar también un ensayo de vacío, especificando que el aumento de presión con el tanque sellado no exceda de 25 mm Hg (3 330 Pa) en 30 min. Ya sea con el ensayo de presión o con el de vacío es importante verificar las condiciones de presión diferencial permisible en los paneles del cambiador de derivaciones bajo carga, ya que estos pueden no ser capaces de soportar cualquier diferencia de presión. Se deben verificar posibles escapes en todas las uniones con empaques, con una solución líquida-jabonosa u otro tipo de detector de escapes adecuado. El tanque debe mantener una presión del gas por lo menos 4 h sin escapes. Todos los escapes deben ser eliminados antes de arrancar el llenado con vacío.

Notas:

- 1) Cualquier escape de aire dentro del tanque del transformador puede contaminar seriamente el aislamiento del transformador, mientras se está realizando el vacío dentro del mismo. El aire, cuando es arrastrado dentro de un vacío, se expande y baja su temperatura, liberando consecuentemente humedad. Si el núcleo y las bobinas están frías, la humedad conducida por el aire se condensará en estas partes y será absorbida dentro del aislamiento del papel. Para evitar este peligro, todos los escapes deben ser eliminados antes de iniciar el proceso de vacío, y el núcleo y las bobinas deberán calentarse llenando con aceite caliente el tanque, antes de iniciar el montaje del transformador.
- 2) Para ayudar al personal de campo que usa equipo de vacío, se incluye la Tabla 1 donde se establecen las conversiones de las diferentes unidades de vacío.

**Tabla 1. Conversión vacío - presión
basada en una presión atmosférica de 29,92 pulgadas de Hg a 15,6°C (60°F)**

Vacío			Presión absoluta		
Libras/pulg ada ²	Pulgadas de Hg	mm Hg	Pulgadas de Hg	mm Hg	Pa
0	0	0	29,92	760	101 323
4,9	10	254	19,92	506	67 460
9,8	20	508	9,92	252	33 597
14,2	29	736,6	0,92	23,4	3 120
14,46	29,526	750	0,394	10,0	1 333
14,63	29,88	759	0,0394	1,0	133
14,65	29,918	759,9	0,00197	0,05	7
		5			

Después de asegurarse que todos los escapes han sido corregidos, se debe drenar el aceite y proceder con el tratamiento de vacío. El aceite puede ser drenado tan rápido como se desee, pero una evacuación rápida puede crear un vacío parcial dentro del tanque. La válvula de drenaje debe ser cerrada inmediatamente después de que el tanque esté vacío para prevenir la entrada de aire procedente de la conexión de drenaje. Se recomienda que el aceite sea reemplazado por nitrógeno seco durante el proceso de drenaje ya que retardos imprevistos pueden ocurrir antes de aplicar el tratamiento de vacío. Se debe tener disponible una cantidad suficiente de cilindros con nitrógeno para llenar el tanque del transformador. Después que la válvula de drenaje sea cerrada, se debe continuar ingresando nitrógeno hasta que el manómetro existente en el tanque indique una presión positiva.

6.2 TRATAMIENTO CON VACÍO

Asumiendo que el transformador llegó al sitio en estado seco y que no ha sido expuesto indebidamente a la humedad durante su montaje, la principal función del tratamiento con vacío será remover el aire atrapado en el aislamiento y permitir que éste logre su rigidez dieléctrica total. Las pequeñas burbujas de gas tiene una rigidez dieléctrica más baja que el aceite y pueden conducir a una falla, si están localizadas en un punto de alto esfuerzo eléctrico. Removiendo la mayor parte del gas dentro del transformador y el aceite por medio del llenado en vacío, se reduce el peligro de que las pequeñas burbujas libres del gas no disueltas permanezcan dentro de los devanados y del aislamiento.

El grado de vacío requerido para que sea efectivo depende del diseño de los devanados y del aislamiento y deberán determinarse por consulta entre el fabricante y el comprador antes de iniciar el montaje. En general, un tratamiento con vacío a una presión absoluta de 25 mm Hg (3 330 Pa) puede ser suficiente para transformadores con tensiones nominales inferiores a 345 kV. Para transformadores de alta tensión, puede requerirse un tratamiento con vacío a presiones absolutas más bajas que 1 mm Hg (133 Pa). Un beneficio adicional obtenido del tratamiento con alto vacío es que la humedad introducida dentro del aislamiento del transformador durante el montaje puede ser removida antes que el transformador sea puesto en servicio.

Una bomba de vacío recomendada es aquella que sea capaz de evacuar el tanque al grado requerido de vacío en un tiempo aproximado de 2 h a 3 h. Esta se debe conectar a una válvula apropiada para vacío instalada en la parte superior del transformador por medio de una tubería o manguera reforzada, de un tamaño suficiente para minimizar las pérdidas en la línea. Si no se ha previsto una válvula para este propósito, puede fabricarse entonces una placa adaptadora a la salida del dispositivo de alivio de presión, con una conexión adecuada para tubería. Con el objeto de obtener una buena precisión en el valor de vacío, la localización de los instrumentos de presión o manómetros no deberá ser la misma que se usa para la bomba de vacío. Se deben verificar posibles escapes en todas las uniones de las tuberías de vacío aplicando un empuje de alto vacío o por medio del ensayo de presión antes de conectarlas al transformador. Se deben cerrar todas las válvulas de aceite y de nitrógeno y arrancar la bomba de vacío y continuar bombeando hasta que la presión dentro del tanque llegue a ser constante. Luego se debe parar la bomba de vacío y verificar escapes dentro del tanque o en las tuberías. Si todas las uniones están apretadas, no deberá existir un incremento apreciable en la presión residual en un período de 30 min, como se sugiere en el numeral 6.1.

7. LLENADO CON ACEITE

7.1 VERIFICACIÓN DEL ACEITE

Si el aceite es suministrado en tambores, se debe verificar la rigidez dieléctrica del aceite mientras esté contenido aún en los mismos. Si hay presencia de agua libre, ésta se debe drenar antes de pasar el aceite a través del filtro prensa. Si hay presencia excesiva de agua libre, puede ser necesario usar una centrifugadora en lugar del filtro prensa. Se debe continuar pasando el aceite a través del filtro prensa hasta que la rigidez dieléctrica prescrita sea cumplida. Cuando el ensayo de rigidez dieléctrica se realiza de acuerdo con las recomendaciones de la norma ANSI/ASTM D877-79, (NTC 2975) Método de ensayo de la Tensión de Rigidez Dieléctrica de los Líquidos Aislantes usando los electrodos de disco, se debe obtener un valor mínimo de 30 kV.

Nota. La norma ANSI/IEEE C57.106-1977, Guía para la aceptación y el mantenimiento del aceite aislante en equipos, es recomendada como una guía para la verificación de los aceites.

Es conocido que la capacidad del filtro prensa para remover el agua, del aceite, depende de un buen secado de los papeles del filtro. Los papeles del filtro se deberán secar en hornos inmediatamente antes de ser instalados dentro del filtro prensa.

Si están disponibles en el sitio, las facilidades para el almacenamiento del aceite, se debe proceder a secar y almacenar, en un tanque de almacenamiento limpio, una cantidad suficiente del aceite nuevo para el llenado total del transformador. Si no hay facilidades para el almacenamiento del aceite, se debe continuar la circulación de éste a través del filtro prensa hasta que sea obtenida de manera consistente la rigidez dieléctrica indicada. Se deberá tomar una muestra del aceite antes del llenado y reservar para futuras verificaciones, tales como, el factor de potencia, etc.

Precaución: El aceite, puede adquirir una carga electrostática al pasar a través de los papeles del filtro, la cual será transferida a los devanados cuando se llene el transformador. Bajo algunas condiciones, la tensión electrostática en los devanados puede ser peligrosa para el personal o para el equipo.

Para evitar esta posibilidad, todos los terminales externos accesibles del transformador, tanto como el tanque y el equipo de tratamiento de aceite, deben ser puestos a tierra durante el llenado.

7.2 LLENADO CON VACÍO

Después de obtenerse el vacío requerido y mantenerlo por 4 h o más, dependiendo de las instrucciones del fabricante, se podrá comenzar el llenado (las conexiones de entrada del aceite y del vacío deben estar separadas lo más que se pueda, para evitar que el rocío del aceite que está entrando llegue a la bomba de vacío). La línea de salida del aceite del filtro prensa debe ser conectada a una válvula u a otra conexión adecuada instalada en la parte superior del tanque. La cantidad de aceite filtrado que está ingresando al transformador es regulada por medio de la válvula en el tanque para mantener en todo momento una presión externa positiva del aceite entrando al tanque, y para mantener el vacío cerca a su valor original (la velocidad de llenado no debe exceder de 1,25 cm/min (1/2 pulgada/min)). Las burbujas de gases o el agua contenido en el aceite se expandirán en proporción al vacío obtenido y luego serán drenadas al exterior por medio de la bomba de vacío. El vacío debe ser mantenido por 3 h - 4 h después que el tanque

del transformador esté lleno. (**Precaución:** No se debe permitir que el aceite del transformador entre en la bomba de vacío).

Cuando se haya completado el llenado con vacío, este se debe romper por medio de la admisión de nitrógeno seco. Luego el transformador debe ser dejado en reposo por lo menos 12 h antes de su energización, con objeto de absorber los gases residuales e impregnar adecuadamente el aislamiento. Si el transformador es de otro tipo diferente al sellado con nitrógeno, se debe completar el llenado de acuerdo con las instrucciones del fabricante.

8. ENSAYOS

Después que el transformador ha sido ensamblado y llenado con aceite, se deberán realizar ensayos para asegurar que esté listo para su puesta en servicio, y proporcionar una base de comparación con los futuros ensayos de mantenimiento. Se sugieren los siguientes ensayos. Todos o una porción de estos ensayos pueden ser hechos, dependiendo del equipo disponible y de la importancia particular del transformador.

- 1) Ensayo de resistencia del aislamiento de cada devanado a tierra y entre devanados.
- 2) Ensayo de factor de potencia en cada uno de los devanados a tierra y entre los devanados de acuerdo con lo indicado en la sección 7 de la norma ANSI/IEEE C57.12.90-1993, Código de Ensayos Normalizados IEEE para Transformadores de Distribución, Potencia y Regulación Sumergidos en Líquidos y la Guía de Ensayos de Cortocircuito para Transformadores de Distribución y Potencia.
- 3) Ensayo del factor de potencia en todos los bujes aisladores equipados con derivación para ensayo o derivación capacitiva.
- 4) Ensayo de relación de devanados en cada una de las derivaciones. Si es un transformador con cambiador de derivaciones bajo carga, se debe realizar la verificación de la relación de los devanados para todas las posiciones del cambiador.
- 5) Verificación de la resistencia del devanado a todos los devanados con un puente Kelvin y comparación con los resultados de los ensayos de fábrica.

Nota. Bajo ciertas condiciones también se puede utilizar el método del puente de Wheatstone o el Voltiamperímetro.

- 6) Verificación de la operación de los indicadores de temperatura del aceite y del punto caliente y los aparatos de control.
- 7) Verificación de la rigidez dieléctrica, el factor de potencia, la tensión interfacial y el número de neutralización del aceite.
- 8) Verificación del contenido de oxígeno y el contenido total de gases combustibles en el colchón de nitrógeno.

También se deberá realizar un ensayo del contenido total de gases combustibles tan pronto como el transformador entre en servicio, a la temperatura de operación, para proporcionar una referencia adecuada para posteriores ensayos.

- 9) Verificación de la operación del equipo auxiliar como son las bombas de circulación del aceite, o los medidores del aceite o del flujo de agua de acuerdo con las instrucciones del fabricante.

9. SECADO EN CAMPO

En el caso de que la inspección interna revele signos de humedad en el transformador o si el sello de gas en el tanque fue dañado durante su transporte, puede ser necesario el secado en el campo. Si es posible, se debe determinar la humedad residual y la manera en la cual entra al tanque. El fabricante del transformador debe ser consultado acerca de las recomendaciones concernientes a las verificaciones adicionales y a los pasos para el secamiento del transformador. La mayoría de los transformadores de potencia modernos son secados en la fábrica a un contenido de humedad residual de menos de 0,5% del peso del aislamiento del papel. El secado en campo se debe lograr en lo posible un valor comparable de contenido de humedad residual. Si se determina que el secado es necesario, uno o varios de los siguientes métodos se pueden usar dependiendo de las facilidades disponibles. Un valor bajo de humedad residual puede ser obtenido más rápidamente por el uso del método 2. El método 3 es igualmente efectivo pero requiere de un tiempo más largo y un mejor equipo de vacío. El método 1 es muy lento y no es tan efectivo con los métodos de vacío. El método 4 no es tan efectivo como el método de vacío. Otros métodos o combinación de estos métodos pueden ser usados donde las facilidades estén disponibles.

9.1 MÉTODO 1. CIRCULACIÓN DE ACEITE CALIENTE

Este método requiere el uso de un filtro de aceite adecuado, ya sea del tipo secador a vacío o un filtro prensa, más un calentador que permita que el aceite alcance una temperatura de aproximadamente 85 °C, para ser luego circulado en el tanque del transformador hasta que se haya obtenido una indicación positiva de secado de los devanados. El transformador se debe llenar con aceite hasta cubrir el núcleo y los devanados y se hará circular a través de las válvulas para filtrado y drenaje o a través de las válvulas superior e inferior del radiador. En lo posible, para reducir las pérdidas de calor debidas a la radiación, se debe evitar que el aceite circule a través de los refrigeradores y abrigar las partes externas del tanque del transformador para reducir al mínimo el tiempo de secado y la cantidad de calor requerido para mantener constante la temperatura del aceite.

Con este método la humedad es removida a través del filtro de aceite. Si se usa un filtro prensa, la velocidad de extracción de agua dependerá del grado de saturación de los papeles de filtro. Los papeles de filtro deben estar extremadamente secos y deben ser cambiados frecuentemente para que este método sea efectivo. Si el filtro de aceite usado es del tipo secador a vacío, la velocidad de extracción de agua dependerá del mantenimiento de vacío en el filtro y de la velocidad de transferencia del agua desde el aislamiento del papel al aceite. Esta velocidad de transferencia de humedad se incrementa con la temperatura, por lo que es deseable operar a la temperatura más alta a la cual no cause el deterioro del aceite. La velocidad de secado puede ser incrementada por la aplicación del vacío sobre la superficie del aceite.

9.2 MÉTODO 2. DEVANADOS PUESTOS EN CORTOCIRCUITO Y VACÍO

Este método requiere de una fuente de potencia para calentar el transformador por medio de la circulación de corriente a través de los devanados y una bomba de vacío adecuada para extraer la humedad de los aislamientos. También se requiere una trampa de condensación refrigerada en la línea del vacío, para recolectar el agua.

El transformador deberá llenarse con aceite hasta su nivel normal. Se deben abrigar las salidas externas del tanque del transformador para reducir a un mínimo el calentamiento requerido y conectar la bomba de vacío a una válvula adecuada en la parte superior del tanque.

Se debe ejercer un cuidado especial para evitar que la temperatura en los devanados y en el aislamiento llegue a valores peligrosos. La temperatura en los devanados no deberá exceder los 95 °C y en el aceite, los 85 °C. Deberán realizarse medidas frecuentes de la resistencia de los devanados y de la temperatura del aceite.

La alimentación de potencia puede ser conectada a cualquier devanado, con los otros devanados puestos en cortocircuito. Los secundarios de cualquier transformador de corriente dentro del tanque, también se deberán poner en cortocircuito. Todas las derivaciones de la bobina deben ser conectadas en los devanados. Para transformadores con refrigeración forzada con aceite, las bombas de aceite deberán estar operando mientras el transformador esté siendo calentado, pero los medios de refrigeración, ya sea el aire o el agua, deben ser desconectados. Las corrientes de cortocircuito usadas para calentar el transformador pueden elevarse hasta el valor de la corriente nominal con circulación forzada de aceite.

Los transformadores autorrefrigerados, pueden elevar su corriente de cortocircuito hasta la corriente nominal mientras el transformador este frío y luego reducir su valor hasta cuando la temperatura en el transformador se aproxime a la temperatura nominal. La tensión requerida para circular esta corriente dependerá de la impedancia del transformador.

Después de que se hayan logrado las temperaturas deseadas en el devanado y en el aceite, se debe desconectar el suministro de potencia y drenar el aceite del transformador. Cuando el aceite ha sido drenado del tanque, se deben cerrar las válvulas y arrancar la bomba de vacío. Se continúa el vacío en el transformador hasta que la extracción de agua se detenga.

Este procedimiento puede ser repetido cuantas veces sea necesario hasta obtener el grado de secamiento deseado. El contenido de agua mínimo en el aislamiento puede ser estimado de la gráfica dada en la Figura 1, para cualquier temperatura y condiciones de vacío dadas. El valor leído debe ser multiplicado por 1,7 para el aislamiento del papel Kraft. La extracción de agua desde el aislamiento se suspende cuando la presión de vapor de agua en el aislamiento se equilibra con la presión parcial del vapor de agua en el tanque a la misma temperatura y presión.

9.3 MÉTODO 3. USANDO ALTO VACÍO

Este método requiere el uso de una bomba de vacío adecuada, capaz de lograr una disminución de presión absoluta hasta un valor de 0,05 mm Hg (6,67 Pa) o menor, y una trampa de vapor refrigerado para recolectar el agua. Este método no requiere de un calentamiento adicional si se utiliza una bomba de vacío adecuada.

Se debe drenar el aceite del transformador, llenando el tanque con nitrógeno seco a medida que el aceite sea retirado. Se retiran los intercambiadores de calor y otras conexiones de tuberías externas y se sellan estas aperturas, preferiblemente con bridas; luego se debe conectar la trampa de vapor y la bomba de vacío al tanque por medio de una tubería de conexión adecuada. Para minimizar las pérdidas en la línea y elevar la velocidad de secado, la trampa de vapor debe

ser instalada tan cerca como sea posible al tanque del transformador (una pequeña cantidad de agua se expande en un gran volumen de vapor a bajas presiones, en consecuencia cuando se instala una trampa de vapor para remover el agua adelante de la bomba de vacío su capacidad se incrementa). Se debe sellar el tanque y realizar los ensayos de presión para verificar posibles escapes. Después de asegurarse que todos los escapes hayan sido eliminados, se debe arrancar la bomba de vacío. La extracción de agua de los aislamientos comenzará cuando la presión del vapor residual dentro del tanque sea reducida más abajo que la presión del vapor de agua dentro del aislamiento. Si hay escapes presentes en el tanque, esta presión no puede ser obtenida, y por consiguiente, es imperativo que todos los escapes sean eliminados. Después que la presión residual dentro del transformador haya llegado al punto donde el agua esté siendo extraída, el contenido de agua residual en el aislamiento puede ser estimada en la Figura 1 para la temperatura y la presión prevalecientes en el devanado. El valor leído debe ser multiplicado por 1,7 para el aislamiento del papel Kraft. El secado puede continuar tanto como la humedad que está siendo extraída o puede darse por terminado cuando el contenido de humedad residual del aislamiento haya sido reducido al nivel deseado.

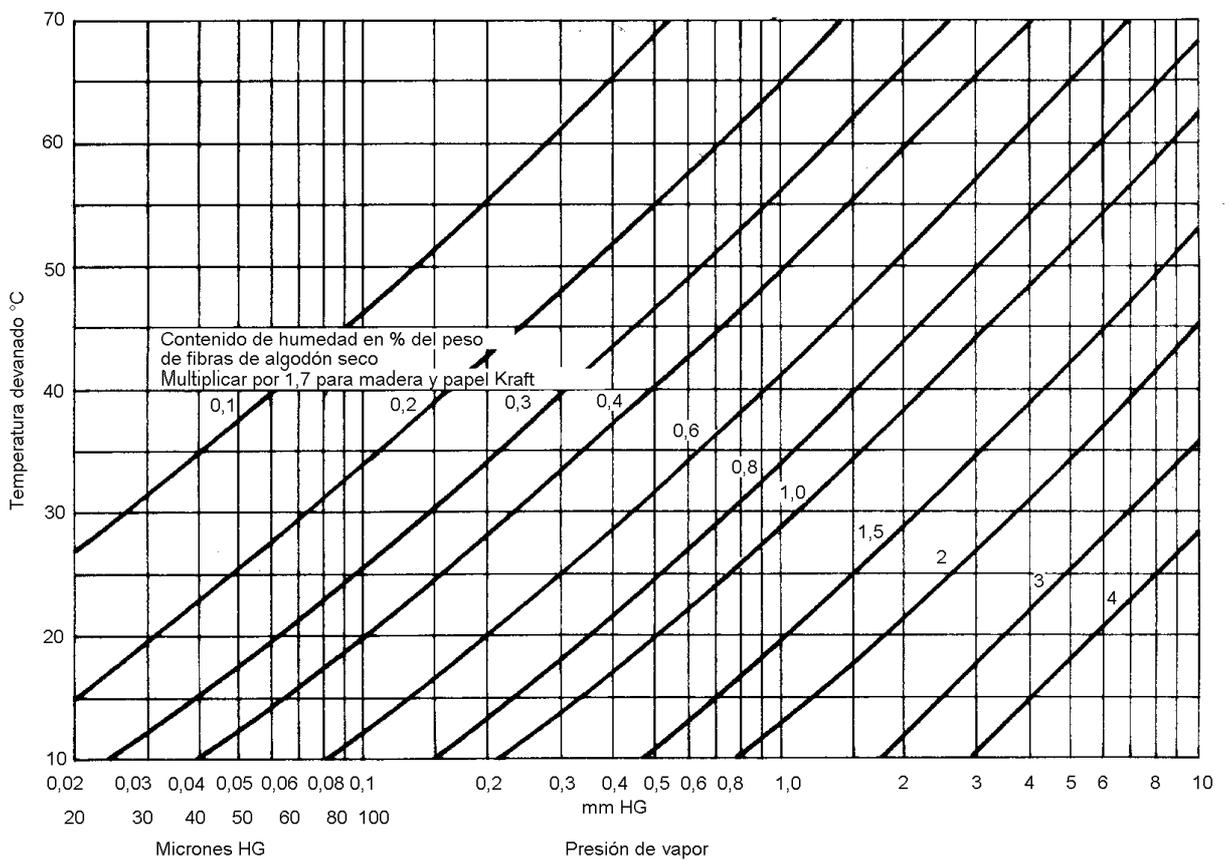


Figura 1. Equilibrio de humedad

9.4 MÉTODO 4. USANDO AIRE CALIENTE

Con el transformador ensamblado en su tanque, el tanque deberá ser sellado con el fin de reducir al mínimo la cantidad de calor requerido y mantener el interior del tanque a una temperatura uniforme para evitar la condensación dentro del tanque.

Por medio de un ventilador se forza al aire limpio y seco a pasar a través de los elementos de calefacción y luego a través de una apertura en la base del tanque, para pasar posteriormente sobre y a través de las bobinas antes de salir por una apertura en la cubierta. Se deben colocar deflectores entre la entrada del aire caliente y los devanados para evitar que el flujo de aire caliente se concentre en una pequeña porción de los devanados.

Termómetros deberán instalarse en la entrada y salida de las corrientes de aire y la cantidad de aire circulando deberá ser tal que sólo se obtenga una pequeña diferencia entre las temperaturas de entrada y salida. La temperatura del aire entrando debe ser aproximadamente de 100 °C.

(Precaución: cuando se esté secando con aire caliente un aislamiento empapado con aceite, se debe poner cuidado para evitar generación de llamas o fuego cerca del transformador, particularmente cerca de la salida del aire donde los vapores del aceite deben estar concentrados. El punto de inflamación del aceite para transformadores es aproximadamente 145 °C. Se deberán colocar extintores de fuego, preferiblemente del tipo de dióxido de carbono, cerca del transformador antes de comenzar el secamiento).

El volumen de aire requerido para obtener un mínimo tiempo de secamiento varía con el tamaño de los tanques, los siguientes valores se dan como una guía aproximada:

Área de la base del tanque:					
(pies ²)	30	60	100	125	150
(m ²)	2,8	5,6	9,3	11,6	14,0
Volumen del aire:					
(pies ³ /min)	1 000	2 000	3 000	4 000	5 000
(m ³ /min)	28	56	85	114	140

9.5 TERMINACIÓN DEL SECAMIENTO

Tan pronto como el transformador pueda considerarse que ha sido secado, es esencial que el tanque se llene inmediatamente con aceite hasta cubrir el núcleo y los devanados.

Durante el proceso completo de secado, se deben registrar lecturas regulares de las temperaturas de los devanados y de la resistencia de aislamiento entre devanados y entre cada devanado y tierra. A medida que el secamiento avanza, se observará que la resistencia de aislamiento cae, debido al incremento en la temperatura y a la liberación de humedad.

La resistencia comenzará luego a elevarse, y la velocidad de incremento se disminuirá lentamente cuando esté cerca de completarse el secamiento. Cuando la resistencia de aislamiento llega a un valor constante, aunque el transformador no está completamente seco, se ha llegado al máximo grado de secamiento obtenible con el sistema de secamiento.

Los ensayos de factor de potencia se pueden usar en lugar de o como complemento de los ensayos de resistencia de aislamiento para determinar el progreso de secado. El factor de potencia se incrementará cuando la temperatura se incremente, luego decrece cuando la humedad es extraída y se aplanará cuando el secamiento esté cercano a completarse.

Precaución: puede existir una mezcla explosiva de vapores de aceite y de aire, en algunas etapas del procedimiento de secamiento.

10. ANTECEDENTE

AMERICAN NATIONAL STANDARD. Guide for Installation of Oil-inmersed Transformers 10 MVA and Larger 69-287 kV Rating. New York, 1980, 15 p. il. (ANSI/IEEE C57.12.11).