



**NORMA
VENEZOLANA**

**COVENIN
536:2021**

**TRANSFORMADORES DE
POTENCIA. GENERALIDADES
(3ra. Revisión)**



SENCAMER

Servicio Desconcentrado de Normalización,
Calidad, Metrología y Reglamentos Técnicos



**Comisión Venezolana
de Normas Industriales**

PRÓLOGO

La presente norma sustituye totalmente a la Norma Venezolana COVENIN 536:2003. Fue elaborada por el Subcomité Técnico de Normalización **SC9 Máquinas y sus Componentes** del Comité Técnico de Normalización **CT11 Electricidad y Electrónica**, cumpliendo los lineamientos del Servicio Desconcentrado de Normalización, Calidad, Metrología y Reglamentos Técnicos (SENCAMER) y aprobada por Dirección General de SENCAMER en punto de cuenta N° DNO-2022-002 de fecha 05 de enero 2022.

Participaron en la elaboración de esta Norma las siguientes entidades: Ministerio del Poder Popular para la Energía Eléctrica (MPPEE), Universidad Simón Bolívar (USB), Bobinados Occidente C.A., Corporación Eléctrica Nacional S.A. (CORPOELEC), Precelca Servicios C.A., C.A. Industria Venezolana Electro-Técnica (CAIVET), Equipos y Servicios Eléctricos S.A. (EQUISET, S.A.), Cámara Nacional de Empresas de Telecomunicaciones (CANAEMTE), EPROTEL Equipos y Sistemas Electrónicos C.A., E´kabel Projekts C.A. (E´KABEL), Corporación Iadiexport C.A., Ingeniería Especializada HH C.A (IEHHCA) y Alcave Venezuela C.A. y el Servicio Desconcentrado de Normalización, Calidad, Metrología y Reglamentos Técnicos (SENCAMER).

INFORMACIÓN COMPLEMENTARIA

Comité Técnico de Normalización: CT11 Electricidad y Electrónica

Presidente: Luis Argelis Rey García

Vicepresidente: Jairo José Castillo Mantilla

Secretario: Daniel Alejandro Márquez Noguera

Subcomité Técnico de Normalización: SC9 Máquinas y sus componentes

Presidente: Carmen Victoria Quintero García

Vicepresidente: Jesús Atilio Márquez Noguera

Secretario: Marahaiza Elvira Luces Naranjo

INSTITUCIÓN REPRESENTADA

CAIVET

Corporación Iadiexport C.A.,

Corporación Iadiexport C.A.,

USB

E´kabel Projekts C.A.

MPPEE

MPPEE

CORPOELEC

Bobinados Occidente C.A.

Bobinados Occidente C.A.

Bobinados Occidente C.A.

IEHHCA

CANAEMTE

EQUISET S.A.

Precelca Servicios C.A.

Alcave Venezuela C.A.

EPROTEL

NOMBRE Y APELLIDO

Alfredo Cerqueira Pereira

Carlos Alfonso Hernández Solano

Félix Eduardo Golindano Márquez

Carmen Victoria Quintero García

Jubily Marjorie Alves de Ponce

Luis Argelis Rey García

Marahaiza Elvira Luces Naranjo

Jairo José Castillo Mantilla

Jesús Atilio Márquez Noguera

Daniel Alejandro Márquez Noguera

María Gabriela Viloria Quintero

Rubén Darío Hernández Vera

Wolfgang Ulises Hernández Perozo

Zaida Coromoto Best Rodríguez

Xavier Yosú Garrido Berrobi

Clayam García

Carolina Espino

Consulta Pública: Iniciada en fecha: 12/11/2021

Concluida en fecha: 26/12/2021

ÍNDICE

	Pág. #
1. OBJETO	1
2. ALCANCE	1
3. REFERENCIAS NORMATIVAS	1
4. DEFINICIONES	2
4.1. Aislamiento	2
4.1.1. Nivel básico de Aislamiento	2
4.1.2. Devanado uniformemente aislado	2
4.1.3. Devanado con aislamiento escalonado	2
4.1.4. Instalación expuesta	2
4.1.5. Instalación no expuesta	2
4.1.6. Tensión nominal del sistema	2
4.1.7. Tensión máxima del sistema	2
4.2. Autotransformadores	3
4.3. Conexiones	3
4.3.1. Conexión estrella (Y o y)	3
4.3.2. Conexión delta (D o d)	3
4.3.3. Conexión delta abierta	3
4.3.4. Conexión zig-zag (Z o z)	3
4.3.5. Devanados abiertos	3
4.3.6. Desfase	3
4.3.7. Símbolo de grupo vectorial	4
4.3.8. Polaridad de los terminales	4
4.3.9. Polaridad aditiva	4
4.3.10. Polaridad sustractiva	4
4.4. Corriente en vacío y pérdidas	4
4.4.1. Corriente en vacío	4
4.4.2. Pérdidas	4
4.5. Devanados	6
4.5.1. Devanado	6
4.5.2. Devanado de fase	6
4.5.3. Devanado de alta tensión	6

4.5.4.	Devanado de baja tensión.....	6
4.5.5.	Devanado de tensión intermedia.....	6
4.5.6.	Devanado primario.....	6
4.5.7.	Devanado secundario	6
4.5.8.	Devanado terciario	6
4.6.	Elevación de temperatura.....	7
4.7.	Régimen nominal.....	7
4.7.1.	Magnitudes nominales	7
4.7.2.	Placa de características.....	7
4.7.3.	Relación nominal de transformación	7
4.7.4.	Tensión nominal de un devanado	8
4.7.5.	Corriente nominal	8
4.7.6.	Potencia nominal.....	8
4.7.7.	Frecuencia Nominal	8
4.7.8.	Frecuencia Industrial.....	9
4.8.	Tensión de cortocircuito y caída de tensión	9
4.8.1.	Tensión de cortocircuito a corriente nominal	9
4.8.2.	Componente resistiva de la tensión de cortocircuito.....	9
4.8.3.	Componente reactiva de la tensión de cortocircuito	9
4.8.4.	Caída (o Alza) de tensión (regulación) para una condición de carga especificada	9
4.8.5.	Impedancia de secuencia cero	9
4.9.	Terminales y punto neutro	10
4.9.1.	Terminal	10
4.9.2.	Terminal de línea (borne de línea)	10
4.9.3.	Terminal de neutro (borne de neutro)	10
4.9.4.	Punto Neutro.....	10
4.9.5.	Terminales correspondientes	10
4.10.	Tipos de ensayos	10
4.10.1.	Ensayos de tipo	10
4.10.2.	Ensayos de rutina	10
4.10.3.	Ensayos especiales	11
4.11.	Tomas	11
4.11.1.	Toma	11
4.11.2.	Toma principal.....	11

4.11.3.	Factor de toma	11
4.11.4.	Toma aditiva	11
4.11.5.	Toma sustractiva	11
4.11.6.	Paso de toma	11
4.11.7.	Rango de tomas	11
4.11.8.	Tensión de toma de un devanado	11
4.11.9.	Potencia de toma de un devanado	12
4.11.10.	Corriente de toma de un devanado	12
4.11.11.	Tomas de potencia máxima	12
4.11.12.	Tomas de potencia reducida	12
4.11.13.	Categorías de regulación	12
4.12.	Transformador de potencia	13
4.13.	Transformador compensador (elevador o reductor)	13
4.14.	Transformador seco	13
4.15.	Transformador seco en aire	13
4.16.	Transformador seco en aislante sólido	13
4.17.	Transformador sumergido en líquido aislante	13
4.18.	Transformador sumergido en líquido aislante y con equipo de gas inerte	13
4.19.	Hermeticidad	13
4.20.	Símbolos y Abreviaturas	14
4.20.1.	Identificación según el tipo de enfriamiento	14
4.20.2.	Identificación según el diagrama vectorial	15
4.21.	Tensión *	15
5.	REQUISITOS	15
5.1.	Material, Diseño y Fabricación	15
5.1.1.	Materiales para transformadores	15
5.1.2.	Diseño y fabricación	16
5.2.	Requisitos régimen nominal	19
5.3.	Tomas	20
5.3.1.	Especificaciones de las tomas	20
5.3.2.	Alcance de tomas	21
5.3.3.	Magnitudes de las tomas	21
5.4.	Límites de elevación de temperatura	22
5.4.1.	Límites de elevación de temperatura	22

5.4.2.	Reducción del aumento de temperatura para transformadores provistos de enfriamiento diseñado para altas temperaturas.....	23
5.4.3.	Reducción de la elevación de temperatura para transformadores diseñados para grandes altitudes	23
5.5.	Niveles de aislamiento	24
6.	PROCEDIMIENTOS	27
6.1.	Funcionamiento de los transformadores durante los cortocircuitos	27
6.1.1.	Generalidades	27
6.1.2.	Condiciones de sobrecorriente.....	27
6.1.3.	Requisitos Mecánicos.....	28
6.1.4.	Requisitos térmicos	30
6.1.5.	Transformadores asociados directamente con otros aparatos.....	31
6.1.6.	Ensayos de cortocircuito	31
6.1.7.	Devanados auxiliares	31
6.1.8.	Tolerancias	31
6.1.9.	Pérdidas y corriente de excitación, valores máximos permitidos	31
7.	MÉTODO DE ENSAYO.....	33
7.1.	Clasificación de los ensayos.....	33
7.2.	Ensayos de tipo.....	34
7.3.	Ensayos de rutina (Individuales)	34
7.4.	Ensayos especiales.....	34
8.	CRITERIOS, MARCACIÓN, ROTULACIÓN.....	35
8.1.	Marcación	35
8.2.	Rotulación.....	35
8.2.1.	Placa de características.....	35
	BIBLIOGRAFÍA	38
	ANEXO A.....	40
A.1.	Regulación con flujo constante	40
A.2.	Regulación con flujo variable	40
A.3.	Regulación mixta	41
	ANEXO B	43
	ANEXO C	45
C.1.	Condiciones esenciales	45
C.2.	Conexiones.....	45

C.3. Relaciones de transformación	46
C.4. Tensiones de cortocircuito	46
C.5. Garantías	46
ANEXO D.....	48
D.1. Datos de régimen nominal y características generales	48
D.1.1. Transformadores de dos devanados.....	48
D.1.1.1. Condiciones normales.....	48
D.1.1.2. Condiciones especiales	49
D.1.2. Transformadores de más de dos devanados	49
D.2. Funcionamiento en paralelo.....	49
ANEXO E	51
E.1. Generalidades.....	51
E.2. Tensión más elevada del sistema	51
E.3. Puesta a tierra del sistema	51
E.4. Exposición a sobretensiones	52
E.5. Selección de los ensayos por ondas de choque	52
E.6. Aislamiento a tierra	52
ANEXO F.....	54
F.1. Tipos de carga	54
F.1.1. Corriente distorsionada	54
F.1.2. Valor efectivo	54
F.1.3. Factor de distorsión armónica total (THD)	54
F.1.4. Pérdidas en un Transformador	56
F.1.5. Pérdidas en el Hierro	56
F.1.6. Pérdidas en el cobre	56
F.2. Pérdidas en Transformadores con Corriente Distorsionada.....	57
F.2.1. Pérdidas en el Hierro	57
F.2.2. Pérdidas en el Cobre	57
F.2.3. Pérdidas totales.....	57
F.2.4. Pérdidas a frecuencia industrial.....	57
F.2.5. Pérdidas a frecuencia industrial en por unidad.....	58
F.2.6. Pérdidas para corriente distorsionada	58
F.2.7. Factor K	58

**NORMA VENEZOLANA
TRANSFORMADORES DE POTENCIA.
GENERALIDADES**

**COVENIN
536:2021
(3ra. Revisión)**

1. OBJETO

Esta norma establece los requisitos mínimos que deben cumplir los transformadores de potencia, así como los métodos de ensayo para verificarlos.

2. ALCANCE

Esta norma aplica a transformadores y autotransformadores de potencia (de transmisión y de distribución), con la excepción de los siguientes tipos especiales y de pequeña capacidad:

- a) Transformadores monofásicos de menos de 1 kVA y polifásicos de menos de 5 kVA.
- b) Transformadores de medición.
- c) Transformadores para convertidores estáticos.
- d) Transformadores de arranque.
- e) Transformadores de ensayo.
- f) Transformadores de tracción montados en vehículos.
- g) Transformadores de soldadura.

3. REFERENCIAS NORMATIVAS

Las siguientes normas contienen disposiciones que, al ser citadas en este texto, constituyen requisitos de esta norma, las ediciones indicadas estaban en vigencia en el momento de esta publicación. Como toda norma está sujeta a revisión, se recomienda a aquellos que realicen acuerdos en base a ellas, que analicen la conveniencia de usar las ediciones más recientes de las normas citadas seguidamente:

COVENIN 449:1991	Aceite mineral aislante no inhibido para uso en transformadores e interruptores.
COVENIN 532:1968	Materiales eléctricos aislantes. Clases de aislación. (3ra. Edición)
COVENIN 537:1995	Equipo accesorio para transformadores monofásicos de distribución tipo intemperie. (2da. Revisión)
COVENIN 570:1969	Vocabulario electro técnico internacional. Grupo 10. Máquinas y transformadores.
COVENIN 1128:1991	Aceites minerales aislantes con inhibidor de oxidación para uso en transformadores e interruptores.
COVENIN 3172:1995	Transformadores de potencia. Métodos de ensayo.

4. DEFINICIONES

A los fines de este documento, se aplican los siguientes términos y definiciones:

4.1. Aislamiento

4.1.1. Nivel básico de Aislamiento

Es la designación del conjunto de valores de tensiones de ensayo, tanto a frecuencia industrial como a ondas de impulso, que caracteriza al aislamiento del transformador con relación a su capacidad para resistir esfuerzos dieléctricos.

NOTA. El nivel de aislamiento se expresa generalmente por los valores de ambas tensiones de ensayo, a frecuencia industrial y ondas de impulso completas.

4.1.2. Devanado uniformemente aislado

Es un devanado en el cual el aislamiento a tierra en todos sus puntos está diseñado para resistir la tensión de ensayo apropiada al terminal de línea.

4.1.3. Devanado con aislamiento escalonado

Es un devanado en el cual el aislamiento a tierra disminuye en forma gradual desde el valor del terminal de línea a uno inferior en el terminal del neutro.

NOTA. Este devanado resiste las pruebas de tensión aplicada solamente al nivel de aislamiento del neutro.

4.1.4. Instalación expuesta

Es una instalación en la cual el transformador está expuesto a sobretensiones de origen atmosférico.

NOTA. Tales instalaciones están conectadas a líneas de transmisión aéreas.

4.1.5. Instalación no expuesta

Es una instalación en la cual el transformador no está expuesto a sobretensiones de origen atmosférico.

NOTA. Tales instalaciones están conectadas a redes subterráneas.

4.1.6. Tensión nominal del sistema

Es el valor de la tensión eficaz entre fases por el cual se define el sistema.

NOTA. Esta tensión no es necesariamente la misma que la tensión nominal del devanado del transformador, conectado al sistema.

4.1.7. Tensión máxima del sistema

Es el mayor valor de tensión que aparece en cualquier instante y en cualquier punto del sistema en condiciones normales de funcionamiento. Este valor excluye las variaciones momentáneas de la tensión, como aquellas debidas a maniobras en el sistema, causas accidentales o cambios bruscos del régimen de carga.

NOTA. La tensión en circuito abierto de ciertas tomas puede ser mayor que la tensión máxima normal del sistema.

4.2. Autotransformadores

Es un transformador en el que por lo menos dos de sus devanados tienen una parte en común.

4.3. Conexiones

4.3.1. Conexión estrella (Y o y)

Es la conexión en la cual un terminal de cada devanado de fase de un transformador trifásico, o de cada uno de los devanados de los transformadores monofásicos de la misma tensión nominal, que forman un banco trifásico, están conectados a un punto común (punto neutro) y los otros terminales a los terminales de línea correspondientes.

4.3.2. Conexión delta (D o d)

Es la conexión en la cual los devanados de fase de un transformador trifásico o los devanados de transformadores monofásicos de la misma tensión nominal, asociados en un banco trifásico, están conectados en serie para formar un circuito cerrado.

4.3.3. Conexión delta abierta

Es la conexión en serie de los devanados de fase de un transformador trifásico, sin cerrar una de las esquinas de la delta. Los dos extremos abiertos se conectan a terminales separados. En el caso de transformadores monofásicos, la conexión delta abierta es la conexión de dos transformadores en delta, dejando un lado del triángulo inexistente.

4.3.4. Conexión zig-zag (Z o z)

Es la conexión del devanado en la cual un extremo de cada devanado de fase, de un transformador trifásico, está conectado a un punto común (punto neutro) y cada devanado de fase consistente de dos partes en las cuales, las tensiones individuales, de cada una de ellas, tiene una diferencia de fase. Estas dos partes tienen normalmente el mismo número de espiras.

4.3.5. Devanados abiertos

Son los devanados de fase de un transformador trifásico que no están interconectados dentro del transformador.

4.3.6. Desfase

Es la diferencia angular entre los vectores que representan las tensiones entre el punto neutro y el terminal correspondiente de dos devanados, cuando se aplica una tensión de secuencia positiva a los terminales de alta tensión en una secuencia identificada con letras. El desfase se expresa por la hora indicada en un cuadrante del reloj, en el cual el minutero señala las 12 y coincide con el vector de la tensión entre el punto neutro y el terminal de línea de alta tensión, y cuya aguja horaria coincide con el vector de tensión entre el punto neutro y el terminal de línea correspondiente al devanado de tensión baja o intermedia.

4.3.7. Símbolo de grupo vectorial

Es la notación convencional indicando las conexiones respectivas de los devanados de alta, intermedia y baja tensión y su desfase expresado como número de horas.

4.3.8. Polaridad de los terminales

Dos terminales de dos devanados de un transformador monofásico tienen la misma polaridad, cuando en un instante dado, la corriente entra por uno de los terminales en cuestión y sale por el otro formando un circuito continuo.

4.3.9. Polaridad aditiva

Los terminales de dos devanados de un transformador monofásico tienen polaridad aditiva; si al conectar dos terminales correspondientes de esos devanados en cuestión y aplicar una tensión en cualquier devanado del transformador, la tensión inducida entre los terminales restantes del par de devanados es mayor que la tensión que existe en el devanado de mayor tensión de ambos devanados.

4.3.10. Polaridad sustractiva

Los terminales de dos devanados de un transformador monofásico tienen polaridad sustractiva, si al conectar dos terminales correspondientes de esos devanados y aplicar una tensión en cualquier devanado del transformador, la tensión inducida entre los dos terminales restantes del par de devanados es menor que la tensión en el devanado de mayor tensión de los devanados.

4.4. Corriente en vacío y pérdidas

4.4.1. Corriente en vacío

Es la corriente que fluye a través de un terminal de línea de un devanado cuando se aplica a este la tensión nominal a frecuencia nominal, estando el otro devanado o los otros devanados en circuito abierto.

NOTA 1. La corriente en vacío de un devanado se expresa como un porcentaje de la corriente nominal de dicho devanado.

NOTA 2. En los transformadores trifásicos pueden ser diferentes las corrientes en vacío que fluyan a través de los terminales de línea. Si en este caso no se dan por separado los valores de las diferentes corrientes, se asume que la corriente en vacío es la media aritmética de las diversas corrientes.

4.4.2. Pérdidas

4.4.2.1. Pérdidas en vacío

Es la potencia activa absorbida por el transformador cuando se aplica a los terminales de uno de los devanados la tensión nominal a frecuencia nominal, estando el otro devanado o los otros devanados en circuito abierto.

4.4.2.2. Pérdidas debidas a la carga. (Pérdidas en cortocircuito)

4.4.2.2.1. Transformadores de dos devanados

Es la potencia activa absorbida a frecuencia nominal cuando la corriente nominal circula a través de los terminales de línea de uno de los devanados, estando los terminales del otro devanado en cortocircuito. Este valor debe corregirse a la temperatura de referencia indicada en la tabla 1.

4.4.2.2.2. Transformadores de devanados múltiples en relación a cierta combinación de dos devanados

Es la potencia activa absorbida a frecuencia nominal, cuando a través de los terminales de línea de uno de los devanados de la combinación, circula una corriente correspondiente a la menor de las potencias nominales, estando los terminales del otro devanado en cortocircuito y en circuito abierto los restantes. Los valores para las diferentes combinaciones se deben corregir a la temperatura de referencia indicada en la tabla 1.

TABLA 1. Límites de aumentos de temperatura en transformadores de potencia y temperatura de referencia

Clase de aislamiento térmico	Aumento de temperatura promedio de los devanados ⁽¹⁾ (°C)	Temperatura ambiente máxima (°C)	Temperatura de referencia (°C)
105 °C	55	40	75
120 °C	65	40	85
130 °C	80	40	100
155 °C	85	40	105
185 °C	115	40	135
220 °C	150	40	170

⁽¹⁾ Temperatura medida por el método de la variación de la resistencia.

[FUENTE: IEEE Std C57.12.80-2010]

4.4.2.3. Pérdidas totales

Es la suma de las pérdidas en vacío y las debidas a la carga.

NOTA 1. Para transformadores de devanados múltiples, las pérdidas totales se refieren a una combinación de carga especificada.

NOTA 2. Las pérdidas en equipos auxiliares no están incluidas en las pérdidas totales. Son indicadas separadamente.

4.4.2.4. Rendimiento de un transformador

Es la relación generalmente expresada en porcentaje entre la potencia activa de salida y la potencia activa de entrada.

4.5. Devanados

4.5.1. Devanado

Es el conjunto de espiras que constituye el circuito eléctrico asociado con una de las tensiones nominales del transformador.

NOTA 1. En un transformador trifásico, el devanado es el conjunto de los devanados individuales de fase.

NOTA 2. En un autotransformador la parte común de los devanados de fase se llama “devanado común” y la otra parte se llamará “devanado serie”.

NOTA 3. En un transformador compensador (elevador o reductor), el devanado previsto para ser conectado en serie con un circuito se llama “devanado serie” y el otro “devanado excitador”.

4.5.2. Devanado de fase

Es el conjunto de espiras que constituye una fase de un devanado polifásico.

NOTA. El término devanado de fase no se utilizará para identificar al conjunto de bobinas de una columna.

4.5.3. Devanado de alta tensión

Es el devanado asociado a la tensión nominal más alta.

4.5.4. Devanado de baja tensión

Es el devanado asociado a la tensión nominal más baja.

NOTA. En los transformadores compensadores (elevadores o reductores), el devanado con la tensión nominal más baja puede requerir mayor nivel de aislamiento.

4.5.5. Devanado de tensión intermedia

Es el devanado de un transformador de devanados múltiples cuya tensión nominal es intermedia entre la tensión nominal mayor y la menor.

4.5.6. Devanado primario

Es el devanado que está recibiendo potencia del sistema de alimentación.

4.5.7. Devanado secundario

Es el devanado que está entregando potencia al circuito de carga.

4.5.8. Devanado terciario

Podrá ser definido de acuerdo con su función como:

4.5.8.1. Devanado auxiliar

Es un devanado destinado solamente para una carga pequeña comparada con la capacidad total del transformador.

4.5.8.2. Devanado estabilizador

Es el devanado previsto para ser conectado en delta en transformadores estrella-estrella o estrella-zigzag, para reducir la impedancia de secuencia cero del devanado en estrella o equilibrar las tensiones de fase.

NOTA 1. La reducción de esta impedancia puede ser necesaria, por ejemplo, para disminuir la magnitud de las tensiones de la tercera armónica o para estabilizar las tensiones a neutro.

NOTA 2. Se considera que un devanado es estabilizador si sus terminales no son accesibles ni están previstos para ser conectados a un circuito externo. Sin embargo, puede ser que unos de los dos terminales sean accesibles para formar un punto único, por ejemplo, para conectarlo a tierra. En el caso de un transformador trifásico, si otros puntos del devanado son accesibles, este es considerado como normal tal como se define en 4.5.2.

4.6. Elevación de temperatura

Es la diferencia entre la temperatura de la parte en consideración y la temperatura medida del aire de enfriamiento o del agua a la entrada del equipo de enfriamiento, para transformadores enfriados por aire o por agua, respectivamente.

4.7. Régimen nominal

Comprende los valores numéricos asignados a las magnitudes que definen la operación del transformador en las condiciones especificadas en esta norma y en los que se basan las garantías y ensayos del fabricante.

NOTA. A menos que se especifique de otra manera, el régimen nominal se refiere a las tomas principales (como se especifica en 4.11.2).

4.7.1. Magnitudes nominales

Son aquellas magnitudes tales como tensión, corriente, frecuencia, cuyos valores numéricos definen el régimen nominal.

NOTA. Las tensiones y corrientes vienen siempre expresadas por sus valores eficaces, salvo que se especifique de otra manera.

4.7.2. Placa de características

Es aquella fijada al transformador donde están contenidos los valores nominales y otros datos esenciales. En el punto 8.2.1 se especifican los valores nominales y otros datos que deben figurar en la placa de características son detallados en el capítulo 8.

4.7.3. Relación nominal de transformación

Es la relación entre la tensión nominal de un devanado y la tensión nominal de otro devanado en vacío.

4.7.4. Tensión nominal de un devanado

Es la tensión especificada para ser aplicada o inducida en vacío entre los terminales de líneas de un devanado de un transformador polifásico o entre los terminales de un devanado de un transformador monofásico.

NOTA 1. Las tensiones nominales de todos los devanados aparecen simultáneamente en vacío cuando la tensión aplicada a uno de ellos tiene su valor nominal.

NOTA 2. En el caso de transformadores monofásicos destinados a constituir un banco polifásico, la tensión nominal de un devanado destinado a ser conectado en estrella está indicada por una fracción cuyo numerador es la tensión entre línea y cuyo denominador es la raíz cuadrada de tres. Lo mismo se aplica a los devanados serie de los transformadores compensadores.

4.7.5. Corriente nominal

Es la corriente que fluye a través de un terminal de línea de un devanado, y se calcula dividiendo la potencia nominal del transformador entre la tensión nominal del devanado, multiplicada por la unidad para transformadores monofásicos y por $\sqrt{3}$ para transformadores trifásicos

NOTA 1. Si la conexión en delta o en cualquier otro polígono es hecha externamente uniendo los terminales de los devanados de dos fases por pares, esta corriente corresponde al valor obtenido por el par de terminales así conectado.

NOTA 2. En el caso de transformadores monofásicos destinados a constituir un grupo trifásico, la corriente nominal de un devanado destinado a ser conectado en delta está indicada por una fracción cuyo numerador es la corriente nominal de línea y cuyo denominador es la raíz cuadrada de tres.

4.7.6. Potencia nominal

Es un valor convencional de potencia aparente (en kVA o MVA) que establece una base para el diseño, garantía y ensayos del fabricante, determinando un valor bien definido para la corriente nominal que puede ser soportada con tensión nominal aplicada y bajo las condiciones especificadas en esta norma. En el caso de transformadores de devanados múltiples, debe indicarse la potencia nominal para cada uno de los devanados.

NOTA 1. Ambos devanados de un transformador de dos devanados tienen la misma potencia nominal que por definición es la potencia nominal del transformador.

NOTA 2. La media aritmética de los valores de las potencias nominales de los devanados da una estimación de las dimensiones de un transformador de devanados múltiples, en comparación con un transformador de dos devanados.

NOTA 3. Con tensión nominal constante aplicada a uno de los devanados, la potencia aparente que suministra el otro o uno de los otros devanados bajo carga difiere de su potencia nominal en una cantidad que depende de la caída o alza de tensión (como se especifica en 4.8.4). Esta potencia aparente es igual al producto de la tensión actual bajo carga del último devanado, por la corriente nominal (como se especifica 4.7.6) con respecto a este devanado.

NOTA 4. Si la potencia de un transformador varía con diferentes tipos de enfriamiento, la potencia nominal es la que corresponde a cada tipo de enfriamiento.

4.7.7. Frecuencia Nominal

Es la frecuencia de funcionamiento para la cual ha sido diseñado el transformador.

NOTA. En Venezuela se ha normalizado el valor de 60 Hz como frecuencia nominal.

4.7.8. Frecuencia Industrial

A los efectos de este documento es 60 Hz.

4.8. Tensión de cortocircuito y caída de tensión

4.8.1. Tensión de cortocircuito a corriente nominal

a) En transformadores de dos devanados, es la tensión que se debe aplicar, a frecuencia nominal, a los terminales de línea de un devanado de un transformador polifásico o a los terminales de un devanado de un transformador monofásico, para que la corriente nominal circule a través de estos terminales cuando el otro devanado está en cortocircuito. Este valor deberá ser corregido a una temperatura de referencia dada en la tabla 1.

b) En transformadores de devanados múltiples referidos a una cierta combinación de dos devanados, es la tensión que se debe aplicar a frecuencia nominal, a los terminales de línea de uno de los devanados de una combinación de un transformador polifásico o a los terminales de un devanado de un transformador monofásico, para que una corriente correspondiente a la potencia nominal menor de ambos devanados circule a través de estos terminales del otro devanado en cortocircuito y los restantes en circuito abierto. Los valores para las diferentes combinaciones se deberán corregir a una temperatura de referencia de acuerdo con la tabla 1.

NOTA 1. (Válida para los literales a y b). La tensión de cortocircuito usualmente se expresa como un porcentaje de la tensión nominal del devanado al cual se aplica la tensión.

NOTA 2. (Válida para el literal b). Para simplificar ciertos cálculos, puede ser conveniente referir las tensiones de cortocircuito de las varias combinaciones en términos de la misma potencia nominal.

4.8.2. Componente resistiva de la tensión de cortocircuito

Es el componente de la tensión de cortocircuito que está en fase con la corriente.

4.8.3. Componente reactiva de la tensión de cortocircuito

Es el componente de la tensión de cortocircuito que está en cuadratura con la corriente.

4.8.4. Caída (o Alza) de tensión (regulación) para una condición de carga especificada

Es la diferencia entre la tensión nominal de un devanado y la tensión resultante para una carga y factor de potencia especificados, estando la tensión aplicada a uno de los otros devanados en su valor nominal. Se expresa como un porcentaje de la tensión del devanado en referencia.

NOTA. Para transformadores de devanados múltiples, la caída (o alza) de tensión no sólo depende de la carga y del factor de potencia del devanado mismo, sino también de las cargas y factores de potencia de los otros devanados.

4.8.5. Impedancia de secuencia cero

Es la impedancia por fase a frecuencia nominal entre los terminales de línea unidos por un devanado polifásico en estrella o zig-zag y terminal neutro, cuando se somete a corriente en fase (corriente homopolar).

NOTA 1. La impedancia de secuencia cero no sólo depende de la conexión del devanado, sino también de la conexión de los otros devanados y de su punto neutro.

NOTA 2. La impedancia de secuencia cero puede, bajo ciertas circunstancias, depender del valor de la corriente.

4.9. Terminales y punto neutro

4.9.1. Terminal

Es un elemento conductor previsto para la conexión de un devanado a conductores externos.

4.9.2. Terminal de línea (borne de línea)

Es un terminal previsto para la conexión a un conductor de línea de un sistema.

4.9.3. Terminal de neutro (borne de neutro)

4.9.3.1. En transformador polifásico

Es el terminal conectado al punto común del devanado en conexión estrella o zig-zag.

4.9.3.2. En transformador monofásico

Es el terminal previsto para conexión al punto neutro de un sistema.

4.9.4. Punto Neutro

4.9.4.1. Es el punto común de un sistema polifásico en estrella.

4.9.4.2. Es el punto de un sistema simétrico polifásico en delta que está normalmente a potencial cero.

4.9.5. Terminales correspondientes

Son terminales de distintos devanados con la misma polaridad relativa.

4.10. Tipos de ensayos

4.10.1. Ensayos de tipo

Es un ensayo realizado a un transformador cuyas características nominales y de construcción son idénticas a las de su grupo para demostrar que cumple con los requerimientos de diseño especificados y complementa a los ensayos de rutina.

4.10.2. Ensayos de rutina

Son los ensayos que se destinan para verificar la calidad y la uniformidad de la mano de obra y de los materiales usados en la fabricación de los transformadores. Son obligatorios en todas las unidades de la producción y son hechos por el fabricante.

4.10.3. Ensayos especiales

Son ensayos opcionales a los de rutina y de tipo, que serán acordados entre el fabricante y el comprador, exclusivamente a solicitud de este último, exigible por medio de un contrato privado.

4.11. Tomas

4.11.1. Toma

Es la conexión hecha en un punto entre los terminales de un devanado para modificar la relación del número de espiras.

4.11.2. Toma principal

Es la toma en la cual están relacionadas las magnitudes nominales.

4.11.3. Factor de toma

Es la relación V_d/V_n (factor de toma) o $100 \cdot (V_d/V_n)$ (factor de toma expresado en porcentaje).

dónde:

V_n : es la tensión nominal del devanado con tomas.

V_d : es la tensión desarrollada sin carga en los terminales del devanado con tomas, conectada en la toma en consideración, cuando al devanado sin tomas se le aplica su tensión nominal.

4.11.4. Toma aditiva

Es aquella toma que tiene un factor de toma mayor que la unidad (1).

4.11.5. Toma sustractiva

Es aquella toma que tiene un factor de toma menor que la unidad (1).

4.11.6. Paso de toma

Es la diferencia de los “factores de tomas expresados en porcentajes” de dos tomas adyacentes.

4.11.7. Rango de tomas

Es el rango de variación del “factor de toma expresado en porcentaje” comparado con el valor de tensión nominal.

NOTA. A manera explicativa, si el factor de toma varía de $(100 + a) \%$ hasta $(100 - b) \%$, se dice que el rango de toma va desde $+a\%$ hasta $-b\%$ ó $\pm a\%$ si $a=b$, siendo a y b números positivos.

4.11.8. Tensión de toma de un devanado

Es la tensión asignada para ser aplicada o inducida sin carga entre los terminales de línea de un devanado de un transformador polifásico o entre los terminales de un devanado de un transformador monofásico.

4.11.9. Potencia de toma de un devanado

Es el valor convencional de potencia aparente que establece, para la conexión de la toma en consideración de un transformador, bases para las garantías del fabricante y en algunos casos para los ensayos, y determina el valor de la corriente de toma cuando el devanado tenga una tensión aplicada o inducida (bajo condición de vacío) adecuada a la toma en uso.

4.11.10. Corriente de toma de un devanado

Es la corriente que fluye a través de un terminal de línea de un devanado que resulta de dividir la potencia de toma entre la tensión de toma y un factor de fase adecuado (véase la tabla 2).

4.11.11. Tomas de potencia máxima

Son aquellas tomas donde su potencia de toma es igual a la potencia máxima.

4.11.12. Tomas de potencia reducida

Son aquellas tomas donde su potencia de toma es menor de la potencia nominal.

4.11.13. Categorías de regulación

Considerando el efecto que ejerce la variación de tensión sobre las características de un transformador con toma en un solo devanado se definen tres categorías de regulación:

4.11.13.1. Regulación de tensión con el flujo constante (R.F.C)

Es la regulación de tensión cuando la tensión de toma es:

- a) Igual a la tensión nominal para el devanado sin toma o los devanados sin tomas.
- b) Igual a la tensión nominal multiplicada por el factor de toma para el devanado con tomas.

NOTA. El flujo magnético es el mismo para cualquier posición de la toma, de aquí el nombre “regulación de tensión a flujo constante”.

4.11.13.2. Regulación de tensión con flujo variable (R.F.V.)

Es la regulación de tensión cuando la tensión de toma es constante para el devanado con toma e igual a la tensión nominal.

4.11.13.3. Regulación de tensión con flujo combinado (RM)

4.11.13.3.1. Es la que combina la regulación de tensión tanto a flujo constante como a flujo variable. Por debajo de un determinado factor de toma, la tensión del devanado sin tomas es constante y por sobre este factor la tensión de toma del devanado con toma es constante. La toma correspondiente a este factor de toma se llama “Toma de tensión máxima”.

4.11.13.3.2. El comprador deberá especificar la categoría de regulación deseada. Si este no lo especifica, el fabricante elegirá una de estas categorías. La regulación adoptada deberá ser indicada claramente usando los símbolos R.F.C., R.F.V. o R.M. definidos en 4.11.13.

NOTA 1. Si nada está indicado, se supone adoptada la categoría R.F.C.

NOTA 2. Para los transformadores de categoría R.F.C., se permitirá una variación de flujo magnético (en vacío) hasta de un 5 %.

4.11.13.3.3. Si un transformador, que ha sido diseñado para una cierta categoría de regulación, es utilizado en otra, se deberán aceptar ciertas limitaciones de servicio. Si un transformador está previsto para condiciones de un servicio en más de una categoría de regulación, este debe ser diseñado para las condiciones más rigurosas de flujo magnético y de corriente. En el anexo A, se encuentran ejemplos de especificaciones de transformadores para diferentes categorías de regulación.

4.12. Transformador de potencia

Es una máquina estática con dos o más devanados que, por medio de la inducción electromagnética, transforma un sistema de tensión y corriente alterna en otro sistema de tensión y corriente alterna, usualmente de diferentes valores y a la misma frecuencia con la finalidad de transmitir potencia eléctrica.

4.13. Transformador compensador (elevador o reductor)

Es un transformador en el cual uno de los devanados está previsto para ser conectado en serie con un circuito a fin de modificar su tensión. El otro devanado es excitador.

4.14. Transformador seco

Es un transformador cuyo núcleo y devanados no están sumergidos en un líquido aislante.

4.15. Transformador seco en aire

Es un transformador cuyo núcleo y devanados están envueltos y enfriados por el aire del ambiente.

4.16. Transformador seco en aislante sólido

Es un transformador cuyo núcleo y devanados están cubiertos por aislantes sólidos.

4.17. Transformador sumergido en líquido aislante

Es un transformador cuyo núcleo y devanados están sumergidos en un líquido aislante.

4.18. Transformador sumergido en líquido aislante y con equipo de gas inerte

Es un transformador sumergido en líquido aislante provisto de un equipo destinado a mantener sobre el líquido una atmósfera de gas inerte, generalmente nitrógeno.

4.19. Hermeticidad

Características del transformador que garantiza la ausencia de intercambio de fluidos entre las regiones externas e internas del tanque mientras se somete el equipo a condiciones normales de operación y condiciones ambientales dentro del rango establecido en la presente norma.

4.20. Símbolos y Abreviaturas

4.20.1. Identificación según el tipo de enfriamiento

4.20.1.1. Símbolos de identificación

Los transformadores serán identificados de acuerdo con el tipo de enfriamiento empleado. Las letras usadas como símbolos para identificar cada tipo de enfriamiento se indican a continuación:

TABLA 2. Letras y símbolos

Medio de Enfriamiento	Símbolo
Aceite mineral	O
Gas	G
Agua	W
Aire	A
Aislante sólido	S
Tipo de circulación	Símbolo
Natural	N
Forzado	F

[FUENTE: Fuente propia del subcomité, tomando como referencia las normas C 57-12-00-2010 y C 57-12-80-2010]

4.20.1.2. Disposición de los símbolos

4.20.1.2.1. Con excepción de los transformadores tipo seco en aire, para los cuales los símbolos serán AN o AF según correspondan, los transformadores se identificarán mediante cuatro (4) símbolos para cada tipo de enfriamiento, para los cuales el fabricante les habrá asignado una potencia nominal. Se deberá utilizar una barra oblicua para separar cada grupo de símbolos.

4.20.1.2.2. El orden de los símbolos será el siguiente:

- 1ra. Letra, indica el tipo de medio de enfriamiento en contacto con el devanado
- 2da. Letra, indica el tipo de circulación del medio en contacto con el devanado.
- 3ra. Letra, indica el tipo de medio de enfriamiento en contacto con el sistema de enfriamiento externo.
- 4ta. Letra, indica el tipo de circulación en contacto con el sistema de enfriamiento externo.

4.20.1.2.3. Siguiendo esta nomenclatura, un transformador sumergido en aceite con circulación forzada de aceite y de aire se designa OFAF, sin embargo, para un transformador seco que utiliza ventiladores para enfriamiento es designado AF.

4.20.1.2.4. Para transformadores sumergidos en aceite en los cuales la circulación es natural o forzada, las designaciones típicas pueden ser:

- ONAN/ONAF.
- ONAN/OFAF.

c) ONAN/ONAN/OFAF.

4.20.2. Identificación según el diagrama vectorial

4.20.2.1. Conexión de devanados de fase

La conexión en estrella, delta o zig-zag de un conjunto de devanados de fase de un transformador polifásico, o de devanados de igual tensión de transformadores monofásicos, asociados en un banco polifásico, deberá indicarse por las letras Y, D o Z, para el devanado de alta tensión y por y, d o z, para los devanados intermedios y de baja tensión. Si el neutro de un devanado conectado en estrella o en zig-zag es accesible, la indicación deberá ser YN o ZN y yn o zn, respectivamente.

4.20.2.2. Desfase entre devanados

El vector correspondiente al devanado de tensión mayor se toma como el vector de origen. Ejemplos de diagramas vectoriales que muestran el uso de la notación horaria están dados en la figura 1 y en el anexo B (véase 4.3.6 de desfase). Para transformadores de devanados múltiples, el vector del devanado de tensión mayor seguirá siendo el vector de referencia y el símbolo para este devanado se dará primero. Los otros símbolos seguirán en el orden de las tensiones nominales de los devanados.

NOTA 1. El anexo B da detalles de un cierto número de esquemas de conexiones que son de uso general, sin embargo, estos no pueden ser considerados como complementos.

NOTA 2. El anexo C da información sobre el funcionamiento en paralelo de transformadores.

EJEMPLO 1: En el caso de un transformador que tiene tres devanados para las tensiones de 150.000 V (delta), 60.000 V (estrella) y 10.000 V (estrella), respectivamente, la designación cuando, por ejemplo, las dos tensiones estrellas están en fase una con la otra y atrasadas 30^a respecto a la tensión en delta, sería: D y₁ y₁.

EJEMPLO 2: En el caso de otro transformador que tiene tres devanados para 6.000 V (estrella), 380 V (estrella) y 220 V (zig-zag) respectivamente, la designación (para el caso en que las dos tensiones en estrella estén en fase una con la otra y la tensión en zig-zag esté atrasada en 30°), sería: Y y₀ z₁.

4.21. Tensión *

Cuando la palabra “tensión” va acompañada de un asterisco (*) en el texto de esta norma, ello significa que esta palabra se refiere a la tensión desarrollada en vacío, en los casos en que la tensión no es “aplicada a”, sino desarrollada en “los bornes del transformador”.

5. REQUISITOS

5.1. Material, Diseño y Fabricación

5.1.1. Materiales para transformadores

5.1.1.1. Material conductor (devanados)

El material utilizado en la parte conductora (devanado) de los transformadores deberá ser de cobre electrolítico con una pureza del 99,9 % y una conductividad no menor al 100 %, según IACS

(International Annealed Copper Standard), o aluminio para uso eléctrico con una conductividad no menor al 60 %, según IACS.

5.1.1.2. Material aislante

El material aislante utilizado en los transformadores deberá estar de acuerdo con las especificaciones indicadas en las COVENIN 532 para los materiales aislantes y COVENIN 1128 o 449 dependiendo del líquido aislante a ser utilizado. Queda terminantemente prohibido el uso de líquidos aislantes que contengan mezclas de bifenilos policlorados (PCB).

5.1.1.3. Material de los soportes mecánicos

El material utilizado en los soportes mecánicos de los transformadores deberá ser acero.

5.1.1.4. Material del núcleo

El material utilizado en el núcleo de los transformadores deberá ser acero magnético.

5.1.1.5. Acabado del tanque

El acabado del tanque deberá ser resistente a la corrosión; otros requisitos deberán establecerse mediante acuerdos entre fabricante-comprador, y en el caso de que el transformador, por su tipo (tipo intemperie, tipo sumergible, tipo pedestal u otro) esté cubierto por otra COVENIN, este deberá cumplir adicionalmente con los requisitos establecidos en dicha norma referente al acabado del tanque.

5.1.2. Diseño y fabricación

En el diseño y fabricación de los transformadores se deberá tener en cuenta las condiciones de servicio, las tomas y el funcionamiento de los mismos durante los cortocircuitos (véase el anexo D para la información requerida con la solicitud de oferta y pedido).

5.1.2.1. Condiciones de servicios

5.1.2.1.1. Condiciones normales

Serán condiciones normales las siguientes:

- a) Una altura de instalación que no exceda de 1000 metros sobre el nivel del mar.
- b) Una temperatura del medio de enfriamiento como sigue:
 - b1. Para transformadores enfriados por agua: agua a una temperatura no mayor de 25 °C en la entrada.
 - b2. Para transformadores enfriados por aire: una temperatura del ambiente que no deberá ser mayor de 40 °C, ni menor de 5 °C y nunca excederá de los valores promedios siguientes: 30 °C promedio diario y 20 °C promedio anual.
- c) Una tensión de alimentación cuya forma de onda será sinusoidal.
- d) Para transformadores polifásicos, la tensión de alimentación será simétrica.

5.1.2.1.2. Condiciones especiales

a) Se consideran condiciones especiales todas aquellas que difieren de las indicadas en 5.1.2.1.1, que requieren una construcción especial y la revisión de algunos valores nominales o de exigencias particulares que se harán del conocimiento del fabricante.

b) Entre otras, serán condiciones especiales las siguientes:

b1) Instalaciones a altitudes superiores a 1000 metros.

b2) Instalaciones donde la temperatura del medio de enfriamiento esté fuera de los límites especiales en el primer punto del literal b del 5.1.2.1.1.

b3) Exposición a humedad excesiva, aire muy salino, vapores, gases o humos perjudiciales.

b4) Exposición a polvo (transformadores secos).

b5) Exposición a atmósferas peligrosas.

b6) Vibraciones anormales.

b7) Limitaciones de espacio.

b8) Posibilidad de inmersión en agua.

b9) Exigencia especial de aislamiento.

b10) Exigencia de reducción de niveles de ruido o de radio interferencia o ambas.

b11) Necesidad de protección especial contra contactos accidentales con partes energizadas.

b12) Dificultades de mantenimiento.

b13) Alimentación con ondas distorsionadas.

b14) Alimentación con tensiones desequilibradas.

5.1.2.2. Tomas

5.1.2.2.1. Generalidades

5.1.2.2.1.1 En transformadores monofásicos de distribución tipo intemperie, se proveerán en los casos indicados en la COVENIN 537. Cuando las tomas no están indicadas en dicha norma, se podrán realizar por acuerdo entre fabricante y comprador.

5.1.2.2.1.2 Otros tipos de transformadores

a) Estos transformadores no serán provistos de tomas, a menos que se especifique algo diferente. Cuando se especifique el uso de tomas, deberá precisarse si se proveen para cambios con o sin tensión y con o sin carga.

b) Si se especifican cambios de tomas sin tensión, pero sin indicar el alcance de las tomas y las tensiones de escalón, se adoptarán como valores normalizados $\pm 5\%$ para el alcance de las tomas y $2,5\%$ para las tensiones de escalón.

c) Salvo indicación diferente, se considerará como “toma principal” la toma central si el número es impar y si es par, aquella de las tomas centrales que está asociada al número mayor de espiras del devanado con tomas.

d) Los transformadores de potencia donde su tipo esté cubierto por alguna Norma Venezolana COVENIN, deberán estar provistos de tomas tal como se indica en la norma en cuestión a menos que el comprador especifique otra cosa.

e) Los transformadores de potencia, cuyo tipo no esté cubierto por una Norma Venezolana COVENIN, o si la misma no especifica los valores de las tomas, no deberán estar provistos de tomas a menos que el comprador especifique el uso de tomas, pero sin indicar valores, se tomará para el diseño lo siguiente:

e1) Categoría de regulación R.F.C. (véase 4.11.13.1).

e2) Las tomas deberán estar en el devanado de alta tensión con un rango de tomas de $\pm 5\%$.

e3) Paso de tomas $2,5\%$.

5.1.2.2.2. Especificaciones de condiciones de tensión

Si un devanado se va a diseñar para una tensión * variable (ver nota), deberán especificarse las condiciones de tensión mediante una de las siguientes maneras:

NOTA. En los puntos 4.11.13 y 5.3.3 se considera solamente el caso (en la práctica el más común) de transformadores que tiene únicamente un devanado provisto de toma de regulación.

a) Devanado con tomas

a1) Mencionando su tensión nominal seguida de los valores extremos de las especificaciones de la tensión *, expresadas en más o menos un tanto por ciento.

a2) Deben admitirse que ciertos valores especiales intermedios de tensión * solicitados por el comprador pueden ser incompatibles con el diseño del transformador. El fabricante debe informar al comprador sobre los valores que pueden ser obtenidos realmente.

NOTA. Los porcentajes se indican como sigue: si el alcance de la variación contiene componentes iguales en más y en menos (ejemplo: a%) por: $\pm a\% - b\%$. Si solamente existe variación en un solo sentido (ejemplo: solamente $+ a\%$ o solamente $- b\%$ por $+ a\% - b\%$ según el caso).

a3) Indicando los valores de tensión para cada posición de toma, enunciados en orden decreciente. Las designaciones deberán indicar claramente cuál de los valores corresponde a la tensión nominal (ejemplo: subrayándolo si fuera necesario).

b) Devanados sin tomas

b1) En el caso de devanados sin tomas, se escribirán todos los valores expresados en tensiones.

b2) Para la categoría R.M (véase 4.11.13.3), se recomienda especificar también aquellas combinaciones de tensiones* variables que deben ser obtenidas simultáneamente en los bornes de los devanados con tomas y sin ellas, que determinan los valores extremos de la relación de transformación.

NOTA. Si estas combinaciones no son especificadas, se asume que los valores extremos de la relación de transformación permiten cubrir todas las combinaciones de tensiones correspondientes a las variaciones opuestas de la amplitud de variación de tensión de los devanados.

5.1.2.3. Funcionamiento de los transformadores durante los cortocircuitos

Los transformadores deberán diseñarse y construirse para resistir, sin sufrir daños, los efectos de un cortocircuito exterior bajo condiciones especificadas en 6.1.

5.2. Requisitos régimen nominal

5.2.1. Los valores nominales deberán estar indicados en la placa de características (véase 8.2.1). Estos serán tales que el transformador pueda, bajo condiciones de carga continua, suministrar su corriente nominal, sin exceder los límites de aumento de temperatura especificados en 5.4, suponiendo que la tensión aplicada sea igual a la tensión nominal de alimentación a la frecuencia nominal. Los valores nominales que caracterizan a un transformador serán:

- a) Potencia nominal.
- b) Tensión nominal.
- c) Frecuencia nominal.
- d) Corriente nominal.

5.2.2. La potencia nominal tomará en cuenta las condiciones de servicio especificadas en el punto 5.1.2.1 y será el producto de la tensión nominal por la corriente nominal (como se especifica en 4.7.6). a frecuencia nominal.

5.2.3. Los valores normalizados de potencia nominal en kVA para los transformadores serán los indicados en la tabla 3.

NOTA 1. Para transformadores monofásicos y para transformadores trifásicos, cuya potencia no está indicada en la tabla 3, los valores serán objeto de acuerdo entre el fabricante y el comprador.

NOTA 2. La potencia nominal asignada corresponde a un servicio continuo. Los otros tipos de servicio serán acordados entre el fabricante y el comprador.

TABLA 3. Valores normalizados de potencia nominal

TRANSFORMADORES	
Monofásicos (kVA)	Trifásicos (kVA)
5	15
10	30
15	45
25	75
37 ½	112 1/2
50	150
75	225
100	300
167	500
250	750
333	1000
500	1500
-	2000
-	2500
-	3750
-	5000
-	7500
-	10 000
-	12 000
-	15 000
-	20 000
-	25 000
-	30 000
-	37 500
-	50 000
-	60 000
-	75 000
-	100 000

[FUENTE: Elaboración propia del subcomité, tomando como referencia la IEEE C57-12-00-2010.]

5.2.4. Aun cuando la potencia nominal está referida a la tensión nominal, el transformador deberá ser capaz de suministrar su potencia nominal cuando sea nutrido con una tensión de alimentación hasta un 5 % mayor o menor de la tensión nominal.

5.3. Tomas

5.3.1. Especificaciones de las tomas

Cuando el comprador especifique el uso de tomas en su orden de compra, en transformadores donde su tipo no esté cubierto por una COVENIN, deberá especificarse lo siguiente:

- a) La potencia nominal del transformador.
- b) Las tensiones nominales.
- c) Indicar cuál es el devanado con tomas y su rango de tomas.

d) El número de posiciones de tomas o el paso de tomas.

5.3.2. Alcance de tomas

a) El alcance de tomas, que se deberá prever para un devanado con tomas, se determinará para una o varias amplitudes de variación de tensión y eventualmente por las combinaciones límites de tensiones* variables como se indica en 5.1.2.2.1.

b) El alcance de tomas está generalmente constituido por un cierto número de tensiones de escalón.

c) El número de posiciones de regulación deberá mencionarse en las especificaciones. Para las distintas categorías de regulación entre el alcance de tomas que se deberá prever y la amplitud de variación de tensión o las amplitudes de variación de tensión obedecerá a las reglas siguientes:

c1) R.F.C. El alcance de tomas será idéntico a la amplitud de variación de tensión debido a que ambos están relacionados con el devanado.

c2) R.F.V. El alcance de tomas no será idéntico a la amplitud de variación de tensión o a las amplitudes de variaciones de tensión (del devanado o de los devanados sin tomas), pero puede deducirse de este directamente.

c3) R.M. El alcance de tomas no será idéntico a las amplitudes de variación de tensión, de los devanados con tomas o sin ellas, pero se podrá deducir de los valores extremos de la relación de transformación, calculada como se indica en el literal a del punto 5.1.2.2.2.

NOTA 1. Ciertas modificaciones de la amplitud de variación de tensión o de las amplitudes de variaciones de tensión pueden ser deseables, a fin de obtener un alcance de toma compatible con un diseño apropiado. Tales modificaciones están sujetas a convenios entre el fabricante y el comprador. (Véase el anexo A).

NOTA 2. Para las categorías R. F. V. y R. M., donde el alcance de tomas no coincide con la amplitud de variación de tensión o las amplitudes de variación de tensión, se recomienda mencionar únicamente estas últimas en las especificaciones o sobre la placa de características. La adición de tensiones reales de servicio o a un alcance de tomas, puede dar lugar a confusión. Sin embargo, para la categoría R. M. Es indispensable dar indicaciones más detalladas, como se menciona en el anexo A.

5.3.3. Magnitudes de las tomas

5.3.3.1. Límites de elevación de temperatura

Se admite que los límites de elevación de temperatura de un transformador pueden no ser satisfechos a potencia nominal, cuando el transformador está conectado en ciertas tomas diferentes de la principal. Salvo especificación contraria, se considerará que esta condición puede ser aceptada con una amplitud de variación de tensión, hasta $\pm 5\%$. Si este valor se sobrepasa, convendrá especificar la potencia de toma del transformador correspondiente en ciertas tomas diferentes de la principal.

5.3.3.2. Potencia de tomas

El valor de la potencia de tomas (válido para los devanados con tomas o sin ellas), relativa a la conexión del devanado con tomas sobre una toma determinada, se deberá asociar a los siguientes valores particulares de tensión:

- a) R. F. C. Tensión nominal en los bornes del devanado o de los devanados sin tomas y tensión de tomas en los bornes de devanados con tomas.
- b) R. F. V. Tensión nominal de los bornes del devanado con tomas y la tensión * variable en los bornes del devanado o de los devanados sin tomas especificados para la conexión de la toma en cuestión.
- c) R. M. La combinación de las tensiones* variables en los bornes de los devanados, especificados para la conexión de la toma en cuestión.

NOTA. Para las diferentes combinaciones de tensiones * especificadas para conexión a una misma toma, pueden ser especificados valores de la potencia de toma (véase el anexo A).

5.3.3.3. Corrientes

Los valores de las corrientes a través de los terminales de línea de los devanados, con tomas o sin ellas, correspondientes a ciertas conexiones de las tomas, se deducirán siempre de los valores correspondientes de la potencia de toma del transformador, dividiéndola con la tensión * particular correspondiente al devanado en cuestión.

5.3.3.4. Pérdidas debidas a la carga y tensión de cortocircuito

Si la amplitud de variación de tensión excede $\pm 5 \%$, deberá someterse a un acuerdo entre el fabricante y el comprador, para cuál de las tomas distintas de la toma principal, el fabricante deberá suministrar los valores de las pérdidas debidas a la carga y a la tensión de cortocircuito, así como también las tolerancias que deberán ser aplicadas a estos valores. El valor de la corriente y el valor base de la tensión de cortocircuito, en tanto por ciento, para los cuales esas cantidades son válidas, deberán ser indicadas claramente.

5.3.3.5. Pérdidas en vacío

Para las categorías R. F. V. y R. M., se someterán a convenios entre el fabricante y el comprador la designación de las tomas diferentes de la principal y los valores de tensión correspondientes, para los cuales el fabricante deberá indicar los valores de pérdidas en vacío, así como también las tolerancias que les deberán ser aplicados.

5.3.3.6. Autotransformadores y transformadores de regulación

Para los autotransformadores y los transformadores de regulación dotados de tomas, se deberá someter siempre a un acuerdo entre el fabricante y el comprador, cualquiera que sea la amplitud de las variaciones de tensión, la especificación de los valores de las pérdidas en cargas y las tensiones en cortocircuito, así como también de las pérdidas en vacío en el caso de las categorías de regulación R. F. V. y R. M. Y la determinación de las tolerancias que les deberán ser aplicadas.

5.4. Límites de elevación de temperatura.

5.4.1. Límites de elevación de temperatura

- a) Las elevaciones de temperatura de los devanados, el aceite y el núcleo de transformadores diseñado para funcionamiento de altitudes que no excedan aquellas dadas en el literal **a** y las temperaturas del medio de enfriamiento como se describe en el literal **b** del punto 5.1.2.1.1, no deberán exceder los límites especificados en las tablas 4 y 5.

- b) Para transformadores de devanados múltiples, la elevación de temperatura de la parte superior del aceite se refiere a las combinaciones de carga para las cuales las pérdidas totales son mayores.
- c) Las elevaciones de temperatura para cada devanado deberán ser consideradas en relación con la combinación especificada de carga que sea más crítica para el devanado en consideración.

5.4.2. Reducción del aumento de temperatura para transformadores provistos de enfriamiento diseñado para altas temperaturas

Si la temperatura ambiente excede cualquiera de los máximos indicados en la tabla 4, en un valor igual o inferior de 5 °C deberán reducirse los valores límites de aumento de temperatura, indicados en la tabla 5, en 5 °C y 10 °C de los valores indicados en la Tabla 4, entonces la reducción de los valores límites deberá ser de 10 °C.

5.4.3. Reducción de la elevación de temperatura para transformadores diseñados para grandes altitudes

Para los transformadores enfriados por aire, destinados a prestar servicio a una altitud superior a 1000 metros, pero sometidos a ensayos a altitudes normales, los límites de elevación de temperatura indicados en las tablas 4 y 5 serán reducidos, por cada 500 metros, en los valores indicados a continuación:

- a) Transformadores sumergidos en líquido aislante, enfriamiento natural: 2 %.
- b) Transformadores de tipo seco, enfriamiento natural: 2,5 %.
- c) Transformadores sumergidos en líquidos aislantes, enfriamiento forzado por aire: 3 %.
- d) Transformadores de tipo seco, enfriamiento forzado por aire: 5 %.

NOTA 1. Para fracciones de 500 metros la reducción antes mencionada debe ser proporcional.

NOTA 2. Las reducciones de los límites de elevación de temperatura no son aplicadas a los transformadores enfriados por agua.

TABLA 4. Límites de elevación de temperatura para transformadores de tipo seco

Parte	Tipo de Enfriamiento	Aumento de temperatura promedio (°C)
Devanados (medida por el método de variación de resistencia).	Aire: natural o forzado	Ver tabla 1
Núcleo y otras partes:		a) Iguales valores que para los devanados. b) Un valor que no afectará adversamente las partes aislantes que puedan estar en contacto.
a) Adyacente al devanado. b) No adyacente al devanado.		
NOTA. Los materiales aislantes pueden ser usados separadamente o en combinación, siempre que, en cualquier aplicación, cada material no esté sujeto a una temperatura superior a la conveniente, si trabaja bajo condiciones de régimen normal.		

[FUENTE: Elaboración propia del SC9 Máquinas y sus componentes]

TABLA 5. Límites de elevación de temperatura para transformadores inmersos en aceite

Parte	Tipo de Enfriamiento (°C)	Aumento de temperatura promedio (°C)
Devanados (Medida por el método de variación de resistencia).	105	55
	120	65
Parte superior del aceite (medida por termómetro).		No debe ser mayor al aumento de temperatura promedio de los devanados.
Núcleos y otras partes.		La temperatura en ningún caso deberá alcanzar el valor que pueda dañar el núcleo o partes adyacentes.

[FUENTE: Elaboración propia del SC9 Máquinas y sus componentes]

5.5. Niveles de aislamiento

Los niveles de aislamiento (véase el anexo E) deberán ser los indicados en la tabla 6 para los transformadores secos y en la tabla 7 para los transformadores sumergidos en líquidos aislantes.

TABLA 6. Niveles de aislamiento y tensiones de ensayo para transformadores secos ⁽¹⁾

Tensión nominal de sistema (kV)	Tensión máxima del sistema (kV eficaz)	Nivel de aislamiento					
		Mínima tensión de ensayo			Tensiones de ensayo normalmente utilizadas		
		Por onda de choque (kV cresta)	A frecuencia industrial (kV eficaz)		Por onda de choque (kV cresta)	A frecuencia industrial (kV eficaz)	
			Aislamiento uniforme	Aislamiento escalonado		Aislamiento uniforme	Aislamiento escalonado
1,2	1,29	10	4	4	10	4	4
					20	10	10
					30	12	10
2,4	2,54	20	10	10	20	10	10
					30	12	10
					45	19	10
4,8	5,08	30	12	10	30	12	10
					45	19	10
					60	31	10
8,32	8,8	45	19	10	45	19	10
					60	31	10
					95	34	10
14,4	15,5	60	31	10	60	31	10
					95	34	10
					110	37	10
24,0	25,12	110	37	10	95 ⁽²⁾	34	10
					110	37	10
					125	40	10
					150	50	10
34,5	36,51	150	50	10	125 ⁽²⁾	40	10
					150	50	10
					200	70	10

⁽¹⁾ Para transformadores cuyo nivel de tensión nominal no esté especificado en la tabla, se tomará el nivel de tensión nominal inmediato superior.

⁽²⁾ Se permitirá este nivel inferior cuando se utilicen descargadores con niveles de tensión de descarga inferiores.

[FUENTE: Elaboración propia del subcomité, tomando como referencia 60076-11 IEC:2004]

TABLA 7. Niveles de aislamiento y tensiones de ensayo para transformadores sumergidos en líquidos aislantes

Tensión nominal del sistema (kV)	Tensión máxima del sistema (kV eficaz)	Nivel de aislamiento				Tensiones de maniobra (kV Cresta)
		Mínima tensión de ensayo		Tensiones de ensayo normalmente utilizadas		
		Por onda de choque (kV cresta)	A frecuencia industrial (kV eficaz)	Por onda de choque (kV cresta)	A frecuencia industrial (kV eficaz)	
1,2	1,29	30	10	30 45	10 15	
2,4	2,54	45	15	45 60	15 19	
4,8	5,08	60	19	60 75	19 26	
8,32	8,8	75	26	75 95	26 34	
14,4	15,5	95	34	95 110	34 34	
24,0	25,8	125	40	125 150	40 50	
34,5	36,51	150	50	150 170 200	50 70 70	
69,0	72,5	250	95	250 350	95 140	
115	123	350	140	350 450 550	140 185 230	280 375 460
138	145	450	185	450 550 650	185 230 275	375 460 540
230	245	650	275	650 750 825 900	275 325 360 395	540 620 685 745
400	420	1175	570	1175 1300 1425	520 570 630	975 1080 1180
765	800	1800	800	1800 1925 2050	800 860 920	1500 1600 1700

NOTA 1. Para transformadores de tensión cuyo nivel de tensión nominal no esté especificado en la tabla, se tomará el nivel de tensión nominal inmediato superior.

NOTA 2. Las tensiones de ensayo normalmente utilizadas se tomarán en forma correlativa. Por ejemplo: para una tensión de ensayo por onda de choque de 45 kV de cresta, se tomará como tensión de ensayo a frecuencia industrial una de 15 kV eficaz.

[FUENTE: Elaboración propia del subcomité, tomando como referencia la IEEE C57-12-00-2010]

NOTA. Los transformadores monofásicos de distribución que estén diseñados para la conexión estrella y delta y aislados para la tensión de ensayo correspondiente a la conexión estrella, las tensiones de ensayo cuando se conectan en delta serán mayores que las requeridas por la tensión máxima del sistema.

5.5.1. Devanados con aislamiento escalonado, cuando el comprador especifica devanados con aislamiento escalonado, este deberá corresponder a una de las categorías indicadas en la tabla 8. Las tensiones de ensayo por tensión aplicada correspondientes serán las especificadas en la tabla 9. Cuando se determina la categoría de aislamiento del neutro, tomar en cuenta la posibilidad de modificación posterior de la puesta a tierra del neutro o la posibilidad de que los transformadores sean intercambiados. (ver tabla 9).

TABLA 8. Categorías de aislamiento escalonado

Categorías	Formas admitidas de conexión a tierra
1	Punto neutro del devanado conectado sólidamente a tierra a través de una conexión donde no se ha incluido intencionalmente una impedancia. (La conexión a tierra a través de un transformador de corriente se considera que cumple esta condición).
2	Punto neutro del devanado conectado a un transformador de regulación, cuyo neutro esté o no conectado a tierra y con dispositivo limitador de tensión, conectado en paralelo con el transformador regulador.
3	Punto neutro del devanado no conectado a tierra a través de una impedancia o de una resistencia, con un dispositivo limitador de tensión adecuado, conectado entre el punto neutro de este devanado y tierra.
4	Punto neutro del devanado conectado a tierra a través de una bobina de extinción de arco, con dispositivo limitador de tensión adecuado entre el punto neutro del devanado y tierra.

[FUENTE: Elaboración propia del subcomité, tomando como referencia la COVENIN 536:2003 y 536:1994.]

TABLA 9. Niveles de aislamiento para terminales neutro de devanados de transformadores con aislamiento escalonado

Aislamiento	Tensión eficaz aplicada a frecuencia industrial (kV)	
Categoría 1	38	
Categoría 2	ENR+(ELT-ENR)	Tensión adicional debida al transformador de regulación. Tensión nominal del devanado del transformador.
	Con un mínimo de 38 kV. ENR: tensión de ensayo del punto neutro del transformador de regulación. ELT: tensión de ensayo del terminal de línea del devanado del transformador.	
Categoría 3	36 % a 65 % de la tensión de ensayo del terminal de línea, determinada de acuerdo con las características de los aparatos y de la red.	
Categoría 4	58 % a 65 % de la tensión de ensayo del terminal de línea.	

[FUENTE: Elaboración propia, tomando como referencia la 536:2003 y 536:1994.]

5.5.2. Transformadores para uso a grandes altitudes, cuando los transformadores de tipo seco sean especialmente ordenados para funcionar a altitudes entre 1000 m y 3000 m, pero sean ensayados a altitudes normales, la tensión de ensayo con tensión aplicada a frecuencia industrial, deberá aumentarse un 6,25 % por cada metro en exceso a los 1000 metros.

NOTA. Para los aisladores terminales de transformadores sumergidos en aceite, puede ser necesario seleccionar un tipo de aislador terminal, diseñado para un nivel de aislamiento inmediatamente superior al nivel que corresponde al devanado.

6. PROCEDIMIENTOS

6.1. Funcionamiento de los transformadores durante los cortocircuitos

6.1.1. Generalidades

Los transformadores deberán ser diseñados y construidos para resistir sin sufrir daños, los efectos de cortocircuitos externos bajo las condiciones especificadas en los puntos 6.1.2 a 6.1.7.

6.1.2. Condiciones de sobrecorriente

Las sobrecorrientes que pueden circular en un devanado bajo condiciones de cortocircuito deberán cumplir los requisitos siguientes:

6.1.2.1. En transformadores con dos devanados

A menos que se especifique algo diferente, no deberá exceder los valores dados en la tabla 10.

TABLA 10. Límites de sobrecorriente para transformadores con dos devanados

Potencia nominal		Límite superior de sobrecorriente (valor eficaz simétrico) expresada como un múltiplo de la corriente nominal	Impedancia equivalente (%)
Monofásico (kVA)	Trifásico (kVA)		
5 a 25	15 a 75	40	2,50
37,5 a 110	112,5 a 300	35	2,86
167 a 500	500 a 630	25	4,00
	631 a 1 250	20	5,00
	1 251 a 3 150	16	6,25
	3 151 a 6 300	14	7,15
	6 301 a 12 500	12	8,35
	12 501 a 25 000	10	10,00
	25 001 a 100 000	8	12,50
NOTA 1. Para valores intermedios de los contemplados en esta tabla se interpolará. NOTA 2. Para los valores de potencia nominal mayores de 100.000 kVA, los límites superiores de sobrecorriente serán determinados de común acuerdo entre el comprador y el fabricante. NOTA 3. En los casos de unidades monofásicas conectadas entre sí para formar un grupo trifásico, el valor de la potencia nominal se referirá a la del grupo trifásico. NOTA 4. El valor de la impedancia equivalente incluirá la impedancia del sistema de distribución en combinación con la del transformador. NOTA 5. Si la impedancia de cortocircuito del transformador es mayor que la impedancia equivalente mencionada en la tercera columna, la sobrecorriente está limitada por la impedancia propia del transformador.			

[FUENTE: Elaboración propia del subcomité, tomando como referencia la IEEE C-57-12-00-2010]

6.1.2.2. En transformadores con más de dos devanados

Deberán ser determinadas teniendo en cuenta separadamente cada uno de los devanados, suponiendo que uno de los demás devanados o varios de ellos, destinados a conectarse con una fuente externa de energía, estén energizados. Se deberá tener en cuenta los efectos de una posible realimentación proveniente de máquinas rotativas y otros transformadores.

6.1.2.3. En los transformadores y los transformadores compensadores

Deberán ser determinadas considerando las diferentes formas de fallas de sistemas que puedan ocurrir en el servicio (fase a tierra, fase a fase y otros), asociada con las condiciones correspondientes de puesta a tierra de la red.

NOTA. Los autotransformadores y los transformadores compensadores pueden estar sometidos a condiciones de sobrecorriente extremadamente severas.

6.1.2.4. En devanados estabilizadores

Deberán ser determinados para los valores máximos de la corriente nominal que fluye en el devanado estabilizador, considerando las diferentes formas de fallas que pueden ocurrir en el sistema, en relación con las condiciones correspondientes a la puesta a tierra del mismo. En el caso de transformadores monofásicos, que forman un grupo trifásico, el devanado estabilizador deberá ser capaz de resistir un cortocircuito en sus terminales.

NOTA 1. En los transformadores tratados en los puntos 6.1.2.2, 6.1.2.3 y 6.1.2.4 el fabricante deberá tener en cuenta, si es necesario, los valores correspondientes de la impedancia del sistema (incluyendo, si ha lugar, la reactancia subtransitoria en cualquier máquina rotativa conectada), especificada por el comprador y que debe ser combinada con la del transformador, del autotransformador o del transformador compensador.

NOTA 2. Cuando la impedancia combinada del transformador, del autotransformador o del transformador compensador y del sistema, causa una sobrecorriente excesiva, el fabricante debe informar al comprador sobre la sobrecorriente máxima que el transformador puede soportar. Cuando esas condiciones existan, el comprador deberá tomar las medidas necesarias para limitar la corriente de cortocircuito a la sobrecorriente indicada por el fabricante.

6.1.3. Requisitos Mecánicos

6.1.3.1. Generalidades

Los transformadores deberán ser capaces de soportar sin dañarse, en cualquier toma y bajo condiciones de servicio; los esfuerzos mecánicos producidos por las fuerzas electromagnéticas generadas en condiciones de cortocircuito y determinados por el valor de cresta simétrico de la corriente del devanado, que no podrá ser mayor de $2,824 = 2 \times \sqrt{2}$ veces la corriente determinada según las condiciones apropiadas especificadas en 6.1.2.

6.1.3.2. Cálculo de la corriente asimétrica de cortocircuito

El valor de cresta de la corriente asimétrica de cortocircuito está dado por la siguiente fórmula:

$$I_{cc} \text{ (asimétrico)} = K \cdot I_{cc}$$

$$K = [1 + [e^{-(\varphi + \frac{\pi}{2})\frac{r}{x}}] \operatorname{sen} \varphi] \sqrt{2}$$

dónde:

I_{cc} = Corriente simétrica de cortocircuito (en Amperios). Esta se calcula de la siguiente manera:

$$I_{cc} = I_n / Z;$$

dónde:

I_n = Corriente nominal de la toma analizada (en Amperios).

Z = Impedancia equivalente en p.u. que interviene en el cálculo de la corriente simétrica de cortocircuito. (Véase 6.1.2).

$\Phi = \text{Artg } x / r$ (en radianes).

x = reactancia de cortocircuito ca efectiva en Ω .

r = resistencia de cortocircuito ca efectiva en Ω .

6.1.3.3. Duración del cortocircuito para verificación del soporte mecánico

La capacidad de soportar los esfuerzos de cortocircuito, según las condiciones establecidas por esta norma, se muestra a través del ensayo de cortocircuito descrito en la COVENIN 3172. La duración de cada ensayo será de 0,25 s, excepto que uno de los ensayos que satisfaga los requisitos de corriente simétrica tendrá una duración mayor según la categoría del transformador (véase tabla 11).

a) Categoría I: $t = 1250 / I^2$

dónde:

t : duración del ensayo de larga duración.

I : corriente de cortocircuito simétrica (calculado en el punto 6.1.3.2) en p.u. de la base de la corriente nominal.

b) Categoría II: $t = 1,0$ s

c) Categoría III: $t = 0,5$ s

d) Categoría IV: según acuerdo Cliente – Fabricante

NOTA 1. Todos los autotransformadores deben ser incluidos en la categoría I sin importar su capacidad.

NOTA 2. En aplicaciones especiales que impongan tiempos de falla más prolongados, las especificaciones de compra deben contemplar ensayos de mayor duración.

NOTA 3. Cuando se hagan ensayos sucesivos sin permitir al transformador el enfriamiento de sus devanados, deberá tenerse cuidado de no exceder los límites de temperatura bajo condiciones de cortocircuito indicados en 6.1.4.

TABLA 11. Categoría de los transformadores de acuerdo con el tiempo mínimo de cortocircuito que deben soportar

Categoría	Monofásico (kVA)	Trifásico (kVA)
I	5 a 500	5 a 500
II	501 a 1 667	501 a 5 000
III	1 668 a 10 000	1 668 a 30 000
IV	Mayores a 10 000	Mayores a 30 000

[FUENTE: Elaboración propia del subcomité, tomando como referencia la COVENIN 536:2003 y la IEEE C-57-12-00-2010.]

6.1.4. Requisitos térmicos

a) Los transformadores deberán ser capaces de soportar sin dañarse, en cualquier toma y bajo condiciones de servicio, los efectos térmicos en condiciones de cortocircuito en los terminales de cualquier devanado.

b) Para el cálculo del soporte al esfuerzo térmico, la duración del cortocircuito estará limitada a los siguientes valores según la categoría del transformador (véase tabla 11):

b1) Categoría I: $t = 1250 / I^2$

dónde:

t: duración en segundos para el cálculo de la temperatura promedio más alta T1 según el literal b del punto 6.1.4.2.

I: corriente de cortocircuito simétrica (calculado en el punto 6.1.3.2) en p.u. de la base de la corriente nominal.

b2) Categorías II, III, IV $t = 2$ s.

c) Para transformadores con más de dos devanados, la duración será la apropiada a la sobre corriente máxima asociada con cualquier devanado.

d) La temperatura promedio más alta T1 en grados Celsius alcanzada por el devanado deberá ser calculada por la siguiente fórmula:

$$T1 = T_0 + a J^2 t \times 10^{-3} (^{\circ} \text{C})$$

dónde:

T_0 = temperatura inicial en grados Celsius, que deberá ser la suma de la temperatura máxima del medio del enfriamiento y la elevación de temperatura aplicable por resistencia especificada en 5.4.

EJEMPLO: En un transformador sumergido en aceite, enfriado naturalmente:

$$T_0 = 40^{\circ} \text{C} + 65^{\circ} \text{C} = 105^{\circ} \text{C}$$

dónde:

a = función de $\frac{1}{2} (T_2 + T_0)$ de acuerdo con la tabla 12.

J = densidad de corriente de cortocircuito: A/mm^2 .

T = duración en segundos (según el punto 6.1.4.1).

TABLA 12. Valores del factor “a”

A = Función de $1/2 (T^2 + T^0)$ °C		
$1/2 (T^2 + T^0)$ °C	Devanados de cobre	Devanados de aluminio
140	7,41	16,50
160	7,80	17,40
180	8,20	18,30
200	8,59	-
220	8,99	-
240	9,38	-

[FUENTE: Elaboración propia del subcomité, tomando como referencia la COVENIN 536:2003]

TABLA 13. Temperatura máxima promedio permisible del devanado (T^2)

Clase térmica de aislamiento	Valor de T^2 °C	
	Devanados de cobre	Devanados de aluminio
Transformadores tipo seco		
105	180	180
120	250	200
130	350	200
155 y 180	350	-
Transformadores sumergidos en aceite		
105 - 120	250	200

[FUENTE: Elaboración propia del subcomité, tomando como referencia la COVENIN 536:2003]

6.1.5. Transformadores asociados directamente con otros aparatos

Cuando un transformador está asociado directamente con otros aparatos, cuyas impedancias tengan por efecto limitar la corriente de cortocircuito, la impedancia de esos aparatos directamente asociados puede, según acuerdo entre el fabricante y el comprador, ser combinada con la del transformador (más la del sistema, si es necesario). En tales casos, los requisitos determinados en 6.1.3. y 6.1.4. deberán aplicarse a la sobrecorriente de la combinación.

6.1.6. Ensayos de cortocircuito

Los ensayos de cortocircuito no están incluidos como requisito normal en esta norma. Cualquier verificación requerida con respecto a la capacidad del transformador para soportar los esfuerzos mecánicos bajo condiciones de cortocircuito, deberá ser objeto de un acuerdo especial.

6.1.7. Devanados auxiliares

Los devanados auxiliares pueden no ser capaces de soportar un cortocircuito en sus terminales; se considera que tales devanados estarán protegidos contra cortocircuitos con una impedancia en serie o con fusibles adecuados conectados exteriormente.

6.1.8. Tolerancias

La Tabla 14 indica las tolerancias para varias magnitudes. Cuando tales magnitudes son nominales o cuando forman parte de las garantías dadas por el fabricante en referencia con esta norma, las tolerancias dadas en la tabla 14 son las que se deberán aplicar.

6.1.9. Pérdidas y corriente de excitación, valores máximos permitidos

Para transformadores monofásicos de distribución sumergidos en aceite del tipo intemperie, en las Tablas 15 y 16 se indican los valores máximos permisibles de Pérdidas en Vacío (P^0). Pérdidas en cortocircuito (P_{cc}) y Corriente de Excitación (I0 %) para transformadores monofásicos en aceite. Esta tabla se aplica a transformadores de 10 a 500 kVA, con alta tensión hasta 34,5 kV inclusive y baja tensión hasta 1,2 kV.

TABLA 14. Tolerancias

N°	Renglón	Tolerancia
1	a) Pérdidas totales. b) Pérdidas parciales.	+ 1/10 de las pérdidas totales. + 1/7 de cada pérdida parcial siempre que no exceda la tolerancia para las pérdidas totales.
2	Relación de transformación en vacío para la toma principal (relación de transformación nominal).	El más bajo de los dos valores siguientes: $\pm 1/200$ de la relación especificada o $1/10$ de la tensión de cortocircuito real a la carga nominal expresada en tanto por ciento.
3	Tensión de cortocircuito.	
	a) Para la toma principal (tensión de cortocircuito a corriente nominal). • Transformador de dos devanados. • Transformador de devanados múltiples.	$\pm 1/10$ de la tensión de cortocircuito especificada para la toma correspondiente. $\pm 1/10$ de la tensión de cortocircuito especificada para el par especificado de devanados. $\pm 1/7$ de la tensión de cortocircuito especificada para el segundo par de devanados. En pares adicionales de devanados, la tolerancia debe ser especificada según acuerdo entre el fabricante y el comprador.
	b) Para las tomas distintas de la toma principal.	$\pm 1/7$ del valor indicado para cada una de las tomas en las cuales la tensión no difiere en $\pm 5\%$ de la tensión de la toma principal. Para otras tomas, las tolerancias deben ser convenidas entre el fabricante y el comprador.
4	Corriente en vacío.	+ 30 % de la corriente en vacío especificada.
NOTA 1. Cuando no se indica un sentido en una tolerancia, no hay ninguna limitación de la tolerancia en dicho sentido. NOTA 2. Los valores de pérdidas y corriente de excitación para aquellos transformadores no contemplados en el punto serán bajo acuerdo entre Cliente y Fabricante.		

[FUENTE: Elaboración propia del subcomité, tomando como referencia la COVENIN 536:2003]

Comisión Venezolana
de Normas Industriales

TABLA 15. Valores máximos permisibles de pérdidas en vacío (P_0) pérdidas en cortocircuito (P_{cc}) y corriente de excitación ($I_0\%$)

Transformadores monofásicos de distribución sumergidos en aceite del tipo intemperie Tensión AT ≤ 15 kV y BT $\leq 1,2$ Kv			
Capacidad (kVA)	P_0 (W)	P_{cc} (W)	I_0 (% de I_n)
10	65	185	1,2
15	87	267	1,2
25	115	430	1,2
37,5	151	655	1,0
50	180	780	1,0
75	290	1010	1,0
100	362	1200	1,0
167	440	2220	0,8
250	500	3600	0,8
333	640	4440	0,6
500	860	6500	0,6

[FUENTE: Elaboración Propia del SC9, tomando como referencia la norma COVENIN 536:2003]

TABLA 16. Valores máximos permisibles de pérdidas en vacío (P_0) pérdidas en cortocircuito (P_{cc}) y corriente de excitación ($I_0\%$)

Transformadores monofásicos de distribución sumergidos en aceite del tipo intemperie 15 kV < Tensión AT $\leq 34,5$ kV y BT $\leq 1,2$ Kv			
Capacidad (kVA)	P_0 (W)	P_{cc} (W)	I_0 (% de I_n)
10	75	210	1,3
15	100	335	1,2
25	125	425	1,2
37,5	170	635	1,2
50	195	715	1,0
75	320	1105	1,0
100	390	1120	1,0
167	450	2290	0,8

[FUENTE: Elaboración propia del subcomité, tomando como referencia la COVENIN 536:2003]

NOTA. Las pérdidas en cortocircuito están referidas a 85 °C. Esto corresponde a un aumento de temperatura en los devanados de 65 °C, véase tabla 1.

7. MÉTODO DE ENSAYO

Los procedimientos para los métodos de ensayo que se enuncian en este capítulo son los indicados en la COVENIN 3172.

7.1. Clasificación de los ensayos

Los ensayos se dividen en tres categorías:

- a) Ensayos de tipo.
- b) Ensayos de rutina (individuales).

- c) Ensayos especiales.

NOTA. Los ensayos indicados se refieren a ensayos generales para transformadores, sin embargo, en ciertos casos pueden ser necesarios ensayos especiales indicados en forma adicional. En consecuencia, los ensayos señalados no deben considerarse como limitativos.

7.2. Ensayos de tipo

- a) Ensayo del aumento de temperatura.
- b) Ensayo de onda de choque completa.

7.3. Ensayos de rutina (Individuales)

- a) Medición de la resistencia de los devanados en la toma nominal para transformadores monofásicos iguales o mayores a 250 kVA y transformadores trifásicos.
- b) Medición de la relación de transformación, comprobación de la polaridad de los transformadores monofásicos y del símbolo de grupo vectorial de los transformadores trifásicos.
- c) Medición de las tensiones de cortocircuito.
- d) Medición de las pérdidas debidas a la carga.
- e) Medición de las pérdidas y de la corriente en vacío.
- f) Ensayo por tensión inducida.
- g) Ensayo por tensión aplicada.
- h) Ensayo de hermeticidad.
- i) Medición espesor de la capa de pintura del recipiente o cuba

7.4. Ensayos especiales

- a) Ensayo de onda de choque completa.
- b) Resistencia del aislamiento.
- c) Ensayo de factor de potencia del aislamiento.
- d) Medición de descargas parciales.
- e) Ensayo de resistencia al cortocircuito.
- f) Medición del nivel de ruido.
- g) Medición de impedancia de secuencia cero.
- h) Medición del aislamiento del circuito magnético.

i) Ensayo de tensión de maniobra.

j) Medición de resistencia de los devanados en la toma nominal para transformadores monofásicos menores de 100 kVA y tomas distintas de la nominal para cualquier tipo de transformadores de potencia.

NOTA 1. Los ensayos considerados como especiales en esta norma podrán ser tomados como ensayos de rutina en casos particulares.

NOTA 2. El comprador tiene el derecho de designar un inspector para presenciar cualquiera de los ensayos y cuando este así lo solicite; el fabricante debe suministrar una copia de todos los resultados de los ensayos de tipo, correspondientes a los transformadores en referencia. El comprador puede someter uno o más transformadores a varios ensayos de este tipo, siendo por cuenta de este los gastos correspondientes, a menos que alguna unidad no cumpla con los requisitos de esta norma en los ensayos respectivos.

k) Ensayo de Análisis de Respuesta por barrido de frecuencia (SFRA).

NOTA. Se aplicará a transformadores, cuyos niveles de tensión sean iguales o mayores a 34,5 kVA.

8. CRITERIOS, MARCACIÓN, ROTULACIÓN

8.1. Marcación

Cada transformador deberá llevar marcadas la potencia nominal y la marca comercial o logotipo del fabricante visible y legible a una distancia no mayor de 15 m.

8.2. Rotulación

8.2.1. Placa de características

Cada transformador deberá estar provisto de una placa de características de material a prueba de intemperie, fijada en una posición visible e indicando los datos enumerados a continuación que se marcarán en forma indeleble y legible en la misma (por grabado, estampado o similar):

a) Tipo de transformador (por ejemplo: transformador, autotransformador, transformador compensador, transformador de regulación).

b) Número de la Norma Venezolana COVENIN para los que son fabricados en el país.

c) Nombre del fabricante y lugar de fabricación.

d) Número de serie del fabricante.

e) Fecha de fabricación.

f) Número de fases.

g) Potencia nominal.

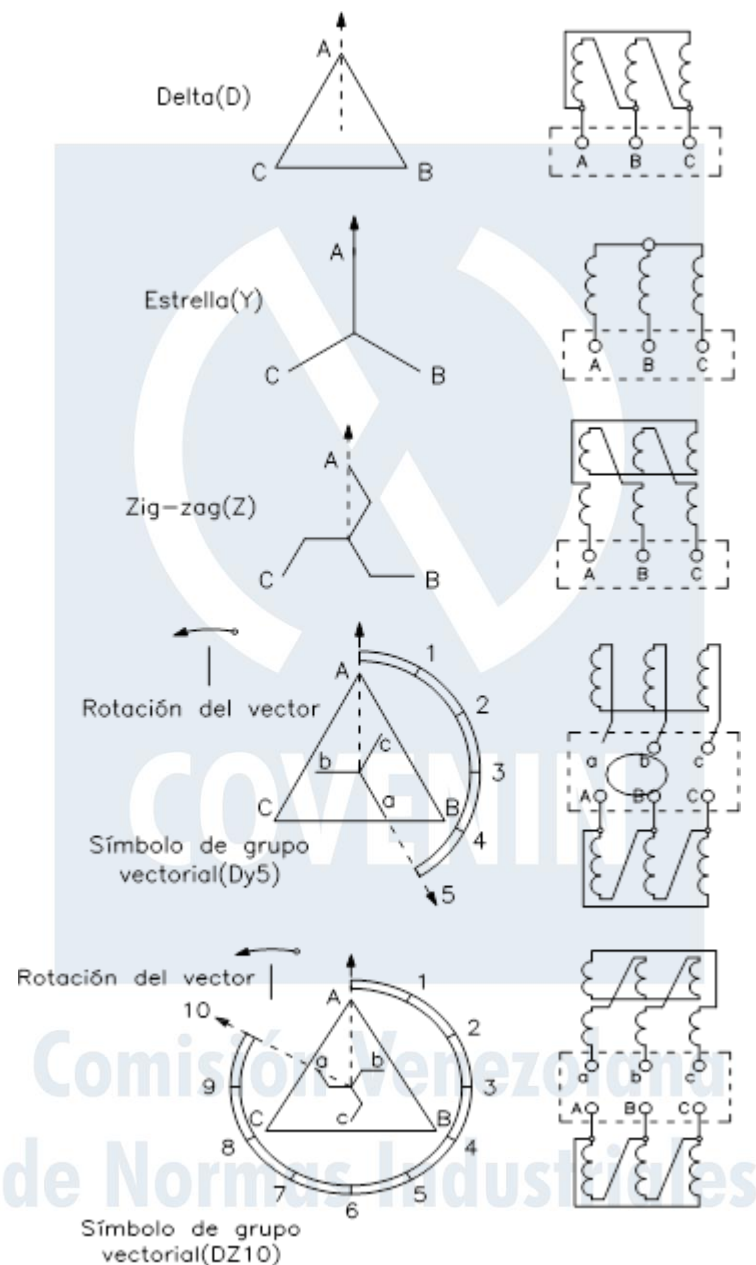
h) Frecuencia nominal.

i) Tensiones nominales.

- j) Corrientes nominales.
- k) Símbolo del grupo vectorial.
- l) Impedancia de cortocircuito a corriente nominal (valor obtenido en prueba de tensión de cortocircuito para la toma principal).
- m) Tipo de enfriamiento. Si un transformador, cuyo diseño lo permite específicamente, tiene más de un conjunto de valores nominales dependiendo del tipo de enfriamiento o de las conexiones del devanado, estos valores nominales adicionales deben indicarse en la placa de valores nominales.
- n) Clases de temperatura térmica de aislamiento.
- o) Diagramas de conexiones (en los casos en que los símbolos del grupo vectorial no dan una información completa con respecto a las conexiones internas).
- p) Nivel básico de aislamiento (aplicable a los devanados diseñados para tensión de 3 kV o más y al terminal neutro de todos los devanados de aislamiento escalonado).
- q) Factor K, calculado en base al anexo Operación de Transformadores con Cargas No Lineales.
- r) Peso total.
- s) Peso de transporte.
- t) Peso del núcleo y devanado.
- u) Peso del aceite aislante.
- v) Líquido aislante (si no es aceite mineral).
- w) Detalles de las tomas distintas de la toma principal:
 - w1) Potencia de toma (únicamente si difiere de la potencia nominal y en caso que el alcance de toma sea mayor de $\pm 5\%$. Debe indicarse la toma correspondiente).
 - w2) Valores extremos de las tensiones (en vacío) en ambos lados (estas tensiones son los valores extremos de las tensiones apropiadas definidas en 5.3.3.2. En el caso de flujo variable o regulación mixta, véase 4.11.3 y el anexo C, los valores distintos de los valores nominales de tensión en los devanados sin tomas se colocan entre paréntesis).
 - w3) Corriente correspondiente.
 - w4) Tensiones de cortocircuito correspondiente (únicamente si el alcance de tomas es mayor que $\pm 5\%$ y si la potencia nominal excede 1000 kVA. Los valores son medidos para las corrientes correspondientes y expresados como porcentaje de las correspondientes tensiones apropiadas según 5.3.3.2).
- x) Para los devanados terciarios, en caso necesario, se debe indicar la potencia nominal, la tensión nominal, la intensidad nominal y la tensión de cortocircuito nominal con la potencia de referencia.

y) En casos complicados, podrá darse en una placa especial una información más detallada basada en un acuerdo entre el fabricante y el comprador. Si es necesario, deberá darse un recuento completo de todas las características en una placa especial (preferiblemente en forma de una tabla).

FIGURA 1. Ejemplos ilustrados del uso de los símbolos del grupo vectorial



BIBLIOGRAFÍA

IEC 76-1:1976 Power Transformers. Part 1: General. Edited by International Electrotechnical Commission. Suiza. 1976

ANSI C 57.12.00-2010 Standard General Requirements for Liquid Immersed Distribution, Power, and Regulating Transformers. Edited by American National Standard Institute. USA. 1993.

IEEE C57.110 -2008, IEEE Recommended Practice for Establishing Liquid-Filler and Dry-Type Power and Distribution Transformer Capability When Supplying Nonsinusoidal Load Currents. USA. 2008.



**Comisión Venezolana
de Normas Industriales**

ANEXO A

EJEMPLOS DE ESPECIFICACIONES PARA TRANSFORMADORES CON TOMAS DE REGULACIÓN

A.1. Regulación con flujo constante

EJEMPLO:

a) Un transformador para tensiones nominales de 50 kV y 10 kV, con tensión * constante en el lado de alta tensión y siendo el alcance de variación en baja tensión $10 \text{ kV} \pm 10 \%$, logrado con tomas en la baja tensión con 9 posiciones de regulación:

Categoría de regulación: R.F.C.

Número de tomas: 9

Indicación de las tensiones * 50/10 + 10% kV ó 50/11, 10, 9 kV.

b) Como se indica anteriormente, pero con un alcance de variación de tensión en el lado de baja de $10 \text{ kV} + 10 \%$, lograda con tomas en la baja tensión con 5 posiciones de regulación:

Categoría de regulación: R.F.C.

Número de tomas: 5.

Indicación de las tensiones * 50/10 $\pm 10\%$ kV o 50/11, 10, 9 kV.

A.2. Regulación con flujo variable

EJEMPLO:

a) Un transformador como en A.1 a), pero con una variación de tensión obtenida con tomas en alta tensión con 9 posiciones:

Categoría de regulación: R.F.V.

Número de tomas: 9

Indicación de las tensiones * 50/10 $\pm (10\%)$ kV o 50/(11), 10, (9) kV.

NOTA. El alcance de tomas en el devanado de alta tensión con tomas que corresponde al alcance de las variaciones de tensión del lado de baja tensión será:

$$\frac{10-9}{9} \times 100\% \frac{10-11}{11}; \times 100\% \text{ o sea } +11,1\%; -9,1\%$$

b) Un transformador como en A.2 a), pero con una variación de tensión obtenida por medio de tomas de 5 posiciones en alta tensión:

Categoría de regulación: R.F.V.

Número de tomas: 5.

Indicación de las tensiones *50/10 (+10%) kV o 50/(11), 10 kV.

NOTA. El alcance de tomas correspondientes al devanado de alta tensión con tomas será:

$$\frac{10-11}{11} \times 100\% \text{ o sea } -9,1\%$$

A.3. Regulación mixta

A.3.1. Se considera el caso de un transformador trifásico para tensiones nominales de 44.000 V y 11.200 V, regulado por tomas en la alta tensión con las posiciones de regulación para alcances de variaciones de tensión de 46.200 V, 44.000 V, 41.800 V para el devanado con tomas; y de (12.300) V, 11.200 V, (10.350) V para el devanado sin tomas.

A.3.2. Los valores extremos necesarios para la relación de transformación entre estas tensiones variables, corresponden a las combinaciones de los valores extremos opuestos de los alcances de la variación de tensión. En consecuencia, son las relaciones: $46.200 / 10.350 = 4,47$, y $41.800 / 12.300 = 3,40$.

A.3.3. La posición media debe además corresponder a la toma principal.

A.3.4. El alcance de tomas queda de esta manera determinado. (Las cifras de este ejemplo han sido escogidas de tal manera que exista una simetría en el alcance de tomas).

NOTA. En ciertas posiciones se pueden obtener unas tensiones * cuyos valores están fuera del alcance de variaciones especificadas. Tales valores no necesitan ser tomados en consideración en el diseño. Se consideran dos casos:

EJEMPLO:

a) La potencia de toma debe ser igual a la potencia nominal en cualquiera de las tomas. En este caso, es suficiente especificar los alcances de la variación de tensión de los dos devanados:

$44.000 \pm 5\% / 11.200 (+9,8\%), (-7,6\%) \text{ V}$ o $46.200, 44.000, 41.800 / (12.300), 11.200, (10.350) \text{ V}$.

b) Están especificados unos valores distintos de potencia de toma en ciertas posiciones. En estos casos, estos valores deben ser especificados adicionalmente. Especialmente en estos casos complicados y cuando las potencias de tomas tienen valores variables, es por medio de una tabla que resulta más práctico representar todos los elementos del problema. Sin embargo, los números exactos en esta tabla no pueden ser determinados (ver Nota), sino después de que el diseño esté terminado.

NOTA. Cuando una de estas tablas es objeto de una placa de características adicional, los valores medidos de las tensiones de cortocircuito para ciertas posiciones de tomas pueden ser agregados. Estas tensiones de cortocircuito se indican en porcentaje de las tensiones * particulares asociadas a las tomas consideradas y para las corrientes correspondientes.

TABLA A.1. Placa de característica adicional para un transformador con cambiador de toma bajo carga con potencia diferente en algunas de las tomas

Alta Tensión		46.200 v 375 A para 30 MVA				44.000 V 394 A para 30 MVA				41.800 V 414 A para 30 MVA			
Devanado de alta tensión	Relación de Transformación	Baja tensión				Baja tensión				Baja tensión			
		MVA	V	A	U ₀	MVA	V	A	U ₀	MVA	V	A	U ₀
1	4,47	28,4	10.350	1.585	9,6	---	---	---	---	---	---	---	---
2	4,38	29,0	10.550	1.585	---	---	---	---	---	---	---	---	---
3	4,29	29,6	10.780	1.585	---	28,2	10.250	1.585	9,7	---	---	---	---
4	4,20	30,0	11.000	1.575	---	28,7	10.470	1.585	---	---	---	---	---
5	4,11	30,0	11.240	1.545	---	29,4	10.700	1.585	---	---	---	---	---
6	4,02	30,0	11.500	1.510	---	30,0	10.940	1.585	---	28,6	10.400	1.585	9,6
7	<u>3,93</u>	30,0	11.750	1.475	---	<u>30,0</u>	<u>11.200</u>	<u>1.545</u>	<u>8,6</u>	29,6	10.640	1.585	---
8	3,84	30,0	12.020	1.440	---	30,0	11.460	1.515	---	30,0	10.890	1.585	---
9	3,75	30,0	12.320	1.405	7,0	30,0	11.730	1.475	---	30,0	11.150	1.555	---
10	3,66	---	---	---	---	30,0	12.000	1.445	---	30,0	11.420	1.520	---
11	3,57	---	---	---	---	30,0	12.320	1.405	7,2	30,0	11.700	1.480	---
12	4,47	28,4	10.350	1.585	9,6	---	---	---	---	---	---	---	---
13	4,38	29,0	10.550	1.585	---	---	---	---	---	---	---	---	---

NOTA 1. Los valores nominales están subrayados.

NOTA 2. Las cantidades fuera de los “alcances de variación de tensión” son omitidas, ellas no se toman en cuenta en el diseño.

NOTA 3. Para simplificar, ninguna cantidad está colocada entre paréntesis; la indicación de que las tomas están en el devanado de alta tensión figura en la parte superior de la columna 1.

COVENIN

**Comisión Venezolana
de Normas Industriales**

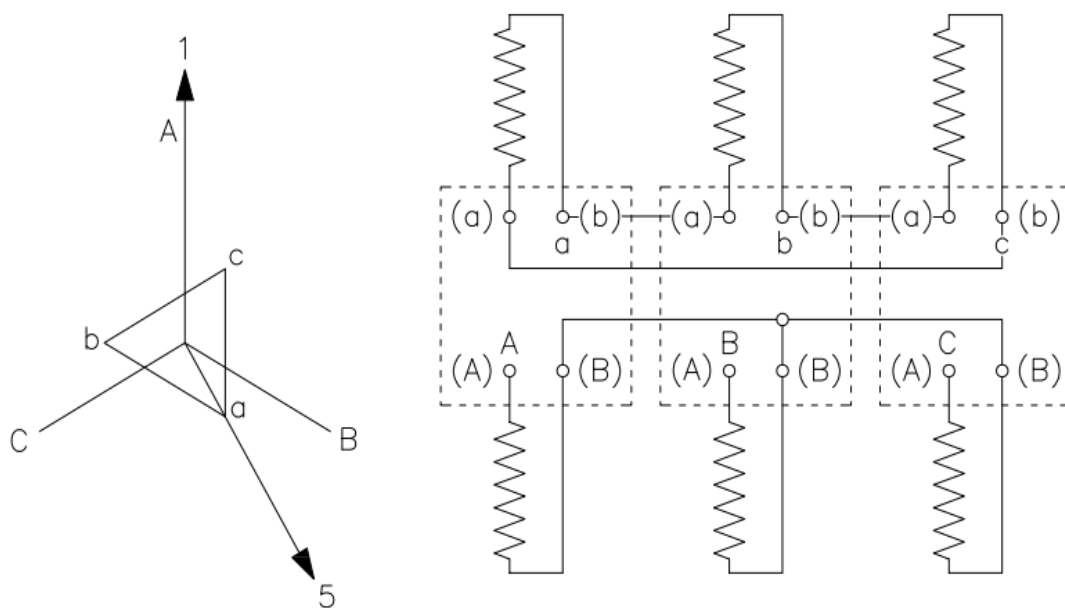
ANEXO B

CONEXIONES USUALES DE LOS TRANSFORMADORES

B.1. Transformadores trifásicos. La figura B.2. da detalles de conexiones de transformadores de uso general y su correspondiente ángulo de desfase. En dicha figura, las marcas de los terminales A; B, C, y a, b, c, se usan en los diagramas únicamente para fines ilustrativos. Debe recordarse que los desfases diferentes de las horas de reloj 0,4 y 8 no son adecuados para uso con autotransformadores conectados en estrella.

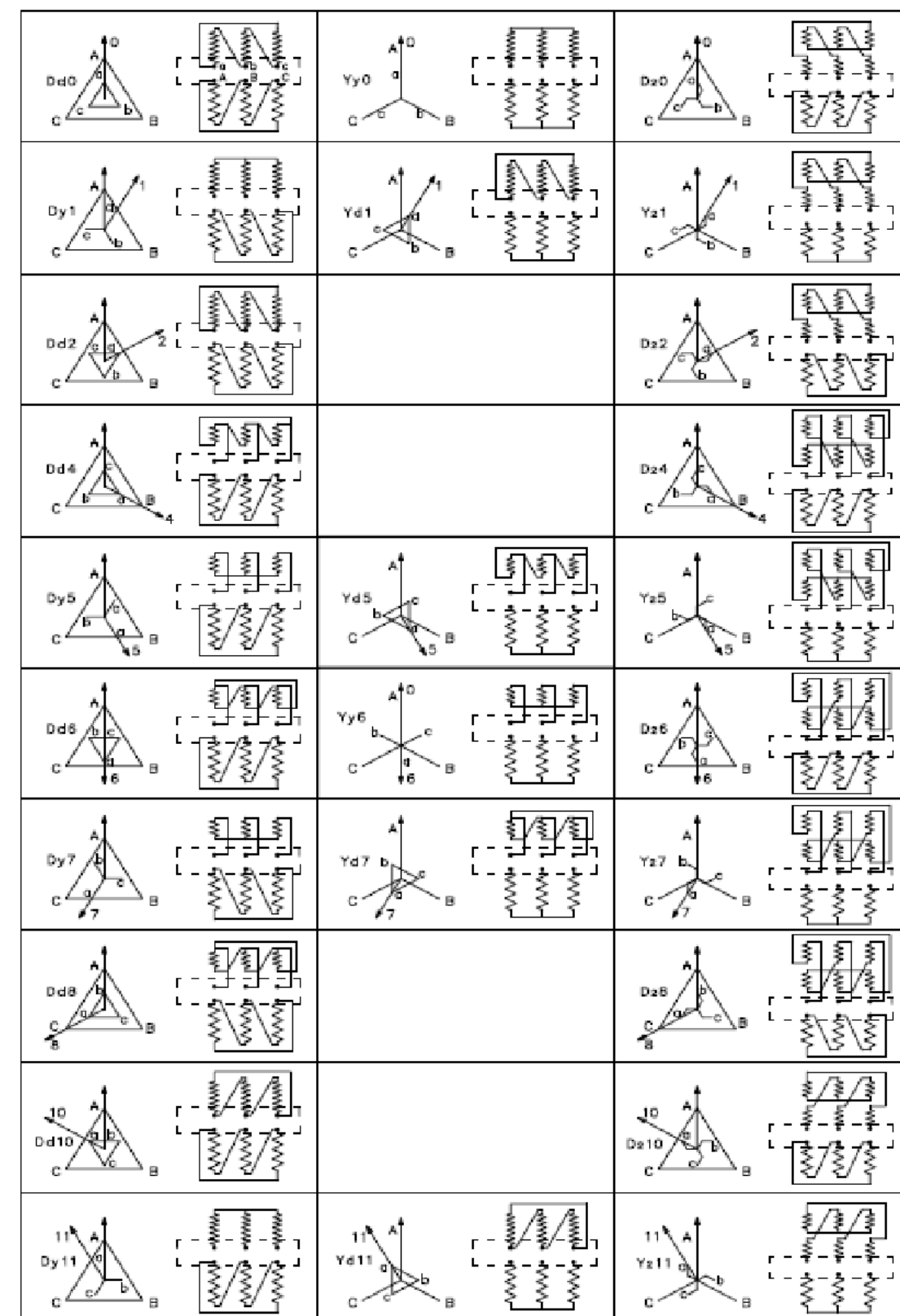
B.2. Ejemplo de tres transformadores monofásicos conectados para formar un banco trifásico en este caso ambos extremos de cada devanado se conecta exteriormente a los aisladores de terminales marcados. Un ejemplo de tal conexión se muestra en la figura B.1 (ver figura B.1).

FIGURA B.1. Transformadores monofásicos conectados para formar un banco trifásico



de Normas Industriales

FIGURA B.2. Designación de conexiones de transformadores trifásicos mediante símbolo de grupo vectorial



ANEXO C

CONEXIONES USUALES DE LOS TRANSFORMADORES

C.1. Condiciones esenciales

El funcionamiento en paralelo se considera cuando hay conexiones directas, terminal a terminal, para dos de sus devanados (siendo necesario especificarlos), considerando en circuito abierto los otros devanados no conectados en paralelo. En los otros casos, el funcionamiento en paralelo debe ser objeto de un estudio especial. A fin de que dos transformadores puedan funcionar en paralelo bajo las condiciones especificadas más arriba, las siguientes condiciones son imprescindibles para cada conjunto de dos pares de devanados:

C.2. Conexiones

Las conexiones deben ser compatibles entre sí:

C.2.1. Transformadores con el mismo desfase, o sea, el mismo número hora en el diagrama vectorial, pueden funcionar en paralelo si se conectan juntos en el primario y en el secundario respectivamente, los terminales que llevan el mismo símbolo, es decir, la misma letra y el mismo número.

C.2.2. Desde el punto de vista de posibilidades de funcionamiento en paralelo cuando los números-hora son diferentes, las conexiones pueden clasificarse en cuatro grupos:

- a) Grupo I: Contiene números – hora: 0,4 y 8,
- b) Grupo II: Contiene números – hora: 6,10 y 2,
- c) Grupo III: Contiene números – hora: 1 y 5,
- d) Grupo IV: Contiene números – hora: 7 y 11.

C.2.3. El funcionamiento en paralelo de dos transformadores del mismo grupo es siempre posible bajo condiciones de carga sustancialmente balanceada. Si tienen números –horas diferentes (la diferencia en número– hora en el mismo grupo siendo siempre 4 u 8, o sea, un desfase de 120° o 240° , el cual es el que existe entre dos fases de un sistema trifásico), los terminales de la misma notación (letra o número) en los dos transformadores, deben conectarse en un lado (primario o secundario) y en el otro lado; los terminales deben conectarse en rotación cíclica, según el diagrama de la figura C1.

C.2.4. Un transformador del Grupo III puede funcionar en paralelo con un transformador del Grupo IV si el sentido de rotación del vector de tensión de un transformador está invertido con relación al otro. El cambio de conexiones de los dos terminales está dado en la figura C2.

C.2.5. No es posible el funcionamiento en paralelo de dos transformadores de grupos diferentes, a excepción de la combinación III – IV mencionada anteriormente en este anexo. Por lo tanto, no es posible hacer funcionar en paralelo las siguientes combinaciones:

- a) Grupo I: con II, o III o IV,
- b) Grupo II: con I, o III o IV,

c) Grupo III: con I, o II,

d) Grupo IV: con I, o II.

C.3. Relaciones de transformación

Las relaciones de transformación deben ser iguales dentro de los límites de las tolerancias permisibles.

C.4. Tensiones de cortocircuito

Las tensiones de cortocircuito deben ser iguales dentro de los límites de tolerancias permisibles. Sin embargo, en la práctica en la mayoría de los casos no es necesario asegurarse que sean respectivamente iguales, ni la componente reactiva.

C.5. Garantías

C.5.1. El funcionamiento correcto en paralelo de un transformador dado con otro, podría ser objeto de garantías siempre que la relación de las potencias nominales para devanados en paralelo esté entre 0,5 y 2.

C.5.2. Si los transformadores están diseñados con tomas de regulación, la garantía se aplica a la operación en las tomas principales de los transformadores en paralelo y debe ser objeto de un acuerdo entre el fabricante y el comprador, el funcionamiento en otras tomas.

FIGURA C.1. Funcionamiento en paralelo de transformadores del mismo grupo

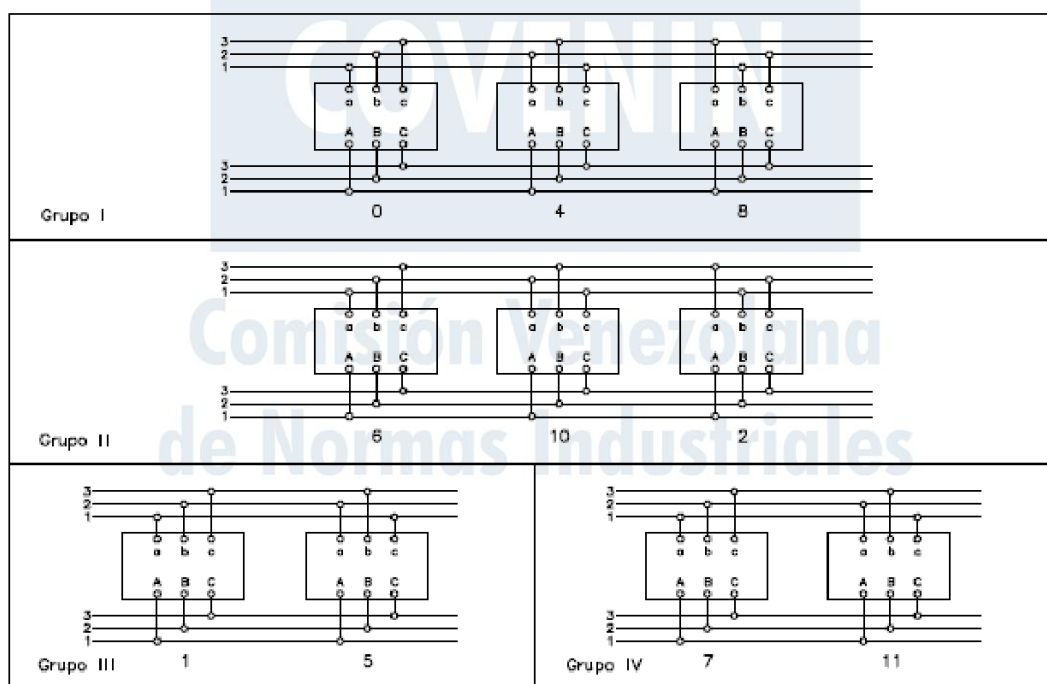
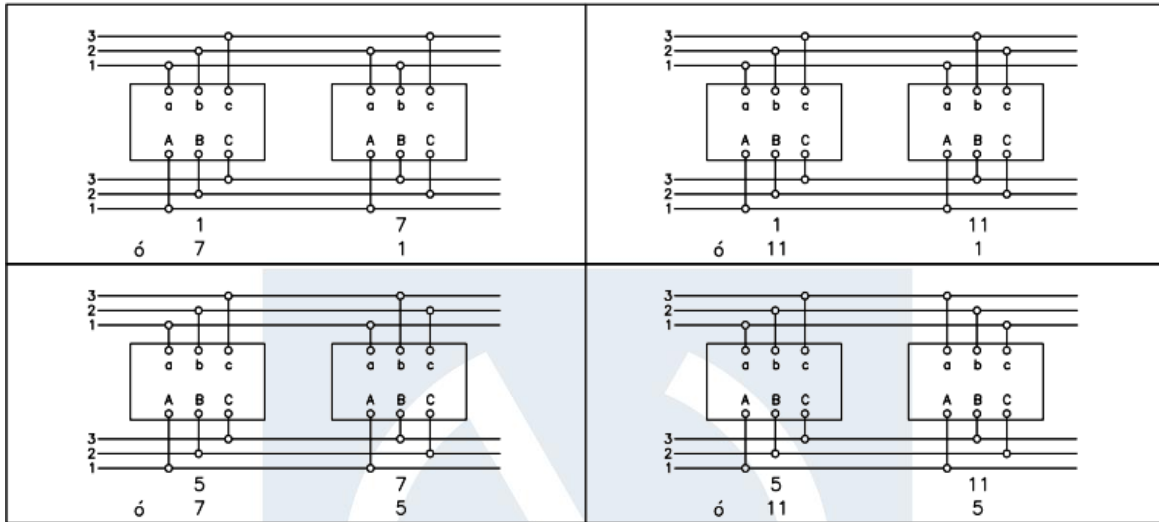


FIGURA C.2. Funcionamiento en paralelo de transformadores de los grupos III y IV



NOTA. Los números grandes al pie de cada diagrama indican los números – horas.

COVENIN

Comisión Venezolana
de Normas Industriales

ANEXO D

INFORMACIÓN REQUERIDA CON LA SOLICITUD DE OFERTA Y PEDIDO

D.1. Datos de régimen nominal y características generales

D.1.1. Transformadores de dos devanados

D.1.1.1. Condiciones normales

- a) Especificación especial que se debe cumplir.
- b) Número requerido de transformadores.
- c) Transformadores monofásicos o polifásicos.
- d) Número de fase en el sistema.
- e) Frecuencia.
- f) Tipo seco o sumergido en líquido aislante.

NOTA. Indicando el tipo de aislamiento seco o el tipo de líquido aislante.

- g) Tipo de instalación: interior o exterior.
- h) Potencia nominal en kVA y en el caso de alcances de variaciones de tensión en acceso de +/- 5%, la potencia en las tomas extremas. Si el transformador debe tener diferentes valores de potencia nominal para distintos modos de enfriamiento, estos valores deben ser especificados.
- i) Tensiones nominales (para cada devanado).
- j) Indicar si se quieren tomas y si se requieren conmutadores bajo carga o sin tensión o puentes de conexión. Indicar la categoría de regulación deseada, los alcances de variación de tensión y el número de posiciones de tomas requeridas.
- k) Tensión más alta del sistema (para cada devanado).
- l) Método de puesta a tierra del sistema (para cada devanado).
- m) Nivel de aislamiento, es decir, valores de las tensiones de ensayo por ondas de choque y a frecuencia industrial (para los terminales de líneas y el neutro si es necesario) para los cuales el transformador debe diseñarse ver las tablas 7,8 y 10.
- n) Símbolo del grupo vectorial.
- o) Bornes de neutro, si son necesarios (para cada devanado).
- p) Tipo de enfriamiento.

- q) Precauciones que deben ser tomadas durante la instalación, el montaje, el transporte y el manejo en general.
- r) Cualquier información adicional apropiada.
- s) Factor K.

D.1.1.2. Condiciones especiales

- a) Categoría requerida del aislamiento escalonado (véase tabla 8), si es aplicable.
- b) Si se requiere ensayo de tensión por ondas de choque, este ensayo debe incluir ondas cortadas.
- c) Si se requiere un devanado estabilizador y en este caso, el método de puesta a tierra.
- d) La tensión de cortocircuito con corriente nominal si se ha especificado determinando el valor.
- e) Si el transformador estará directamente asociado con otros aparatos que puedan afectar las condiciones sobre cortocircuito.
- f) Altitud si es mayor de 1.000 metros.
- g) Temperatura del medio de refrigeración si está fuera de los valores dados en 5.2.1.1.2.
- h) Si alguno de los devanados debe ser conectado como autotransformador.

D.1.2. Transformadores de más de dos devanados

Seguir en forma general las indicaciones dadas en D.1.1, pero dar las indicaciones relativas a devanados adicionales y también:

- a) Combinaciones de carga requeridas indicando, si es necesario, las cargas activas y reactivas separadamente, especialmente en el caso de autotransformadores de devanados múltiples.
- b) Tensiones de cortocircuito especificadas si es el caso, para ciertos pares de devanados.

D.2. Funcionamiento en paralelo

Se ha previsto el funcionamiento en paralelo con transformadores existentes, esto debe indicarse y dar de ellos la información siguiente:

- a) Potencia nominal en kVA,
- b) Relación de transformación nominal.
- c) Relación de transformación correspondiente a tomas distintas de la toma principal.
- d) Pérdidas en cargas a corriente nominal y tensión nominal en la toma principal, referidas a la temperatura de referencia apropiada.
- e) Tensión de cortocircuito correspondiente a la corriente nominal (en la toma principal).

- f) Tensión de cortocircuito sobre tomas extremas si el alcance de variación de tensión excede $\pm 5\%$.
- g) Diagrama de conexiones o símbolo de grupo vectorial o ambos.

NOTA. En el caso de transformadores de más de dos devanados generalmente se requerirá información adicional.



Comisión Venezolana
de Normas Industriales

ANEXO E

SELECCIÓN DE LOS NIVELES DE AISLAMIENTO

E.1. Generalidades

El nivel de aislamiento debe ser especificado por el comprador. La selección del nivel de aislamiento estará regida por los siguientes factores:

- a) La tensión más elevada del sistema.
- b) Condiciones de puesta a tierra del sistema.
- c) Grado de exposición del transformador a sobretensiones y nivel de protección del dispositivo protector.

E.2. Tensión más elevada del sistema

La tensión más elevada del sistema no debe ser confundida con cualquiera de las siguientes:

- a) Tensión nominal del sistema.
- b) Tensión nominal del transformador.
- c) Tensión de circuito abierto de cualquier toma.

NOTA. Ciertas tensiones de tomas pueden exceder la tensión más elevada del sistema, pero este hecho no implica un aumento del nivel de aislamiento o de la tensión de ensayo prescrita por la presente norma.

E.3. Puesta a tierra del sistema

E.3.1. La selección del nivel de aislamiento es una función del nivel de protección del dispositivo de protección utilizado, el cual depende principalmente del coeficiente de puesta a tierra del sistema.

E.3.2. El coeficiente de puesta a tierra en un lugar determinado de un sistema trifásico (generalmente el punto de instalación de un equipo) y para una configuración dada del sistema es la relación expresada en tanto por ciento de la tensión eficaz más elevada a la frecuencia del sistema entre una fase sana y la tierra en este lugar, durante una falla a tierra que afecte a una o varias fases, a la tensión eficaz entre fases, a la frecuencia del sistema que se obtendría en dicho lugar cuando desaparezca la falla.

E.3.3. Las condiciones usuales para el sistema de puesta a tierra son como sigue:

- a) Sistema de neutro aislado que no tiene conexión intencional a tierra, excepto a través de dispositivos indicadores, medidores o protectores de muy alta impedancia.
- b) Sistema compensado por bobina de extinción. Sistema cuyo neutro es puesto a tierra a través de una bobina supresora de arco, cuya reactancia tiene un valor tal que, durante una falla de línea a tierra, la corriente inductiva a frecuencia industrial que pase por esta bobina anula prácticamente la componente capacitiva a frecuencia fundamentalmente de la corriente de falla.

c) Sistema de neutro puesto a tierra. El sistema de neutro a tierra es un sistema en el cual el neutro está conectado a tierra, ya sea sólidamente, o a través de una resistencia o reactancia de valor suficientemente bajo para reducir materialmente las oscilaciones transitorias y dar una corriente suficiente para protección selectiva contra fallas a tierra.

E.4. Exposición a sobretensiones

E.4.1. Los transformadores destinados a ser utilizados en situaciones expuestas a sobretensiones deben ser diseñadas para resistir un ensayo por ondas de choque.

E.4.2. En un sistema conectado efectivamente a tierra, el uso de un pararrayo de características adecuadas, puede permitir la escogencia de un transformador cuyo nivel de aislamiento sea menor.

E.4.3. Además de las sobretensiones atmosféricas a las cuales pueden estar sometidos los transformadores en las zonas expuestas, algunas sobretensiones pueden ser generadas en el interior de un transformador, o en otro punto del sistema y estas afectan, tanto a los transformadores que están eléctricamente expuestos, como los que no lo están. Estas sobretensiones internas pueden resultar del funcionamiento de un interruptor automático o de un fusible durante alguna maniobra realizada en un circuito inductivo o capacitivo.

E.5. Selección de los ensayos por ondas de choque

E.5.1. El ensayo por onda de choque no incluye sino aplicaciones de tensión en onda completa, pero si el comprador lo especifica especialmente se puede incluir aplicaciones en ondas cortadas.

E.5.2. Todos los arcos de cortocircuitos en una estación se traducen por ondas cortadas de amplitud y frente distintos. Si es factible que estos ocurran en servicio a un grado peligroso, la aptitud del transformador para resistir estas sobretensiones no puede ser determinada sino mediante un ensayo por onda cortada.

E.5.3. Un transformador previsto para ser sometido únicamente al ensayo por onda completa es vulnerable en una medida no determinada a las ondas cortadas en la vecindad del transformador, porque se pueden desarrollar esfuerzos internos entre espiras o bobinas más elevados que en los casos de ondas completas.

E.5.4. Si esta situación es evitada por medio de dispositivos de protección adecuados, por ejemplo: pararrayos o descargadores de varillas con ajuste suficientemente preciso, los ensayos por onda cortada no son necesarios.

E.6. Aislamiento a tierra

E.6.1. Se debe escoger un aislamiento uniforme para todos los devanados conectados en delta, estrella o zig-zag cuando la conexión a tierra del terminal neutro de los devanados no está especificada.

E.6.2. Para la tensión más elevada de un sistema de 72,5 kV o de valor superior, se puede escoger el aislamiento escalonado en los casos de devanados en estrella y en zig-zag, cuando está especificado en el terminal neutro de los devanados estará conectado a tierra, según el punto 5.3.3 categoría 1, 2, 3 y 4 o que este estará protegido por un limitador de tensión adecuado.

E.6.3. Los transformadores monofásicos que forman parte o que pueden formar parte de un banco trifásico deben tener un nivel de aislamiento adecuado para la tensión más elevada del sistema trifásico

y también para el método de conexión a tierra, cualquiera que sea la forma de conexión (estrella, delta, zig-zag u otra).



**Comisión Venezolana
de Normas Industriales**

ANEXO F

FACTOR K, OPERACIÓN DE TRANSFORMADORES CON CARGAS NO LINEALES

F.1. Tipos de carga

En la figura F.1 se presentan los dos tipos de cargas comunes en el sistema de potencia: lineal y no lineal.

F.1.1. Corriente distorsionada

F.1.1.1. La mayoría de las cargas No lineales están asociadas al uso de la electrónica de potencia, las cuales se alimentan con tensión sinusoidal y consumen corriente no sinusoidal o distorsionada.

F.1.1.2. Para analizar la corriente distorsionada y sus efectos sobre el sistema de potencia, se utiliza la Serie o Fourier o la Transformada Fourier.

$$i(t) = I_0 + \sum_{n=1}^{\infty} \sqrt{2} I_{rms_n} \sin(\omega t + \psi_n)$$

dónde:

$$I_0 = \frac{1}{T} \int_0^T i(t) dt$$

$$I_{rms_n} = \sqrt{\frac{a_n^2 + b_n^2}{2}}$$

$$\psi_n = \arctan \left(\frac{b_n}{a_n} \right) - \frac{\pi}{2}$$

$$a_n + jb_n = \frac{2}{T} \int_0^T i(t) e^{jn\omega t} dt = \frac{2}{N} FFT\{g(t)\}_n$$

NOTA. En los sistemas de potencia la componente de corriente continua o medio tiende a ser nula ($I_0=0$).

F.1.2. Valor efectivo

$$I_{rms} = \sqrt{I_0^2 + \sum_{n=1}^{\infty} I_{rms_n}^2}$$

F.1.3. Factor de distorsión armónica total (THD)

$$THD_i = \frac{\sqrt{I_{rms}^2 - I_{rms_1}^2}}{I_{rms_1}} \approx \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} I_{rms_n}^2}}{I_{rms_1}}$$

FIGURA F.1. Tipos de Carga

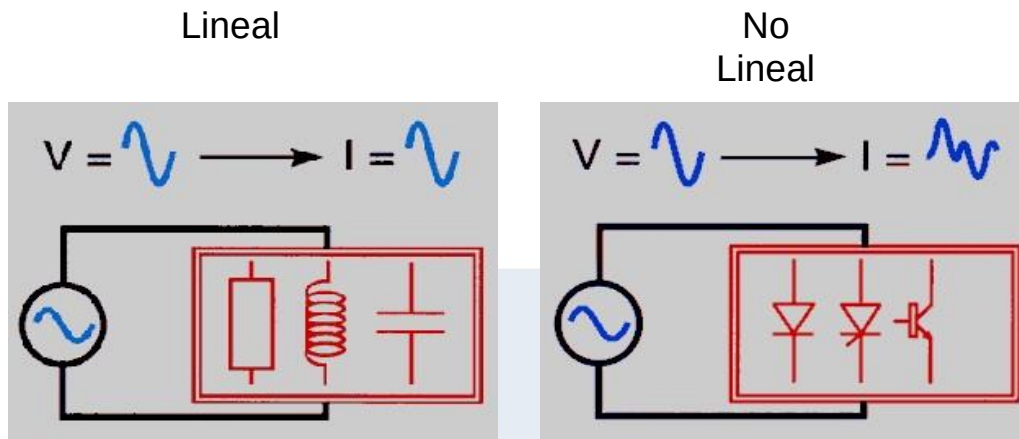


FIGURA F.2. Corriente distorsionada

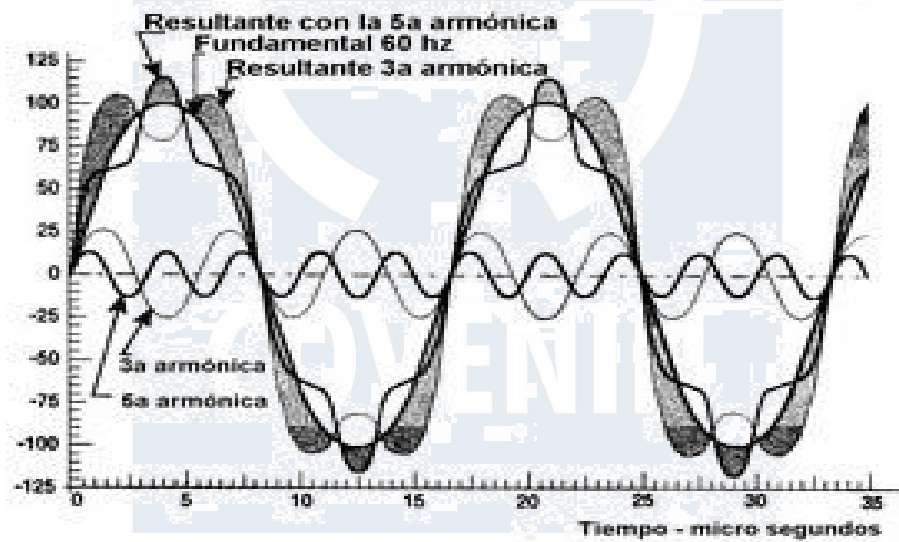
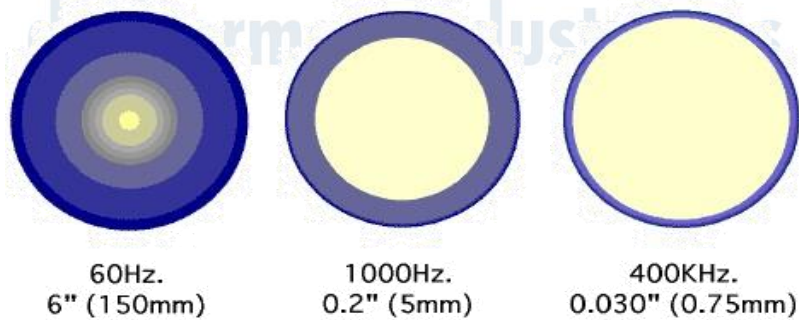


FIGURA F.3. Efecto piel



F.1.4. Pérdidas en un Transformador

Las pérdidas en un transformador se deben a corrientes parásitas inducidas en el núcleo magnético, pérdidas debidas al ciclo de histéresis del material magnético que se engloban en las pérdidas del hierro y las pérdidas por efecto Joule producida por la circulación de corriente por los devanados del equipo.

$$P_{totales} = P_{Fe} + P_{cu}$$

F.1.5. Pérdidas en el Hierro

$$P_{Fe} = (k_h B_{max}^s f + k_f B_{max}^2 f^2 a^2 \sigma) \cdot vol$$

dónde:

k_h Coeficiente de pérdidas por histéresis.

k_f Coeficiente de pérdidas por corrientes parásitas B_{max} .

Densidad de campo magnética máxima f frecuencia a .

Espesor de la chapa σ conductividad eléctrica.

NOTA. Para el acero al sicilio, las pérdidas a 50 Hz para una $B_{max} = 1T$ son de $1,1 \rightarrow 1,5$ W/kg para laminado en caliente y de $0,3 \rightarrow 0,6$ W/kg para grano orientado laminado al frío. Los espesores de chapas oscilan entre: $0,3 \leq a \leq 0,5$ mm.

F.1.6. Pérdidas en el cobre

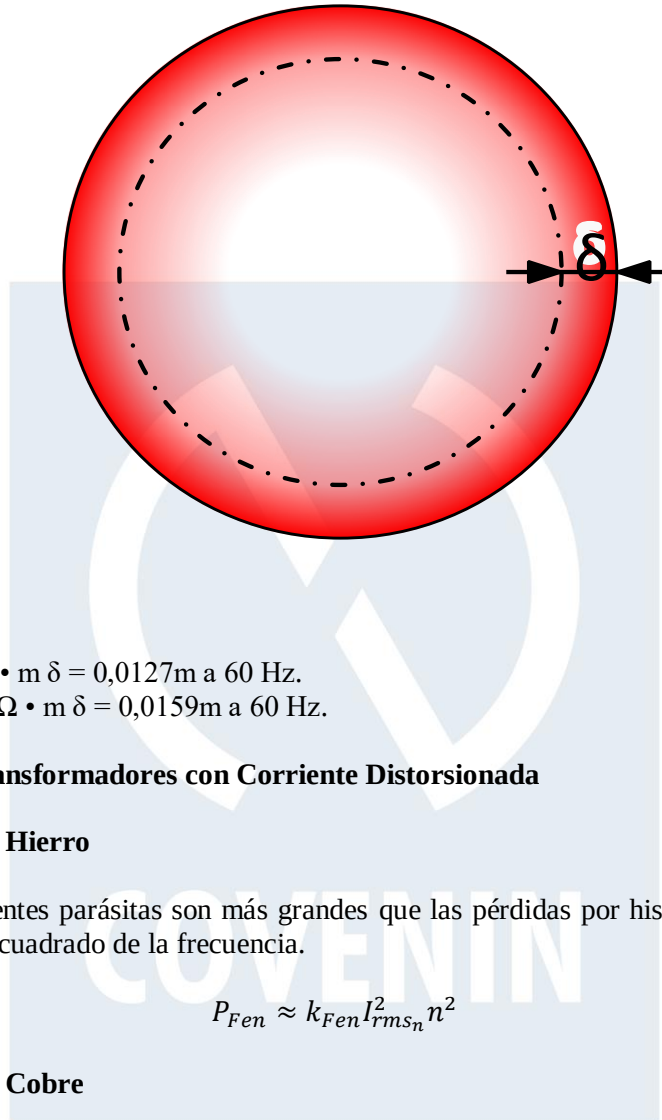
$$P_{cu} = R \cdot I_{rms}^2 = I_{rms}^2 \cdot \frac{\rho l}{A_T}$$

F.1.6.1. En corriente continua, la densidad de corriente es similar en todo el conductor, pero en corriente alterna se observa que hay una mayor densidad de corriente en la superficie que en el centro. Este fenómeno se conoce como efecto pelicular, efecto Kelvin o efecto skin. Este fenómeno hace que la resistencia efectiva o de corriente alterna sea mayor que la resistencia óhmica-arochiana o de corriente elevada. Este efecto es el causante de la variación de la resistencia eléctrica, en corriente alterna, de un conductor debido a la variación de la frecuencia de la corriente eléctrica que circula por este. En la figura F.3, se presenta el efecto piel en conductores de alterna.

F.1.6.2. En la figura F.4 se presenta la distribución del flujo de corriente en un conductor cilíndrico, en su sección transversal. Para corriente alterna, la mayoría de la corriente eléctrica (63 %) fluye entre la superficie y la profundidad de la piel, δ , dependiendo de la frecuencia de la corriente y de las propiedades eléctricas y magnéticas del conductor. Se define la profundidad superficial de los conductores como el área efectiva por la que circula corriente en el conductor. Depende de la frecuencia, permeabilidad magnética y conductividad del material; se da en metros.

$$\delta = \sqrt{\frac{2}{\omega \mu \sigma}}$$

FIGURA F.4. Distribución del flujo de corriente en un conductor cilíndrico



Datos:

Cobre $\rho = 1,7241 \text{ m}\Omega \cdot \text{m}$ $\delta = 0,0127 \text{ m}$ a 60 Hz.

Aluminio $\rho = 3,1347 \text{ m}\Omega \cdot \text{m}$ $\delta = 0,0159 \text{ m}$ a 60 Hz.

F.2. Pérdidas en Transformadores con Corriente Distorsionada

F.2.1. Pérdidas en el Hierro

Las pérdidas por corrientes parásitas son más grandes que las pérdidas por histéresis debido a que las primeras crecen con el cuadrado de la frecuencia.

$$P_{Fen} \approx k_{Fen} I_{rms_n}^2 n^2$$

F.2.2. Pérdidas en el Cobre

La pérdida en los devanados es proporcional a la corriente efectiva que circula por él.

$$P_{Cu} = R_{AC} \cdot \sum_{n=1}^{\infty} I_{rms_n}^2$$

F.2.3. Pérdidas totales

$$P_{Totales} = P_{Cu} + P_{Fe} = R_{AC} \cdot \sum_{n=1}^{\infty} I_{rms_n}^2 + k_{Fen} I_{rms_n}^2 n^2$$

F.2.4. Pérdidas a frecuencia industrial

$$P_{Totales_{n=1}} = R_{AC} \cdot I_{rms}^2 + k_{Fe} \cdot I_{rms}^2 = P_{Cu_1} + P_{Fe_1}$$

TABLA F.1. Factores “K” utilizados en función de la carga

CARGA	FACTOR “K”
Iluminación por descarga eléctrica	4
UPS con filtro de entrada	4
Máquinas de soldar	4
Equipos de calefacción por inducción	4
PLC y Arranca suaves	4
Equipos de Telecomunicaciones	13
UPS sin filtro de entrada	13
Hospitales y escuelas	13
Líneas de inspección, ensamble o producción	13
Carga de computadoras mainframe	20999
Variadores de Velocidad	20
Cuidados intensivos, quirófano y zona de recuperación	20

[FUENTE: IEEE Std C57.110 TM-2008]

F.2.5. Pérdidas a frecuencia industrial en por unidad

$$P_{Totales_{n=1}} = 1 + P_{Fe-R} = 1 + \frac{P_{Fe_1}}{P_{Cu_1}}$$

F.2.6. Pérdidas para corriente distorsionada

$$P_{Totales} = \sum_{n=1}^{\infty} \left(\frac{I_{rms_n}^2}{I_{rms_1}^2} \right) + P_{Fe-R} \sum_{n=1}^{\infty} \left(\frac{I_{rms_n}^2}{I_{rms_1}^2} n^2 \right)$$

F.2.7. Factor K

Se define el factor “K” de un transformador como:

$$I_{rms_{max}} = \sqrt{\frac{1 + P_{Fe-R}}{1 + K \cdot P_{Fe-R}}}$$

NOTA. En la tabla F.1 se presentan los factores “K” más utilizados en función de la carga que alimentan.

**COVENIN
536:2021**

PUBLICADO POR:



SENCAMER

Servicio Desconcentrado de Normalización,
Calidad, Metrología y Reglamentos Técnicos

RESERVADOS TODOS LOS DERECHOS

**Av. Libertador, Centro Comercial Los Cedros, Nivel PH
Urbanización La Florida – Caracas, Distrito Capital**

**Nº DE DEPÓSITO LEGAL: DC2022000001
I.C.S: 29.180**