

## ESPECIFICACIONES TÍPICAS PARA TRANSFORMADORES DE DISTRIBUCION COMPLETAMENTE AUTO PROTEGIDOS

**OBJETIVO:** Proveer las principales características técnicas requeridas para especificar transformadores del tipo auto protegido y mostrar la forma en que se debe interactuar con el modelo térmico de los transformadores para lograr una protección adecuada contra sobrecargas.

Estas especificaciones son entendidas para ser agregadas a las especificaciones típicas de los transformadores convencionales, de tal manera que no cubren aspectos generales para ambos tipos de transformadores, sino que se refieren concretamente a los aspectos técnicos que distinguen a los transformadores auto protegidos en el diseño, la fabricación y su aplicación.

**1.ALCANCE:** Estas especificaciones técnicas establecen las condiciones que debe satisfacer un transformador auto protegido de distribución, inmerso en aceite mineral, monofásico o trifásico, con corrientes secundarias hasta 1,600 amperios y niveles de tensión hasta 34.5kV, BIL 150kV. Este alcance cubre en principio transformadores trifásicos hasta 500kVA, 220v secundarios o hasta 1,000kVA, 440v secundarios y monofásicos hasta 167.5kVA, 120/240v o hasta 333kVA, 240/480v.

La norma establece también, a manera de recomendación, los principios básicos de la filosofía de autoprotección de tal manera que se logre el máximo aprovechamiento de los equipos autoprotegidos. Estos aparecerán precedidos de las palabras: "Se recomienda que...".

**2.DEFINICION:** Un transformador completamente auto protegido es aquel que tiene incorporados desde su etapa de diseño y fabricación elementos de protección contra sobre tensiones, sobrecargas y elementos para aislarlo de la red en caso de falla. Estos elementos, los cuales son suministrados como un todo con el equipo incluyen:

- a.Un interruptor o disyuntor inmerso en aceite, conectado en serie con el devanado de baja o de media tensión y el cual tiene la finalidad de proteger el equipo contra cortocircuitos externos y contra sobrecargas excesivas que pongan en peligro la vida útil planeada del transformador.
- b.Un mecanismo de señalización tipo luz piloto o bandera que indique a manera de alarma cuando se esté aproximando la temperatura de disparo del interruptor. Debe especificarse el diferencial de temperatura entre el accionamiento de la señalización y el disparo del interruptor en concordancia con los requerimientos del usuario.
- c.Un fusible tipo expulsión en serie con cada una de las fases de media tensión del transformador y el cual tiene como función específica respaldar la operación del interruptor o disyuntor y actuar únicamente en caso de falla interna del transformador con el objetivo de separar el equipo fallado de la red.

d.Un equipo descargador (o pararrayo) montado solidariamente sobre el tanque y cuyo objetivo es desviar a tierra las sobre tensiones que puedan llegar al transformador por sus lados de media tensión y de baja tensión.

**3. CARACTERISTICAS ELECTRICAS DE LOS ELEMENTOS DE PROTECCION INCORPORADOS EN UN TRANSFORMADOR AUTO PROTEGIDO:**

La tabla No. 1 resume las principales características eléctricas que deben cumplir los elementos de protección incorporados en un transformador autoprotegidos de acuerdo con esta norma.

**TABLA No. 1**

<b>ELEMENTO DE PROTECCION</b>	<b>MAX TENSION NOMINAL kV</b>	<b>CAPACIDAD DE INTERRUPCION NOMINAL, kA</b>	<b>MAX MCOV KV</b>	<b>MÁXIMA CORRIENTE NOMINAL, A</b>	<b>MÁXIMO VOLTAJE DESCARGA 10kA (kV) (4)</b>
DISYUNTOR BT	0.6	<b>Monofásicos:</b> Ver tabla No. 2 <b>Trifásicos:</b> 1 disparo: 20.0 5 disparos: 15.0	0.6	<b>Monofásicos:</b> 700 <b>Trifásicos: (1)</b> Sin tap: 800 Con tap: 1,400	
DISYUNTOR MT	23.0	8.7kV: 1.8 (2) 15.5kV: 1.2 (2) 23kV: 0.6 (2)	23.0		
PARARRAYOS MT (3)	10.0 18.0 27.0	10.0	8.7 15.0 23.0		31.2 58.8 82.4
PARARRAYOS BT	0.65	10.0	0.65		2.9
FUSIBLE MT	8.7 15.5 23.0	3.5 2.5 1.8	7.62 12.0 22.9		

NOTA (1) : El término tap se refiere aquí a la derivación incorporada en el disyuntor, la cual permite incrementar la capacidad de corriente del disyuntor utilizando un devanado de BT construido en ejecución serie-paralelo.

NOTA (2) : Si la capacidad de falla a tierra de la red en el punto de instalación supera los límites indicados aquí para estos elementos, deberá utilizarse un fusible limitador de corriente con capacidad de interrupción de 50kA en serie con los mismos.

NOTA (3) : Los pararrayos deben ser del tipo "heavy duty" y cumplir con la norma ANSI C62.11.

NOTA (4) : Con onda de corriente 8x20 microseg.

Teniendo en consideración la corriente máxima de cortocircuito limitada por la impedancia del transformador y los valores típicos de esta última dependiendo de la potencia en kVA, se definen las siguientes capacidades mínimas de interrupción en kA para disyuntores de BT en transformadores monofásicos de acuerdo con esta norma:

**TABLA No. 2**

<b>POTENCIA (KVA) V2: 120 / 240</b>	<b>POTENCIA (KVA) V2: 240 / 480</b>	<b>CAPACIDAD EN KA</b>
5, 7.5, 10	10, 15	4
15, 25	25, 37.5	7
25, 37.5, 50	50, 75, 100	11
75, 100	167.5	28
167.5	333	30

**4. CARACTERISTICAS MECANICAS, Y/O CONSTRUCTIVAS DE LOS ELEMENTOS DE PROTECCION INCORPORADOS EN UN TRANSFORMADOR AUTO PROTEGIDO:**

a. DISYUNTOR:

El disyuntor debe estar conectado eléctricamente entre la bobina y su respectivo terminal y deberá estar físicamente ubicado en la parte superior del tanque (cuba), de tal manera que su elemento sensor de temperatura (bimetálico) haga el monitoreo de temperatura en la parte superior del aceite, lo más cercanamente posible al nivel superior de temperatura.

El disyuntor deberá ser del tipo monoblock (también llamado BOB o Wall Mounted) o sea totalmente ensamblado junto con la manija externa de operación y su mecanismo de acople, para ser montado en la parte lateral del tanque y no sobre la parte activa del mismo.

El disyuntor deberá poseer un dispositivo de operación manual externa posicionado de forma que no haya interferencias en su operación y que pueda ser accionada también con una varilla de maniobra o pértiga.

El dispositivo de operación del disyuntor deberá estar provisto de dos palancas, una para permitir la apertura y el cierre del disyuntor a través de la varilla de maniobra del tipo de apertura libre y otra para permitir que el disyuntor opere en condiciones de emergencia.

b. FUSIBLE DE MEDIA TENSIÓN TIPO EXPULSION:

Deberá ser instalado en serie con el circuito de media tensión, entre la bobina y el aislador terminal de media tensión y estar protegido de tal manera que en caso de ruptura se evite que el elemento desprendido del cartucho haga contacto con partes aterrizadas del transformador. Debe también estar separado convenientemente de tierra, según recomendación del fabricante, de tal manera que al momento de ruptura, los gases ionizados liberados no hagan contacto con la estructura aterrizada.

Deberá permanecer inmerso en el aceite aislante, bien sea dentro del aislador de media tensión o montado sobre un soporte aislante convenientemente fijado a la estructura metálica del transformador.

c. MECANISMO DE SEÑALIZACIÓN O INDICADOR DE ALARMA TIPO LAMPARA DE SEÑALIZACIÓN O BANDERA:

Es un elemento concebido para facilitar la gestión de Gerencia de carga en la red de distribución y como tal es un elemento que da dentro de unas condiciones pre-determinadas una indicación de condición de anormal de temperatura en el transformador sin desconectar al usuario.

El mecanismo tipo lámpara de señalización deberá alimentarse con tensión a través de un devanado especial que provea entre 4 y 6 voltios. Este devanado deberá estar adecuadamente aislado de los otros devanados del transformador. La luz deberá poderse extraer y cambiar, en caso necesario, desde la parte exterior del transformador, de tal manera que no sea necesario destaparlo. La perforación para instalación de la luz deberá estar ubicada por encima del nivel del aceite y poseer bloqueo anti-giro.

Una vez que se cumpla la condición pre-determinada de operación, el mecanismo utilizado deberá permanecer operado, aunque la condición anormal desaparezca, hasta que sea manualmente restablecido por el usuario con el fin de detectar otras condiciones anormales posteriores. Este posible seguimiento de condiciones anormales de red sin desconexión del usuario forma parte de la filosofía de auto-protección en impulsada por esta norma.

Se recomienda que la Empresa de Energía establezca un seguimiento de la frecuencia de operación de los mecanismos de señalización de condiciones de alarma. Esto facilitará la detección de los puntos críticos de la red, la disminución de las interrupciones del servicio y los cambios a tiempo de equipos que han llegado al tope de su capacidad térmica de carga.

d. PARARRAYOS DE MEDIA Y BAJA TENSIÓN:

El transformador debiera ser suministrado con los dispositivos de fijación del descargador (pararrayos) externo y los descargadores por cada fase, los cuales deberán estar localizados sobre la superficie lateral del tanque de tal manera que se satisfagan las distancias fase-tierra predeterminadas para la tensión de aislamiento.

Debe considerarse también que la distancia entre los terminales de media tensión y del pararrayos no sea mayor a una pulgada. Los descargadores deben venir adecuadamente conectados y listos para uso.

Se recomienda que el fabricante del transformador haga la selección, coordinación y suministro del pararrayos. Esto facilita la aplicación de la filosofía de autoprotección que determina que el fabricante es responsable por las definiciones que tienen que ver con protección del transformador de acuerdo con sus especificaciones de diseño.

Se recomienda que estos pararrayos sean del tipo polimérico y que posean elemento desconectador ubicado inferiormente, así como capacete protector de contacto con animales para evitar fallas a tierra en la parte externa del lado de media tensión.

**e. SISTEMA DE PROTECCIÓN PARA EL DISYUNTOR DE MEDIA TENSIÓN:**

Por su carácter de interruptor en media tensión que debe operar inmerso en aceite, este disyuntor debe ser provisto con un elemento sensor del nivel de aceite que lo proteja evitando su operación en condición de bajo nivel que pueda dejar la cámara de desconexión expuesta a la atmósfera ya que una operación de interrupción en media tensión en estas condiciones conllevaría un riesgo alto de explosión.

**5. CARACTERISTICAS TERMICAS OPERATIVAS DE LOS DISYUNTORES:**

Para proteger térmicamente un transformador se requiere fundamentalmente la definición del nivel máximo y la duración (también máxima) del nivel de sobrecarga previsto en operación. Se requiere también de un nivel de precarga (generalmente por debajo de la potencia nominal) en el cual el transformador se encuentra estabilizado antes de someterse a la sobrecarga. Se recomienda que estos niveles de precarga y sobrecarga se tomen con base en la curva de carga real a la cual se someten los transformadores durante su operación.

Al especificar transformadores autoprotegidos, la Empresa de Energía o el usuario final debe por tanto especificar un nivel de precarga, un nivel de sobrecarga y su duración. Con estos parámetros el fabricante del transformador calcula las condiciones de disparo para 3 pasos básicos operativos.

Deben existir los siguientes pasos básicos operativos en los transformadores autoprotegidos cubiertos por esta norma:

**TABLA No. 3  
PASOS BÁSICOS OPERATIVOS**

<b>PASO</b>	<b>SUCESO</b>	<b>CONDICION DE CARGA</b>	<b>PERDIDA DE VIDA (1)</b>	<b>CONDICIONES LIMITE DE CARGA AL DISPARO</b>
1	ALARMA	CONECTADA	< NORMAL	SUBCARGA (2)
2	DESCONEXION	DESCONECTADA	= NORMAL	CARGA NOMINAL
3	EMERGENCIA	CONECTADA	> NORMAL	SOBRECARGA

NOTA (1): El concepto de pérdida de vida útil en la presente norma se determina según la norma ANSI IEEE C57.91. Se considera como NORMAL, la pérdida de vida establecida por el usuario final. Se recomienda seguir uno de los criterios establecidos en la tabla 2 de la misma norma. En ausencia de cualquier especificación diferente, esta norma asume como pérdida de vida normal 0.0137% por día.

NOTA (2): En algunos casos en los cuales se desea dar prioridad al servicio, puede definirse como punto de disparo de la señal de alarma aquel en el cual la temperatura del transformador indica una pérdida de vida cercana a la NORMAL. En estos casos deberá indicarse claramente las pérdidas de vida esperadas en las condiciones de disparo del disyuntor y en condición de EMERGENCIA. En ningún caso esta última condición puede ocasionar temperaturas de aceite o de punto caliente cercanas a las condiciones máximas definidas en ANSI IEEE C57.91.

En cualquier caso, el fabricante del transformador está en condiciones de especificar claramente, siguiendo la metodología de ANSI IEEE C57.91, las temperaturas del elemento bimetálico y la pérdida de vida en cada una de las 3 temperaturas de operación asociadas a los 3 pasos del cuadro No. 3. con base en los datos de ensayo de calentamiento a 100% de carga y las condiciones de precarga y sobrecarga deseadas.

En ausencia de alguna especificación diferente, las condiciones pre-determinadas de precarga y sobrecarga definen la temperatura de disparo del disyuntor y la temperatura de disparo del indicador de alarma se establece aproximadamente 25 grados centígrados por debajo de esta temperatura.

Se recomienda que en condición de pérdida de vida normal, la temperatura del punto superior del aceite no exceda 110 grados centígrados y que en condiciones de emergencia esta temperatura no exceda los 140 grados centígrados.

Con la palanca de operación de emergencia accionada, la curva de disparo del dispositivo de alarma y de disparo del disyuntor deberá desplazarse hacia arriba (valores superiores) referida a la operación normal del disyuntor en cerca de 20 deg C.

El fabricante de los disyuntores deberá proveer las constantes y los parámetros necesarios para cálculo de la elevación de temperatura del bimetálico en función de la corriente circulante. El anexo 1 de esta norma muestra con ejemplos el cálculo de las temperaturas de operación y las pérdidas de vida de el equipo protegido para cada una de las 3 etapas indicadas en la tabla 3.

Todos los componentes, accesorios y conexiones del transformador deberán soportar las condiciones de carga permitidas por el disyuntor.

## **6. Criterios de coordinación:**

### 6.1 Coordinación entre el disyuntor y el fusible:

El fabricante del transformador deberá seleccionar y coordinar la curva de operación del disyuntor y del fusible, de tal manera que el primero siempre opere cuando se detecte una condición anormal de cortocircuito dentro del rango limitado por la impedancia del transformador.

Cualquier condición de falla a tierra en el interior del transformador deberá ser evacuado por el fusible de MT y en ningún caso por el disyuntor de MT.

Las condiciones de coordinación aquí indicadas deberán ser comprobadas por medio de ensayos. Véase numeral \_\_\_.

#### 6.2 Tiempo de operación fusible MT:

El tiempo de operación del fusible para una corriente de 25 veces la corriente nominal del transformador deberá ser de 2,0 seg. como máximo. No debe presentarse operación del disyuntor de MT durante este ensayo.

#### 6.3 Información de coordinación:

El fabricante de los transformadores deberá proveer los siguientes datos de operación y coordinación de las componentes:

6.3.1 Curvas de operación corriente vs. tiempo (  $I \times T$  ) en carga del disyuntor para las temperaturas de ajuste del bimetálico considerando las temperaturas ambientes y las precargas del numeral 5. La curva deberá ser presentada en el intervalo de 100 a 200% de la potencia nominal del transformador.

6.3.2 Deberá suministrarse la curva de actuación del disyuntor y del fusible seleccionado para condiciones de cortocircuito a 25 deg C. que muestre la coordinación indicada en el numeral 6.1.

6.3.3 Deberá suministrarse la curva de coordinación entre el disyuntor de MT y el fusible de MT de tal manera que se muestre la coordinación indicada en los numerales 6.1 y 6.2.

### 7. Pérdidas en los devanados incluyendo las del disyuntor:

En estos transformadores se considera que el disyuntor hace parte integral del devanado al que se encuentra conectado. Por ello, las pérdidas totales del transformador declaradas por el fabricante deberán incluir las pérdidas que ocurren en el disyuntor en condiciones de carga nominal. En cualquier caso, para estos transformadores se seguirá considerando el límite de pérdidas definido por las normas NTC 818 y 819.

### 8. ENSAYOS DE RUTINA:

#### 8.1 Ensayos de operación del disyuntor:

El transformador auto protegido deberá ser sometido a los siguientes ensayos:

a) Mecánico:

Deberán ser realizadas 10 operaciones consecutivas de apertura y cierre del disyuntor.

b)Automática:

Deberá ser aplicada en el secundario del transformador, una corriente de forma que el disyuntor abra en aproximadamente 20 segundos y verificarse la exitosa operación del disyuntor.

## 8.2. Ensayos especiales:

### 8.2.1. Ensayo de coordinación del elemento fusible y el disyuntor:

Inicialmente el transformador deberá ser calentado aplicándose corriente equivalente al 20 % de su corriente nominal hasta que la temperatura del aceite aislante se estabilice.

Con el transformador calentado, se deberá aplicar tensión nominal en los bornes de media tensión y realizar aplicaciones de corriente de 25 y 12,5 veces la corriente nominal del transformador.

Deberán ser verificados los siguientes parámetros:

- a) Coordinación entre el fusible y el disyuntor.
- b) Tiempo de operación del disyuntor.
- c) Que el disyuntor sea capaz de interrumpir la corriente de cortocircuito.

### 8.2.2. Ensayo de simulación de operación del elemento fusible del transformador y de coordinación entre este y el disyuntor de MT:

Para la realización de este ensayo, deberá aplicarse tensión nominal en los bornes de media tensión y cortocircuitando la BT, de forma que circule una corriente de 25 veces la nominal en el primario del transformador debiendo la corriente ser aplicada hasta que ocurra la ruptura de uno de los elementos fusibles de media tensión. **Durante la realización de este ensayo, el disyuntor de MT no deberá operar ni deberá verse afectado por la corriente circulante permitida por el fusible de MT antes de su operación.** Deberá ser verificado el tiempo de operación de los fusibles.

### 8.2.3 Ensayo de verificación de la calibración del disyuntor:

Deberá ser aplicada una corriente equivalente a las pérdidas totales del transformador, haciendo seguimiento de los valores de temperatura del aceite y la corriente. Después de la estabilización de la temperatura, la corriente deberá ser elevada a un valor igual al porcentaje de sobrecarga especificado en el numeral 5 más 10% de la carga nominal y verificar la temperatura de disparo del disyuntor.

## ANEXO NRO. 1

Ejemplo de selección y coordinación con cálculo de temperaturas de disparo y pérdidas de vida para un transformador de 25kVA 1F.

## ANEXO NRO. 2

Ejemplo de selección y coordinación con cálculo de temperaturas de disparo y pérdidas de vida para un transformador de 75kVA 3F.