

# NORMA TÉCNICA COLOMBIANA

# NTC 3654

2000-12-15

---

## TRANSFORMADORES DE POTENCIA TIPO SECO



E: DRY TYPE POWER TRANSFORMERS.

---

CORRESPONDENCIA:

---

DESCRIPTORES: transformador

---

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

Primera actualización

## 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 NTC 3654 (Primera actualización) fue ratificada por el Consejo Directivo el 2000-12-15.

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.

ABB  
CIDET  
CODENSA  
COMERCIALIZACIÓN  
EMPRESAS PÚBLICAS DE MEDELLÍN  
ELECTRIFICADORA SANTANDER  
ELECTROPORCELANA GAMMA  
RYMEL INGENIERÍA  
TRANSFORMADORES DE COLOMBIA  
TRANSFORMADORES SIERRA

SIEMENS  
SERINCA INGENIERÍA  
SERVICIO NACIONAL DE  
APRENDIZAJE – SENA  
TRANSFORMADORES TPL  
TESLA TRANSFORMADORES  
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**

## **SECCIÓN UNO**

### GENERALIDADES

1.    ALCANCE
2.    CONDICIONES DE SERVICIO
3.    DEFINICIONES
4.    DERIVACIONES (TAPS)
5.    CONEXIONES
6.    CAPACIDAD PARA SOPORTAR CORTOCIRCUITO

## **SECCIÓN DOS**

### VALORES NOMINALES

7.    VALORES NOMINALES
8.    PLACA DE CARACTERÍSTICAS

## **SECCIÓN TRES**

### MÉTODOS DE REFRIGERACIÓN E INCREMENTO DE TEMPERATURA

9.    IDENTIFICACIÓN DE ACUERDO CON EL MÉTODO DE REFRIGERACIÓN
10.   LÍMITES DEL INCREMENTO DE TEMPERATURA

## **SECCIÓN CUATRO**

### NIVELES DE AISLAMIENTO

11.   NIVELES DE AISLAMIENTO

**SECCIÓN CINCO**

ENSAYOS

12.    REQUISITOS GENERALES DE LOS ENSAYOS
13.    MEDIDA DE LA RESISTENCIA DE LOS DEVANADOS  
(ENSAYO DE RUTINA)
14.    MEDIDA DE LA RELACIÓN DE TRANSFORMACIÓN Y COMPROBACIÓN  
DE LA RELACIÓN VECTORIAL DE TENSIÓN (ENSAYO DE RUTINA)
15.    MEDIDA DE TENSIÓN DE CORTOCIRCUITO (EN LA DERIVACIÓN  
PRINCIPAL), IMPEDANCIA DE CORTOCIRCUITO Y PÉRDIDAS  
DEBIDAS A LA CARGA (ENSAYO DE RUTINA)
16.    MEDIDA DE PÉRDIDAS Y CORRIENTE EN VACÍO (ENSAYO DE RUTINA)
17.    ENSAYO DE TENSIÓN APLICADA, CON FUENTE DE TENSIÓN  
SEPARADA (ENSAYO DE RUTINA)
18.    ENSAYO DE SOBRETENSIÓN INDUCIDA (ENSAYO DE RUTINA)
19.    ENSAYO DE IMPULSO DE DESCARGA ATMOSFÉRICA (ENSAYO TIPO)
20.    MEDIDA DE DESCARGAS PARCIALES (ENSAYO ESPECIAL)
21.    ENSAYO DE INCREMENTO DE LA TEMPERATURA (ENSAYO TIPO)
22.    MEDIDA DEL NIVEL DE RUIDO (ENSAYO ESPECIAL)
23.    ENSAYO DE CORTOCIRCUITO (ENSAYO ESPECIAL)
24.    TOLERANCIAS

**SECCIÓN SEIS**

ENCERRAMIENTOS

25.    GRADOS DE PROTECCIÓN SUMINISTRADOS POR LOS ENCERRAMIENTOS

ANEXOS A.    INFORMACIÓN SOLICITADA EN LA REQUISICIÓN Y LA ORDEN DE COMPRA

ANEXOS B.    CONDICIONES INUSUALES DE SERVICIO

**ELECTROTECNIA.  
TRANSFORMADORES DE POTENCIA TIPO SECO**

**INTRODUCCIÓN**

Las secciones uno a seis y los Anexos A y B son adopción con desviación técnica en la Tabla 5 de la norma IEC 726, el Anexo C se basa en la norma ANSI IEEE C 57.12.91 para describir el método de ensayo de calentamiento.

**SECCIÓN UNO**

**GENERALIDADES**

**1.    ALCANCE**

Esta norma se aplica a transformadores de potencia tipo seco (incluyendo autotransformadores) con valores máximos de tensión para el equipo de hasta 36 kV (inclusive). No están cobijados, los transformadores pequeños y especiales de tipo seco que se enuncian a continuación.

- Transformadores monofásicos menores de 1 kVA y polifásicos menores de 5 kVA.
- Transformadores de instrumentación cobijados por la norma IEC 185: Transformadores de Corriente y la norma IEC 186: Transformadores de tensión.
- Transformadores para convertidores estáticos cobijados por la norma IEC 84 Recomendaciones para convertidores de arco de mercurio, norma IEC 119: Recomendaciones para Rectificadores y equipos Semiconductores Policristalinos en Fila y la norma IEC 146 Convertidores Semiconductores.
- Transformadores de arranque.
- Transformadores para ensayos.
- Transformadores para tracción instalados en trenes.

- Transformadores utilizados en minería y a prueba de fuego.
- Transformadores para soldadura.
- Transformadores reguladores de tensión.
- Pequeños transformadores donde la seguridad es una consideración especial.

Cuando no existan normas para los transformadores mencionados arriba o para otros transformadores especiales, esta norma es aplicable en su totalidad o parcialmente.

Con la publicación de esta norma, los requisitos de la norma IEC 76 se aplican a transformadores secos únicamente, en la medida en que éstos sean referidos a esta norma. Donde se haga referencia a los numerales de la norma IEC 76.

## **2.    CONDICIONES DE SERVICIO**

### **2.1    CONDICIONES NORMALES DE SERVICIO**

Esta norma establece los requisitos para el uso de transformadores bajo las siguientes condiciones:

a)    Altitud:

Una altura sobre el nivel del mar que no exceda 1 000 m (3 300 pies).

Nota. Para mayores alturas ver el numeral 2.2

b)    Temperatura del aire refrigerante:

No debe exceder 40 °C ni ser inferior de -25 °C para los transformadores de uso exterior.

5 °C Para los transformadores de uso interior. Además, la temperatura ambiente del aire no debe exceder los siguientes valores:

- 30 °C promedio en cualquier día
- 20 °C promedio en cualquier año.

Nota. Para temperaturas mayores ver el numeral 2.2.

c)    Forma de onda de la fuente de tensión: una fuente de tensión en la cual la forma de onda sea aproximadamente sinusoidal.

- d) Fuentes simétricas de tensión polifásicas: para transformadores polifásicos, fuentes de tensión que sean aproximadamente simétricas.

## **2.2    CRITERIOS SOBRE CONDICIONES INUSUALES DE SERVICIO**

El comprador debe especificar en su pedido, cualquier condición de servicio no cubierta por las condiciones normales de servicio dadas en el numeral 2.1 (véase el Anexo B).

En los numerales 10.2, 10.3 y 11.2 se dan otros requisitos complementarios dentro de límites definidos, para el régimen y ensayo de transformadores diseñados para otras condiciones de servicio enunciadas en el numeral 2.1, tales como alta temperatura del aire refrigerante o altitudes mayores de 1 000 m (3 300 pies).

El incremento de temperatura estará sujeto a acuerdos entre el fabricante y el comprador, para las condiciones de temperatura fuera de los límites cobijados por los requisitos complementarios y las condiciones especiales de operación, por ejemplo circulación restringida del aire refrigerante.

## **3.    DEFINICIONES**

Para el propósito de esta norma se aplican las definiciones dadas a continuación en la norma IEC 76-1: Transformadores de potencia, parte 1: Generalidades o IEC 50: Vocabulario Electrotécnico Internacional (I.E.V), se encuentran otros términos también utilizados.

### **3.1    TRANSFORMADOR TIPO SECO**

Transformador en cual el núcleo y los devanados no están sumergidos en un líquido aislante.

Nota. El enfriamiento de un transformador tipo seco puede ser natural, natural/forzado o circulación forzada. (Véase el numeral 9).

#### **3.1.1    Transformador tipo seco con devanados encapsulados**

Transformador tipo seco, que tiene uno o más devanados encapsulados con aislamiento sólido.

#### **3.1.2    Transformador tipo seco con devanados no encapsulados**

El transformador tipo seco que no tiene ninguno de sus devanados encapsulados con aislamiento sólido.

### **3.2    TÉRMINOS RELATIVOS AL ENCERRAMIENTO DE UN TRANSFORMADOR TIPO SECO**

#### **3.2.1    Transformador tipo seco sellado**

Transformador tipo seco en aire o sumergido en aire o gas, con encerramiento de protección sellado, construido de tal forma que no existe intercambio entre su contenido y la atmósfera exterior, es decir el transformador no es ventilado.

Nota. El gas en un transformador sumergido en gas permanece en estado gaseoso dentro del intervalo de operación del transformador.

### **3.2.2 Transformador tipo seco totalmente encerrado**

Transformador tipo seco inmerso en aire con encerramiento de protección construido de manera que el aire del ambiente no circula para enfriar el núcleo y los devanados pero que puede airearse con la atmósfera.

### **3.2.3 Transformador tipo seco encerrado**

Transformador tipo seco con encerramiento de protección construido de manera que el aire del ambiente pueda circular para enfriar directamente el núcleo y los devanados.

### **3.2.4 Transformador tipo seco sin encerramiento**

Transformador tipo seco sin encerramiento de protección, en el cual el núcleo y los devanados se enfrían por el aire del ambiente.

## **4.    DERIVACIONES (TAPS)**

Se debe hacer referencia a la sección uno de la norma IEC 76-4: Transformadores de potencia, parte 4: Derivaciones, y conexiones, pero donde se requieren las derivaciones, el intervalo preferido de derivación es  $\pm 5\%$  en pasos de  $2,5\%$ . Es decir  $\pm 2,5\%$ ;  $\pm 5\%$  por medio del cambiador de derivaciones desenergizado.

## **5.    CONEXIONES**

Ver la sección dos de la norma IEC 76-4.

## **6.    CAPACIDAD PARA SOPORTAR CORTOCIRCUITO**

La norma IEC 76-5 Transformadores de potencia, parte 5: Capacidad para soportar cortocircuito, aplicable a los transformadores cobijados por esta norma.

## **SECCIÓN DOS**

## **7.    VALORES NOMINALES**

### **7.1    GENERALIDADES**

Los fabricantes deben asignar valores nominales a los transformadores, y éstos deben ser marcados en la placa de características (véase el numeral 8).

Los valores nominales deben ser tales que el transformador pueda entregar su corriente nominal bajo condiciones de carga constante sin exceder los límites de incremento de temperatura especificados en la sección 3, numeral 10.1, Tabla 4, asumiendo que la tensión aplicada es igual a la tensión nominal y la fuente se encuentra a la frecuencia nominal.



## 7.2 POTENCIA NOMINAL

La potencia nominal debe tomarse en condiciones de servicio correspondientes a las que se especifican en el numeral 2 y deberá estar relacionada con el producto de la tensión nominal, la corriente y el factor de apropiado, presentado en la Tabla 1.

Tabla 1.

Factor de fase	
No de fases	Factor de fase
1	1
3	$\sqrt{3}$

La potencia nominal corresponde al ciclo continuo. Sin embargo, los transformadores tipo seco que cumplen con esta norma pueden sobrecargarse y las guías de sobrecarga están dadas en por la guía IEC correspondiente

## 7.3 VALORES PREFERIDOS DE POTENCIA NOMINAL

Ver el numeral 4.3 de la norma IEC 76-1.

## 7.4 OPERACIÓN A UNA TENSIÓN MAYOR QUE LA NOMINAL

Ver el numeral 4.4 de la norma IEC 76-1.

## 8. PLACA DE CARACTERÍSTICAS

Cada transformador debe estar provisto con una placa de características de material resistente a la intemperie, colocada en una posición visible.

Las marcas en la placa deben ser indelebles, (es decir por agua fuerte, grabado o estampado).

La siguiente información debe aparecer en todos los casos:

- a) Clase de transformador (ver las definiciones dadas en el numeral 3)
- b) Número y año de esta norma
- c) Nombre del fabricante
- d) Número de serie del fabricante
- e) Año de fabricación
- f) Temperatura del sistema de aislamiento y máximo incremento de temperatura permisible para todos los devanados, o para cada devanado individual, si es aplicable (véase el numeral 10.1)

- g) Número de fases
- h) Potencia nominal para cada clase de refrigeración
- i) Frecuencia nominal
- j) Tensiones nominales incluyendo las tensiones en las derivaciones, si las hay
- k) Corrientes nominales para cada clase de refrigeración
- l) Símbolo de conexión
- m) Tensión de cortocircuito a la corriente nominal determinada de acuerdo con el numeral 8.4 de la norma IEC 76-1
- n) Tipo de refrigeración
- o) Tipo de llenado
- p) Intervalo de presión de operación
- q) Presiones absolutas máxima y mínima para las cuales está diseñado el encerramiento.
- r) Presión y temperatura del medio de llenado en el instante de sellado
- s) Masa total
- t) Niveles de aislamiento. La tensión no disruptiva nominal para cada devanado debe aparecer en la placa de características. Los principios de notación normalizada están ilustrados en el numeral 3 de la norma IEC 76-3: Transformadores de potencia, parte 3: Niveles de aislamiento y ensayos dieléctricos.

Nota. Los literales o) hasta r) se aplican solamente a las unidades selladas.

### **SECCIÓN TRES**

#### **MÉTODOS DE REFRIGERACIÓN E INCREMENTO DE TEMPERATURA**

#### **9. IDENTIFICACIÓN DE ACUERDO CON EL MÉTODO DE REFRIGERACIÓN**

##### **9.1 SÍMBOLOS DE IDENTIFICACIÓN**

Los transformadores se deben identificar de acuerdo con el método de refrigeración empleado. La letra indica cada método de enfriamiento y debe ser según se especifica en la Tabla 2.

**Tabla 2. Símbolo**

Clase de medio refrigerante	Símbolo
Aire Gas	A G
Clase de circulación	
Natural Forzada	N F

## 9.2 DISPOSICIÓN DE LOS SÍMBOLOS

Los transformadores sin encerramiento de protección o con encerramiento, a través del cual circula el aire, se identifican por dos símbolos solamente para el medio refrigerante (aire) que está en contacto con los devanados o el revestimiento de los devanados.

Los otros transformadores se deberán identificar por cuatro símbolos para cada método de refrigeración para el cual el fabricante asigna un valor nominal.

El orden con el cual se usan los símbolos se presentan en la Tabla 3. Se debe utilizar una barra oblicua para separar el grupo de símbolos que indican los diferentes métodos de refrigeración para la misma parte del equipo.

**Tabla 3. Orden de los símbolos**

1a. Letra	2a. Letra	3a. Letra	4a. Letra
Indica el medio refrigerante que está en contacto con los devanados.		Indica el medio refrigerante que está en contacto con el sistema externo de refrigeración.	
Clase de medio refrigerante.	Clase de circulación.	Clase de medio refrigerante.	Clase de circulación.

Por ejemplo, el método de refrigeración de un transformador sin encerramiento de protección o con encerramiento, en el cual el aire refrigerante puede circular y con refrigeración de aire natural, se designa:

**AN**

La designación para un transformador con encerramiento de protección en el que no puede circular el aire de refrigeración, con refrigeración de aire natural dentro y fuera del encerramiento, es:

**ANAN**

La designación para un transformador en un encerramiento sellado con refrigeración natural interior de nitrógeno y alternativas de refrigeración natural o forzada para el exterior del encerramiento es:

**GNAN/GNAF**

**10.    LÍMITES DEL INCREMENTO DE TEMPERATURA**

**10.1    LÍMITES NORMALES DEL INCREMENTO DE TEMPERATURA**

El incremento de temperatura de los devanados, el núcleo y las partes metálicas de los transformadores diseñados para operación en altitudes que no excedan las dadas en el literal del numeral 2.1 y con temperatura externa del aire de refrigeración como se describe en el literal b) del numeral 2.1, no debe exceder los límites especificados en la Tabla 4 cuando se ensayen de acuerdo con el numeral 21.

La temperatura del punto más caliente dada en la columna 2 está aprobada para los incrementos de temperatura que se especifican en la columna 3 sólo cuando se usa en el aislamiento de aparatos que se especifican en el alcance de esta norma.

Los materiales aislantes se pueden usar separadamente o en combinación previendo que, en cualquier aplicación, cada sistema no se someterá continuamente a una temperatura superior a aquella para la cual es adecuada cuando opera bajo condiciones nominales.

Además, las propiedades eléctricas y mecánicas del aislamiento del devanado no se deben deteriorar con la aplicación de la temperatura del punto más caliente permitida para el sistema de aislamiento específico.

Nota. En la columna 2 de la Tabla 4, las letras se refieren a la clasificación de temperatura dada en la norma IEC 85: Recomendaciones para la clasificación de materiales para el aislamiento de maquinaria eléctrica y aparatos en relación a su estabilidad térmica en servicio.

**Tabla 4. Límites del incremento de la temperatura**

1	2		3
Parte	Temperatura del sistema de aislamiento		Incremento máximo de temperatura (K)
	(°C)	Clase de aislamiento.	
Devanados (Incremento de la temperatura medido por el método de resistencia).	105	A	60
	120	Ao	60
	120	E	75
	130	B	80
	155	F	100
	180	H	125
	220	C	150
El núcleo, las partes metálicas, y los materiales adyacentes.			En ningún caso, la temperatura alcanzará un valor que cause daño al núcleo, a otras partes o a los materiales adyacentes.

**10.2 REDUCCIÓN DEL CALENTAMIENTO EN TRANSFORMADORES DISEÑADOS PARA ALTA TEMPERATURA DEL AIRE DE REFRIGERACIÓN O CONDICIONES ESPECIALES DEL AIRE DE REFRIGERACIÓN**

Si el transformador está diseñado para un servicio donde la temperatura del aire refrigerante excede uno de los valores máximos especificados en el literal b) del numeral 2.1 en no más de 10 K. El incremento de temperatura permitido para los devanados se debe reducir:

- En 5 K, si el exceso de temperatura es menor o igual a 5 K
- En 10 K, si el exceso de temperatura es mayor que 5 K y menor o igual a 10 K.

Donde el exceso de temperatura excede uno de los valores que se especifican en literal b) del numeral 2.1 en más de 10 K, el incremento permitido de temperatura requiere un acuerdo entre el fabricante y el comprador.

El comprador tiene que informar cualquier condición del sitio que imponga restricciones en el aire refrigerante o produzca una temperatura ambiente alta.

**10.3 REDUCCIÓN DEL CALENTAMIENTO EN TRANSFORMADORES DISEÑADOS PARA GRANDES ALTITUDES**

A menos que exista un acuerdo entre el fabricante y el comprador, para transformadores diseñados para operación a una altitud mayor de 1 000 m pero ensayados a altitudes normales, los límites de incremento de la temperatura dados en la Tabla 4 se deben reducir en los siguientes valores por cada 500 m que excedan los 1 000 m, según sea la altitud de trabajo:

Transformadores refrigerados con aire natural: 2,5 %

Transformadores refrigerados con aire forzado: 5 %

Nota. Si el transformador que está diseñado para operar bajo 1 000 m se ensaya a altitudes superiores de 1 000 m, la medida de incremento de temperatura será reducida por los valores anteriormente mencionados por cada 500 m de la altitud de ensayo que excedan los 1 000 m.

## **SECCIÓN CUATRO**

### **11. NIVELES DE AISLAMIENTO**

#### **11.1 GENERALIDADES**

Cuando un transformador es para distribución de potencia al público o para un sistema industrial, los niveles de aislamiento deben ser los dados en la Tabla 5, lista 1 ó 2. La selección entre la lista 1 ó 2 se deberá hacer considerando el grado de exposición a las sobretensiones de descargas atmosféricas y sobretensiones de maniobra, el tipo de puesta a tierra del neutro y, donde sea aplicable, el tipo del dispositivo de protección de sobretensión ver norma IEC 71: (Coordinación de aislamiento).

Sin embargo, para la aplicación en sistemas particulares donde los requisitos de aislamiento son más bajos que lo exigido generalmente y donde los transformadores no requieren ser ensayados con impulso de descarga atmosférica, la tensión de ensayo aplicada a frecuencia industrial puede ser más baja que el valor especificado en la Tabla 5 donde la experiencia ha demostrado que esto es permisible. No se recomiendan aquí valores definidos.

#### **11.2 TRANSFORMADORES PARA USO A GRANDES ALTITUDES**

Cuando un transformador está diseñado para operar a altitudes entre 1 000 m y 3 000 m sobre el nivel del mar, pero se ensaya a altitud normal, la tensión no disruptiva a frecuencia industrial debe ser incrementada 6,25 % por cada 500 m de la altitud de la instalación que excedan los 1 000 m.

Nota. Lo anterior no se aplica a transformadores de tipo seco sellados pero se deben tener consideraciones especiales para los bujes.

**Tabla 5. Niveles de aislamiento**

Tensión máxima para el equipo, Um (Valor eficaz) (kV)	Tensión no disruptiva nominal de corta duración a frecuencia industrial (valor eficaz) (kV)	Tensión no disruptiva nominal, de impulso de descarga atmosférica (valor pico) (kV)	
		Lista 1 <sup>1)</sup>	Lista 2 <sup>1)</sup>
≤ 1,1	3	-	-
3,6	10	20	40
7,2	20	40	60
12	28	60	75
15 <sup>2)</sup>	31	60	75
17,5	38	75	95
24	50	95	125
36	70	145	170

1) La lista 1 corresponde a las condiciones normalizadas de aislamiento, la lista 2 se utiliza cuando se requieren márgenes mas altos de sobretensiones.

2) Dadas las condiciones del sistema eléctrico en Colombia se utilizará este valor de tensión. Los transformadores para redes de tensión de 13,2 kV y 13,8 kV se registrarán por tensión máxima para el equipo con tensión igual a 15 kV.

## SECCIÓN CINCO

### ENSAYOS

#### 12 REQUISITOS GENERALES DE LOS ENSAYOS

Los transformadores se deben someter a los siguientes ensayos.

Los ensayos se deben realizar en la fábrica, a menos que exista otro acuerdo entre el fabricante y el comprador.

El ensayo dieléctrico, de acuerdo con los numerales 17, 18 y 19, se debe realizar con el transformador a la temperatura ambiente aproximadamente; se deben tener en cuenta los procedimientos establecidos en la norma IEEE Std 4.

Todos los componentes externos y dispositivos que afecten el comportamiento del transformador durante cada ensayo deberán estar en su sitio.

Las derivaciones de los devanados deben estar conectadas en la posición principal a menos que el fabricante y el comprador acuerden lo contrario.

La base del ensayo para todas las otras características distintas al aislamiento es la condición nominal, a menos que la cláusula de ensayo lo establezca de otra manera.

La temperatura de referencia a la cual se deben corregir las pérdidas debidas a la carga y la tensión e impedancia de cortocircuito debe ser igual al incremento máximo de la temperatura de los devanados como se indica en la columna 3 de la Tabla 4, más 20 K.

Nota. Cuando los devanados de un transformador tienen diferentes temperaturas en su sistema de aislamiento, solo se utilizará una temperatura de referencia, y será aquella relacionada con el devanado que tiene la temperatura más alta del sistema de aislamiento.

**13.    MEDIDA DE RESISTENCIA DE LOS DEVANADOS (ENSAYO DE RUTINA)**

Véase el numeral 8.2 de la NTC 375.

**14.    MEDIDA DE LA RELACIÓN DE TRANSFORMACIÓN Y COMPROBACIÓN DE LA RELACIÓN VECTORIAL DE TENSIÓN (ENSAYO DE RUTINA)**

Ver el numeral 8.3 de la NTC 471.

**15.    MEDIDA DE LA TENSIÓN DE CORTOCIRCUITO (EN LA DERIVACIÓN PRINCIPAL) E IMPEDANCIA DE CORTOCIRCUITO Y PÉRDIDAS DEBIDAS A LA CARGA (ENSAYO DE RUTINA)**

Véase el numeral 8.4 de la norma IEC 76-1.

**16.    MEDIDA DE PÉRDIDAS Y CORRIENTE EN VACÍO (ENSAYO DE RUTINA)**

Véase el numeral 8.5 de la norma IEC 76-1.

**17.    ENSAYO DE TENSIÓN APLICADA CON FUENTE DE TENSIÓN SEPARADA (ENSAYO DE RUTINA)**

Véase el numeral 10 de la norma 76-3. Si no se acuerda otro valor entre el fabricante y el comprador, la tensión de ensayo debe estar de acuerdo con la Tabla 5 (véase el numeral 11.1) para el nivel de aislamiento especificado del transformador.

La tensión plena de ensayo deberá ser aplicada por 60 s entre el devanado bajo ensayo, con los devanados restantes, el núcleo, la estructura y el encerramiento del transformador conectados a tierra.

**18.    ENSAYO DE SOBRETENSIÓN INDUCIDA (ENSAYO DE RUTINA)**

Véanse los numerales 11.1 y 11.2 de la NTC 837.

La tensión del ensayo debe ser el doble del valor correspondiente de la tensión nominal de un devanado del transformador sin derivación.

La duración del ensayo a plena tensión debe ser 60 s para cualquier frecuencia de ensayo hasta el doble de la frecuencia nominal, inclusive.



Cuando la frecuencia de ensayo exceda el doble de la frecuencia nominal, la duración del ensayo debe ser igual pero no menor de 15 s:

$$120 * (\text{Frecuencia nominal} / \text{Frecuencia de ensayo})$$

## **19.    ENSAYO DE IMPULSO DE DESCARGA ATMOSFÉRICA (ENSAYO TIPO)**

Véase el numeral 12 de la norma IEC 76-3.

La tensión de ensayo debe estar de acuerdo con la lista 1 o la lista 2 de la Tabla 5 (véase el numeral 11.1) para el nivel de aislamiento especificado del transformador. El ensayo de impulso deberá ser con un impulso pleno de descarga atmosférica estándar.

$$1,2 \pm 30 \% / 50 \pm 20 \% \mu\text{s}$$

Normalmente la tensión del ensayo debe ser de polaridad negativa. La secuencia del ensayo por cada terminal de línea debe ser un impulso para la calibración de tensión entre el 50 % y el 75 % de la tensión plena, seguido por tres impulsos a tensión plena.

Por acuerdo entre el fabricante y el comprador en el pedido, el ensayo se puede realizar con polaridad positiva, pero en este caso deben evitarse cambios de polaridad repentinos.

Nota. En los transformadores tipo seco, el ensayo de impulso de descarga atmosférica puede llevar a descargas parciales capacitivas en el aire sin peligro para el aislamiento. Esas descargas parciales llevan a cambios en la forma de onda de corriente, mientras que la forma de onda de la tensión varía levemente.

## **20.    MEDIDA DE DESCARGAS PARCIALES (ENSAYO ESPECIAL)**

### **20.1    GENERALIDADES**

La medida de las descargas parciales se desarrolla de acuerdo con la norma IEC 270 (NTC 613): Medida de las descargas parciales, y con el Anexo A de la norma IEC 76-3. Esto puede hacerse con toda clase de transformadores secos, pero especialmente, es aplicable a transformadores que tengan devanados encapsulados.

Nota: Para transformadores con tensión serie mayor a 1,2 kV y devanados encapsulados, se debe realizar este ensayo como rutina.

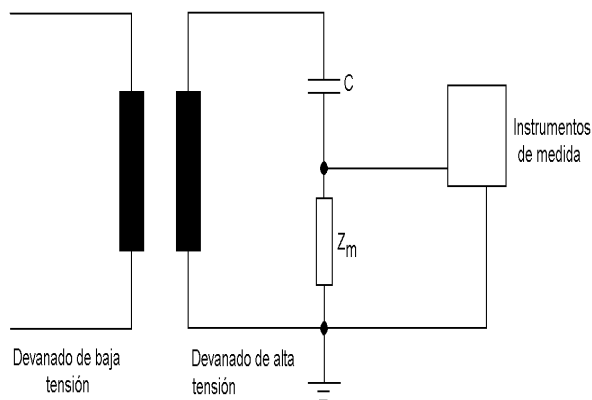
### **20.2    CIRCUITO BÁSICO DE MEDIDA (TÍPICO ÚNICAMENTE)**

Un circuito básico para el ensayo de medida de las descargas parciales se muestra en las Figuras 1 y 2.

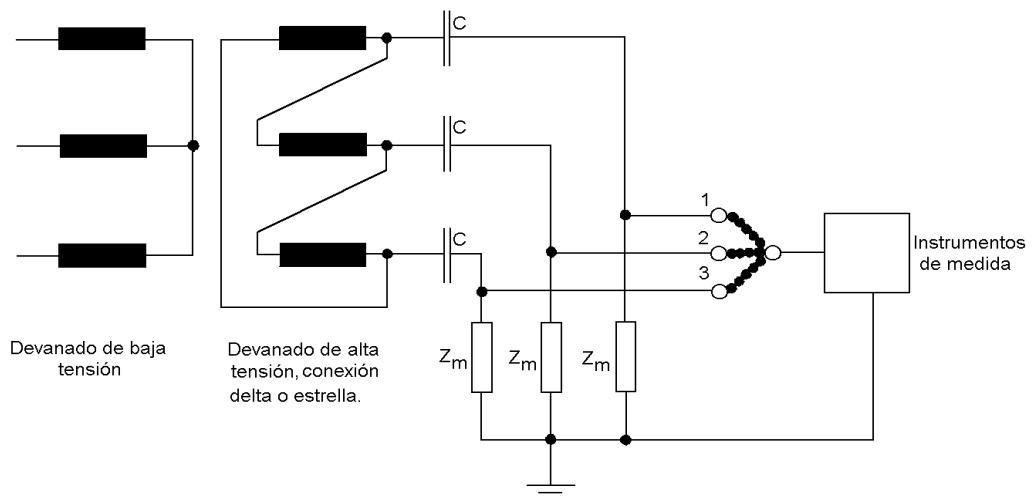
En las Figuras 1 y 2 se conecta un capacitor libre de descargas parciales, C, (que tiene un valor de capacitancia superior comparado con la capacitancia de calibración del generador, Co) en serie con una impedancia detectora, Zm, a cada uno de los terminales de alta tensión.

**20.3 CALIBRACIÓN DEL CIRCUITO DE MEDIDA**

La atenuación de los pulsos de descarga ocurre dentro de los devanados y en el circuito de medida. La calibración se lleva a cabo como se describe en el Anexo A de la norma IEC 76-3, mediante la inyección de pulsos simulados de descarga desde un calibrador de descarga normalizado a los terminales del transformador. La velocidad de repetición de los pulsos de calibración puede ser del orden del doble de la frecuencia de la tensión de excitación.



**Figura 1. Circuito básico para el ensayo de medida de las descargas para un transformador monofásico**



**Figura 2. Circuito básico para el ensayo de medida de las descargas para un transformador trifásico**

## **20.4    APLICACIÓN DE TENSIÓN**

La medida de las descargas parciales debe hacerse después de que todos los ensayos del dieléctrico se hayan terminado. El devanado de baja tensión deberá ser alimentado desde una fuente trifásica o monofásica, dependiendo de si el transformador es así mismo trifásico o monofásico. La tensión deberá ser una onda aproximadamente sinusoidal y a una frecuencia incrementada hasta la frecuencia nominal para evitar que durante el ensayo se presente una corriente de excitación excesiva. El procedimiento deberá ser como se describe en el numeral 20.4.1 ó 20.4.2.

Nota. Cuando la tensión de operación de un transformador es muy inferior a la tensión establecida para la tensión máxima del equipo, por acuerdo entre el fabricante y el comprador, pueden seleccionarse valores más bajos de tensión para tensiones previas y la tensión de medida.

### **20.4.1 Transformadores trifásicos**

- a)    Los devanados para conexión a sistemas que están sólidamente puestos a tierra o puestos a tierra a través de una impedancia baja:

Previamente, se deberá inducir una tensión línea-tierra de  $(1,5 \cdot U_m) / \sqrt{3}$  durante 30 s ( $U_m$  es la máxima tensión del equipo) seguida inmediatamente por una tensión línea-tierra de  $(1,1 \cdot U_m) / \sqrt{3}$  durante 3 min, en los cuales se deben medir las descargas parciales

- b)    Devanados para conexión a sistemas que son aislados o puestos a tierra a través de una impedancia considerable (por ejemplo una bobina supresora de arco):

Previamente, se deberá inducir una tensión fase - fase de  $1,5 \cdot U_m$  durante 30 s, con un terminal de línea puesto a tierra seguida por una tensión fase - fase de  $1,1 \cdot U_m$  por 3 min, durante los cuales se deben medir las descargas parciales. Este ensayo deberá ser repetido con otro terminal de línea puesto a tierra.

### **20.4.2 Transformadores monofásicos**

Los transformadores monofásicos para uso en sistemas trifásicos se deberán ensayar como transformadores trifásicos, teniendo en cuenta que la tensión máxima del equipo,  $U_m$ , es una tensión fase - fase.

Además, en el caso de un transformador monofásico conectado fase a neutro y ensayado de acuerdo con el literal b) del numeral 20.4.1, no requiere repetir el ensayo con otro terminal de línea puesto a tierra.

## **20.5    NIVELES ACEPTADOS DE DESCARGAS PARCIALES**

El nivel aceptado para las descargas parciales medidas como se indicó anteriormente, deberá estar sujeto a un acuerdo entre el fabricante y el comprador.

En caso de discusión, deben aplicarse los procedimientos investigativos del Anexo A de la norma IEC 76-3.

**21. ENSAYO DE INCREMENTO DE LA TEMPERATURA (ENSAYO TIPO)**

Véanse los numerales 3.1.1, 3.1.2, 3.1.3, 3.3, 3.9.1, 3.9.2 y 3.9.3 de la norma IEC 76-2: Transformadores de potencia, parte 2: Incremento de temperatura.

**21.1 MÉTODOS DE CARGA**

Cualquiera de los siguientes métodos puede ser aplicado, de acuerdo con la selección del fabricante.

**21.1.1 Método de carga directa\***

Un devanado del transformador preferiblemente el devanado interior, debe estar excitado a la tensión nominal con los otros conectados a una carga adecuada tal que la corriente nominal circula en ambos devanados.

**21.1.2 Método de oposición\***

Este es el método preferido aplicable cuando hay dos transformadores similares disponibles.

Dos transformadores, uno de los cuales es el que está bajo ensayo, se conectan en paralelo y preferiblemente se excitan los devanados interiores a la tensión nominal del transformador bajo ensayo. Por medio de relaciones de tensión diferentes o aplicando una tensión, se hace circular la corriente nominal en el transformador bajo ensayo.

**21.1.3 Método de carga simulada (por acuerdo entre el fabricante y el comprador)**

Este método se usa para unidades del tipo seco con encerramiento o sin encerramiento con refrigeración de aire natural, cuando sólo se dispone del transformador bajo ensayo o cuando se dispone de un transformador similar pero existen limitaciones en el equipo de ensayo.

El incremento de la temperatura se hace por medio de dos ensayos, uno con las pérdidas de vacío únicamente, y el otro con las pérdidas debidas a la carga solamente, es decir realizando un cortocircuito.

El ensayo en vacío a tensión nominal se realiza hasta que se obtienen las condiciones de estado estable. Entonces, se miden los incrementos de temperatura de los devanados,  $\Delta\theta_e$ .

El ensayo de cortocircuito con la corriente nominal fluyendo en un devanado y el otro devanado en cortocircuito se inicia inmediatamente después del ensayo de vacío y se continúa hasta que se alcancen las condiciones de estado estable momento en el cual se miden los incrementos de la temperatura de los devanados,  $\Delta\theta_c$ .

Mediante la siguiente fórmula se calcula el incremento total del devanado,  $\Delta\theta_c$ , de cada devanado, con la corriente nominal en los devanados y la excitación normal del núcleo:

---

\* La duración del ensayo se puede reducir, excitando el núcleo por un período (preferiblemente no menor a 12 h) anterior a la aplicación de la corriente de ensayo en los devanados.

$$\Delta\theta'_c = \Delta\theta_c \left[ 1 + \left( \frac{\Delta\theta_e}{\Delta\theta_c} \right)^{1,25} \right]^{0,8}$$

Nota. Puede ser necesario modificar la fórmula, para otros tipos de transformadores.

## **21.2    CORRECCIÓN DEL INCREMENTO DE TEMPERATURA DE LOS DEVANADOS POR CORRIENTE REDUCIDA**

Cuando la corriente de entrada del ensayo,  $I_t$  es menor que el valor nominal de corriente  $I_N$ , pero no menor al 90 % de  $I_N$ , el incremento de la temperatura  $\Delta\theta_t$  de los devanados deberá ser medida por el método de resistencia de los devanados cuando las condiciones de estado estable han sido alcanzadas, y corregidas a las condiciones de carga nominal,  $\Delta\theta_N$ , mediante la fórmula:

$$\Delta\theta_N = \Delta\theta_t \left[ \frac{I_N}{I_t} \right]^q$$

El valor de  $q$  debe tomarse como:

1,6 para transformadores AN

1,8 para transformadores AF

## **21.3    DETERMINACIÓN DE LAS CONDICIONES DE TEMPERATURA CONSTANTE**

El último incremento de temperatura es alcanzado cuando el incremento de temperatura llega a ser constante; esto es, cuando el incremento de la temperatura no varía en más de 2 % del incremento permisible de temperatura por hora o 2 K por hora.

Para determinar cuando se han alcanzado las condiciones de temperatura constante, se deben aplicar termocuplas o termómetros a las siguientes superficies:

- Unidades encerradas o no encerradas: en el centro de la parte superior del yugo y tan cerca como sea posible a la parte superior de los conductores del devanado de baja tensión más interno. La medida se debe realizar en la columna central de la unidad trifásica
- Unidades selladas y totalmente encerradas: en el centro de la superficie de la cubierta superior y en el centro de un lado de la superficie de encerramiento.

## **22.    MEDIDA DEL NIVEL DE RUIDO (ENSAYO ESPECIAL)**

Se debe referir a la norma IEC 551: Medida del nivel de ruido de transformadores y reactores.

Cuando un transformador es para operación con un encerramiento suministrado por el comprador, la medición del ruido del núcleo del transformador y las bobinas se puede llevar a cabo sin el encerramiento en el laboratorio del fabricante.

La distancia de medición es 0,3 m a menos que por razones de seguridad se escoja 1 m.

**23.    ENSAYO DE CORTOCIRCUITO (ENSAYO ESPECIAL)**

El ensayo de cortocircuito debe ser como se especifica en la norma IEC 76-5.

Nota. Las referencias a los reles y tanques de gas dadas en el numeral 2.2.6 de la norma IEC 76-5 no se aplican a los transformadores secos.

**24.    TOLERANCIAS**

Las tolerancias deberán ser las especificadas en la Tabla 3 (véase el numeral 7) de la norma IEC 76-1.

**SECCIÓN SEIS**

**ENCERRAMIENTOS**

**25.    GRADOS DE PROTECCIÓN SUMINISTRADOS POR LOS ENCERRAMIENTOS**

El diseño de un encerramiento dependerá de la localización y condiciones del ambiente en que el transformador esté instalado. Las aberturas y rejillas suministradas para la circulación del aire deberán cumplir con la norma IEC 529 (NTC 3279): Clasificación de los grados de protección suministrados por los encerramientos.

**Anexo A**

**Información solicitada en la requisición y la orden de compra**

**A.1    DATOS GENERALES Y NOMINALES**

**A.1.1    Normal**

La siguiente información se deberá dar en todos los casos:

- 1)    Especificaciones particulares que debe cumplir el transformador
- 2)    Clase de transformador (véase el numeral 3)
- 3)    Transformador monofásico o polifásico
- 4)    Número de fases en el sistema
- 5)    Frecuencia
- 6)    Información si se requiere o no del encerramiento. Si es así, el grado de protección del encerramiento (véase el numeral 25). Si se requiere, información sobre el gas para llenar el encerramiento
- 7)    Método de refrigeración
- 8)    Instalación interior o exterior
- 9)    Potencia nominal (en kVA)
- 10)    Tensión nominal (para cada devanado)
- 11)    Determinar si se requieren derivaciones; en caso afirmativo, determinar si se requieren conmutadores de derivaciones sin tensión o puentes.
- 12)    La tensión máxima del equipo,  $U_m$ , (para cada devanado)
- 13)    Nivel de aislamiento, es decir valores de la tensión de ensayo a frecuencia industrial y, si es requerido, impulso de descarga atmosférica para el cual cada devanado este diseñado ver la norma IEC 76-3
- 14)    Diagrama de conexión
- 15)    Tensión de cortocircuito a corriente nominal, si se requiere un valor específico
- 16)    Terminal de neutro si se requiere (para cada devanado)
- 17)    Método de puesta a tierra del sistema (para cada devanado).

- 18) Cualquier característica de la instalación, por ejemplo limitaciones de espacio, dificultades de mantenimiento, condiciones de almacenamiento, etc.
- 19) Cualquier otra información apropiada, por ejemplo condiciones del sitio, ciclo para el que se requiere el transformador, sobretensiones del sistema, etc.
- 20) Detalles de los dispositivos requeridos y una indicación del lado por el cual se pueden leer los medidores, la placa de características, etc.

#### **A.1.2 Especiales**

- 21) Un ensayo de impulso, cuando se requiere.
- 22) Altitud sobre el nivel del mar, si excede de 1 000 m (véanse los numerales 10.3 y 11.2).
- 23) Temperatura del aire refrigerante, si tiene valores por encima o por debajo de los dados en el literal b) del numeral 2.1 (véase el numeral 10.2).
- 24) Cuando el transformador está conectado directamente a otro aparato que pueda afectar las condiciones de cortocircuito.
- 25) Indicar si se conoce, la carga desbalanceada y en esas condiciones indicar detalles de ésta.
- 26) Detalles del ciclo regular de sobrecarga previsto.
- 27) En caso de que un transformador tenga conexiones del devanado alternativas, se debe indicar cómo deben cambiarse y que conexiones se exigen por fuera de fábrica.
- 28) Qué ensayos especiales (ver la sección cinco) se requieren y para cada una de esos ensayos, las condiciones relevantes de aceptación (niveles, límites, etc).

#### **A.2 OPERACIÓN EN PARALELO**

Se debe indicar si se requiere la operación en paralelo de los transformadores existentes, junto con la siguiente información relacionada con el transformador existente:

- a) Potencia nominal
- b) Relación de transformación nominal
- c) Relaciones de transformación correspondientes a las derivaciones distintas a la principal



- d) Pérdidas debidas a la carga a corriente nominal en la derivación principal, corregidas a la temperatura de referencia apropiada
- e) Tensión de cortocircuito a la corriente nominal (en la derivación principal)
- f) Impedancia de cortocircuito, por lo menos en las derivaciones extremas, en caso de que el intervalo de derivación del devanado con derivación exceda a  $\pm 5 \%$
- g) Diagrama de conexión o símbolo de conexión, o ambos.

**Anexo B**

**Condiciones inusuales de servicio**

**B.1**    Adicionalmente a la temperatura ambiente alta o baja y la altitud alta, pueden existir otras condiciones del ambiente que pueden afectar el diseño y la aplicación, y que necesariamente no están cobijadas por esta norma.

Ejemplos de tales condiciones son: vapores y humos dañinos, polvo excesivo y abrasivo, vapor, sal rociada, humedad excesiva, goteo de agua.

Nota. La seriedad de los efectos de las condiciones enunciadas anteriormente varia ampliamente dependiendo del diseño del transformador de tipo seco involucrado. Tales condiciones pueden tener poco efecto o ninguno en un transformador de tipo seco sellado, pero pueden tener efectos serios en otros tipos de transformadores secos.

**B.2**    Normalmente se diseñan transformadores tipo seco con encerramiento o sin encerramiento con devanados no encapsulados para instalaciones interiores en localizaciones secas. Sin embargo, estos operan satisfactoriamente donde la humedad es alta si se toman las precauciones para mantenerlos secos cuando se desenergizan por largos períodos.

**B.3**    Los encerramientos están descritos en la NTC 3279

**Anexo C**

**Método de ensayo de calentamiento**

**C.1    REQUISITOS DEL ENSAYO**

Para obtener resultados óptimos y confiables se deben tener en cuenta los siguientes:

**C.2    REQUISITOS GENERALES**

**C.2.1** Los transformadores deberán estar completamente ensamblados, con todas las partes en su lugar, si están equipados con indicadores de temperatura, transformadores de corriente tipo buje o similares, estos dispositivos deberán estar ensamblados sobre el transformador.

**C.2.2** El ensayo deberá efectuarse en un cuarto que esté libre de corriente de aire, en lo posible.

**C.2.3** Será permitido acortar el tiempo requerido para el ensayo mediante el uso de sobrecargas iniciales, restricción del enfriamiento u otros métodos adecuados.

**C.2.4** Los transformadores deberán ser aprobados bajo unas condiciones de carga que den unas pérdidas tan cercanas como sea posible a aquéllas obtenidas cuando el transformador está operando a su valor nominal de placa.

**C.2.5** Los transformadores deberán ser aprobados en la derivación que genere el mayor aumento de temperatura de los devanados.

**C.2.6** Antes de efectuar el ensayo será necesario medir la resistencia óhmica de los devanados de acuerdo con la NTC 375. Esta resistencia se conoce como "Resistencia en frío de los devanados" ( $R_0$ ) y es tomada a una temperatura de devanados igual a la temperatura ambiente.

Para tomarla, dependiendo del tamaño del transformador, no deberá haber circulado corriente alguna por los devanados durante un período mínimo de 8 h.

**C.2.7** Para un transformador con ventilación forzada, la temperatura ambiente es la de la entrada del aire y deberá estar entre 10 °C y 40 °C, la cantidad del aire en m<sup>3</sup>/s y la temperatura de entrada y salida serán medidas.

**C.3    REQUISITOS TÉCNICOS**

**C.3.1** Medidas de temperatura. Véase Numeral 21.3. Se considerará que el aumento de temperatura máximo se alcanzará cuando llegue a ser constante, esto será cuando el aumento de temperatura no varía más de 2 K/h o del 2% del incremento permisible de temperatura por hora, el menor de ambos.

**C.3.2** El uso de termocuplas es el método preferido para medir la temperatura de las superficies del transformador. Deberán estar colocadas en contacto íntimo con la superficie medida, fijada para mantener un contacto firme y térmicamente aisladas del medio.

**C.3.3** La termocuplas sensoras deberán ser aplicadas a las superficies del transformador así:

- Parte superior central de yugo superior
- Parte más interna del terminal de baja tensión de la fase central (unidad trifásica)
- Parte interna de baja tensión (transformador monofásico).

**C.3.4** Cuando el aumento de temperatura ha llegado a ser constante, la tensión de ensayo y la corriente deberán ser retirados, y los ventiladores, si son utilizados, se deberán apagar inmediatamente.

Las termocuplas o termómetros de las bobinas y cualquier otro indicador de temperatura deberán ser leídos continuamente en rotación hasta que la temperatura comience a descender. Si cualquiera de las temperaturas de los dispositivos es mayor que las observadas durante el ensayo, la más alta temperatura leída deberá ser anotada como la máxima del sensor.

**C.3.5** El aumento de temperatura de los devanados deberá ser determinado por el método de resistencia o por termómetro cuando así se especifique. Cuando sea medido el aumento de temperatura de las partes metálicas (diferente a los conductores de los devanados) en contacto con aislamientos deberá ser determinado por termocuplas o termómetros.

**C.3.6** Cuando se requieran ensayos de aumento de temperatura por termómetro (véase la Figura C.1) se deberá colocar al menos un termómetro de alcohol en cada grupo de bobinas de alta y baja tensión. Es importante que los termómetros de las bobinas sean colocados adecuadamente en los ductos de refrigeración de tal manera que indiquen la temperatura del devanado y no la del aire de refrigeración.

**C.3.7** La temperatura ambiente deberá ser tomada como la del aire circundante y no deberá ser menor de 10 °C ni mayor de 40 °C. Deberá ser el promedio de las lecturas de por lo menos tres termómetros o termocuplas espaciados uniformemente alrededor de los transformadores bajo ensayo. Deberán estar localizados cerca de la mitad de la altura de los transformadores a una distancia entre 0,9 m y 1,8 m desde el transformador y deberán estar protegidos de corrientes de aire y calentamientos anormales.

**C.3.8** Para reducir al mínimo los errores debidos a la diferencia de temperatura entre los incrementos de la temperatura de los devanados y las variaciones en la temperatura ambiente, las termocuplas o termómetros deberán ser localizados o introducidos en recipientes adecuados, con unas proporciones tales que no requieran menos de 2 h para que la temperatura dentro de ellos cambie 6,3 °C, si son colocados súbitamente en aire con 10 °C más o menos de temperatura que el previo estado estable que sea medido.

## **C.4    TOMA DE MUESTRAS Y CRITERIOS DE ACEPTACIÓN**

### **C.4.1    Criterio de aceptación del ensayo**

Se considerará que el transformador ha cumplido con los requisitos del ensayo cuando una vez efectuadas las correcciones anteriores el resultado del incremento de la temperatura de los devanados ( $T_t$ ), comparado con el valor especificado o normalizado, sea menor o igual al valor correspondiente al de la Tabla 4.

**C.5 PROCEDIMIENTO DE ENSAYO DE AUMENTO DE TEMPERATURA****C.5.1 Método de cortocircuito (o ensayo a corriente nominal y en vacío)**

Los ensayos de temperatura en unidades tipo ventilado e individuales pueden realizarse utilizando los aumentos de temperatura obtenidos en dos ensayos separados. Uno en vacío únicamente y otro con corriente nominal solamente y calculando el aumento de temperatura de los devanados utilizando la siguiente fórmula:

$$T_t = T_c [1 + (T_e / T_c)^{1,25}]^{0,8}$$

Donde:

- $T_t$  = aumento total de temperatura de los devanados con corriente total de carga en los devanados y excitación normal en el núcleo.
- $T_c$  = aumento de temperatura del devanado (alta o baja tensión) medido inmediatamente después del ensayo de calentamiento, con pérdidas de carga; con la corriente de plena carga que fluye en un devanado y el otro conectado en cortocircuito.
- $T_e$  = aumento de temperatura del devanado (alta o baja tensión) medido inmediatamente después del ensayo de calentamiento con excitación normal en el núcleo.

**C.5.2 Duración del ensayo**

Una vez alcanzado el equilibrio térmico se desenergiza el transformador, se retiran rápidamente todas las conexiones efectuadas anteriormente y se procede a tomar lecturas de resistencia de devanados según el numeral C.5.3; con los valores obtenidos de resistencia en caliente (R) se elabora la curva de resistencia de calentamiento (R contra tiempo) y se extrapola al momento de la desconexión para hallar la resistencia en el momento del equilibrio térmico ( $R_t = 0$ ).

Nota. Cuando se requiera, se deben aplicar las correcciones indicadas en los numerales 10.2, 10.3, 21.2 y C.6.

**C.5.3 Determinación de la elevación de temperatura promedio de los devanados**

C.5.3.1 Por el método de la resistencia en caliente. La temperatura promedio medida de un devanado puede ser determinada por cualquiera de las siguientes ecuaciones:

$$T = \frac{R}{R_o}(T_k + T_o) - T_k$$

$$T = \frac{R - R_o}{R_o}(T_k + T_o) + T_o$$

El aumento de temperatura promedio de una devanado puede ser determinado por la siguiente ecuación:

$$Tr = T - Ta$$

Donde:

- $T$  = temperatura (°C) correspondiente a la resistencia en caliente  $R$ .
- $To$  = temperatura (°C) correspondiente a las resistencia en frío  $Ro$ .
- $Tr$  = aumento de temperatura promedio (°C).
- $Ta$  = temperatura ambiente (°C) correspondiente a la resistencia en caliente  $R$ .
- $Ro$  = resistencia en frío determinada de acuerdo con los requisitos de la NTC 375.
- $R$  = resistencia en caliente.
- $Tk$  = 234,5 para cobre                       $Tk$  = 225 para aluminio

Nota.  $Tk$  puede llegar a valer 230 para aleaciones de aluminio.

- a) El tiempo de inducción para que la medida de la corriente llegue a ser estable debe ser anotado durante la medida de la resistencia en frío  $Ro$ , con el objeto de asegurar que se deje transcurrir el suficiente tiempo para que los efectos inductivos desaparezcan antes de que sea tomada la primera lectura de resistencia en caliente  $R$ .
- b) Cuando se transfieran terminales de un devanado a otro se debe conservar la misma polaridad relativa entre los terminales de ensayo y los terminales del transformador.
- c) Anotar el tiempo que transcurre entre el instante de la desconexión y cada medida de resistencia en caliente.

C.5.3.2 Corrección por extrapolación a la desconexión. Método de la curva de enfriamiento. Tomar una serie de por lo menos cuatro o preferiblemente más lecturas en una fase de cada devanado y anotar el tiempo después de la desconexión para cada lectura.

Las lecturas deben ser igualmente espaciadas (1 min) de tal manera que aseguran una extrapolación precisa hacia la desconexión. La primera lectura en cada devanado debe ser tomada tan rápido como sea posible después de la desconexión pero no antes que la corriente medida llegue a ser estable, y debe ser tomada antes de 4 min. Se debe elaborar una gráfica de los datos de tiempo, resistencia en un papel de coordenadas adecuadas y extrapolar la curva hacia el instante de la desconexión.

Nota. Se recomienda elaborar la curva de resistencia contra tiempo en transformadores trifásicos, en la columna central.

Para reducir el tiempo requerido para que la corriente alcance su valor estable en un arrollamiento con una gran constante de tiempo ( $L/R$ ), se añade en serie una resistencia no inductiva con la fuente de C.D.; la resistencia debe ser grande comparada con la inductancia del devanado y debe incrementarse la tensión del ensayo para compensar la caída en la resistencia. Puede también reducirse el tiempo haciendo que queden en circuito abierto los devanados del transformador durante el ensayo de resistencia (véase ANSI C. 57.12.91).

Nota. Cuando se requiera se deben aplicar las correcciones indicadas en el numeral 6.1.

## **C.6 CORRECCIONES Y CÁLCULOS**

### **C.6.1. Corrección por temperatura del medio ambiente.**

Cuando la temperatura del medio ambiente es diferente a 30 °C debe aplicarse una corrección al aumento de temperatura de los devanados, multiplicándola por un factor de corrección  $C$ , el cual está dado por la relación:

$$C = \frac{T_k + 30}{T_k + T_{a_0}}$$

Donde:

$T_{a_0}$  = temperatura del medio ambiente en el momento de la lectura de  $R_0$ .

$T_k$  = 234,5 para el cobre.

$T_k$  = 225 para el aluminio.

Nota. Para aleaciones de aluminio,  $T_k$  puede tener valores hasta 230.

### **C.6.2 Corrección por diferencia en la corriente nominal. De acuerdo con el numeral 21.2**

### **C.6.3 Corrección del aumento de temperatura por variación de altitud**

Cuando los ensayos son efectuados a una altitud que no exceda 1 000 m sobre el nivel del mar, no se aplica factor de corrección.

Cuando el transformador que es ensayado a una altitud de 1 000 m o menos va a ser operado a una altitud mayor de 1 000 m, debe asumirse que el aumento de temperatura observado se incrementará de acuerdo con la siguiente ecuación:

$$T_2 = T_1 + T_1' \quad T_1' = T_1 \left[ \frac{A - 1000}{100} \right] F$$

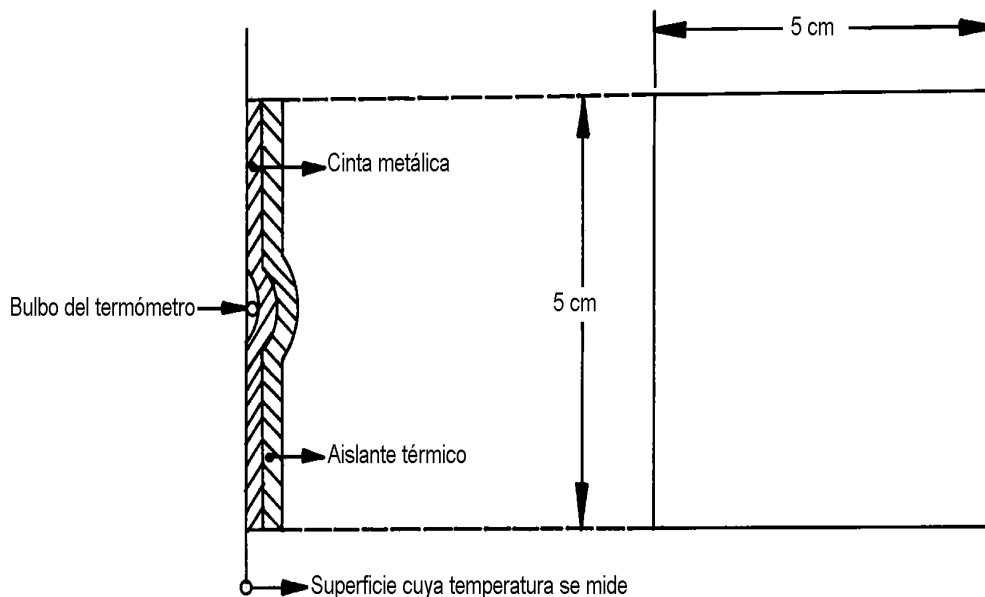
Donde:

- $T_2$  = aumento de temperatura corregido para una altitud de A m (°C).
- $T_1$  = aumento de temperatura observado (°C).
- $T_1'$  = incremento del aumento de temperatura observado (°C).
- $F$  = factor empírico dado por los siguientes valores.

Tipo de refrigeración	Factor empírico F
- Autoenfriados (AN).	- 0,005
- Autoenfriados con refrigeración auxiliar forzada (AN/AF).	- 0,006*
- Enfriamiento con aire forzado (AF).	- 0,010

\* Se aplica solamente a los valores nominales de aire forzado.

Nota. Con base en los procedimientos de cálculo y correcciones efectuados se compara el valor obtenido durante el ensayo con los parámetros de diseño y los valores garantizados.



**Figura C.1. Recomendación para aplicar el termómetro**