

2004-09-29

**TRANSFORMADORES DE MEDIDA.
TRANSFORMADORES DE CORRIENTE**



E: INSTRUMENT TRANSFORMERS. CURRENT TRANSFORMERS

CORRESPONDENCIA: esta norma es idéntica (IDT) por traducción de la IEC 60044-1

DESCRIPTORES: transformador de medida-transformador de corriente; transformador de corriente-ensayos; transformador de corriente-requisitos.

I.C.S.: 17.220.20

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

Prohibida su reproducción

Cuarta actualización
Editada 2004-10-08

PRÓLOGO

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

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 2205 (Cuarta actualización) fue ratificada por el Consejo Directivo del 2004-09-29.

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 144 Medidores de energía.

CHEC
ELECTROCOSTA
EMPRESA DE ENERGÍA DEL PACÍFICO
-EPSA-
EMPRESAS DE ENERGÍA DE PEREIRA
EMPRESAS MUNICIPALES DE CALI

HAP ELECTRÓNICA
INTERCONEXIÓN ELÉCTRICA S.A.
MEK LTDA.
RYMEL INGENIERÍA
SERVIMETERS

Además de las anteriores, en Consulta Pública el Proyecto se puso a consideración de las siguientes empresas:

ACTARIS COLOMBIA S.A.
ALDANA METERS LTDA.
CEDELCA
CENTRALES ELÉCTRICAS DE NORTE
DE SANTANDER
CIDET
COLTAVIRA
COMPAÑÍA AMERICANA DE
MULTISERVICIOS - CAM
COMPAÑÍA DE ELECTRICIDAD DE
TULÚA
CREG
DIGITRON
DINTEC
DISICO

ELECTRIFICADORA DE SANTANDER
ELECTRIFICADORA DEL META
ELECTROLIMA
EMPRESA ANTIOQUEÑA DE ENERGÍA
EMPRESA DE ENERGÍA DE BOYACÁ
EMPRESA DE ENERGÍA DE
CUNDINAMARCA
EMPRESA DE ENERGÍA DEL QUINDÍO
EMPRESAS PÚBLICAS DE MEDELLÍN
INCOMELEC
INELCA
INGEMERC
INGENIERÍA Y REPRESENTACIONES
INPEL
MEDER S.A.

METRELEC INGENIERÍA LTDA.
MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA
MTE LTDA.
PAFAL
SERVISYSTEMS
SUATELL LTDA.

SUPERINTENDENCIA DE INDUSTRIA Y
COMERCIO
TRANSFORMADORES C&CO ENERGY LTDA.
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE
OCCIDENTE
UNIVERSIDAD DEL VALLE

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

DIRECCIÓN DE NORMALIZACIÓN

CONTENIDO

	Página
0. INTRODUCCIÓN	1
1. GENERALIDADES	1
1.1 OBJETO	1
1.2 REFERENCIAS NORMATIVAS	2
2. DEFINICIONES.....	3
2.1 DEFINICIONES GENERALES	3
2.2 DEFINICIONES ADICIONALES PARA TRANSFORMADORES DE CORRIENTE PARA MEDIDA	7
2.3 DEFINICIONES ADICIONALES PARA TRANSFORMADORES DE CORRIENTE PARA PROTECCIÓN	8
3. CONDICIONES DE SERVICIO NORMALES Y ESPECIALES.....	10
3.1 CONDICIONES NORMALES EN SERVICIO	10
3.2 CONDICIONES DE SERVICIO ESPECIALES	11
3.3 SISTEMA DE PUESTA A TIERRA.....	12
4. VALORES NORMALIZADOS	12
4.1 VALORES NORMALIZADOS DE LAS CORRIENTES PRIMARIAS NOMINALES	12
4.2 VALORES NORMALIZADOS DE LAS CORRIENTES SECUNDARIAS NOMINALES	13
4.3 CORRIENTE TÉRMICA NOMINAL PERMANENTE.....	13
4.4 VALORES NORMALIZADOS DE POTENCIA NOMINAL.....	13
4.5 CORRIENTES DE CORTOCIRCUITO NOMINALES	13
4.6 LÍMITES DE ELEVACIÓN DE TEMPERATURA.....	14

	Página
5. REQUISITOS DE DISEÑO	15
5.1 REQUISITOS DEL AISLAMIENTO	15
5.2 REQUISITOS MECÁNICOS.....	21
6. CLASIFICACIÓN DE LOS ENSAYOS	21
6.1 ENSAYOS TIPO.....	21
6.2 ENSAYOS DE RUTINA.....	22
6.3 ENSAYOS ESPECIALES.....	22
7. ENSAYOS TIPO.....	23
7.1 ENSAYOS DE CORRIENTE DE CORTA DURACIÓN.....	23
7.2 ENSAYO DE ELEVACIÓN DE TEMPERATURA.....	24
7.3 ENSAYOS DE IMPULSO EN EL DEVANADO PRIMARIO.....	24
7.4 ENSAYOS EN HUMEDAD PARA TRANSFORMADORES DE TIPO EXTERIOR ...	26
7.5 MEDICIÓN DE PERTURBACIONES RADIOELÉCTRICAS.....	26
8. ENSAYOS DE RUTINA.....	27
8.1 VERIFICACIÓN DE LA MARCACIÓN DE LOS TERMINALES.....	27
8.2 ENSAYOS A FRECUENCIA INDUSTRIAL EN DEVANADOS PRIMARIOS Y MEDICIÓN DE DESCARGAS PARCIALES	27
8.3 ENSAYOS A FRECUENCIA INDUSTRIAL ENTRE SECCIONES DE DEVANADOS PRIMARIOS Y SECUNDARIOS Y EN DEVANADOS SECUNDARIOS	29
8.4 ENSAYO DE SOBRETENSIÓN ENTRE ESPIRAS.....	29
9. ENSAYOS ESPECIALES.....	30
9.1 ENSAYO DE IMPULSO RECORTADO EN EL DEVANADO PRIMARIO	30

	Página
9.2 MEDICIÓN DE LA CAPACITANCIA Y DEL FACTOR DE DISIPACIÓN DIELÉCTRICA	30
9.3 ENSAYOS MECÁNICOS	31
10. MARCACIÓN	32
10.1 MARCACIÓN DE LOS TERMINALES - REGLAS GENERALES	32
10.2 MARCACIÓN DE LA PLACA DE CARACTERÍSTICAS	33
11. REQUISITOS ADICIONALES PARA TRANSFORMADORES DE CORRIENTE PARA MEDIDA	34
11.1 DESIGNACIÓN DE LA CLASE DE EXACTITUD PARA TRANSFORMADORES DE CORRIENTE PARA MEDIDA	34
11.2 LÍMITES DE ERROR DE CORRIENTE Y DESPLAZAMIENTO DE FASE PARA LOS TRANSFORMADORES DE CORRIENTE PARA MEDIDA.....	34
11.3 TRANSFORMADORES DE CORRIENTE EXTENDIDA	36
11.4 ENSAYOS TIPO PARA LA EXACTITUD DE TRANSFORMADORES DE CORRIENTE PARA MEDIDA	36
11.5 ENSAYOS DE RUTINA PARA EXACTITUD DE LOS TRANSFORMADORES DE CORRIENTE PARA MEDIDA.....	37
11.6 FACTOR DE SEGURIDAD DEL INSTRUMENTO	37
11.7 ROTULADO DE LA PLACA DE CARACTERÍSTICAS DE UN TRANSFORMADOR DE CORRIENTE PARA MEDIDA.....	37
12. REQUISITOS ADICIONALES PARA TRANSFORMADORES DE CORRIENTE PARA PROTECCIÓN.....	38
12.1 FACTORES LÍMITE DE EXACTITUD NORMALIZADOS	38
12.2 CLASES DE EXACTITUD PARA TRANSFORMADORES DE CORRIENTE PARA PROTECCIÓN.....	38
12.3 LÍMITES DE ERRORES PARA TRANSFORMADORES DE CORRIENTE PARA PROTECCIÓN.....	38

	Página
12.4 ENSAYOS TIPO Y DE RUTINA PARA ERROR DE CORRIENTE Y DESPLAZAMIENTO DE FASE DE LOS TRANSFORMADORES DE CORRIENTE PARA PROTECCIÓN	38
12.5 ENSAYOS TIPO PARA ERROR COMPUESTO	39
12.6 ENSAYOS DE RUTINA PARA ERROR COMPUESTO	39
12.7 MARCACIÓN DE LA PLACA DE CARACTERÍSTICAS DE UN TRANSFORMADOR DE CORRIENTE PARA PROTECCIÓN	40
13. REQUISITOS ADICIONALES PARA TRANSFORMADORES DE CORRIENTE PARA PROTECCIÓN CLASE PR.....	40
13.1 FACTORES LÍMITE DE EXACTITUD NORMALIZADA.....	40
13.2 CLASES DE EXACTITUD PARA TRANSFORMADORES DE CORRIENTE PARA PROTECCIÓN CLASE PR.....	40
13.3 LÍMITES DE ERROR PARA TRANSFORMADORES DE CORRIENTE PARA PROTECCIÓN CLASE PR.....	40
13.4 ENSAYOS TIPO Y DE RUTINA PARA ERROR DE CORRIENTE Y DESPLAZAMIENTO DE FASE DE TRANSFORMADORES DE CORRIENTE PARA PROTECCIÓN CLASE PR.....	41
13.5 MARCACIÓN DE LAS PLACAS DE CARACTERÍSTICAS DE TRANSFORMADORES DE CORRIENTE DE CLASE PR	42
14. REQUISITOS ADICIONALES PARA TRANSFORMADORES DE CORRIENTE PARA PROTECCIÓN CLASE PX.....	42
14.1 ESPECIFICACIÓN DE DESEMPEÑO PARA TRANSFORMADORES DE CORRIENTE PARA PROTECCIÓN CLASE PX.....	42
14.2 REQUISITOS DE AISLAMIENTO PARA TRANSFORMADORES DE CORRIENTE DE PROTECCIÓN CLASE PX	42
14.3 ENSAYOS TIPO PARA TRANSFORMADORES DE CORRIENTE PARA PROTECCIÓN CLASE PX.....	43
14.4 ENSAYOS DE RUTINA PARA TRANSFORMADORES DE CORRIENTE PARA PROTECCIÓN CLASE PX.....	43
14.5 ROTULADO DE LA PLAZA DE CARACTERÍSTICAS PARA TRANSFORMADORES DE CORRIENTE CLASE PX	44

ANEXOS

ANEXO A (Normativo) TRANSFORMADORES DE CORRIENTE PARA PROTECCIÓN ..	51
ANEXO B (Informativo) ENSAYO DE IMPULSO RECORTADO MÚLTIPLE.....	56

TABLAS

Tabla 1	Categorías de temperatura	10
Tabla 2	Límites de elevación de temperatura de los devanados	14
Tabla 3	Niveles de aislamiento nominales para devanados primarios de transformadores con la tensión más alta para equipo de $U_m < 300 \text{ kV}$....	16
Tabla 4	Niveles de aislamiento nominales para devanados primarios de transformadores con la tensión más alta para equipo $U_m < 300 \text{ kV}$.....	17
Tabla 5	Tensiones no disruptivas a frecuencia industrial para devanados primarios de transformadores con la tensión más alta para equipo $U_m < 300 \text{ kV}$.....	17
Tabla 6	Tensiones de ensayo de descargas parciales y niveles permisibles.....	18
Tabla 7	Distancias de fuga.....	19
Tabla 8	Cargas del ensayo de resistencia estática	21
Tabla 9	Modalidades de aplicación de las cargas de ensayo que se deben aplicar a los terminales primarios.....	31
Tabla 10	Marcación de los terminales	33
Tabla 11	Límites de error de corriente y desplazamiento de fase para transformadores de corriente para medición (Clases 0,1 a 1)	35
Tabla 12	Límites de error de corriente y desplazamiento de fase para transformadores de corriente para medición, para casos especiales	36
Tabla 13	Límites de error de corriente para transformadores de corriente para medición (Clase 3 y 5)	36
Tabla 14	Límites de error de los transformadores de corriente para protección ..	38
Tabla 15	Límites de error para transformadores de corriente de protección Clase PR	41

**TRANSFORMADORES DE MEDIDA.
TRANSFORMADORES DE CORRIENTE**

0. INTRODUCCIÓN

Para los propósitos de esta norma se han hecho los siguientes cambios editoriales con respecto a su documento de referencia:

- Se omitió la expresión "esta parte de la norma IEC 60044".
- En el numeral 1.2 se incluyen algunas NTC idénticas a las normas IEC correspondientes.
- En el numeral 7.2, cuarto párrafo se adicionó la siguiente oración: "(consultar la NTC 2805 para orientación acerca de este método)", para orientar al usuario al aplicar el método de variación de resistencia.

1. GENERALIDADES

1.1 OBJETO

La presente norma se aplica a transformadores de corriente nuevos para uso con instrumentos de medición eléctrica y dispositivos de protección eléctrica con frecuencias entre 15 Hz y 100 Hz.

Aunque los requisitos se relacionan básicamente con transformadores con devanados separados, también se aplican, en donde sea apropiado, a autotransformadores.

El numeral 11 presenta los requisitos y ensayos, además de los de los numerales 3 a 10, que son necesarios para transformadores de corriente para uso con instrumentos de medición eléctrica.

El numeral 12 presenta los requisitos y ensayos, además de los de los numerales 3 a 10, que son necesarios para transformadores de corriente para uso con relés de protección eléctrica y en particular, para formas de protección en las cuales el requisito principal es el sostenimiento de la exactitud hasta varias veces la corriente nominal.

Para algunos sistemas de protección, en donde las características del transformador de corriente dependen del diseño total del equipo de protección (por ejemplo: sistemas balanceados de alta velocidad y protección de falla a tierra en sistemas de tierra resonantes),

en el numeral 13 se establecen requisitos adicionales para transformadores clase PR y en el numeral 14 para transformadores Clase PX.

El numeral 13 comprende los requisitos y ensayos adicionales a los de los numerales 3 a 10, que son necesarios para transformadores de corriente para uso con relés de protección eléctrica y en particular para formas de protección en las cuales el requisito principal es la ausencia de flujo remanente.

El numeral 14 comprende los requisitos y ensayos adicionales a los de los numerales 3 a 10, que son necesarios para transformadores de corriente para uso con relés de protección eléctrica, y en particular para formas de protección para las cuales el conocimiento de la característica de excitación del secundario del transformador, la resistencia del devanado del secundario, la resistencia de carga del secundario y la relación de las espiras es suficiente para evaluar su desempeño en relación con el sistema del relé de protección con el que se va a usar.

Los transformadores de corriente para medida y protección deben cumplir con los numerales de esta norma.

1.2 REFERENCIAS NORMATIVAS

Los siguientes documentos normativos referenciados son indispensables para la aplicación de este documento normativo. Para referencias fechadas, se aplica únicamente la edición citada. Para referencias no fechadas, se aplica la última edición del documento normativo referenciado (incluida cualquier corrección).

GTC 56:1998, Guía para la selección de aisladores bajo condiciones de contaminación (IEC 815).

NTC 276:1997, Evaluación térmica y clasificación del aislamiento eléctrico (IEC 85)

NTC 2613:1989, Medidores de descarga parcial (IEC 270).

NTC 3328:1999, Coordinación de aislamiento. Definiciones, principios y reglas. (IEC 60071-1).

NTC 4591:1999, Técnicas de ensayo de alta tensión. Definiciones generales y requisitos de ensayo. (IEC 60060-1).

IEC 60028:1925, International Standard of Resistance for Copper.

IEC 60038:1983, IEC Standard Voltages.

IEC 60044-6:1992, Instrument Transformers. Part 6: Requirements for Protective Current Transformers for Transient Performance.

IEC 60050(321):1986, International Electrotechnical Vocabulary. Chapitre 321: Instrument Transformes.

IEC 60121:1960, Recommendation for Commercial Annealed Aluminium Electrical Conductor Wire.

IEC 60567:1992, Guide for the Sampling of Gases and of Oil from Oil-filled Electrical Equipment and for the Analysis of Free and Dissolved Gasses.

IEC 60599:1978, Interpretation of the Analysis of Gases in Transformers and Other Oil-Filled Electrical Equipment in Service.

IEC 60721, Classification of Environmental Conditions.

CISPR 18-2, 1986, Radio Interference Characteristics of Overhead Power Lines and High-Voltage Equipment. Part 2: Methods of Measurement and Procedure for Determining Limits.

2. DEFINICIONES

Para el propósito de esta norma, se aplican las siguientes definiciones:

2.1 DEFINICIONES GENERALES

2.1.1

transformador para instrumentos

transformador previsto para alimentar instrumentos de medición, medidores, relés y otros aparatos similares (IEV 321-01-01 modificada).

2.1.2

transformador de corriente

transformador para instrumentos en el cual la corriente secundaria, en condiciones normales de uso, es substancialmente proporcional a la corriente primaria y cuya diferencia de fase es aproximadamente cero para una dirección apropiada de las conexiones (IECV 321-02-01).

2.1.3

devanado primario

devanado a través del cual fluye la corriente por transformar.

2.1.4

devanado secundario

devanado que alimenta los circuitos de corriente de los instrumentos de medición, medidores, relés o aparatos similares.

2.1.5

circuito secundario

circuito externo alimentado por el devanado secundario de un transformador.

2.1.6

corriente primaria nominal

el valor de la corriente primaria en la cual se basa el funcionamiento del transformador (IEV 321-01-11).

2.1.7

corriente secundaria nominal

el valor de la corriente secundaria en la cual se basa el funcionamiento del transformador (IEV 321-01-15).

2.1.8

relación de transformación real

la relación de la corriente primaria real a la corriente secundaria real (IEV 321-01-17 modificado).

2.1.9

relación de transformación nominal

la relación de la corriente primaria nominal a la corriente secundaria nominal (IEC 321-01-19).

2.1.10**error de corriente (error de relación)**

el error que un transformador introduce en la medición de una corriente y que surge del hecho de que la relación de transformación real no es igual a la corriente de transformación nominal (IEV 3 21-01-21).

El error de corriente expresado en porcentaje está dado por la fórmula:

$$\text{Error de corriente \%} = \frac{(K_n I_s - I_p) \times 100}{I_p}$$

de donde

K_n es la relación de transformación nominal;

I_p es la corriente primaria real;

I_s es la corriente secundaria real cuando I_p fluye, bajo las condiciones de medición.

2.1.11**desplazamiento de fase**

la diferencia en fase entre los vectores de corriente primaria y secundaria. La dirección de los vectores es tal que para un transformador ideal el ángulo es cero (IEV 321-01-23).

El desplazamiento de fase es positivo cuando el vector de corriente secundaria adelanta al vector de corriente primaria. Se expresa generalmente en minutos o centirradiantes.

NOTA Esta definición es estrictamente correcta para corrientes sinusoidales únicamente.

2.1.12**clase de exactitud**

designación asignada a un transformador de corriente cuyos errores permanecen dentro de los límites especificados bajo las condiciones de uso prescritas.

2.1.13**carga**

la impedancia del circuito secundario en ohmios a un factor de potencia.

La carga se expresa generalmente como la potencia aparente en voltamperios, absorbida a un factor de potencia especificado y a la corriente secundaria nominal.

2.1.14**carga nominal**

el valor de la carga en el cual se basan los requisitos de exactitud de esta norma.

2.1.15**capacidad de salida nominal**

el valor de la potencia aparente (en voltamperios a un factor de potencia especificado) previsto para ser suministrado por el transformador al circuito secundario, a la corriente secundaria nominal y con la carga nominal conectada a éste.

2.1.16**tensión más alta para el equipo**

es el mayor valor de tensión eficaz, de fase a fase, para el cual se ha diseñado el transformador, con respecto a su aislamiento.

2.1.17

tensión más alta de un sistema

el valor más alto de la tensión de funcionamiento que se produce bajo condiciones normales de funcionamiento, en cualquier momento y en cualquier punto del sistema.

2.1.18

nivel de aislamiento nominal

la combinación de los valores de tensión que caracteriza el aislamiento de un transformador con respecto a su capacidad para soportar esfuerzos dieléctricos.

2.1.19

sistema con neutro aislado

sistema en donde el punto neutro no está conectado intencionalmente a tierra, excepto para conexiones de alta impedancia para propósitos de protección o medición (IEV 601-02-24).

2.1.20

sistema con neutro sólidamente aterrizado

sistema cuyo(s) punto(s) neutro(s) está(n) puesto(s) a tierra directamente (IEV 601-02-26).

2.1.21

sistema (neutro) puesto a tierra con impedancias

un sistema cuyo(s) punto(s) neutro(s) está(n) puestos a tierra a través de impedancias para limitar las corrientes de falla a tierra (IEV 601-02-26).

2.1.22

sistema (neutro) de puesta a tierra resonante

sistema en el cual uno o más puntos neutros se conectan a tierra a través de reactancias que compensan aproximadamente el componente capacitivo de una corriente de falla monofásica a tierra (IEV 601-02-27).

NOTA Con la puesta a tierra resonante de un sistema, la corriente residual en la falla está limitada en tal medida, que una falla de arco en el aire normalmente se autoextingue.

2.1.23

factor de falla a tierra

en un sitio dado en un sistema trifásico es la relación entre el valor eficaz más alto de tensión de fase a tierra a frecuencia industrial en una fase sin falla, durante una falla a tierra (que afecta una o más fases en cualquier punto en el sistema), y el valor eficaz de la tensión de fase a tierra a frecuencia industrial, que se obtendría en un sitio dado en ausencia de tal falla (IEV 604-03-06).

2.1.24

sistema con neutro a tierra

sistema en el cual el neutro está conectado a tierra, ya sea sólidamente o a través de una resistencia o reactancia de un valor lo suficientemente bajo para reducir las oscilaciones transitorias y para dar una corriente suficiente para protección selectiva de falla a tierra:

- a) Un sistema con neutro conectado efectivamente a tierra en un sitio dado es un sistema caracterizado por un factor de falla a tierra en este punto, el cual no es superior a 1,4.

NOTA Esta condición se obtiene en general cuando para todas las configuraciones del sistema, la relación de la reactancia de secuencia cero a la reactancia de secuencia positiva es menor que 3 y la relación de la resistencia de secuencia cero a la reactancia de secuencia positiva es menor que 1.

- b) Un sistema con neutro no conectado efectivamente a tierra en un sitio dado es un sistema caracterizado por un factor de falla a tierra en este punto, el cual puede ser superior a 1,4.

2.1.25

instalación expuesta

instalación en la cual el aparato se somete a sobretensiones de origen atmosférico.

NOTA Normalmente estas instalaciones están conectadas a líneas aéreas de transmisión, ya sea directamente o a través de un tramo de cable corto.

2.1.26

instalación no expuesta

instalación en la cual el aparato no está sometido a sobretensiones de origen atmosférico.

NOTA Normalmente estas instalaciones están conectadas a redes de cables.

2.1.27

frecuencia nominal

el valor de la frecuencia en el cual se basan los requisitos de esta norma.

2.1.28

corriente térmica nominal de corta duración (I_{th})

el valor eficaz de la corriente primaria que un transformador soportará durante 1 s sin sufrir efectos perjudiciales, cuando el secundario está en cortocircuito.

2.1.29

corriente dinámica nominal (I_{dyn})

el valor pico de la corriente primaria que un transformador soportará sin sufrir daño eléctrico o mecánico debido a las fuerzas electromagnéticas resultantes, cuando el devanado secundario está en cortocircuito.

2.1.30

corriente térmica nominal permanente (I_{cth}) el valor de la corriente que se puede permitir fluir continuamente en el devanado primario, cuando el devanado secundario está conectado a la carga nominal, sin que el aumento de temperatura exceda los valores especificados.

2.1.31

corriente excitadora

el valor eficaz de la corriente, tomado por el devanado secundario de un transformador de corriente, cuando se aplica una tensión sinusoidal de frecuencia nominal a los terminales secundarios, y el devanado primario y cualquier otro están en circuito abierto.

2.1.32

carga resistiva nominal (R_b)

valor nominal de la carga resistiva conectada al secundario, expresado en ohmios.

2.1.33

resistencia del devanado secundario (R_{ct})

resistencia con corriente continua del devanado secundario, en ohmios, corregida a 75 °C u otra temperatura especificada.

2.1.34**error compuesto**

en condiciones de régimen estable, es el valor eficaz de la diferencia entre:

- a) Los valores instantáneos de la corriente primaria, y
- b) Los valores instantáneos de la corriente secundaria real multiplicada por la relación de transformación nominal, los signos positivos de las corrientes primaria y secundaria corresponden a la convención para marcación de terminales.

El error compuesto ϵ_c se expresa generalmente como un porcentaje de los valores eficaces de la corriente primaria de acuerdo con la fórmula:

$$e_c = \frac{100}{I_p} \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T (k_n i_s - i_p)^2 dt}$$

de donde

- K_n es la relación de transformación nominal.
- I_p es el valor eficaz de la corriente primaria;
- i_p es el valor instantáneo de la corriente primaria;
- i_s es el valor instantáneo de la corriente secundaria;
- T es la duración de un ciclo.

2.1.35 Transformador de corriente de relación múltiple

Transformador de corriente en el que se obtienen más relaciones conectando las secciones del devanado primario en serie o en paralelo o por medio de conmutadores (taps) en el devanado secundario.

2.2 DEFINICIONES ADICIONALES PARA TRANSFORMADORES DE CORRIENTE PARA MEDIDA**2.2.1****transformador de corriente para mediciones**

transformador de corriente diseñado para alimentar instrumentos de medición, medidores y dispositivos similares.

2.2.2**corriente primaria límite nominal del instrumento (IPL)**

es el valor de la corriente primaria mínima a la cual el error compuesto del transformador de corriente para mediciones es igual o superior al 10 %, y la carga secundaria es igual a la carga nominal.

NOTA Es conveniente que el error compuesto sea mayor del 10 %, con el fin de proteger el aparato alimentado por el transformador contra las altas corrientes producidas en el caso de falla del sistema.

2.2.3

factor de seguridad del instrumento (FS)

es la relación de la corriente primaria límite nominal del instrumento a la corriente primaria nominal.

NOTA 1 Es conveniente prestar atención al hecho de que el factor real de seguridad del instrumento se ve afectado por la carga.

NOTA 2 En el caso de corrientes de falla en el sistema que fluyen a través del devanado primario de un transformador de corriente, la seguridad del aparato alimentado por el transformador es mayor cuando el valor del factor de seguridad nominal del instrumento (FS) es pequeño.

2.2.4

fuerza electromotriz límite del secundario

es el producto del factor de seguridad del instrumento FS, la corriente secundaria nominal y la suma vectorial de la carga nominal y la impedancia del devanado secundario.

NOTA 1 El método por el cual se calcula la fuerza electromotriz límite del secundario dará un valor superior al real. Se escogió para aplicar el mismo método de ensayo que en los numerales 11.6 y 12.5 para transformadores de corriente de protección.

Se pueden usar otros métodos, de común acuerdo entre el fabricante y el comprador.

NOTA 2 Para calcular la fuerza electromotriz límite del secundario, se recomienda corregir la resistencia del devanado secundario para una temperatura de 75 °C.

2.3 DEFINICIONES ADICIONALES PARA TRANSFORMADORES DE CORRIENTE PARA PROTECCIÓN

2.3.1

transformador de corriente para protección

transformador de corriente previsto para alimentar los relés de protección.

2.3.2

corriente primaria límite de exactitud nominal

el valor más alto de la corriente primaria para el cual el transformador cumplirá los requisitos de error compuesto.

2.3.3

factor límite de exactitud

la relación de la corriente primaria límite de exactitud nominal a la corriente primaria nominal.

2.3.4

fuerza electromotriz límite del secundario

es el producto del factor límite de exactitud, la corriente secundaria nominal y la suma vectorial de la carga nominal y la impedancia del devanado secundario.

2.3.5

transformador de corriente para protección de clase PR

transformador de corriente con un factor de remanencia limitado para el cual, en algunos casos, también se puede especificar un valor de la constante de tiempo secundario y/o un valor máximo de resistencia del devanado secundario.

2.3.6

flujo de saturación (y_s)

el valor pico del flujo que existiría dentro de un núcleo en la transición de la condición no saturada a la completamente saturada, y se considera que es ese punto sobre la característica

B-H para el núcleo involucrado, en el cual un aumento del 10 % en B hace que H se incremente en un 50 %.

2.3.7

flujo remanente (y_r)

el valor del flujo que permanecería en el núcleo 3 min después de la interrupción de una corriente de excitación de magnitud suficiente para inducir el flujo de saturación (y_s) definido en el numeral 2.3.6.

2.3.8

factor de remanencia (K_r)

la relación $K_r = 100 \times y_r / (y_s)$, expresada como un porcentaje (%).

2.3.9

constante de tiempo nominal del bucle secundario (T_s)

valor de la constante de tiempo del bucle secundario del transformador de corriente, obtenido de la suma de la inductancia magnetizante y de fuga (L_s) y de la resistencia del bucle secundario (R_s).

$$T_s = L_s / R_s$$

2.3.10

característica de excitación

presentación tabular o gráfica de la relación entre el valor eficaz de la corriente de excitación y una fuerza electromotriz sinusoidal de valor eficaz aplicada a los terminales secundarios de un transformador de corriente, con el primario y otros devanados en circuito abierto, en un rango de valores suficiente para determinar las características desde los niveles bajos de excitación hasta el valor nominal de la tensión de f. e. m. del punto de codo.

2.3.11

transformador de corriente para protección clase PX

transformador de baja inductancia de fuga para el cual el conocimiento de la característica de excitación secundaria del transformador, la resistencia del devanado secundario, la resistencia de carga secundaria y la relación de las espiras es suficiente para evaluar su desempeño con relación al sistema de relé de protección con el que se va a usar.

2.3.12

valor nominal de f. e. m. del punto de codo (E_k)

valor mínimo de la f. e. m. sinusoidal eficaz a frecuencia industrial nominal, cuando se aplica a los terminales secundarios del transformador, con todos los otros terminales en circuito abierto, el cual, cuando se aumenta en un 10 %, causa que el valor eficaz de la corriente de excitación aumente en máximo el 50 %.

NOTA El valor real de la f. e. m. del punto de codo será \geq el valor nominal de f. e. m. del punto de codo.

2.3.13

relación nominal de las espiras

la relación requerida entre el número de espiras primarias, y el número de espiras secundarias.

EJEMPLO 1 1/600 (una espira primaria con seiscientas espiras secundarias)

EJEMPLO 2 2/1 200 (transformador de corriente con una relación similar al ejemplo 1, pero empleando dos espiras primarias).

2.3.14**error en la relación de las espiras**

la diferencia entre las relaciones de las espiras nominales y las reales, expresada como un porcentaje:

$$\text{Error en la relación de las espiras(\%)} = \frac{(\text{relación de las espiras reales} - \text{relación de las espiras nominales})}{\text{relación de las espiras nominales}} \times 100$$

2.3.15**factor de dimensionamiento (K_x)**

factor asignado por el comprador para indicar el múltiplo de la corriente secundaria nominal (I_{sn}) que ocurre bajo condiciones de falla del sistema de potencia, inclusive de factores de seguridad, hasta el cual se requiere que el transformador cumpla los requisitos de desempeño.

3. CONDICIONES DE SERVICIO NORMALES Y ESPECIALES

En la serie de normas IEC 60721 se presenta información detallada concerniente a la clasificación de las condiciones ambientales.

3.1 CONDICIONES NORMALES EN SERVICIO**3.1.1 Temperatura del ambiente.**

Los transformadores de corriente se clasifican en tres categorías, como se establece en la Tabla 1.

Tabla 1. Categorías de temperatura

Categoría	Temperatura mínima °C	Temperatura máxima °C
- 5/40	- 5	40
- 25/40	- 25	40
- 40/40	- 40	40

NOTA Al seleccionar la categoría de temperatura, se recomienda tener en cuenta las condiciones de almacenamiento y transporte.

3.1.2 Altitud

La altitud no excede 1 000 m.

3.1.3 Vibraciones o temblores de tierra

Las vibraciones debidas a causas externas al transformador de corriente o temblores de tierra son despreciables.

3.1.4 Otras condiciones de servicio para transformadores de corriente para interiores.

Otras condiciones de servicio consideradas son:

- a) La influencia de la radiación solar puede despreciarse.

- b) El aire del ambiente no este significativamente contaminado por polvo, humo, gases corrosivos, vapores o sal.
- c) Las condiciones de humedad son:
 - 1) El valor promedio de la humedad relativa, medida durante un período de 24 h, no excede el 95 %
 - 2) El valor promedio de la presión del vapor de agua para un período de 24 h no excede 2,2 kPa
 - 3) El valor promedio de la humedad relativa, para un período de un mes, no excede el 90 %
 - 4) El valor promedio de la presión del vapor de agua, para un período de un mes, no excede 1,8 kPa.

Para estas condiciones, ocasionalmente se puede presentar condensación.

NOTA 1 Se puede esperar condensación cuando se presentan cambios bruscos de temperatura en períodos de alta humedad.

NOTA 2 Para soportar los efectos de la humedad alta y de la condensación, tales como la falla del aislamiento o la corrosión de las partes metálicas, se recomienda usar transformadores de corriente diseñados para estas condiciones.

NOTA 3 La condensación se puede evitar mediante un diseño especial de la carcasa, ventilación adecuada y calentamiento, o el uso de equipo deshumidificador.

3.1.5 Otras condiciones de servicio para transformadores de corriente en exteriores

Otras condiciones de servicio consideradas son:

- a) Valor promedio de la temperatura del aire ambiente, medida en un período de 24 h, no excede 35 °C.
- b) Se recomienda considerar la radiación solar hasta un nivel de 1 000 W/m² (en un día claro a medio día).
- c) El aire ambiente puede estar contaminado por polvo, humo, gas. vapores o sal.

Los niveles de contaminación se dan en la Tabla 7.

- d) La presión del viento no excede los 700 Pa (correspondiente a una velocidad del viento de 34 m/s).
- e) Se recomienda tener en cuenta la presencia de condensación o precipitación.

3.2 CONDICIONES DE SERVICIO ESPECIALES

Cuando se pueden usar transformadores de corriente en condiciones diferentes de las de servicio normal presentadas en el numeral 3.1, se recomienda que los requisitos de los usuarios hagan referencia a pasos normalizados, como sigue:

3.2.1 Temperatura ambiente

Para instalación en un sitio en donde la temperatura ambiente puede estar significativamente por fuera del intervalo de condiciones normales de servicio establecidas en el numeral 3.1.1, se recomienda que los intervalos preferidos de temperatura máxima y mínima sean:

- - 50 °C y 40 °C para climas muy fríos.
- - 5 °C y 50 °C para climas muy calientes.

En algunas regiones con presencia frecuente de vientos húmedos y cálidos, se pueden presentar cambios de temperatura que dan como resultado condensación, incluso en interiores.

NOTA. Bajo algunas condiciones de radiación solar se pueden usar medidas apropiadas, por ejemplo techados, ventilación forzada, etc., o desclasificación, con el fin de no exceder las elevaciones de temperatura especificadas.

3.2.2 Altitud

Para instalación a una altitud superior a 1 000 m, la distancia de arco bajo las condiciones atmosféricas de referencia normalizadas se debe determinar multiplicando las tensiones no disruptivas exigidas en condición de servicio por un factor k, de acuerdo con la Figura 1.

NOTA En cuanto al aislamiento interno, la rigidez dieléctrica no se ve afectada por la altitud. El método para verificar el aislamiento externo se debe acordar entre el fabricante y el comprador.

3.2.3 Terremotos

Los requisitos y ensayos se encuentran en estudio.

3.3 SISTEMAS DE PUESTA A TIERRA

Los sistemas de puesta a tierra considerados, son:

- a) Sistema con neutro aislado (véase el numeral 2.1.20).
- b) Sistema de tierra resonante (véase el numeral 2.1.23).
- c) Sistema con neutro puesto a tierra (véase el numeral 2.1.25).
 - 1) Sistema con neutro puesto directamente a tierra (véase el numeral 2.1.21).
 - 2) Sistema con neutro puesto a tierra por impedancia (véase el numeral 2.1.22)

4. VALORES NORMALIZADOS

4.1 VALORES NORMALIZADOS DE LAS CORRIENTES PRIMARIAS NOMINALES

4.1.1 Transformadores de relación sencilla

Los valores normalizado de las corrientes primarias nominales son:

10 - 12,5 - 15 - 20 - 25 - 30 - 40 - 50 - 60 - 75 A

y sus múltiplos o fracciones decimales.

Los valores preferidos son los subrayados.

4.1.2 Transformadores de relación múltiple

Los valores normalizados presentados en el numeral 4.1.1 hacen referencia a los valores más bajos de la corriente primaria nominal.

4.2 VALORES NORMALIZADOS DE LAS CORRIENTES SECUNDARIAS NOMINALES

Los valores normalizados de las corrientes secundarias nominales son 1A, 2A y 5A, pero el valor preferido es 5A.

NOTA Para transformadores previstos para grupos conectados en delta, los valores precedentes divididos por $\sqrt{3}$ también son valores normalizados.

4.3 CORRIENTE TÉRMICA NOMINAL PERMANENTE

El valor normalizado de la corriente térmica nominal permanente es la corriente primaria nominal.

Cuando se especifica una corriente térmica nominal permanente mayor que la corriente primaria nominal, los valores preferidos deberían ser de 120 % a 150 % y 200 % de la corriente primaria nominal.

4.4 VALORES NORMALIZADOS DE POTENCIA NOMINAL

Los valores normalizados de potencia nominal hasta 30 VA son:

2,5 - 5,0 - 10 - 15 y 30 VA

Los valores sobre 30 VA se pueden seleccionar para responder a las necesidades.

NOTA Para un transformador dado, si uno de los valores de salida nominal es normalizado y asociado con una clase de exactitud normalizada, la declaración de otras salidas nominales, que pueden ser valores no normalizados, pero asociados con otras clases de exactitud normalizadas, también se pueden indicar.

4.5 CORRIENTES DE CORTOCIRCUITO NOMINALES

Los transformadores de corriente alimentados con un devanado primario fijo o conductor deben cumplir los requisitos de los numerales 4.5.1 y 4.5.2.

4.5.1 Corriente térmica nominal de corta duración (I_{th})

Una corriente térmica nominal de corta duración (I_{th}) se debe asignar al transformador (véase el numeral 2.1.25).

4.5.2 Corriente dinámica nominal (I_{dyn})

El valor de la corriente dinámica nominal (I_{dyn}) debe ser normalmente 2,5 veces la corriente térmica nominal de corta duración (I_{th}) y se debe indicar en la placa de características cuando es diferente de este valor (véase el numeral 2.1.26).

4.6 LÍMITES DE ELEVACIÓN DE TEMPERATURA

La elevación de temperatura de un transformador de corriente cuando transporta una corriente primaria igual a la corriente térmica continua nominal, con una carga de factor de potencia unitaria correspondiente a la potencia nominal, no debe exceder el valor apropiado presentado en la Tabla 2. Estos valores se basan en las condiciones de servicio del numeral 3.

Si se especifican temperaturas del ambiente de valores superiores a los del numeral 3.1, la elevación de temperatura permisible en la Tabla 2 se debe reducir en una cantidad igual al exceso de temperatura ambiente.

Si se especifica un transformador para servicio a una altitud superior a 1 000 m, y se ensaya a una altitud por debajo de 1 000 m, los límites de elevación de temperatura dados en la Tabla 2 se deben reducir en las siguientes cantidades por cada 100 m que la altitud en el sitio de operación exceda los 1 000 m:

- a) Transformadores sumergidos en aceite 0,4 %
- b) Transformadores de tipo seco 0,5 %

La elevación de temperatura de los devanados está limitada por la menor clase de aislamiento, ya sea del propio devanado o del medio circundante en que se encuentra embebido. Las máximas elevaciones de temperatura de las clases de aislamiento se dan en la Tabla 2.

Tabla 2. Límites de elevación de temperatura de los devanados

Clases de aislamiento (de acuerdo con la NTC 276 (IEC 60085))	Elevación máxima de temperatura K
Todas las clases sumergidas en aceite	60
Todas las clases sumergidas en aceite y selladas herméticamente.	65
Todas las clases sumergidas en un compuesto bituminoso	50
Clases no sumergidas en aceite o compuesto bituminoso:	
Y	45
A	60
E	75
B	85
F	110
H	135

NOTA Con algunos productos, por ejemplo: resinas, se recomienda que el fabricante especifique la clase de aislamiento pertinente.

Cuando el transformador cuenta con un tanque conservador, posee un gas inerte sobre el aceite, o está sellado herméticamente, la elevación de temperatura del aceite en la parte superior del tanque o carcasa no debe exceder los 55 K.

Si no existe ninguna de las disposiciones anteriores, la elevación de temperatura del aceite en la parte superior del tanque o carcasa no debe exceder los 50 K.

La elevación de temperatura medida en la superficie externa del núcleo y otras partes metálicas en donde haya contacto o que están adyacentes al aislamiento, no deben exceder el valor apropiado de la Tabla 2.

5. REQUISITOS DE DISEÑO

5.1 REQUISITOS DEL AISLAMIENTO

Estos requisitos se aplican a todos los tipos de aislamiento de transformadores de corriente. Para transformadores de corrientes con aislamiento de gas pueden ser necesarios requisitos complementarios (en estudio).

5.1.1 Niveles de aislamiento nominales para devanados primarios

El nivel de aislamiento nominal de un devanado primario de un transformador de corriente se debe basar en su mayor tensión para el equipo U_m .

Para un transformador de corriente sin devanado primario y sin aislamiento primario propio, se supone un valor $U_m = 0,72$ kV.

5.1.1.1 Para devanados con $U_m = 0,72$ kV ó 1,2 kV, el nivel del aislamiento nominal se determina por la tensión no disruptiva a frecuencia industrial, de acuerdo con la Tabla 3.

5.1.1.2 Para devanados con $U_m = 3,6$ kV y mayores pero menores de 300 kV, el nivel de aislamiento nominal se determina por las tensiones nominales no disruptivas de impulso tipo rayo y a frecuencia industrial, y se deben escoger de acuerdo con la Tabla 4.

Para la selección entre niveles alternativos para el mismo valor de U_m , véase la NTC 3328 (IEC 60071-1).

5.1.1.3 Para devanados con U_m mayor o igual a 300 kV, el nivel de aislamiento nominal se determina por las tensiones nominales no disruptivas de impulso tipo maniobra y tipo rayo y se deben escoger de acuerdo con la Tabla 4.

Para la selección entre niveles alternativos para el mismo valor de U_m , véase la NTC 3328 (IEC 60071-1).

Tabla 3. Niveles de aislamiento nominales para devanados primarios de transformadores con la tensión más alta para equipo de $U_m < 300$ kV

Tensión más alta para el equipo U_m (valor eficaz) kV	Tensión nominal no disruptiva a frecuencia industrial (valor eficaz) kV	Tensión nominal no disruptiva de impulso tipo rayo (pico) kV
0,72	3	-
1,2	6	-
3,6	10	20 40
7,2	20	40 60
12	28	60 75
17,5	38	75 95
24	50	95 125
36	70	145 170
52	95	250
72,5	140	325
100	185	450
123	185	450
	230	550
145	230	550
	275	650
170	275	650
	325	750
245	395	950
	460	1 050

NOTA Para instalaciones expuestas, se recomienda escoger los niveles de aislamiento más altos.

Tabla 4. Niveles de aislamiento nominales para devanados primarios de transformadores con la tensión más alta para equipo $U_m \geq 300$ kV

Tensión para el equipo U_m (valor eficaz) kV	Tensión nominal no disruptiva de impulso tipo maniobra (pico) kV	Tensión nominal no disruptiva de impulso tipo rayo (pico) kV
300	750	950
	850	1 050
362	850	1 050
	950	1 175
420	1 050	1 300
	1 050	1 425
525	1 050	1 425
	1 175	1 550
765	1 425	1 950
	1 550	2 100

NOTA 1 Para instalaciones expuestas, se recomienda escoger los niveles de aislamiento más altos.

NOTA 2 Como los niveles de tensión de ensayo para $U_m = 765$ kV no se han establecido definitivamente, puede ser necesario intercambiar un poco los niveles de ensayo de impulso tipo rayo y tipo maniobra.

5.1.2 Otros requisitos para aislamientos de devanados primarios

5.1.2.1 Tensión no disruptiva a frecuencia industrial

Los devanados con la tensión más alta para equipo $U_m \geq 300$ kV deben soportar la tensión no disruptiva a frecuencia industrial correspondiente a la tensión no disruptiva de impulso tipo rayo seleccionada de acuerdo con la Tabla 5.

5.1.2.2 Descargas parciales

Los requisitos de descargas parciales se aplican a transformadores de corriente con U_m no inferior a 7,2 kV.

El nivel de descarga parcial no debe exceder los límites especificados en la Tabla 6, a la tensión de ensayo de descarga parcial especificada en la misma tabla, después de una tensión preliminar aplicada de acuerdo con los procedimientos del numeral 8.2.2.

Tabla 5. Tensiones no disruptivas a frecuencia industrial para devanados primarios de transformadores con la tensión más alta para equipo $U_m \geq 300$ kV

Tensión nominal no disruptiva de impulso tipo rayo (pico) kV	Tensión nominal no disruptiva a frecuencia industrial (valor eficaz) kV
950	395
1 050	460
1 175	510
1 300	570
1 425	630
1 550	680
1 950	880
2 100	975

Tabla 6. Tensiones de ensayo de descargas parciales y niveles permisibles

Tipo de puesta a tierra del sistema	Tensión de ensayo de las descargas parciales (valor eficaz) kV	Nivel permisible de descargas parciales pC	
		Tipo de aislamiento	
		Sumergido en líquido	Sólido
Sistema con neutro puesto a tierra (factor de falla a tierra $\leq 1,5$)	U_m	10	50
	$\frac{1,2 U_m}{\sqrt{3}}$	5	20
Sistema aislado o con el neutro no puesto a tierra efectivamente (factor de falla a tierra $> 1,5$)	U_m	10	50
	$\frac{1,2 U_m}{\sqrt{3}}$	5	20

NOTA 1 Si el sistema con neutro no se define, son válidos los valores dados para sistemas puestos a tierra aislados o no puestos a tierra efectivamente.

NOTA 2 El nivel permisible de descargas parciales también es válido para frecuencias diferentes de la nominal.

5.1.2.3 Impulso recortado tipo rayo

Si se especifica adicionalmente, el devanado primario debe estar en capacidad de soportar una tensión de impulso recortado tipo rayo, con un valor pico de 115 % de la tensión de impulso tipo rayo total.

NOTA Se pueden acordar valores inferiores de tensión de ensayo entre el fabricante y el comprador.

5.1.2.4 Capacitancia y factor de disipación dieléctrica

Estos requisitos se aplican solamente a transformadores con aislamiento de devanado primario sumergido en líquido, con $U_m \geq 72,5$ kV.

Los valores de capacitancia y factor de disipación dieléctrica ($\tan \delta$) se deben referir a la frecuencia nominal y a un nivel de tensión en el intervalo de 10 kV a $\frac{U_m}{\sqrt{3}}$

NOTA 1 El propósito es controlar la uniformidad de la producción. Los límites para las variaciones permisibles pueden ser objeto de un acuerdo entre el fabricante y el comprador.

NOTA 2 El factor de disipación dieléctrica depende del diseño del aislamiento, y de la tensión y la temperatura. Su valor a $\frac{U_m}{\sqrt{3}}$ y temperatura ambiente normalmente no excede 0,005.

5.1.2.5 Impulsos recortados múltiples

Si se acuerda adicionalmente, el devanado primario de los transformadores de corriente sumergidos en aceite con $U_m \geq 300$ kV debe estar en capacidad de soportar impulsos recortados múltiples para controlar el comportamiento a los esfuerzos de alta frecuencia esperados en la operación.

Ya que no se cuenta con suficiente experiencia para proponer un programa de ensayo definitivo y criterios de aceptación, en esta norma solamente se presenta alguna información sobre un posible procedimiento de ensayo, en el Anexo B. La prueba de que el diseño es adecuado, se deja al fabricante.

NOTA Se recomienda que el diseño sea examinado particularmente con respecto a las blindajes internos y conexiones que portan corrientes transitorias.

5.1.3 Requisitos del aislamiento entre secciones

Para devanados primarios y secundarios divididos en dos o más secciones, la tensión nominal no disruptiva a frecuencia industrial del aislamiento entre secciones debe ser de 3 kV (valor eficaz).

5.1.4 Requisitos del aislamiento para devanados secundarios

La tensión nominal no disruptiva a frecuencia industrial para aislamiento de devanados secundarios debe ser de 3 kV (valor eficaz).

5.1.5 Requisitos del aislamiento entre espiras

La tensión nominal no disruptiva para aislamiento entre espiras debe ser 4,5 kV valor pico.

Para algunos tipos de transformadores, se pueden aceptar valores inferiores, de acuerdo con el procedimiento de ensayo presentado en el numeral 8.4.

NOTA Debido al procedimiento de ensayo, la forma de la onda se puede distorsionar considerablemente.

5.1.6 Requisitos para el aislamiento externo

5.1.6.1 Contaminación

Para transformadores de corriente para exteriores con aisladores de cerámica susceptibles a la contaminación, las distancias de fuga para niveles de contaminación dados se presentan en la Tabla 7.

Tabla 7. Distancias de fuga

Nivel de contaminación	Distancia de fuga específica nominal mínima mm/kV ^{1) 2)}	$\frac{\text{Distancia de fuga}}{\text{Distancia de arco}}$
I ligero	16	$\leq 3,5$
II mediano	20	
III fuerte	25	$\leq 4,0$
IV muy fuerte	31	
1) Relación de la distancia de fuga entre la fase y la tierra al valor eficaz entre fases de la tensión más elevada para el equipo (véase la NTC 3328 (IEC 60071-1).		
2) Para información adicional y tolerancias de fabricación sobre la distancia de fuga, véase la GTC 56.		
NOTA 1 Se reconoce que el desempeño del aislamiento de la superficie se ve afectada considerablemente por la forma del aislador.		
NOTA 2 En áreas poco contaminadas, se pueden usar distancias de fuga específicas menores de 16 mm/kV, dependiendo de la experiencia en servicio. 12 mm/kV parece ser un límite inferior.		
NOTA 3 En casos de contaminación de una severidad excepcional, es posible que no sea adecuada una distancia de fuga de 31 mm/kV. Dependiendo de la experiencia en servicio y/o de los resultados de ensayos en laboratorio, se puede usar un valor más elevado de la distancia de fuga específica, pero en algunos casos es posible que tenga que considerarse la viabilidad de un lavado.		

5.1.7 Requisitos para perturbaciones radioeléctricas (RIV)

Este requisito se aplica a transformadores de corriente con $U_m \geq 123$ kV que se van a instalar en subestaciones aisladas al aire.

Las perturbaciones radioeléctricas no deben exceder los $2\ 500\ \mu\text{V}$ a $1,1 \frac{U_m}{\sqrt{3}}$ bajo las condiciones de ensayo y de medición descritas en el numeral 7.5.

5.1.8 Sobretensiones transmitidas

Estos requisitos se aplican a:

- Transformadores de corriente que tienen devanado primario con $U_m \geq 72,5$ kV;
- Transformadores de corriente sin devanado primario y asociados a equipos con $U_m \geq 72,5$ kV (p.e, GIS, torres de transformadores, cables sobrepuestos).

Las sobretensiones transmitidas desde el terminal primario hasta el secundario no deben exceder los valores indicados en la Tabla 16, bajo las condiciones de ensayo y medición descritas en el numeral 9.4.

NOTA 1 Las características de la forma de onda son representativas de las oscilaciones de tensión debidas a las operaciones de maniobra.

NOTA 2 Se pueden acordar otros límites de sobretensión transmitida entre el fabricante y el comprador.

El requisito para el impulso tipo A se aplica a transformadores de corriente para subestaciones con aislamiento de aire, mientras que el requisito para el impulso tipo B se aplica a los transformadores de corriente instalados en subestaciones encapsuladas con aislamiento de gas (GIS).

Los límites de valor pico de la sobretensión transmitida que se presentan en la Tabla 16 y que están medidos según lo especificado en el numeral 9.4, deberían garantizar protección suficiente del equipo electrónico conectado al devanado secundario.

Tabla 16. Límites de sobretensión transmitida.

Tipo de impulso	A	B
Valor pico de la tensión aplicada (U_p)	$1,6 \times \frac{\sqrt{2}}{\sqrt{3}} \times U_m$	$1,6 \times \frac{\sqrt{2}}{\sqrt{3}} \times U_m$
Características de la forma de onda:		
- duración del frente convencional (T_1)	$0,50\ \mu\text{s} \pm 20\ \%$	-
- duración hasta el valor medio (T_2).	$\geq 50\ \mu\text{s}$	-
- duración del frente (T_1)	-	$10\ \text{ns} \pm 20\ \%$
- duración de la cola (T_2)	-	$> 100\ \text{ns}$
Límites del valor pico de la sobretensión transmitida (U_s)	1,6 kV	1,6 kV

5.2 REQUISITOS MECÁNICOS

Estos requisitos se aplican solamente a transformadores de corriente con la tensión más alta para el equipo, igual a 72,5 kV y superior.

En la Tabla 8 se presenta orientación sobre las cargas estáticas que los transformadores de corriente deben ser capaces de soportar. Las cifras incluyen las cargas por viento y hielo.

Las cargas de ensayo específicas se prevén para aplicarlas en cualquier dirección sobre los terminales primarios.

Tabla 8. Cargas del ensayo de resistencia estática

Tensión más alta para equipo U_m kV	Cargas de resistencia estática F_R N	
	Carga Clase I	Carga Clase II
72,5 a 100	1 250	2 500
123 a 170	2 000	3 000
245 a 362	2 500	4 000
≥ 420	4 000	6 000

NOTA 1 Es conveniente que la suma de las cargas efectivas en condiciones de operación de rutina no excedan el 50 % de la carga de ensayo de resistencia especificada.

NOTA 2 Es conveniente que los transformadores de corriente soporten cargas dinámicas extremas que ocurren raramente (por ejemplo: cortocircuitos) que no excedan 1,4 veces la carga de ensayo de resistencia estática.

NOTA 3 Para algunas aplicaciones, puede ser necesario establecer la resistencia de los terminales primarios a la rotación. El momento por aplicar durante el ensayo se debe acordar entre el fabricante y el comprador.

6. CLASIFICACIÓN DE LOS ENSAYOS

Los ensayos especificados en esta norma se clasifican en ensayos tipo, ensayos de rutina y ensayos especiales.

Ensayo tipo

Ensayo hecho sobre un transformador de cada tipo, para demostrar que todos los transformadores fabricados según la misma especificación cumplen con los requisitos no cubiertos en los ensayos de rutina.

NOTA Un ensayo tipo se puede considerar válido si es realizado en un transformador que tiene desviaciones menores. Se recomienda que estas desviaciones se sometan a acuerdo entre el fabricante y el comprador.

Ensayo de rutina

Ensayo en el cual se examina cada transformador individual.

Ensayo especial

Ensayo diferente del de rutina o del tipo, acordado entre el fabricante y el comprador.

6.1 ENSAYOS TIPO

Los siguientes son ensayos tipo: para detalles de referencia se recomienda consultar los numerales adecuados:

- a) Ensayos de corriente de cortocircuito (véase el numeral 7.1).
- b) Ensayos de elevación de temperatura (véase el numeral 7.2).
- c) Ensayo de impulso tipo rayo (véase el numeral 7.3.2).
- d) Ensayo de impulso tipo maniobra (véase el numeral 7.3.3).
- e) Ensayo húmedo para transformadores de tipo exterior (véase el numeral 7.4).
- f) Determinación de errores (véase el numeral 11.4 y/o 12.4, 11.6, 12.5 y 14.3).
- g) Medición de las perturbaciones radioeléctricas (RIV) (véase el numeral 7.5).

Se recomienda llevar a cabo todos los ensayos dieléctricos tipo en el mismo transformador, a menos que se especifique algo diferente.

Después de que los transformadores se han sometido a ensayos dieléctricos tipo del numeral 6.1, se deben someter a los ensayos de rutina del numeral 6.2.

6.2 ENSAYOS DE RUTINA

Los siguientes ensayos se aplican a cada transformador individual:

- a) Verificación de la marcación de los terminales (véase el numeral 8.1).
- b) Ensayo a frecuencia industrial en devanados primarios (véase el numeral 8.2.1).
- c) Medición de descargas parciales (véase el numeral 8.2.2).
- d) Ensayo a frecuencia industrial sobre devanados secundarios (véase el numeral 8.3 ó 14.4.4).
- e) Ensayos a frecuencia industrial, entre secciones (véanse los numerales 8.3 ó 14.4.4).
- f) Ensayo de sobretensión entre espiras (véanse los numerales 8.4 ó 14.4.5).
- g) Determinación de errores (véanse los numerales 11.5 y/o 12.4, 11.6, 12.6 y 14.4).

El orden de los ensayos no se ha normalizado, pero la determinación de los errores se debe llevar a cabo después de los otros ensayos.

Es conveniente que los ensayos repetidos a frecuencia industrial en los devanados primarios se realicen al 80 % de la tensión de ensayo especificada.

6.3 ENSAYOS ESPECIALES

Los siguientes ensayos se deben llevar a cabo mediante acuerdo entre el fabricante y el comprador.

- a) Ensayo de impulso recortado tipo rayo (véase el numeral 9.1).
- b) Medición de la capacitancia y del factor de disipación dieléctrica (véase el numeral 9.2).

- c) Ensayo de impulsos recortados múltiples sobre devanados primarios (véase el Anexo B).
- d) Ensayos mecánicos (véase el numeral 9.3).
- e) Medición de las sobretensiones transmitidas (véase el numeral 9.4).

7. ENSAYOS TIPO

7.1 ENSAYOS DE CORRIENTE DE CORTA DURACIÓN

Para el ensayo de corriente térmica de corta duración, I_{th} , el transformador debe estar inicialmente a una temperatura entre 10 °C y 40 °C.

Este ensayo se debe llevar a cabo con un devanado secundario en cortocircuito, a una corriente I durante un tiempo t , de manera que $(I^2 t)$ no sea menor de $(I_{th}^2 t)$ y siempre y cuando t tenga un valor entre 0,5 s y 5 s.

El ensayo dinámico se debe llevar a cabo con el(los) devanado(s) secundario(s) en cortocircuito, con una corriente primaria cuyo valor pico no es menor que la corriente dinámica nominal (I_{dyn}) para un pico al menos.

El ensayo dinámico se puede combinar con el ensayo térmico anterior, siempre y cuando la corriente del primer pico mayor de corriente de ese ensayo no sea menor que la corriente dinámica nominal (I_{dyn}).

Se debe considerar que el transformador ha aprobado estos ensayos si después de enfriamiento a temperatura ambiente (entre 10 °C y 40 °C) satisface los siguientes requisitos:

- a) No está visiblemente dañado.
- b) Sus errores después de desmagnetización no se diferencian de los registrados antes de los ensayos en más de la mitad de los límites de error apropiados a su clase de exactitud.
- c) Soporta los ensayos dieléctricos especificados en los numerales 8.2, 8.3 y 8.4, pero con las tensiones de ensayo o corrientes reducidas al 90 % de las que se indican.
- d) Al examinar el aislamiento adyacente a la superficie del conductor no presenta deterioro significativo (por ejemplo: carbonización).

El examen de (d) no se requiere si la densidad de la corriente en el devanado primario, correspondiente a la corriente térmica nominal de corta duración (I_{th}) no excede:

- 180 A/mm², en donde el devanado es de cobre, de una conductividad no menor al 97 % del valor dado en la norma IEC 60028.
- 120 A/mm², en donde el devanado es de aluminio, de una conductividad no menor al 97 % del valor dado en la norma IEC 60121.

NOTA La experiencia ha demostrado que en servicio generalmente se cumplen los requisitos para corriente térmica en el aislamiento Clase A, siempre y cuando la densidad de la corriente en el devanado primario, correspondiente a la corriente térmica nominal de corta duración, no exceda los valores mencionados anteriormente.

En consecuencia, la conformidad con este requisito puede reemplazar el examen del aislamiento, si así se acuerda entre el fabricante y el comprador.

7.2 ENSAYO DE ELEVACIÓN DE TEMPERATURA

Se debe llevar a cabo un ensayo para determinar la conformidad con los requisitos del numeral 4.6. Para el propósito de este ensayo, se debe considerar que los transformadores de corriente han alcanzado una temperatura de corriente estable, cuando la tasa de elevación de temperatura no excede 1 K por hora.

La temperatura ambiente del sitio de ensayo debe estar dentro de 10 °C y 30 °C.

Para el ensayo, los transformadores se deben montar de una manera representativa de montaje en servicio.

Cuando sea factible, la elevación de temperatura de los devanados se debe medir por el método de variación de resistencia (consultar la NTC 2805 para orientación sobre este método), pero para devanados de muy baja resistencia se pueden emplear termocuplas.

La elevación de temperatura de partes diferentes de los devanados se puede medir con termómetros o termocuplas.

7.3 ENSAYOS DE IMPULSO EN EL DEVANADO PRIMARIO

7.3.1 Generalidades

El ensayo de impulso se debe llevar a cabo de acuerdo con la NTC 4591 (IEC 60060-1).

La tensión de ensayo se debe aplicar entre los terminales del devanado primario (conectados juntos) y la tierra. El armazón, la cuba (si la hay) y el núcleo (si se va a poner a tierra) y todos los terminales del(los) devanado(s) secundario(s) se deben conectar a tierra.

Los ensayos de impulso generalmente consisten en la aplicación de tensión a niveles de tensión de referencia y nominales. La tensión de impulso de referencia debe estar entre el 50 % y el 75 % de la tensión nominal no disruptiva al impulso. El valor pico y la forma de onda del impulso se deben registrar.

Se puede obtener evidencia de la falla del aislamiento debida al ensayo, por la variación en la forma de onda tanto a la tensión de referencia como a la tensión no disruptiva nominal.

Se puede mejorar la detección de fallas registrando la(s) corriente(s) a tierra como un complemento al registro de la tensión.

7.3.2 Ensayo de impulso tipo rayo

La tensión de ensayo debe tener el valor apropiado, dado en las Tablas 3 ó 4, dependiendo de la mayor tensión para el equipo y el nivel de aislamiento especificado.

7.3.2.1 Devanados con $U_m < 300$ kV

El ensayo se debe llevar a cabo tanto con polaridades positivas como negativas. Se deben aplicar 15 impulsos consecutivos de cada polaridad, sin corrección para condiciones atmosféricas.

El transformador aprueba el ensayo, si para cada polaridad:

- No ocurre descarga disruptiva en el aislamiento interno no autorregenerador.
- No ocurre flameo a lo largo del aislamiento externo no autorregenerador.
- No se presentan más de dos flameos a través del aislamiento externo autorregenerador.
- No se detecta ninguna otra evidencia de falla del aislamiento (por ejemplo: variaciones en la forma de onda de las cantidades registradas).

NOTA La aplicación de 15 impulsos positivos y 15 negativos se especifica para el ensayo de aislamientos externos. Si se acuerdan otros ensayos entre el fabricante y el comprador, para controlar el aislamiento externo, el número de impulsos tipo rayo se puede reducir a tres de cada polaridad, sin corregirlos para condiciones atmosféricas.

7.3.2.2 Devanados con $U_m \geq 300$ kV

El ensayo se debe llevar a cabo con polaridades positivas y negativas. Se deben aplicar tres impulsos consecutivos de cada polaridad, sin corrección para condiciones atmosféricas.

El transformador aprueba el ensayo si:

- No se presenta descarga disruptiva.
- No hay otra evidencia de que se detecte falla en el aislamiento (por ejemplo, variaciones en la forma de onda de las cantidades registradas).

7.3.3 Ensayo de impulso tipo maniobra

La tensión de ensayo debe tener el valor apropiado, dado en la Tabla 4, dependiendo de la tensión más alta para el equipo y el nivel de aislamiento especificado.

El ensayo se debe llevar a cabo con polaridad positiva. Se deben aplicar 15 impulsos consecutivos, corregidos para condiciones atmosféricas.

Para transformadores de tipo exterior, el ensayo se debe llevar a cabo en condiciones de humedad (véase el numeral 7.4).

El transformador aprueba el ensayo si:

- No se presenta descarga disruptiva en el aislamiento interno no autorregenerador.
- No se presenta flameo a lo largo del aislamiento externo no autorregenerador.
- No se presentan más de dos flameos a través del aislamiento externo autorregenerador.

- No se detecta ninguna otra evidencia de falla del aislamiento (por ejemplo: variaciones en la forma de onda de las cantidades registradas).

NOTA No se deben tener en cuenta los impulsos con flameo a los muros o techo del laboratorio.

7.4 ENSAYOS EN HUMEDAD PARA TRANSFORMADORES DE TIPO EXTERIOR

El procedimiento de humedecimiento debe estar de acuerdo con la NTC 4591 (IEC 60060-1).

Para devanados con $U_m < 300$ kV, el ensayo se debe llevar a cabo con tensión a frecuencia industrial del valor apropiado presentado en la Tabla 3, dependiendo de la tensión más alta para el equipo y aplicando correcciones para las condiciones atmosféricas.

Para devanados con $U_m \geq 300$ kV, el ensayo se debe llevar a cabo con tensión de impulso tipo maniobra de polaridad positiva del valor apropiado presentado en la Tabla 4, dependiendo de la tensión más alta para el equipo y el nivel de aislamiento nominal.

7.5 MEDICIÓN DE PERTURBACIONES RADIOELÉCTRICAS

El transformador de corriente completo con todos sus accesorios, debe estar limpio y seco y a aproximadamente la misma temperatura que el recinto del laboratorio en el que se lleva a cabo el ensayo.

De acuerdo con esta norma, el ensayo se debería realizar en las siguientes condiciones atmosféricas:

- Temperatura entre 10 °C y 30 °C;
- Presión entre $0,870 \times 10^5$ Pa y $1,070 \times 10^5$ Pa;
- Humedad relativa entre 45 % y 75 %.

NOTA 1 Por acuerdo entre el comprador y el fabricante, los ensayos se pueden llevar a cabo bajo otras condiciones atmosféricas.

NOTA 2 De acuerdo con la NTC 4591 (IEC 60060-1), no se aplican factores de corrección para condiciones atmosféricas durante los ensayos de perturbaciones radioelétricas.

Las conexiones y sus extremos no deben ser fuentes de perturbaciones radioelétricas.

Para evitar descargas parásitas, se deberían colocar apantallamientos a los terminales primarios. Se recomienda el uso de secciones de tubo con terminaciones esféricas.

La tensión de ensayo se debe aplicar entre uno de los terminales del devanado primario del objeto de ensayo (C_a) y la tierra. El bastidor, la carcasa (si la hay) y el núcleo (si se va a poner a tierra) y todos los terminales del devanado secundario se deben conectar a tierra.

El circuito de medición (véase la Figura 6) debe cumplir con la norma CISPR 18-2. El circuito de medición preferiblemente se debe ajustar a una frecuencia en el rango de 0,5 MHz a 2 MHz, y se debe grabar la frecuencia de medición. Los resultados se deben expresar en microvoltios.

La impedancia entre el conductor de ensayo y la tierra ($Z_s + (R_1 + R_2)$) en la Figura 6 debe ser de $300 \Omega \pm 40 \Omega$ con un ángulo de fase que no excede los 20°.

También se puede usar un condensador C_s en lugar del filtro Z_s y generalmente es adecuada una capacitancia de 1 000 pF.

NOTA 3 Puede ser necesario un condensador diseñado especialmente, para evitar una frecuencia resonante demasiado baja.

El filtro Z debe tener una impedancia alta a la frecuencia de medición, con el fin de desacoplar la fuente de frecuencia industrial del circuito de medición. Se ha encontrado que un valor adecuado para esta impedancia es 10 000 Ω a 20 000 Ω a la frecuencia de medición.

El nivel de ruido de fondo de las perturbaciones radioeléctricas (perturbaciones radioeléctricas causada por campos externos y por el transformador de alta tensión) debe ser al menos de 6 dB (preferiblemente 10 dB) por debajo del nivel de perturbación radioeléctrica especificado.

NOTA Se recomienda evitar las perturbaciones causadas por los objetos cercanos al transformador de corriente y a los circuitos de ensayo y de medición.

Los métodos de calibración para los instrumentos de medición y el circuito de medición se dan en la norma CISPR 18-2.

Se debe aplicar y mantener una tensión previa de acondicionamiento de $1,5 \frac{U_m}{\sqrt{3}}$ durante 30 s.

La tensión se debe entonces reducir a $1,1 \frac{U_m}{\sqrt{3}}$ en 10 s aproximadamente y mantenerse en este valor durante 30 s antes de medir el nivel de las perturbaciones radioeléctricas.

Se debe considerar que el transformador de corriente ha aprobado el ensayo si el nivel de perturbación radioeléctrica a $1,1 \frac{U_m}{\sqrt{3}}$ no excede el límite establecido en el numeral 5.1.7.

NOTA 5 Por acuerdo entre el fabricante y el comprador, el ensayo de perturbaciones radioeléctricas ya descrito se puede reemplazar por una medición de descarga parcial aplicando la tensión previa de acondicionamiento y las tensiones de ensayo ya descritas.

Es conveniente eliminar cualquier precaución tomada durante la medición de descarga parcial realizada de acuerdo con el numeral 8.2.2 para evitar descargas externas (por ejemplo, apantallamientos). En este caso, el circuito de ensayo equilibrado no es apropiado.

Aunque no hay conversión directa entre los microvoltios de las perturbaciones radioeléctricas y los picoculombios de descarga parcial, se considera que el transformador de ensayo ha aprobado el ensayo si a $1,1 \frac{U_m}{\sqrt{3}}$ el nivel de descarga parcial no excede los 300 pC.

8. ENSAYOS DE RUTINA

8.1 VERIFICACIÓN DE LA MARCACIÓN DE LOS TERMINALES

Se debe verificar que la marcación de los terminales estén correctos (véase el numeral 10.1).

8.2 ENSAYOS A FRECUENCIA INDUSTRIAL EN DEVANADOS PRIMARIOS Y MEDICIÓN DE DESCARGAS PARCIALES

8.2.1 Ensayo a frecuencia industrial

El ensayo a frecuencia industrial debe tener el valor apropiado de la Tabla 3 ó 5, dependiendo de la tensión más alta para el equipo. La duración debe ser 60 s.

La tensión de ensayo se debe aplicar entre el devanado primario en corto-circuito y la tierra. El (los) devanado(s) secundario(s), el chasis, la cuba (si la hay) y el núcleo (si hay un terminal especial a tierra) se deben conectar a tierra.

8.2.2 Medición de la descarga parcial

8.2.2.1 Circuito de ensayo e instrumentación

El circuito de ensayo y la instrumentación usada deben estar de acuerdo con la NTC 2613 (IEC 60270). En las Figuras 2 a 4 se presentan algunos ejemplos de circuitos de ensayo.

El instrumento usado debe medir la carga aparente q expresada en picoculombios (pC). Su calibración se debe llevar a cabo en el circuito de ensayo (véase un ejemplo en la Figura 5).

Un instrumento de banda ancha debe tener un ancho de banda mínimo de 100 kHz con una frecuencia de corte superior que no exceda 1,2 Mhz.

Los instrumentos de banda angosta deben tener su frecuencia de resonancia en el intervalo entre 0,15 Mhz a 2 Mhz. Es conveniente que los valores preferidos estén en el intervalo de 0,5 Mhz a 2 Mhz pero si es posible, se recomienda llevar a cabo la medición a la frecuencia que dé la mayor sensibilidad.

La sensibilidad debe permitir una descarga parcial de 5 pC.

NOTA 1 El ruido debe ser suficientemente inferior a la sensibilidad. Se pueden ignorar los impulsos que se sabe que son causados por perturbaciones externas.

NOTA 2 Para la supresión del ruido externo, es apropiado el circuito de ensayo balanceado (véase la Figura 4).

NOTA 3 Cuando se usa procesamiento y recuperación de señal electrónica para reducir el ruido de fondo, esto se debe demostrar variando sus parámetros de manera que permitan la detección de impulsos que ocurren repetidamente.

8.2.2.2 Procedimiento de ensayo de descarga parcial

Después de aplicar la tensión previa de acuerdo con los procedimientos A o B, se alcanzan las tensiones de ensayo de descarga parcial especificadas en la Tabla 6, y los niveles de descarga parciales correspondientes se miden en un tiempo de 30 s.

La descarga parcial medida no debe exceder los límites especificados en la Tabla 6.

Procedimiento A: las tensiones de ensayo de descarga parcial se alcanzan mientras se reduce la tensión después del ensayo a frecuencia industrial.

Procedimiento B: El ensayo de descarga parcial se realiza luego del ensayo a frecuencia industrial. La tensión aplicada se eleva al 80 % de la tensión no disruptiva a frecuencia industrial y se mantiene durante un mínimo de 60 s y luego se reduce sin interrupción a las tensiones de ensayo de descarga parcial especificadas.

Si no se especifica algo diferente, la elección del procedimiento se deja al fabricante. El método de ensayo usado se debe indicar en el informe de ensayo.

8.3 ENSAYOS A FRECUENCIA INDUSTRIAL ENTRE SECCIONES DE DEVANADOS PRIMARIOS Y SECUNDARIOS Y EN DEVANADOS SECUNDARIOS

La tensión de ensayo, con el valor apropiado de los numerales 5.1.3 y 5.1.4 respectivamente, se debe aplicar durante 60 s sucesivamente, entre los terminales en cortocircuito de cada sección de devanado, o cada devanado secundario y la tierra.

El chasis, la cuba (si la hay), el núcleo (si hay un terminal especial a tierra), y los terminales de todos los otros devanados o secciones, se deben conectar juntos y a la tierra.

8.4 ENSAYO DE SOBRETENSIÓN ENTRE ESPIRAS

El ensayo de sobretensión entre espiras se debe llevar a cabo de acuerdo con uno de los siguientes procedimientos.

Si no se acuerda algo diferente, la selección del procedimiento se deja al fabricante.

Procedimiento A: con los devanados secundarios en circuito abierto (o conectados a un dispositivo de alta impedancia que mide la tensión pico), se debe aplicar una corriente sustancialmente sinusoidal a una frecuencia entre 40 Hz y 60 Hz (de acuerdo con la NTC 4591 (IEC 60060-1)) y de valor eficaz igual a la corriente primaria nominal (o la corriente primaria nominal extendida (véase el numeral 11.3) cuando sea aplicable), durante 60 s al devanado primario.

La corriente aplicada se debe limitar si la tensión de ensayo de 4,5 kV en valor pico se obtiene antes de alcanzar la corriente nominal (o corriente extendida nominal).

Procedimiento B: con el devanado primario en circuito abierto, se debe aplicar la tensión de ensayo prescrita (a una frecuencia adecuada) durante 60 s a los terminales de cada devanado secundario, siempre y cuando el valor eficaz de la corriente secundaria no exceda la corriente secundaria nominal (o corriente extendida nominal).

El valor de la frecuencia de ensayo no debe ser mayor de 400 Hz.

A esta frecuencia, si el valor de la tensión alcanzada a la corriente secundaria nominal (o corriente extendida nominal) es menor de 4,5 kV en valor pico, la tensión obtenida se debe considerar como la tensión de ensayo.

Cuando la frecuencia excede el doble de la frecuencia nominal, la duración del ensayo se puede reducir de 60 s, como sigue:

$$Duración\ del\ ensayo\ (en\ s) = \frac{dos\ veces\ la\ frecuencia\ nominal}{frecuencia\ de\ ensayo} \times 60$$

con un mínimo de 15 s.

NOTA El ensayo de sobretensión entre espiras no es un ensayo para verificar la idoneidad de un transformador de corriente para funcionar con el devanado secundario en circuito abierto. Se recomienda que los transformadores de corriente no funcionen con el devanado secundario en circuito abierto debido a la sobretensión y al sobrecalentamiento que se pueden presentar.

9. ENSAYOS ESPECIALES

9.1 ENSAYO DE IMPULSO RECORTADO EN EL DEVANADO PRIMARIO

El ensayo se debe llevar a cabo con la polaridad negativa solamente, y se debe combinar con el ensayo de impulso tipo rayo de polaridad negativa de la manera descrita en seguida.

La tensión debe ser un impulso tipo rayo normalizado, recortado entre 2 μ s y 5 μ s. El circuito de corte se debe disponer de manera que la amplitud de sobreoscilación de polaridad opuesta del impulso de ensayo real se limite a aproximadamente el 30 % del valor pico. La tensión de ensayo de los impulsos completos deben tener el valor apropiado establecido en las Tablas 3 ó 4, dependiendo de la mayor tensión para el equipo y del nivel de aislamiento especificado.

La tensión de ensayo de impulso recortado debe estar de acuerdo con el numeral 5.1.2.3.

La secuencia de aplicaciones de impulsos debe ser la siguiente:

- a) Para devanados con $U_m < 300$ kV
 - un impulso completo;
 - dos impulsos recortados;
 - catorce impulsos completos.

- b) Para devanados con $U_m \geq 300$ kV
 - Un impulso completo;
 - dos impulsos recortados;
 - dos impulsos completos.

Las diferencias en la forma de la onda de las aplicaciones de onda completa antes y después de los impulsos recortados son una indicación de una falla interna.

Los flameos durante impulsos recortados a lo largo del aislamiento externo autorregenerador se deben ignorar en la evaluación del comportamiento del aislamiento.

9.2 MEDICIÓN DE LA CAPACITANCIA Y DEL FACTOR DE DISIPACIÓN DIELECTRICA

La medición de la capacitancia y el factor de disipación dieléctrica se deben llevar a cabo después del ensayo a frecuencia industrial en los devanados primarios.

La tensión de ensayo se debe aplicar entre los terminales del devanado primario en cortocircuito y la tierra. En general, el (los) terminal(es) secundarios en cortocircuito, cualquier pantalla y la carcasa metálica, se deben conectar al puente de medición. Si el transformador de corriente tiene un dispositivo (terminal) especial adecuado para esta medición, los demás terminales de baja tensión se deben poner en cortocircuito y conectar junto con la carcasa metálica a tierra y a la pantalla del puente de medición.

NOTA En algunos casos, es necesario conectar la tierra a otros puntos del puente.

El ensayo se debe llevar a cabo con el transformador de corriente a temperatura ambiente y se debe registrar el valor de esta temperatura.

9.3 ENSAYOS MECÁNICOS

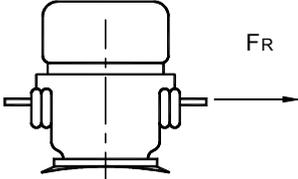
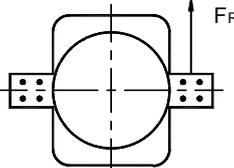
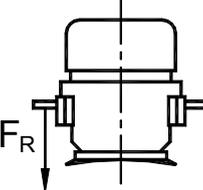
Los ensayos se llevan a cabo para demostrar que un transformador de corriente tiene capacidad de cumplir con los requisitos especificados en el numeral 5.2.

El transformador de corriente debe estar ensamblado completamente, instalado en posición vertical con el chasis fijado rígidamente.

Los transformadores de corriente sumergidos en líquido se deben llenar con el medio de aislamiento específico y se deben someter a la presión de operación.

Las cargas de ensayo se deben aplicar durante 60 s para cada una de las condiciones indicadas en la Tabla 9.

Tabla 9. Modalidades de aplicación de las cargas de ensayo que se deben aplicar a los terminales primarios

Horizontal a cada terminal	
	
Vertical a cada terminal	

Se debe considerar que el transformador de corriente ha aprobado satisfactoriamente el ensayo si no hay evidencia de daño (deformación, ruptura o fuga).

9.4 MEDICIÓN DE LAS SOBRETENSIONES TRANSMITIDAS

Se debe aplicar un impulso de baja tensión (U_1) entre uno de los terminales primarios y tierra.

Para transformadores de corriente monofásicos para uso en subestaciones encapsuladas tipo GIS, el impulso se debe aplicar a través de un adaptador de cable coaxial de 50Ω , según la Figura 7. La carcasa de la sección GIS se debe conectar a tierra según lo planeado en servicio.

Para otras aplicaciones, el circuito de ensayo debe ser como el descrito en la Figura 8.

El (Los) terminal(es) del (de los) devanado(s) secundario(s) que se ha(n) de conectar a tierra, se debe(n) conectar a la cuba y a la tierra.

La tensión transmitida (U_2) se debe medir en los terminales secundarios abiertos a través de un cable coaxial de 50Ω conectado con un osciloscopio con impedancia de entrada de 50Ω , con un ancho de banda de 100 MHz o superior, que ejecute la lectura del valor pico.

NOTA Otros métodos de ensayo que eviten la intrusión de la instrumentación se pueden acordar entre el fabricante y el comprador.

Si el transformador de corriente contiene más de un devanado secundario, la medición se debe hacer sucesivamente en cada uno de los devanados.

En el caso de devanados secundarios con conmutaciones (taps) intermedias, la medición se debe realizar únicamente en la conmutación (tap) correspondiente al devanado completo.

Las sobretensiones transmitidas al devanado secundario (U_s) para las sobretensiones especificadas (U_p) aplicadas al devanado primario, se deben calcular de la siguiente manera:

$$U_s = (U_2/U_1) \times U_p$$

En el caso de oscilaciones en la cresta, se debe trazar una curva media y la amplitud máxima de esta curva se considera como el valor pico U_1 para el cálculo de la sobretensión transmitida (véase la Figura 9).

NOTA La amplitud y la frecuencia de la oscilación de la onda de tensión pueden afectar a la tensión transmitida.

Se considera que el transformador de corriente ha aprobado el ensayo si el valor de la sobretensión transmitida no excede los límites que se presentan en la Tabla 16.

10. MARCACIÓN

10.1 MARCACIÓN DE LOS TERMINALES - REGLAS GENERALES

La marcación de los terminales deben identificar:

- a) Los devanados primario y secundario.
- b) Las secciones del devanado, si las hay.
- c) Las polaridades relativas de los devanados y secciones de devanados.
- d) Las derivaciones intermedias, si las hay.

10.1.1 Método de marcación

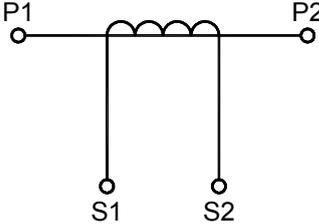
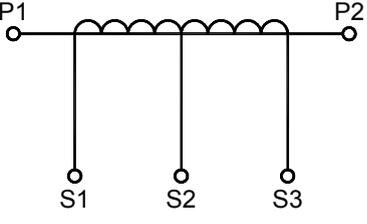
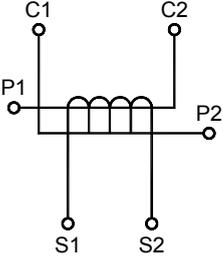
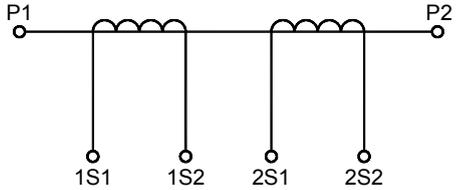
Los terminales se deben marcar en forma clara e indeleble, ya sea en la superficie o en su cercanía inmediata.

La marcación debe consistir en letras mayúsculas seguidas o precedidas, en donde sea necesario, por números.

10.1.2 Marcación por usar

La marcación de los terminales del transformador de corriente deben ser como se indican en la Tabla 10.

Tabla 10. Marcación de los terminales

<p>Terminales primarios</p> <p>Terminales secundarios</p>	 <p>Figura 1. Transformador de relación sencilla</p>	 <p>Figura 2. Transformador con una derivación intermedia en el devanado secundario</p>
<p>Terminales primarios</p> <p>Terminales secundarios</p>	 <p>Figura 3. Transformador con devanado primario en 2 secciones previstas para conexiones ya sea en serie o en paralelo</p>	 <p>Figura 4. Transformador con dos devanados secundarios; cada uno tiene su propio núcleo magnético. (Dos rotulados alternativos para los terminales secundarios).</p>

10.1.3 Indicación de las polaridades relativas

Todos los terminales marcados P1, S1 y C1 deben tener la misma polaridad en el mismo instante.

10.2 MARCACIÓN DE LA PLACA DE CARACTERÍSTICAS

Todos los transformadores de corriente deben llevar como mínimo la siguiente información:

- El nombre del fabricante u otra marca que permita identificarlo fácilmente.
- Un número de serie o una designación del tipo, preferiblemente ambos.
- La corriente primaria y secundaria nominal, es decir:

$$K_n = \frac{I_{pn}}{I_{sn}} \text{ A (por ejemplo: } K_n = 100/5 \text{ A).}$$

- La frecuencia nominal (por ejemplo 50 Hz).
- La potencia nominal y la clase de exactitud correspondiente, junto con la información adicional especificada en las últimas partes de estas recomendaciones (véase el numeral 11.7 y/o 12.7, 13.5 y 14.5).

NOTA En donde sea apropiado, se recomienda marcar la categoría del devanado secundario (por ejemplo: 1S, 15 VA, clase 0,5; 2 S, 30 VA, clase 1).

- f) La tensión más alta para el equipo (por ejemplo: 1,2 kV ó 145 kV).
- g) El nivel del aislamiento nominal (por ejemplo: 6 / -kV* ó 275/650 kV).

NOTA Los dos literales f) y g) se pueden combinar en un solo rotulado (por ejemplo: 1,2 / 6 / -kV* ó 145 / 275 / 650 kV).

Toda la información se debe marcar de forma indeleble en el propio transformador de corriente o en una placa de características fija en forma segura al transformador.

Además, se debe incluir la siguiente información, si hay espacio disponible.

- h) La corriente térmica nominal de corta duración (I_{th}) y la corriente dinámica nominal, si es diferente de 2,5 veces la corriente térmica nominal de corta duración (por ejemplo: 13 kA ó 13/40 kA).
- i) La clase de aislamiento, si es diferente de la Clase A.

NOTA Si se usan varias clases de material aislante, es conveniente indicar el que limita la elevación de temperatura de los devanados.

- k) En transformadores con dos devanados secundarios, el uso de cada devanado y sus terminales correspondientes.
- l) La corriente térmica nominal continua (por ejemplo, $I_{cth} = 150 \%$).

11. REQUISITOS ADICIONALES PARA TRANSFORMADORES DE CORRIENTE PARA MEDIDA

11.1 DESIGNACIÓN DE LA CLASE DE EXACTITUD PARA TRANSFORMADORES DE CORRIENTE PARA MEDIDA

Para los transformadores de corriente para medida, la clase de exactitud se designa por el mayor porcentaje de error de corriente permisible a la corriente nominal establecida para la clase de exactitud implicada.

11.1.1 Clases de exactitud normalizadas

Las clases de exactitud normalizada para los transformadores de corriente para medida son:

0,1 - 0,2 - 0,5 - 1 - 3 - 5.

11.2 LÍMITES DE ERROR DE CORRIENTE Y DESPLAZAMIENTO DE FASE PARA LOS TRANSFORMADORES DE CORRIENTE PARA MEDIDA

Para las clases 0,1 - 0,2 - 0,5 y 1, el error de corriente y el desplazamiento de fase a la frecuencia nominal no debe exceder los valores presentados en la Tabla 11 cuando la carga secundaria está en cualquier valor entre el 25 % y el 100 % de la carga nominal.

* Una barra indica la ausencia de un nivel de tensión de impulso.

NORMA TÉCNICA COLOMBIANA NTC 2205 (Cuarta actualización)

Para las clases 0,2 S y 0,5 S el error de corriente y el desplazamiento de fase en la frecuencia nominal no deben exceder los valores presentados en la Tabla 12, cuando la carga secundaria es cualquier valor entre 25 % y 100 % de la carga nominal.

Para transformadores de corriente de exactitud clase 0,1 – 0,2 – 0,2 S y con una carga nominal que no exceda 15 VA, se puede especificar un rango de carga extendida. El error de corriente y el desplazamiento de fase no deben exceder los valores de las Tablas 11 y 12, cuando la carga secundaria es cualquier valor entre 1 VA y 100 % de la carga nominal.

NOTA 1 Para los transformadores de corriente con una corriente secundaria nominal de 1 A, se puede acordar un límite de rango inferior a 1 VA.

NOTA 2 Este requisito se puede solicitar para la exactitud certificada de las mediciones de energía.

NOTA 3 Actualmente, no hay suficiente experiencia acerca de la posibilidad de realizar las mediciones de exactitud en valores de corriente inferior (equipo de ensayo e incertidumbre de los resultados obtenidos).

Para las clases 3 y 5, el error de corriente a la frecuencia nominal no debe exceder los valores presentados en la Tabla 13 cuando la carga secundaria se encuentra a cualquier valor del 50 % al 100 % de la carga nominal.

La carga secundaria usada para los propósitos del ensayo deben tener un factor de potencia de 0,8 en retardo, excepto que cuando la carga es de menor de 5 VA, se debe usar el factor de potencia de 1,0. En ningún caso la carga de ensayo debe ser menor de 1 VA.

NOTA 4 En general, los límites establecidos para error de corriente y desplazamiento de fase son válidos para cualquier posición dada de un conductor externo separado en una distancia en el aire no menor de la requerida para el aislamiento en el aire a la mayor tensión para el equipo (U_m).

Es conveniente que las condiciones especiales de aplicación, que incluyen intervalos de tensiones de operación menores asociados con valores de corriente altos, sean asunto de acuerdo separado entre el fabricante y el comprador.

Para transformadores de relación múltiple con tomas en el devanado secundario, el requisito de exactitud se refiere a la relación de transformación máxima, a menos que se especifique algo diferente.

NOTA Cuando los requisitos se refieren a la relación de transformación máxima, el fabricante debe brindar indicaciones sobre la clase de exactitud y la carga nominal para las otras tomas.

Tabla 11. Límites de error de corriente y desplazamiento de fase para transformadores de corriente para medida (Clases 0,1 a 1)

Clase de exactitud	± Error de corriente porcentual (relación) , al porcentaje de corriente nominal presentado abajo				± desplazamiento de fase al porcentaje de corriente nominal presentada abajo							
					Minutos				Centirradiantes			
	5	20	100	120	5	20	100	120	5	20	100	120
0,1	0,4	0,2	0,1	0,1	15	8	5	5	0,45	0,24	0,15	0,15
0,2	0,75	0,35	0,2	0,2	30	15	10	10	0,9	0,45	0,3	0,3
0,5	1,5	0,75	0,5	0,5	90	45	30	30	2,7	1,35	0,9	0,9
1,0	3,0	1,5	1,0	1,0	180	90	60	60	5,4	2,7	1,8	1,8

Tabla 12. Límites de error de corriente y desplazamiento de fase para transformadores de corriente para medida, para casos especiales

Clase de exactitud	± Error de corriente porcentual (relación) , al porcentaje de corriente nominal presentado abajo					± desplazamiento de fase al porcentaje de corriente nominal presentada abajo									
						Minutos					Centirradiares				
	1	5	20	100	120	1	5	20	100	120	1	5	20	100	120
0,2 S	0,75	0,35	0,2	0,2	0,2	30	15	10	10	10	0,9	0,45	0,3	0,3	0,3
0,5 S	1,5	0,75	0,5	0,5	0,5	90	45	30	30	30	2,7	1,35	0,9	0,9	0,9

Tabla 13. Límites de error de corriente para transformadores de corriente para medida (Clases 3 y 5)

Clase	Error de corriente (relación) porcentual, ± al porcentaje de corriente nominal presentado abajo	
	50	120
3	3	3
5	5	5

Los límites de desplazamiento de fase no se especifican para la Clase 3 y la 5.

11.3 TRANSFORMADORES DE CORRIENTE EXTENDIDA

Los transformadores de corriente con exactitud de Clases 0,1 a 1 se puede considerar que poseen corriente extendida, siempre y cuando cumplan los dos siguientes requisitos:

- a) La corriente térmica continua nominal debe ser la corriente primaria extendida nominal expresada como un porcentaje de la corriente primaria nominal.
- b) Los límites de error de corriente y desplazamiento de fase establecidos para el 120 % de la corriente primaria nominal en la Tabla 11 se deben conservar hasta la corriente primaria nominal extendida

11.4 ENSAYOS TIPO PARA LA EXACTITUD DE TRANSFORMADORES DE CORRIENTE PARA MEDIDA

Los ensayos tipo para probar la conformidad con el numeral 11.2 deben, en el caso de los transformadores clase 0,1 a 1, llevarse a cabo a cada valor de corriente dado en la Tabla 11 al 25 % y al 100 % de la carga nominal (sujeto a 1 VA mínimo).

Los transformadores con valores de corriente extendida mayores del 120 % se deben ensayar a la corriente primaria extendida nominal en lugar de al 120 % de la corriente nominal.

Los transformadores de las clases 3 y 5 se deben ensayar para verificar la conformidad con los dos valores de corriente dados en la Tabla 13 al 50 % y al 100 % de la carga nominal (sujeto a 1 VA mínimo)

11.5 ENSAYOS DE RUTINA PARA EXACTITUD DE LOS TRANSFORMADORES DE CORRIENTE PARA MEDIDA

El ensayo de rutina para medición en principio es el mismo que el ensayo tipo del numeral 11.4, pero los ensayos de rutina a un número reducido de corrientes y/o cargas son permisibles siempre y cuando se haya demostrado por ensayos tipo en un transformador similar, que un número reducido de ensayos es suficiente para probar la conformidad con el numeral 11.2.

11.6 FACTOR DE SEGURIDAD DEL INSTRUMENTO

Un ensayo tipo se puede llevar a cabo usando el siguiente ensayo indirecto:

Con el devanado primario con circuito abierto, se energiza el devanado secundario a una frecuencia nominal, mediante una tensión prácticamente sinusoidal con un valor eficaz igual a la fuerza electromotriz límite del secundario.

La corriente de excitación resultante (I_{exc}), expresada como un porcentaje de la corriente secundaria nominal (I_{sn}) multiplicada por el factor de seguridad del instrumento, FS, debe ser igual o superior al valor nominal del error compuesto del 10 %.

$$\frac{I_{exc}}{I_{sn}FS} \times 100 \geq 10$$

Si se cuestionara el resultado de la medición, se debe llevar a cabo una medición de control con el ensayo directo (véase el Anexo A), cuyo resultado es obligatorio.

NOTA La gran ventaja del ensayo indirecto es que no son necesarias corrientes altas (por ejemplo, 30 000 A) a una corriente nominal primaria de 3 000 A y un factor de seguridad del instrumento de 10), tampoco cargas que deban concebirse para 50 A. El efecto de los conductores primarios de retorno no es físicamente efectivo en el ensayo indirecto. Bajo condiciones de servicio el efecto puede solamente aumentar el error compuesto, que es recomendable para la seguridad del aparato alimentado por el transformador de medida.

11.7 MARCACIÓN DE LA PLACA DE CARACTERÍSTICAS DE UN TRANSFORMADOR DE CORRIENTE PARA MEDIDA

La placa de características debe portar la información apropiada de acuerdo con el numeral 10.2.

La clase de exactitud y el factor de seguridad del instrumento se deben colocar después de la indicación de la salida nominal (por ejemplo: 15 VA clase 0,5 FS10).

Los transformadores de corriente que tienen un valor de corriente extendida (véase el numeral 11.3) deben tener este valor indicado inmediatamente después de la designación de clase (por ejemplo: 15 VA clase 0,5 ext 150 %).

Para los transformadores de corriente con carga nominal que no exceda 15 VA y una carga extendida descendente hasta 1 VA, se debe indicar este servicio nominal inmediatamente antes de la indicación de la carga (por ejemplo, 1 VA hasta 10 VA Clase 0,2).

NOTA La placa descriptiva puede contener información relacionada con las diversas combinaciones de relaciones, salida y clase de exactitud que el transformador puede satisfacer (por ejemplo, 15 VA clase 0,5 – 30 VA clase 1) y en este caso se pueden usar valores no normalizados para la salida (por ejemplo, 15 VA clase 1 – 7 VA clase 0,5, según la nota del numeral 4.4).

12. REQUISITOS ADICIONALES PARA TRANSFORMADORES DE CORRIENTE PARA PROTECCIÓN

12.1 FACTORES LÍMITE DE EXACTITUD NORMALIZADOS

5 - 10 - 15 - 20 - 30

12.2 CLASES DE EXACTITUD PARA TRANSFORMADORES DE CORRIENTE PARA PROTECCIÓN

12.2.1 Designación de clase de exactitud

Para transformadores de corriente para protección, la clase de exactitud se designa por el máximo error compuesto porcentual permisible a la corriente primaria nominal límite de exactitud, prescrita para la clase de exactitud correspondiente, seguida de la letra P (significa protección).

12.2.2 Clases de exactitud normalizadas

Las clases de exactitud normalizadas para transformadores de corriente de protección son:

5 P y 10 P

12.3 LÍMITES DE ERRORES PARA TRANSFORMADORES DE CORRIENTE PARA PROTECCIÓN

A la frecuencia nominal y con una carga nominal conectada, el error de corriente, el desplazamiento de fase y el error compuesto no deben exceder los valores de la Tabla 14.

Para propósitos de ensayo, cuando se determinan el error de corriente y el desplazamiento de fase, la carga debe tener un factor de potencia de 0,8 inductiva, excepto que, en donde la carga es menor de 5 VA, es permisible un factor de potencia de 1,0.

Para la determinación del error compuesto, la carga debe tener un factor de potencia entre 0,8 inductivo y la unidad, a discreción del fabricante.

Tabla 14. Límites de error de los transformadores de corriente para protección

Clase de exactitud	Error de corriente a corriente primaria nominal	Desplazamiento de fase a corriente primaria nominal		Error compuesto a corriente primaria con límite de exactitud nominal %
		Minutos	Centirradiares	
5 P	± 1	± 60	± 1,8	5
10 P	± 3	-	-	10

12.4 ENSAYOS TIPO Y DE RUTINA PARA ERROR DE CORRIENTE Y DESPLAZAMIENTO DE FASE DE LOS TRANSFORMADORES DE CORRIENTE PARA PROTECCIÓN

Los ensayos se deben llevar a cabo a la corriente primaria nominal para determinar la conformidad de acuerdo con el numeral 12.3 con respecto al error de corriente y desplazamiento de fase.

12.5 ENSAYOS TIPO PARA ERROR COMPUESTO

- a) La conformidad con los límites para error compuesto presentados en la Tabla 14 se debe demostrar mediante ensayo directo en el cual se hace pasar corriente prácticamente sinusoidal igual al límite de exactitud nominal, a través del devanado primario, con el devanado secundario conectado a una carga de magnitud igual a la carga nominal, pero que tiene, a discreción del fabricante, un factor de potencia entre 0,8 inductivo y la unidad (véase el Anexo A).

El ensayo se puede realizar en un transformador similar al que se suministra, excepto que se puede usar aislamiento reducido, siempre y cuando se conserve la misma disposición geométrica.

NOTA En el caso de corrientes primarias muy altas y transformadores de corriente con devanado primario de barra sencilla, es conveniente que la distancia entre el conductor primario de retorno y el transformador de corriente se tenga en cuenta desde el punto de vista de reproducir las condiciones de servicio.

- b) Para transformadores de corriente con núcleos de anillo básicamente continuos, devanado(s) secundario(s) o porciones distribuidas uniformemente del (de los) devanado(s) derivado(s) y localizados en el centro y conductor(es) primario(s) localizado(s) en el centro o un devanado primario distribuido uniformemente, el ensayo directo se puede reemplazar por el siguiente ensayo indirecto, siempre y cuando el efecto del(los) conductor(es) primario(s) de retorno sea insignificante.

Con el devanado primario en circuito abierto, se energiza el devanado secundario a la frecuencia nominal, mediante una tensión básicamente sinusoidal con un valor eficaz igual a la fuerza electromotriz límite del secundario.

La corriente de excitación resultante, expresada como un porcentaje de la corriente secundaria nominal multiplicada por el factor límite de exactitud, no debe exceder el límite de error compuesto presentado en la Tabla 14.

NOTA 1 Al calcular la fuerza electromotriz de límite secundario, es conveniente asumir que la impedancia del devanado secundario es igual a la resistencia del devanado secundario a temperatura ambiente y corregido a 75 °C.

NOTA 2 Al determinar el error compuesto por el método indirecto, no es necesario tener en cuenta una posible diferencia entre la relación de las espiras y la relación de transformación nominal.

12.6 ENSAYOS DE RUTINA PARA ERROR COMPUESTO

Para todos los transformadores considerados en el literal b) del numeral 12.5, el ensayo de rutina es el mismo que el ensayo tipo.

Para otros transformadores, se puede usar el ensayo indirecto para medir la corriente de excitación, pero se debe aplicar un factor de corrección a los resultados, que se obtiene de la comparación entre los resultados de los ensayos directo e indirecto aplicados a un transformador de un mismo tipo que el que se estudia (véase la Nota 2), y con factor límite de exactitud y condiciones de carga iguales.

En estos casos, el fabricante debe suministrar certificados del ensayo.

NOTA 1 El factor de corrección es igual a la relación del error compuesto obtenida por el método directo y la corriente de excitación expresada como un porcentaje de la corriente secundaria nominal multiplicado por el factor límite de exactitud, como se determina con el método indirecto del numeral 12.5 a).

NOTA 2 La expresión “transformador del mismo tipo” implica que los amperio-vuelta son los mismos, independientemente de la relación, y que la disposición geométrica, materiales magnéticos y devanados secundarios son idénticos.

12.7 MARCACIÓN DE LA PLACA DE CARACTERÍSTICAS DE UN TRANSFORMADOR DE CORRIENTE PARA PROTECCIÓN

La placa de características debe llevar la información apropiada, de acuerdo con el numeral 10.2. El factor límite de exactitud nominal se debe indicar después de la potencia y la clase de exactitud correspondiente (por ejemplo; 30 VA, clase 5 P 10).

NOTA Un transformador de corriente que satisface los requisitos de varias combinaciones de potencia y clase de exactitud y factor límite de exactitud, se puede marcar de acuerdo con todos ellos.

EJEMPLO.

(15 VA Clase 0,5)	ó (15 VA Clase 0,5)
(30 VA Clase 1)	(15 VA Clase 1, ext. 150 %).
(30 VA Clase 5 P 10)	(15 VA Clase 5 P 20)

13. REQUISITOS ADICIONALES PARA TRANSFORMADORES DE CORRIENTE PARA PROTECCIÓN CLASE PR

13.1 FACTORES LÍMITE DE EXACTITUD NORMALIZADA

Véase el numeral 12.1.

13.2 CLASES DE EXACTITUD PARA TRANSFORMADORES DE CORRIENTE PARA PROTECCIÓN CLASE PR

13.2.1 Designación de la clase de exactitud

La clase de exactitud de un transformador de corriente de clase PR se designa por un número (índice de clase) y por las letras PR (que indican protección de baja remanencia). El índice de clase indica el límite superior del error compuesto, para la corriente primaria límite de exactitud nominal y la carga de exactitud.

13.2.2 Clases de exactitud normalizadas

Las clases de normalizadas para transformadores de protección con baja remanencia son:

5 PR y 10 PR.

13.3 LÍMITES DE ERROR PARA TRANSFORMADORES DE CORRIENTE PARA PROTECCIÓN CLASE PR

13.3.1 Error de corriente, desplazamiento de fase y error compuesto

Consúltese el numeral 12.3. Los límites de error se dan en la Tabla 15.

Tabla 15. Límites de error para transformadores de corriente para protección clase PR

Clase de exactitud	Error de corriente a la corriente primaria nominal %	Desplazamiento de fase a la corriente primaria nominal		Error compuesto a la corriente primaria con límite de exactitud nominal %
		Minutos	Centirradiantes	
5 PR	± 1	± 60	± 1,8	5
10 PR	± 3	--	-	10

13.3.2 Factor de remanencia (K_r)

El factor de remanencia (K_r) no debe exceder el 10 %

NOTA La inserción de uno o más entrehierros en el núcleo puede ser un método para limitar el factor de remanencia.

13.3.3 Constante de tiempo del bucle secundario (T_s)

Si se requiere, el valor lo debe especificar el comprador.

13.3.4 Resistencia del devanado secundario (R_{ct})

Si se requiere, el valor máximo se debe acordar entre el fabricante y el comprador.

13.4 ENSAYOS TIPO Y DE RUTINA PARA ERROR DE CORRIENTE Y DESPLAZAMIENTO DE FASE DE TRANSFORMADORES DE CORRIENTE PARA PROTECCIÓN CLASE PR

Los transformadores de corriente de clase PR deben, además de los requisitos del numeral 12, someterse a los ensayos de rutina descritos en seguida.

13.4.1 Determinación del factor de remanencia (K_r)

El factor de remanencia (K_r) se debe determinar para probar la conformidad con el límite del 10 %. Véase la norma IEC 60044-6, Anexo B, para el método de determinación.

13.4.2 Determinación de la constante de tiempo del bucle secundario (T_s)

Se debe determinar la constante de tiempo del bucle secundario (T_s). Ésta no se debe diferenciar del valor especificado en más de ± 30 %. Si se requiere, consúltese la norma IEC 60044-6, Anexo B.

13.4.3 Determinación de la resistencia del devanado secundario (R_{ct})

La resistencia del devanado secundario se debe medir y se debe aplicar una corrección apropiada si la medición se hace a una temperatura que se diferencia en 75 °C u otra temperatura que se haya especificado. El valor así ajustado es el valor nominal para R_{ct} .

NOTA Para la determinación de la resistencia del bucle secundario ($R_s = R_{ct} + R_b$), R_b es la carga resistiva nominal que, en el caso de los transformadores de corriente clase PR, se considera igual a la parte resistiva de la carga usada de acuerdo con el numeral 12.3 para la determinación del error de corriente y el desplazamiento de fase.

13.5 MARCACIÓN DE LAS PLACAS DE CARACTERÍSTICAS DE TRANSFORMADORES DE CORRIENTE DE CLASE PR

13.5.1 Marcación principal

Véanse los numerales 10.2 y 12.7. Reemplazar las Clases "5P" y "10 P" por "5 PR" y "10 PR" respectivamente.

13.5.2 Marcación especial (cuando se requiere)

- a) Constante de tiempo del bucle secundario (T_s).
- b) Resistencia del devanado secundario (R_{ct}) a una temperatura de 75 °C.

14. REQUISITOS ADICIONALES PARA TRANSFORMADORES DE CORRIENTE PARA PROTECCIÓN CLASE PX

14.1 ESPECIFICACIÓN DE DESEMPEÑO PARA TRANSFORMADORES DE CORRIENTE PARA PROTECCIÓN CLASE PX

El desempeño de los transformadores de corriente clase PX se debe especificar en términos de:

- a) La corriente primaria nominal (I_{pn}).
- b) La corriente secundaria nominal (I_{sn}).
- c) La relación de espiras nominal. El error de la relación de las espiras no debe exceder $\pm 0,25$ %.
- d) El valor nominal de f. e. m. en el punto de codo (E_k).
- e) La corriente de excitación máxima (I_e) al valor nominal de f. e. m. en el punto de codo y/o a un porcentaje establecido de ella.
- f) La máxima resistencia del devanado secundario a una temperatura de 75 °C (R_{ct}).
- g) La carga resistiva nominal (R_b).
- h) El factor de dimensionamiento (K_x).

NOTA El valor nominal de f. e. m. en el punto de codo generalmente se determina como sigue:

$$E_k = K_x \times (R_{ct} + R_b) \times I_{sn}$$

14.2 REQUISITOS DEL AISLAMIENTO PARA TRANSFORMADORES DE CORRIENTE PARA PROTECCIÓN CLASE PX

14.2.1 Requisitos del aislamiento para devanado secundario

El aislamiento del devanado secundario de los transformadores de corriente clase PX con un valor nominal de f. e. m. en el punto de codo $E_k \geq 2$ kV, debe soportar una tensión a frecuencia industrial nominal de 5 kV r.m.s. durante 60 s. Para $E_k < 2$ kV, la tensión debe ser 3 kV r.m.s. durante 60 s.

14.2.2 Requisitos de aislamiento entre espiras

Para transformadores de clase PX con un valor nominal de f. e. m. en el punto de codo de 450 V o menos, la tensión nominal no disruptiva para aislamiento entre espiras debe estar de acuerdo con el numeral 8.4. Para los que tienen un valor nominal de f. e. m. en el punto de codo mayor de 450 V, la tensión nominal no disruptiva para el aislamiento entre espiras debe ser una tensión pico de 10 veces el valor r. m. s. de la f. e. m. especificada en el punto de codo ó 10 kV pico, el menor de estos valores.

NOTA Para algunos sistemas de transmisión de extra alta tensión, se puede acordar entre el vendedor y el comprador un valor límite superior a la tensión pico.

14.3 ENSAYOS TIPO PARA TRANSFORMADORES DE CORRIENTE PARA PROTECCIÓN CLASE PX

Los transformadores de corriente Clase PX deben, además de los requisitos del numeral 7, ensayarse como se establece en seguida.

14.3.1 Verificación del tipo de baja reactancia

Para establecer la verificación del diseño de baja reactancia de fuga, se debe demostrar mediante una gráfica que el transformador de corriente tiene un circuito en anillo sustancialmente continuo, con entrehierros distribuidos uniformemente, si los hay, un devanado secundario distribuido uniformemente, un conductor primario simétrico con respecto a la rotación y que las influencias de los conductores de la fase adyacente externa al cerramiento del transformador de corriente y de las fases vecinas son insignificantes. Si la conformidad con los requisitos de diseño de baja reactancia de fuga no se puede establecer para satisfacción mutua del fabricante y el comprador mediante referencia a las gráficas, entonces se debe determinar el error compuesto para el devanado secundario completo usando cualquiera de los dos métodos directos presentados en los literales A.5 ó A.6 del Anexo A, a una corriente secundaria de $K_x \times I_{sn}$ y con una carga secundaria R_b . Se debe considerar que se ha hecho la verificación del diseño de baja reactancia de fuga si el valor del error compuesto del método de ensayo directo es menor de 1,1 veces el deducido de la característica de excitación secundaria.

NOTA El valor de la corriente primaria requerida para realizar ensayos de error compuesto directos en algunos tipos de transformadores puede estar más allá de la capacidad de las instalaciones suministradas normalmente por los fabricantes. Se pueden acordar ensayos a niveles inferiores, entre el fabricante y el comprador.

14.4 ENSAYOS DE RUTINA PARA TRANSFORMADORES DE CORRIENTE PARA PROTECCIÓN CLASE PX

Los transformadores de corriente clase PX deben, además de los requisitos del numeral 8, someterse a los ensayos siguientes.

14.4.1 Valor nominal de f. e. m. en el punto de codo (E_k) y corriente de excitación máxima (I_e)

La corriente de excitación se mide aplicando al devanado secundario completo una f. e. m. sinusoidal de frecuencia nominal igual al valor nominal de f. e. m. en el punto de codo, con todos los otros devanados en circuito abierto.

Un aumento del 10 % de la f. e. m. no debe provocar un aumento de más del 50 % de la corriente de excitación. Todas las mediciones se deben realizar usando instrumentos de medición de valores eficaces. Debido a la naturaleza no sinusoidal de las cantidades medidas,

las mediciones se deben realizar usando instrumentos de medición de valores eficaces que tengan un factor de cresta ≥ 3 .

La característica de excitación se debe trazar al menos al valor nominal de f. e. m. en el punto de codo. La corriente de excitación (I_e) al valor nominal de f. e. m. en el punto de codo y a cualquier porcentaje establecido, no debe exceder el valor nominal. El número de puntos de medición se debe acordar entre el fabricante y el comprador.

14.4.2 Resistencia del devanado secundario (R_{ct})

Se debe medir la resistencia del devanado secundario. El valor obtenido cuando se corrija a 75 °C no debe exceder el valor especificado.

14.4.3 Error de la relación de espiras (e_t)

La relación de las espiras se debe determinar de acuerdo con la norma IEC 60044-6, Anexo E. El error de la relación de espiras no debe exceder el valor dado en el numeral 14.1. c).

NOTA Un ensayo simplificado que involucra la medición del error de la relación con carga nula se puede sustituir por acuerdo entre el fabricante y el comprador.

14.4.4 Ensayos de aislamiento

Se deben llevar a cabo ensayos para demostrar la conformidad con el numeral 14.2.1. Para el método de ensayo, véase el numeral 8.3.

14.4.5 Ensayos de aislamiento entre espiras

Se deben llevar a cabo ensayos para demostrar la conformidad con el numeral 14.2.2. Para el método de ensayo, véase el numeral 8.4.

14.5 ROTULADO DE LA PLACA DE CARACTERÍSTICAS PARA TRANSFORMADORES DE CORRIENTE CLASE PX

14.5.1 Marcación principal

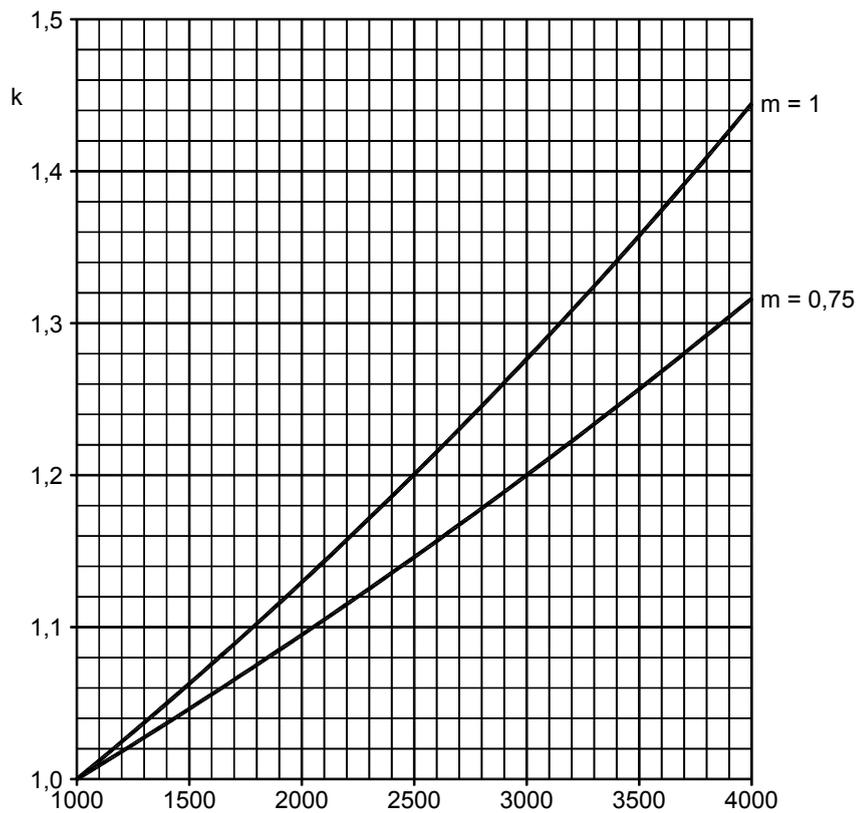
Véase el numeral 10.2.

14.5.2 Marcación especial

- a) Relación de espiras nominal.
- b) Valor nominal de f. e. m. en el punto de codo (E_k).
- c) Corriente de excitación máxima (I_e) al valor nominal de f. e. m. en el punto de codo y/o un porcentaje establecido de ella.
- d) Resistencia máxima del devanado secundario completo a una temperatura de 75 °C (E_{ct}).

El comprador también puede exigir lo siguiente:

- e) Factor de dimensionamiento.
- f) Carga resistiva nominal (R_b).



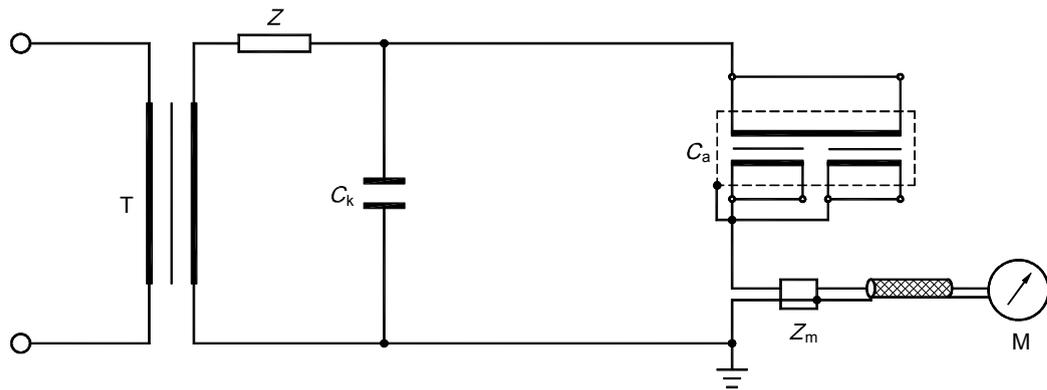
Estos factores se pueden calcular con la siguiente ecuación:

$$k = e^{m(H - 1000) / 8150}$$

en donde

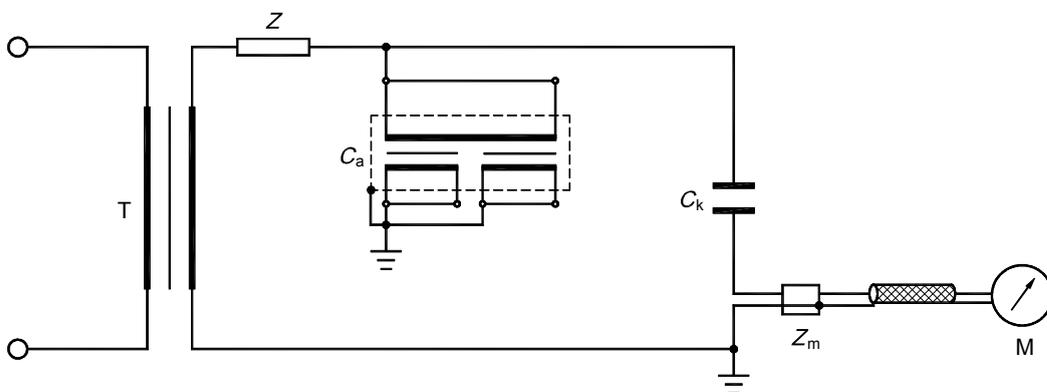
- H = es la altitud en metros,
- m = 1 para la frecuencia industrial y tensión de impulso tipo rayo.
- m = 0,75 para tensión de impulso tipo maniobra.

Figura 1. Factores de corrección de altitud



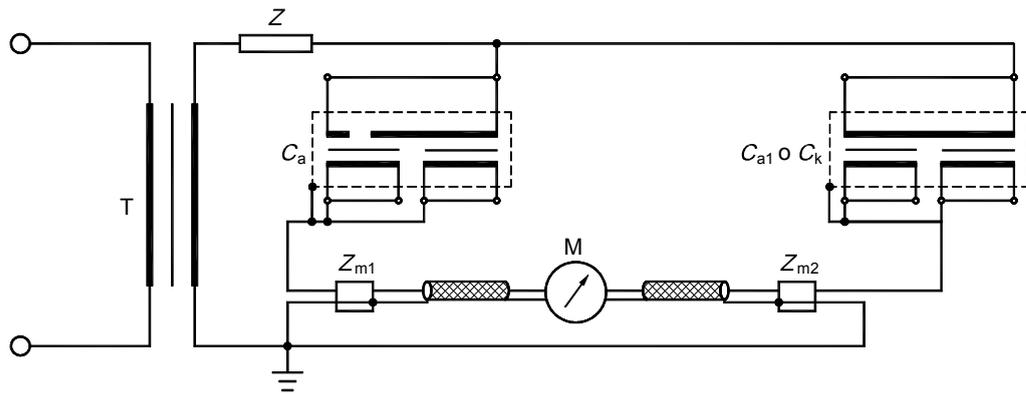
- T = transformador de ensayo
- C_a = transformador de medida que se va a ensayar
- C_k = condensador de acople
- M = instrumento de medición de descargas parciales
- Z_m = impedancia de medición
- Z = filtro (no hay si C_k es la capacitancia del transformador de ensayo)

Figura 2. Circuito de ensayo para la medición de descargas parciales



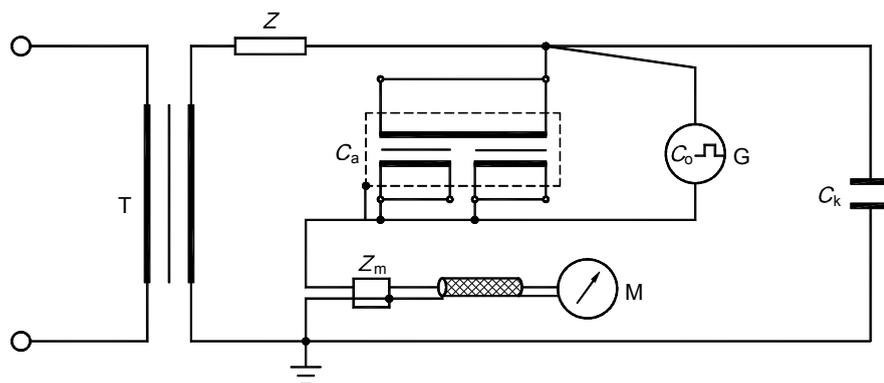
Los símbolos son iguales a los de la Figura 2.

Figura 3. Circuito de ensayo alternativo para medición de descarga parcial



- T = transformador de ensayo
- C_a = transformador de medida por ensayar
- C_{a1} = objeto libre auxiliar para descargas parciales (o C_k es el condensador de acople)
- M = instrumento de medición de descargas parciales
- Z_{m1} y Z_{m2} = impedancias de medición
- Z = Filtro

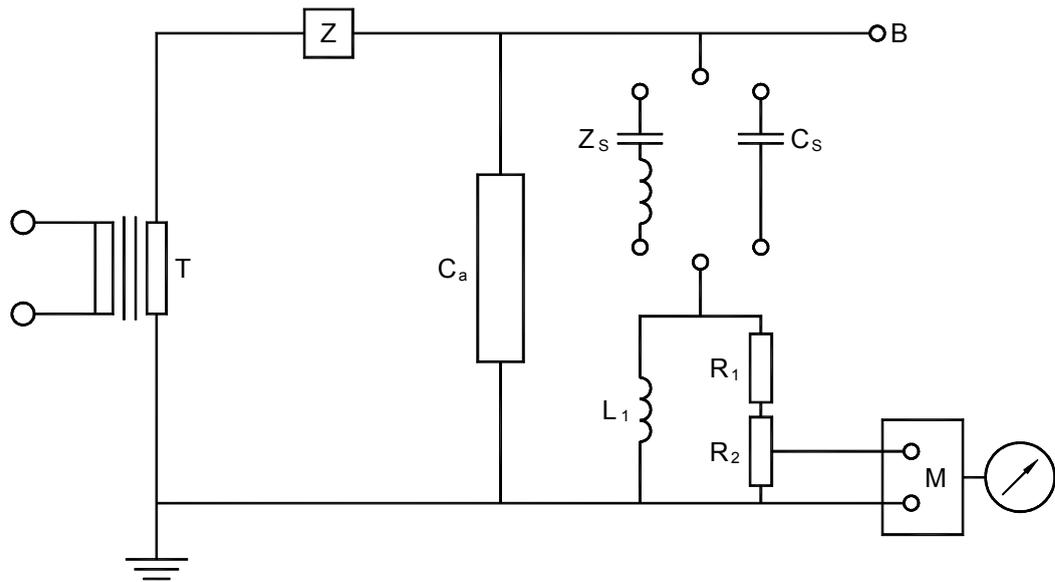
Figura 4. Ejemplo de circuito de ensayo balanceado para medición de descarga parcial



Los símbolos son iguales a los de la Figura 2

G generador de impulso con capacitancia C_0

Figura 5. Ejemplo de circuito de calibración para medición de descarga parcial



Convenciones

- C_a = Objeto de ensayo
- Z = Filtro
- B = Terminación libre de corona
- M = Equipo de medición
- $Z_s + (R_1 + R_2) = 300 \text{ W}$
- T = Transformador de prueba
- Z_s, C_s, L_1, R_1, R_2 véase CISPR 18-2

Figura 6. Circuito de medición

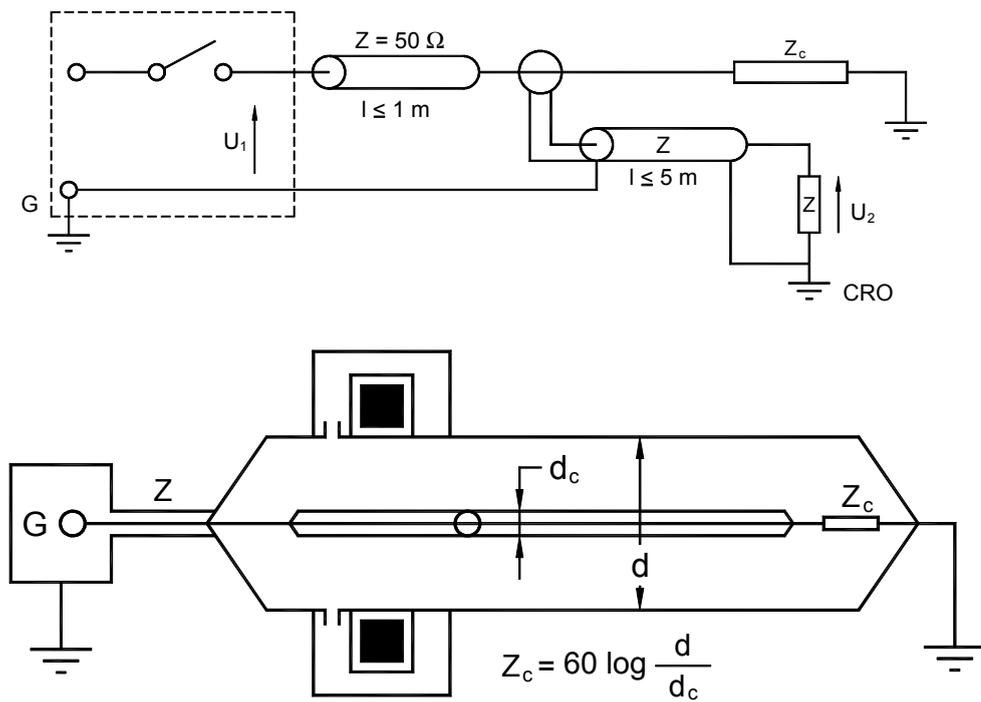


Figura 7. Medición de las sobretensiones transmitidas.
Circuito de ensayo y montaje de ensayos GIS

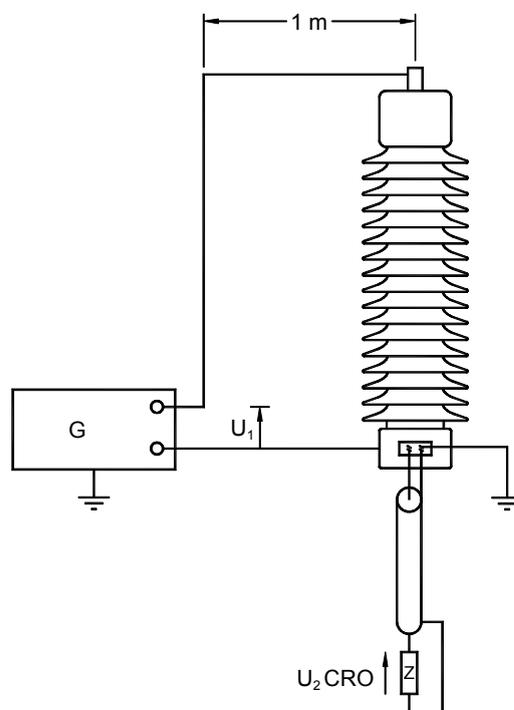
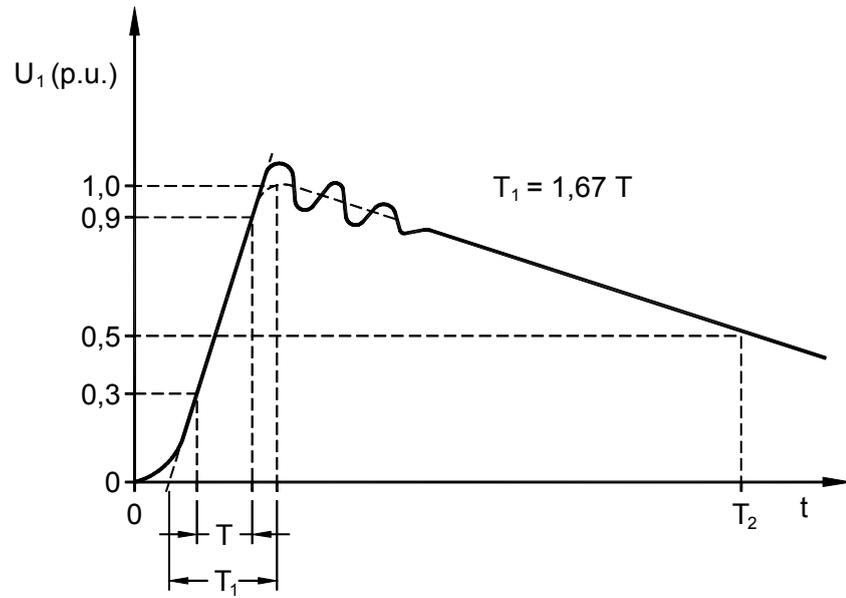
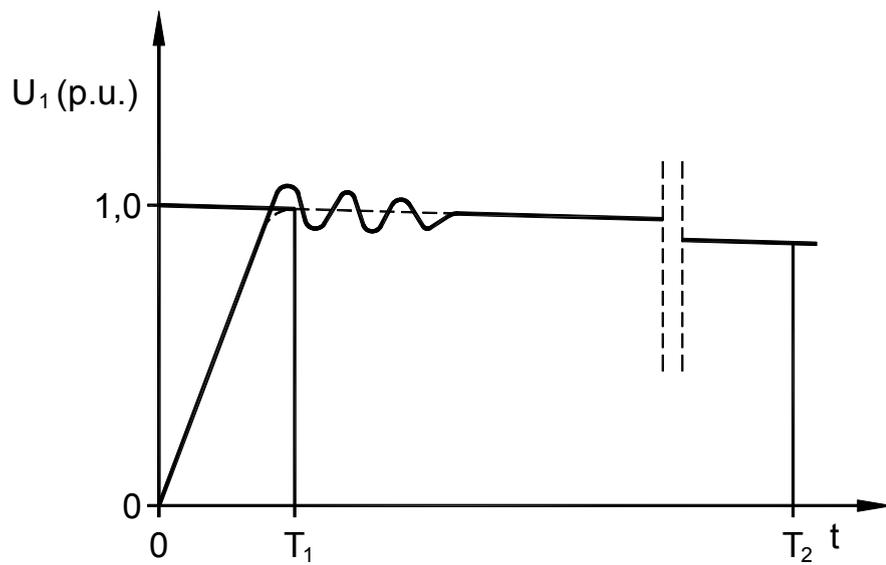


Figura 8. Medición de las sobretensiones transmitidas.
Montaje de ensayo general



Forma de onda A



Forma de onda B

Figura 9. Medición de las sobretensiones transmitidas.
Forma de onda de ensayo

DOCUMENTO DE REFERENCIA

ELECTROTECHNICAL INTERNATIONAL COMMISSION. Instrument Transformers. Part 1. Current Transformers. IEC, Genève: 2003. 111 p. il. (IEC 60044-1 Edition 1.2)

ANEXO A
(Normativo)

TRANSFORMADORES DE CORRIENTE PARA PROTECCIÓN

A.1 DIAGRAMA VECTORIAL

Tomando en consideración un transformador de corriente para el cual se asume que únicamente contiene componentes lineales eléctricas y magnéticas en sí mismo y en su carga, y suponiendo, además, corriente primaria sinusoidal, todas las corrientes, tensiones y flujos serán sinusoidales, y su funcionamiento se puede ilustrar mediante un diagrama vectorial como el de la Figura A.1

En la Figura A.1, I_s representa la corriente secundaria. Ésta fluye a través de la impedancia del devanado secundario y la carga, lo cual determina la magnitud y dirección de la tensión inducida necesaria E_s y del flujo Φ que es perpendicular al vector tensión. Este flujo se mantiene por la corriente de excitación I_e , que tiene un componente de magnetización I_m paralelo al flujo Φ y un componente de pérdida (o activo) I_a paralelo a la tensión. La suma vectorial de la corriente secundaria I_s y la corriente de excitación I_e es el vector I''_p , que representa la corriente primaria dividida por la relación de espiras (número de espiras secundarias al número de espiras primarias).

Así, para un transformador de corriente con relación de espiras igual a la relación de transformación nominal, la diferencia en longitudes de los vectores I_s e I''_p , en relación con la longitud de I''_p es el error de corriente, de acuerdo con la definición del numeral 2.1.10 y la diferencia angular δ es el desplazamiento de fase, de acuerdo con el numeral 2.1.11.

A.2 CORRECCIÓN DE ESPIRAS

Cuando la relación de espiras es diferente (y por lo general menor) de la relación de transformación nominal, se dice que el transformador de corriente tiene corrección de espiras. Así, al evaluar el desempeño, es necesario distinguir entre I''_p , la corriente primaria dividida por la relación de espiras, e I'_p , la corriente primaria dividida por la relación de transformación nominal. La ausencia de corrección en las espiras significa que $I'_p = I''_p$. Si hay corrección de espiras, I'_p es diferente de I''_p y puesto que I''_p se usa en el diagrama vectorial e I'_p se usa para la determinación del error de corriente, se verá que la corrección de espiras tiene influencia sobre el error de corriente (y se puede usar deliberadamente para ese propósito). Sin embargo, los vectores I'_p e I''_p tienen la misma dirección, de manera que la corrección de las espiras no influye en el desplazamiento de fase.

También será evidente que la influencia de la corrección de las espiras sobre el error compuesto es menor que su influencia sobre el error de corriente.

A.3 TRIÁNGULO DE ERROR

En la Figura A.2, la parte superior de la Figura A.1 se dibuja a una escala mayor y bajo la suposición adicional de que el desplazamiento de fase es tan pequeño que para propósitos prácticos los dos vectores I_s e I''_p se pueden considerar paralelos. Suponiendo nuevamente que no hay corrección de las espiras, proyectando I_e a I_p se verá que con una buena aproximación,

el componente en fase (ΔI) de I_e se puede usar en lugar de la diferencia aritmética entre I''_p y I_s para obtener el error de corriente y de forma similar, la componente de cuadratura (ΔI_q) de I_e se puede usar para expresar el desplazamiento de fase.

Más adelante se verá que bajo las hipótesis dadas, la corriente de excitación I_e dividida por I''_p es igual al error compuesto de acuerdo con el numeral 2.1.31.

Así, para un transformador de corriente sin corrección de espiras, y bajo condiciones en las cuales la representación de un vector es justificable, el error de corriente, el desplazamiento de fase y el error compuesto forman un triángulo rectángulo.

En este triángulo, la hipotenusa que representa el error compuesto depende de la magnitud de la impedancia de la carga total, que es la suma de la carga secundaria y el devanado secundario, mientras que la división entre el error de corriente y el desplazamiento de fase depende de los factores de potencia de la impedancia de la carga total y de la corriente de excitación. El desplazamiento de fase cero resultará cuando ambos factores de potencia son iguales, es decir, cuando I_s e I_e están en fase.

A.4 ERROR COMPUESTO

Sin embargo, la aplicación más importante del concepto de error compuesto es bajo condiciones en las que la representación vectorial no es aplicable debido a que las condiciones no lineales introducen armónicos mayores en la corriente de excitación y en la corriente secundaria (véase la Figura A.3).

Es por esta razón que el error compuesto se define como en el numeral 2.1.31 y no en la forma mucho más simple, como la suma de vectores del error de corriente y desplazamiento de fase, como se ilustra en la Figura A.2.

Así, en el caso general, el error compuesto también representa las desviaciones del transformador de corriente ideal que son causadas por la presencia de armónicos mayores en el secundario, que no existen en el primario (la corriente primaria siempre se considera sinusoidal para los propósitos de esta norma).

A.5 ENSAYO DIRECTO PARA ERROR COMPUESTO

La Figura 4 presenta un transformador de corriente con una relación de espiras de 1/1. Está conectado a una fuente de corriente primaria (sinusoidal), una carga secundaria Z_B con características lineales y a un amperímetro, de manera que tanto la corriente primaria como la secundaria pasan a través del amperímetro pero en direcciones opuestas. De esta manera, la corriente resultante a través del amperímetro será igual a la corriente de excitación bajo las condiciones reinantes de corriente primaria sinusoidal y el valor eficaz de esa corriente relacionada con el valor eficaz de la corriente primaria es el error compuesto, de acuerdo con el numeral 2.1.31 y la relación se expresa como un porcentaje.

Por lo tanto, la Figura A.4 representa el circuito básico para la medición directa del error compuesto.

La Figura A.5 representa el circuito básico para la medición directa del error compuesto para transformadores de corriente con relaciones de transformación nominales diferentes de la unidad. Presenta dos transformadores de corriente con la misma relación de transformación nominal. El transformador N se supone que tiene un error compuesto insignificante bajo las

condiciones reinantes (carga mínima), mientras que el transformador de corriente bajo ensayo y marcado con X está conectado a su carga nominal.

Ambos se alimentan de la misma fuente de corriente sinusoidal primaria. Se conecta un amperímetro para medir la diferencia entre las dos corrientes secundarias. Bajo estas condiciones, el valor eficaz de la corriente en el amperímetro A_2 relacionado con el valor eficaz de la corriente en el amperímetro A_1 , es el error compuesto del transformador X, cuya relación se expresa como un porcentaje.

Con este método, es necesario que el error compuesto del transformador N sea verdaderamente insignificante bajo las condiciones de uso. No es suficiente que el transformador N tenga un error compuesto conocido, ya que debido a la naturaleza tan complicada del error compuesto (forma de onda distorsionada), cualquier error compuesto del transformador de referencia N no se puede usar para corregir los resultados del ensayo.

A.6 MÉTODO ALTERNATIVO PARA LA MEDICIÓN DIRECTA DEL ERROR COMPUESTO

Se pueden usar medios alternativos para la medición del error compuesto. En la Figura A.6 se presenta un método.

Mientras que el método presentado en la Figura A.5 requiere un transformador de referencia “especial” N de la misma relación de transformación nominal que el transformador X, y tiene un error compuesto insignificante a la corriente primaria límite de exactitud, el método de la Figura 6 permite que los transformadores de corriente de referencia normalizada N y N' se usen a su corriente primaria nominal o cerca de ella. Sin embargo, es esencial que estos transformadores de referencia tengan errores compuestos insignificantes, pero el requisito es fácil de satisfacer.

En la Figura A.6, X es el transformador que se ensaya, N es un transformador de referencia normalizado con una corriente primaria nominal del mismo orden de magnitud que la corriente primaria límite de exactitud nominal del transformador X (la corriente a la cual se va a llevar a cabo el ensayo) y N' es un transformador de referencia normalizado con una corriente primaria nominal del orden de magnitud de la corriente secundaria correspondiente a la corriente primaria límite de exactitud nominal del transformador X. Obsérvese que el transformador N' constituye una parte de la carga Z_B del transformador X y por lo tanto se debe tener en cuenta al determinar el valor de la carga Z_B . A_1 y A_2 son los dos amperímetros. Se debe tener cuidado de que A_2 mida la diferencia entre las corrientes secundarias de los transformadores N y N'.

Si la relación de transformación nominal del transformador N es K_n , del transformador X es K_{nx} y del transformador N' es K'_n , la relación K_n debe ser igual al producto de K'_n y K_{nx} :

$$\text{es decir: } K_n = K'_n \times K_{nx}$$

Bajo estas condiciones, el valor eficaz de la corriente en el amperímetro A_1 , relacionado con la corriente en el amperímetro A_2 , es el error compuesto del transformador X, cuya relación se expresa como un porcentaje.

NOTA Cuando se usan los métodos de las Figuras A.5 y A.6, se recomienda tener cuidado para usar un instrumento de impedancia baja para A_2 , ya que la tensión a través de este amperímetro (dividida por la relación del transformador N' en el caso de la Figura A.6) constituye parte de la tensión de carga del transformador X y tiende a reducir la carga en este transformador. En forma similar, esta tensión del amperímetro incrementa la carga en el transformador N.

A.7 USO DEL ERROR COMPUESTO

El valor numérico del error compuesto nunca será menor que la suma de vectores del error de corriente y el desplazamiento de fase (este último se expresa en centirradiares). En consecuencia, el error compuesto siempre indica el mayor valor posible del error de corriente o desplazamiento de fase.

El error de corriente es de interés particular en la operación de los relés de sobrecorriente y el desplazamiento de fase en la operación de relés sensibles a la fase (por ejemplo: relés direccionales).

En el caso de relés diferenciales, la que se debe considerar es la combinación de los errores compuestos de los transformadores de corriente involucrados.

Una ventaja adicional de una limitación del error compuesto es la limitación resultante del contenido armónico de la corriente secundaria, que constituye una exigencia para la operación correcta de algunos tipos de relés.

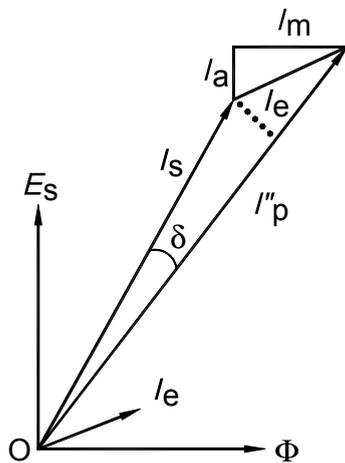


Figura A.1

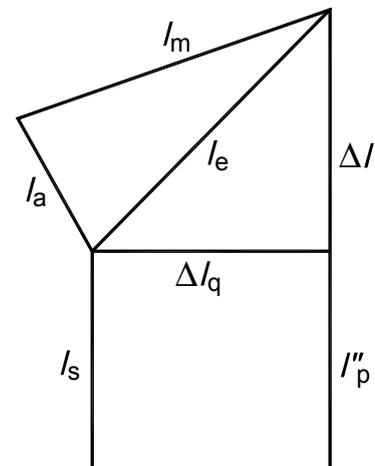


Figura A.2

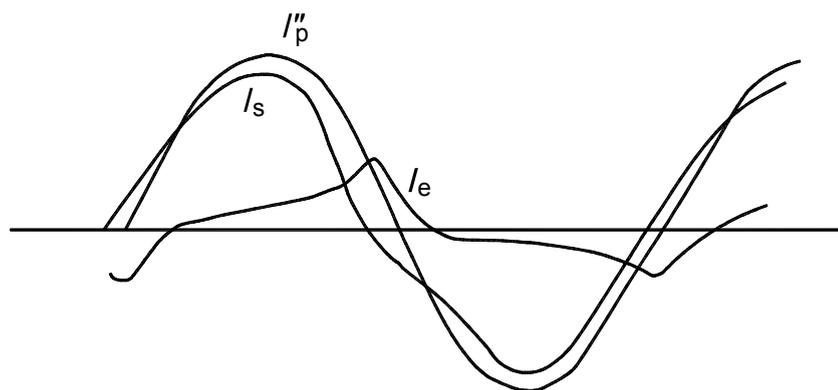


Figura A.3

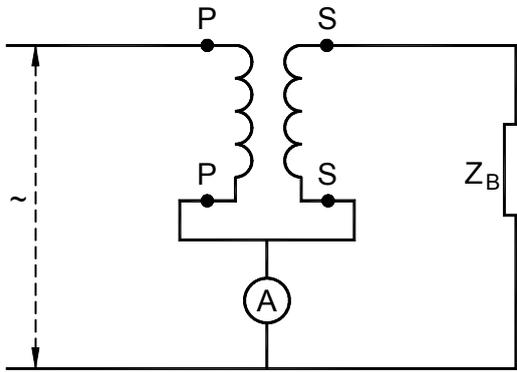


Figura A.4

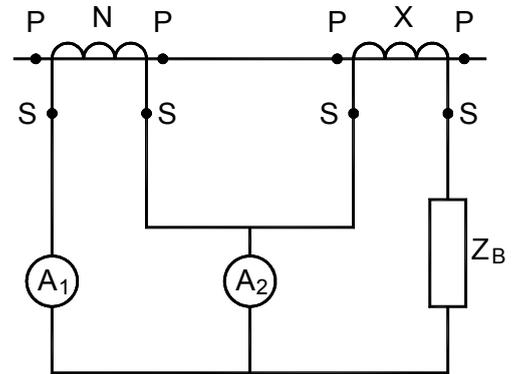


Figura A.5

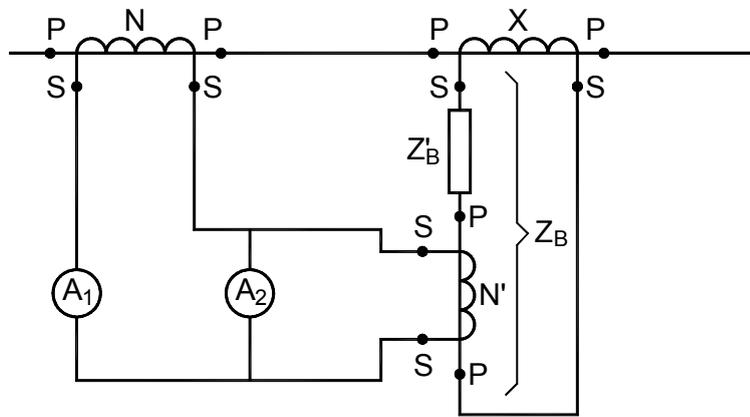


Figura A.6

ANEXO B
(Informativo)

ENSAYO DE IMPULSO RECORTADO MÚLTIPLE

El ensayo se debe llevar a cabo con impulsos de polaridad negativa recortados cerca de la cresta.

La duración virtual de la caída de tensión, medida de acuerdo con la NTC 4591 (IEC 60060-1) debe ser de aproximadamente 0,5 μ s. El circuito se debe disponer de manera que la sobreoscilación a la polaridad opuesta del impulso registrado sea del orden del 50 % del valor pico.

Es conveniente que el valor pico de tensión sea de aproximadamente el 60 % de la tensión nominal no disruptiva de impulso tipo rayo.

Al menos son necesarios 100 impulsos para poner las fallas en evidencia. Se deban aplicar a una tasa de un impulso por minuto.

Antes del ensayo y tres días después del ensayo, se debe llevar a cabo el análisis del gas disuelto en el aceite del transformador.

Es conveniente que los criterios para evaluar el resultado se basen en la cantidad y composición de los gases producidos (relación de las cantidades de los gases significativos), pero no se pueden dar cifras en la actualidad. Son indicaciones de falla cantidades relativamente grandes de H_2 y $C_2 H_2$.

El procedimiento para muestreo de aceite puede ser el que se da en la norma IEC 60567.

El procedimiento de análisis y la base para el diagnóstico de falla se pueden basar en la norma IEC 60599.