

*El transformador
y su entorno,
para una protección máxima*



	pagina
Protección de los transformadores secos encapsulados MT/BT	5
Maniobras repetitivas de disyuntores. Impacto sobre los transformadores	15
Las autoválvulas de MT en los transformadores	23
Los limitadores de sobretensión en BT y los transformadores	31
Transformadores y condensadores de compensación de energía reactiva	37
Los armarios y los transformadores	43
Límites térmicos del transformador	51
El entorno de los transformadores	61
Esfuerzos mecánicos externos aplicados a los transformadores	69
Filtro RC en baja tensión. Impactos de los huecos de conmutación	79
Impacto de la corriente continua sobre los transformadores	89
Ciclos de ventilación forzada de los transformadores	99
Ventilación natural y forzada de transformadores	105

Riesgos en Centros de transformación MT/BT...

Si su instalación no está equipada de:

Su instalación está expuesta a:



Relés de protección numérica para redes de MT.

*T1**

Las sobrecargas de larga duración con elevación de temperatura perjudican los aislantes y a la longevidad del transformador.
Los cortocircuitos provocan esfuerzos electrodinámicos y térmicos, pudiendo dañar los bobinados del transformador.
Los defectos a tierra, entre partes en tensión y masas cercanas, pueden averiar el transformador.
El sobreflujo, resultado de la explotación del transformador con una tensión anormalmente elevada, calienta exageradamente el transformador y lo convierte en un generador de armónicos.



Filtro RC, cuando el proceso implica reenganches repetitivos de los disyuntores.

*T2**

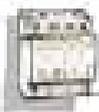
Elevadas sobretensiones en el transformador, por las cuales la estructura aislante interna puede quedar sometida a esfuerzos dieléctricos superiores a los límites de funcionamiento.



Autoválvulas MT en los transformadores.

*T3**

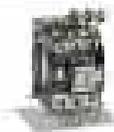
Violentas sobretensiones, pueden superar la resistencia dieléctrica del transformador y producir la perforación de los arrollamientos.



Limitadores de sobretensión BT en el CGBT

*T4**

Las sobretensiones transitorias de origen atmosférico, pueden implicar la perforación dieléctrica de los aislamientos del transformador.



Resistencias de preinserción, cuando la compensación de energía reactiva está próxima al transformador.

*T5**

Los condensadores o el aislamiento del transformador, pueden llegar a perforarse.

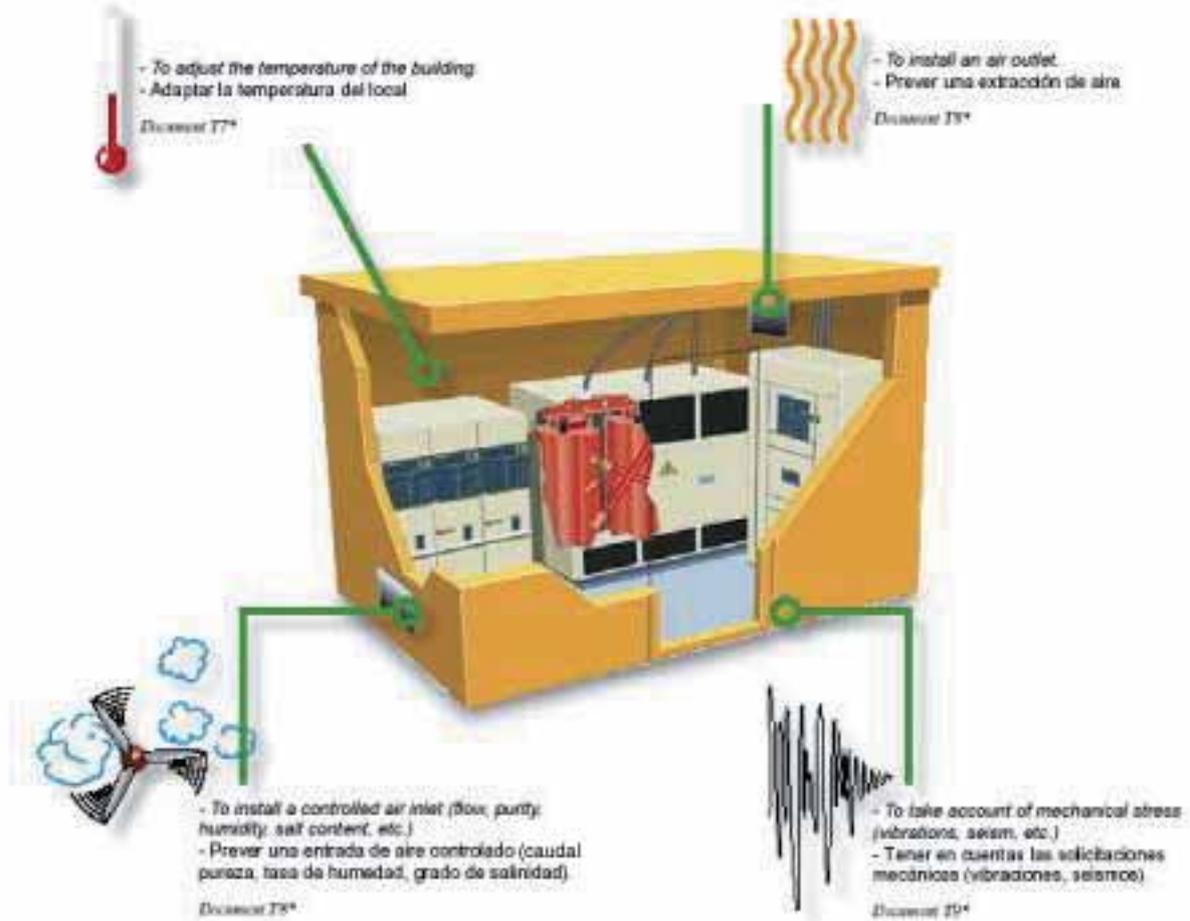
Filtros antiarmónicos

*T6**

Las perturbaciones en los sistemas electrónicos y las líneas con débil corriente, las vibraciones y sobretodo los calentamientos excesivos de los equipos y cables pueden llevar a su destrucción.

Do not forget ...

No olvidar...



Protección de los transformadores secos encapsulados MT/BT



El transformador es un elemento particularmente importante en una red eléctrica.

Es necesario protegerlo eficazmente contra todos los defectos susceptibles de dañarlo ya sean de origen interno o externo

Los principales defectos que pueden afectar a un transformador son

- sobrecargas,
- cortocircuitos (internos o externos),
- defectos a tierra
- sobreflujo

■ La sobrecarga

Las sobrecargas pueden ser debidas al aumento del numero de cargas alimentadas simultáneamente o al aumento de la potencia absorbida por una o varias cargas. Se traduce por una sobre intensidad de larga duración que provoca una elevación de la temperatura perjudicial para la estabilidad de los aislantes y la longevidad del transformador.

■ El cortocircuito

El cortocircuito puede ser de origen interno al transformador o externo.

- interno se trata de un defecto entre conductores de fases diferentes o de un defecto entre espiras de un mismo arrollamiento. El arco de defecto degrada el arrollamiento del transformador y puede conducir a su destrucción. Un cortocircuito violento provoca daños muy importantes que pueden destruir el arrollamiento.

- externo se trata de un defecto entre fases en las conexiones externas al transformador.

La corriente de cortocircuito provoca dentro del transformador esfuerzos electrodinámicos y sollicitaciones térmicas susceptibles de afectar a los arrollamientos y de evolucionar después en forma de defecto interno.

■ Los defectos a tierra

Los defectos a la tierra pueden producirse entre partes bajo tensión y masas cercanas (la envolvente, trenzas de masa de los cables MT, etc...) o entre arrollamiento y núcleo magnético. Como todo cortocircuito, puede causar la destrucción del transformador.

La amplitud de la corriente de defecto depende del régimen de neutro de las redes aguas arriba y abajo. En caso de defecto entre arrollamiento y masa, su amplitud depende también de su posición dentro del arrollamiento

■ en un acoplamiento en estrella, la corriente a tierra varia entre 0 y el valor máximo según que el defecto se produzca en la extremidad del neutro o en las fases del arrollamiento.

■ en un acoplamiento en triángulo, la corriente a tierra varia entre el 50 % y 100 % del valor máximo según que el defecto se produzca en el centro o en una extremidad del arrollamiento.

■ El sobreflujo

El sobreflujo corresponde a la explotación del transformador a una tensión anormalmente elevada que genera pérdidas excesivas en el hierro causando calentamientos importantes y armónicos que presuponen riegos de resonancia.

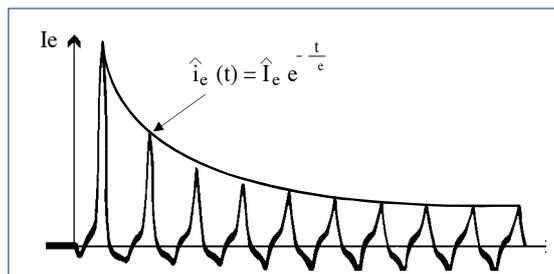
La puesta en tensión de los aparatos

Provoca una sobre intensidad transitoria de conexión pudiendo alcanzar hasta 13 veces la corriente nominal con constantes de tiempo de 0,1 a 0,7 segundos.

Este fenómeno es debido a la magnetización del circuito magnético que provoca la aparición de una corriente magnetizante importante.

La asimetría y el valor de cresta de la corriente son máximas cuando la conexión coincide con el paso por cero de la tensión y cuando la inducción remanente en la misma fase es máxima.

La forma de onda de la corriente es rica en armónicos de rango 2. Este fenómeno corresponde a una maniobra normal de explotación de la red; por tanto no debe ser interpretado como un defecto por las protecciones que deberán dejar pasar este régimen transitorio.



Sobreintensidad debida a la puesta en conexión del transformador

El valor de cresta de la corriente se amortigua según una ley exponencial

$$\hat{i}_e(t) = \hat{I}_e e^{-t/\tau_e} \quad \text{donde:}$$

$\hat{i}_e(t)$ valor de cresta de la corriente en función del tiempo,

\hat{I}_e valor cresta máxima, es decir la primera cresta

τ_e constante de tiempo de amortiguamiento

El valor de cresta máxima \hat{I}_e es definida con relación a \hat{I}_n , valor de cresta de la corriente nominal del transformador

$$\eta_e = \frac{\hat{I}_e}{\hat{I}_n}$$

A título de ejemplo, se adjunta el cuadro de las corrientes de conexión lado alta tensión de los transformadores MT/BT secos TRIHAL

Relación \hat{I}_e / \hat{I}_n y constante de tiempo τ en segundos

Potencia	kVA	250	400	630	800	1000	1250	1600	2000	2500
Um ≤ 24 kV Ucc = 4%	\hat{I}_e / \hat{I}_n	13.0	13.0	13.0						
	τ	0.20 s	0.20 s	0.20 s						
Um ≤ 24 kV Ucc = 6%	\hat{I}_e / \hat{I}_n	10.5	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	9.5	9.5
	τ	0.20 s	0.22 s	0.25 s	0.30 s	0.38 s	0.41 s	0.43 s	0.48 s	0.55 s
Um = 36 kV Ucc = 6%	\hat{I}_e / \hat{I}_n	11.5	11.5	11.5	11.5	11.5	11.5	11.5	11.0	11.0
	τ	0.15 s	0.15 s	0.20 s	0.20 s	0.25 s	0.25 s	0.30 s	0.30 s	0.35 s

Para mayor precisión, consulte la ficha técnica de aparatos estándar o al servicio técnico SCHNEIDER para aparatos especiales.

Estos valores están definidos para la conexión por el arrollamiento de alta tensión (arrollamiento exterior). Los valores son muy superiores si conectamos por el arrollamiento interior (caso de transformadores elevadores, principalmente en MT/MT consulte al servicio técnico SCHNEIDER)

Consecuencias de una desconexión intempestiva en la puesta en tensión del transformador

La desconexión intempestiva en la puesta en tensión del transformador debido a una mala regulación de las protecciones corresponde al fenómeno del corte de una corriente puramente inductiva susceptible de causar fuertes sobretensiones que pueden averiar el transformador.

La sobretensión producida en el momento del arranque de la corriente por el disyuntor procede de los fenómenos transitorios que se desarrollan en las inductancias y las capacidades del circuito. La energía magnética residual en el transformador debe liberarse en forma electrostática, es decir una sobretensión. Por la ley de conservación de la energía $LI_{ch}^2 = \frac{1}{2} C \Delta V^2$, podemos estimar la sobretensión ΔV que aparecerá en los bornes de la carga (cable y transformador).

La sobretensión producida es amplificada por los reencendidos múltiples posibles si el disyuntor es capaz de apagar las corrientes de alta frecuencia con un crecimiento rápido de la rigidez eléctrica en el espacio de corte.

El caso más desfavorable desde el punto de vista de una sobretensión es la desconexión durante la puesta en tensión de un transformador en vacío y sobre una red con una longitud reducida de cable (<100m) entre el disyuntor y el transformador.

Las sobretensiones de alta frecuencia obtenidas en tal caso pueden sobrepasar la resistencia dieléctrica del transformador.

El sobreflujo

Una explotación del transformador a tensión demasiado elevada o a frecuencia demasiado baja provoca una corriente magnetizante excesiva y causa una deformación de corriente rica en armónicos de rango 5.

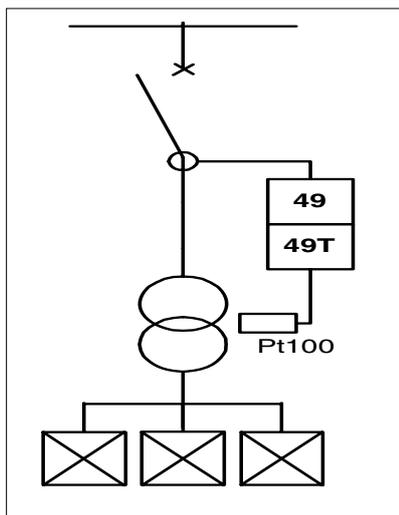
Dispositivos de protección

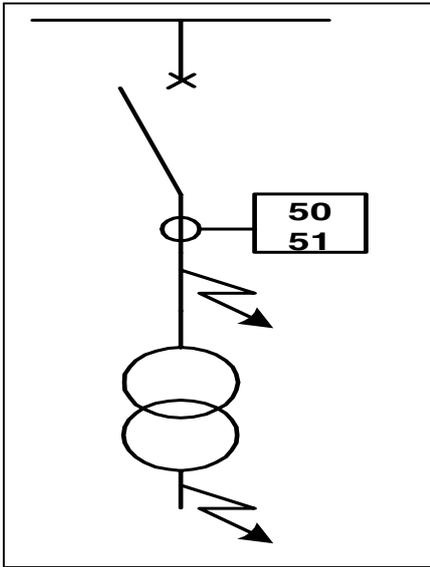
La elección de una protección depende frecuentemente de consideraciones técnico-económicas dependientes de la potencia del transformador.

Protección contra sobrecargas

La sobreintensidad de larga duración es detectada de manera general por una protección de máxima corriente temporizada a tiempo independiente o a tiempo inverso, selectiva con las protecciones secundarias.

Para los transformadores de tipo seco es la temperatura de los arrollamientos la que se vigila para asegurar la protección contra las sobrecargas.





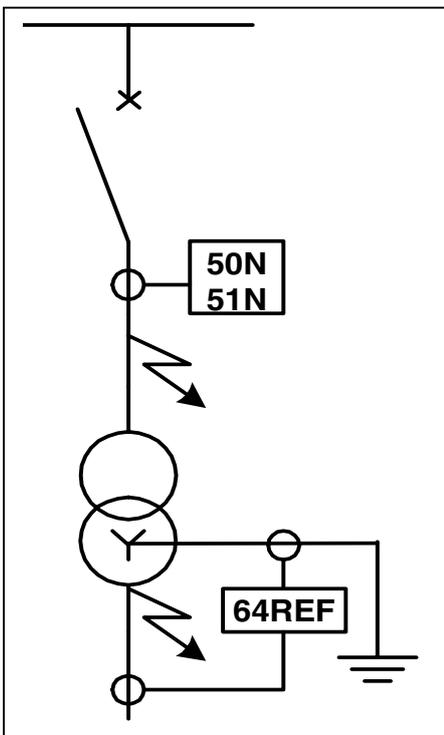
Protección contra los cortocircuitos

Pueden ser utilizadas

- una protección de máxima corriente instantánea asociada al disyuntor situado en el primario del transformador. Está asegura la protección contra cortocircuitos violentos. El umbral de corriente deberá estar regulado a un valor superior al de la corriente debida a un corto-circuito en el secundario la selectividad amperimétrica estaría así asegurada.

- una protección diferencial del transformador que asegure una protección rápida contra los defectos entre fases. Está protección es muy sensible y se utiliza en transformadores de gran potencia.

Para evitar el disparo intempestivo, se procede a la medida del armónico 2 de la corriente diferencial que detecta la conexión del aparato (frenado H2), así como a la medida del armónico 5 que detecta el sobreflujo (frenado H5).



Protección contra defectos a tierra

Pueden ser utilizadas

- una protección de máxima corriente de tierra situada en la red aguas arriba para el defecto a tierra afectando al primario del transformador,
- una protección de máxima corriente de tierra situada en la llegada del cuadro general, si la puesta a tierra del neutro de la red de BT está realizada sobre el juego de barras.

Y también

- una protección de tierra restringida si la puesta a la tierra del neutro de la red de BT se hace al nivel del transformador. Se trata de una protección diferencial que detecta la diferencia de las corrientes residuales medidas sobre la puesta a tierra del neutro de una parte y sobre la salida trifásica del transformador por otra parte.
- una protección de máxima corriente de punto neutro si la puesta a tierra del neutro de la red de BT se hace al nivel del transformador.
- una protección de masa del transformador esta protección de máxima corriente instantánea instalada en la conexión de puesta a tierra de la masa del transformador (si su reglaje es compatible con el régimen del neutro) constituye una solución simple y eficaz contra los defectos internos entre un arrollamiento y la masa; necesita aislar el transformador con relación a tierra.

Esta protección es selectiva sólo es sensible a los defectos de la masa del transformador y si los valores de regulación son elevados.

Regulación de las protecciones

Contra cortocircuitos

1º Calcularemos la corriente de corto circuito trifásico máxima para dimensionar el material disyuntores, cables, captadores, juegos de barras a fin de asegurarse de su comportamiento térmico y electrodinámico.

Para este cálculo se utiliza la potencia de cortocircuito máxima suministrada por el distribuidor de energía y la impedancia mínima de las conexiones calculadas desde el punto de entrega.

I_{cc} corriente de cortocircuito trifásica máxima

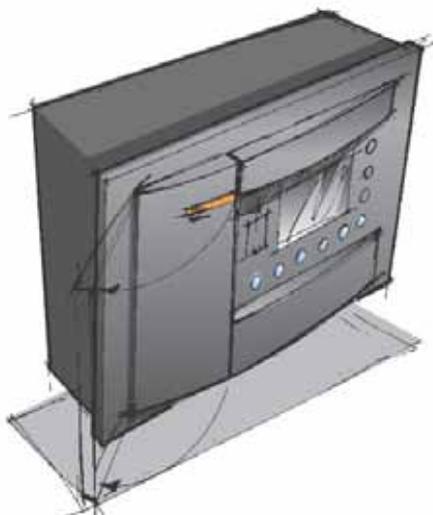
$$I_{cc} = 1,1 \times \frac{S_{cc}}{\sqrt{3} \cdot U_n} \quad \text{con } S_{cc} \text{ potencia de cortocircuito}$$

2º Calculamos la corriente de defecto bifásico mínima. Las protecciones deben ser reguladas para desconectar con la mínima corriente de defecto. Esta corriente de defecto mínima depende de la configuración de la red. Es uno de los resultados del estudio contemplados en el plan de protección.

Utilizaremos la potencia del cortocircuito mínima y la impedancia máxima recorrida por esta corriente.

$$I_{ccb \text{ min}} = \frac{\sqrt{3} \cdot V_n}{2 \cdot Z_d} \quad Z_d \text{ es la impedancia directa máxima de la red}$$

Ajustaremos las protecciones de máxima a $0,8 \times I_{ccb \text{ min}}$



Ejemplo protección a tiempo independiente con doble umbral

La protección con doble umbral permite proteger el transformador contra un cortocircuito en sus bornes aguas arriba o abajo, sin riesgo de disparo intempestivo en el momento de la puesta en tensión del transformador. Además, actúa como apoyo de la protección BT.

Umbral alto

Protege contra cortocircuitos en el lado de MT.

La selectividad con el disyuntor de BT es de tipo amperimétrico. El umbral alto debe ser ajustado de modo que la corriente de cortocircuito mínimo de MT provoque el disparo del disyuntor. Estas dos condiciones imponen al umbral alto respetar la relación siguiente:

$$1,25 \cdot I_{cc, \text{max}, \text{BT}} < \text{umbral alto} < 0,8 I_{ccb \text{ min}, \text{HT}}$$

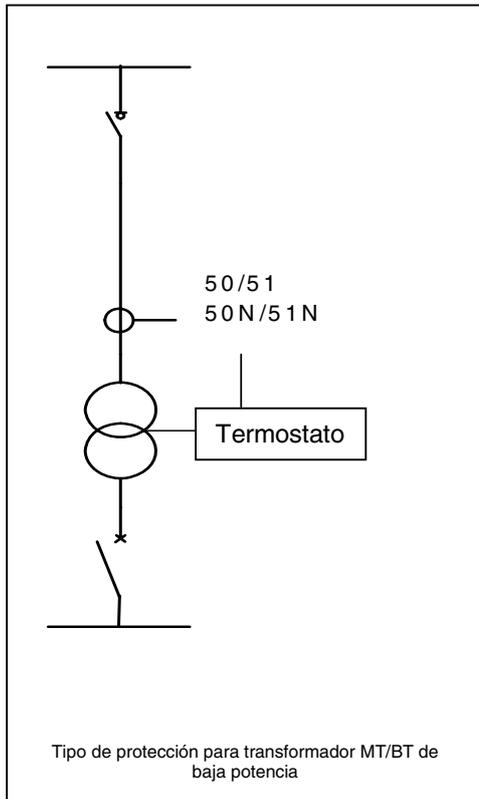
La contemporización puede ser muy corta, por ejemplo, $t = 0,1$ segundos.

Debemos verificar que la protección no está activada en el momento de la puesta en tensión del transformador.

Umbral bajo

Protege contra cortocircuitos del lado de BT en los bornes del transformador o en el disyuntor BT, e interviene en apoyo del disyuntor BT.

La selectividad con el disyuntor BT es de tipo cronométrico. El umbral bajo debe ser inferior al valor mínimo de la corriente vista por la protección de MT en el momento de un cortocircuito en BT, sea $I_{ccb \text{ min}, \text{BT}, \text{HT}}$.



Estas dos condiciones imponen un umbral bajo que respete las relaciones siguientes

$$1,25 \cdot I_{r,BT} < \text{Umbral bajo} < 0,8 I_{ccbmin,BT,HT}$$

$$t_b \geq t_{BT} + \Delta t$$

Es necesario verificar que la protección no está activada en el momento de la puesta en tensión del transformador.

Contra defectos a tierra

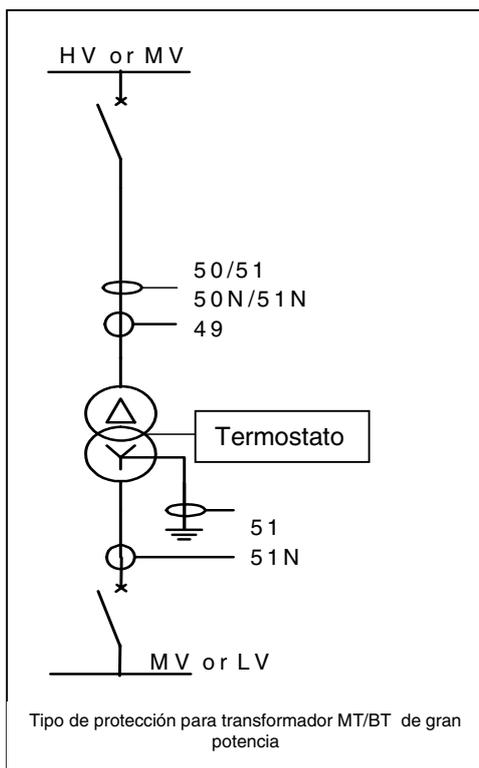
El modo de puesta a tierra del neutro permite limitar o no, la corriente de defecto a tierra en caso de defecto de aislamiento.

Del régimen de neutro dependen la elección y la regulación de las protecciones fase / tierra.

Muchas veces existe una separación entre MT y BT de los transformadores desde el punto de vista de los regímenes de neutro (aislamiento galvánico). En la mayoría de ocasiones suelen ser diferentes.

La protección aguas arriba no protege generalmente contra los defectos en BT (depende del acoplamiento del transformador y del modo de puesta a la tierra).

Aguas arriba del transformador, se suele utilizar una protección de tierra en la línea de alimentación. Esta protege la red y los arrollamientos primarios y puede ser realizada con un transformador toroidal homopolar (recomendada por ser más sensible y menos propicia a disparos intempestivos) por suma de las tres corrientes fase.



Nota si utilizamos la suma de los 3TC para medir la corriente de defecto a tierra, utilizaremos el frenado al 2º armónico para el primer umbral con temporización corta y un segundo nivel con una temporización más larga sin frenado con el fin de evitar los eventuales disparos intempestivos debidos a la saturación de los transformadores de intensidad por la puesta en tensión del transformador.

Aguas abajo del transformador, el numero y el emplazamiento de las protecciones de tierra dependen de la situación y tipo de puesta a tierra del neutro así como del numero de transformadores en paralelo.

Si hay un solo transformador triangulo / estrella con puesta a tierra en el secundario, es necesaria una protección de tierra en dicho secundario para proteger los equipos situados en la red de BT (juego de barras, salidas).

Es necesaria igualmente una protección en la puesta a tierra con el fin de proteger la parte de la red situada aguas arriba de esta llegada (arrollamientos secundarios del transformador, enlaces hacia el disyuntor, impedancia y enlaces de puesta a tierra).

Esta última protección puede realizarse

- por una protección situada en la conexión de puesta a la tierra,
- por una protección de máxima tensión residual
- por una protección diferencial de tierra.

Si la puesta a tierra del neutro está situada a nivel del juego de barras, una sola protección será suficiente en la llegada, siendo considerada como una salida de un generador homopolar.

Recomendaciones de regulación de las protecciones

Defecto	Dispositivo de protección adaptado	Código	Indicaciones de regulación
sobrecarga			
	Temperatura interna Arrollamientos de trafos secos	38 / 49T	Alarma 140°C; disparo 150°C
	Disyuntor BT		Umbral > I _n
Cortocircuito			
	fusible		Calibre > I _n
	Máxima corriente a tiempo independiente	51	1,25·I _{r,BT} < Umbral bajo < 0,8 I _{ccb,min,BTMT} , temporización ≥ t _{BT} + Δt segundos 1,25·I _{ccb,max,BT} < Umbral alto < 0,8 I _{ccb,min,MT} , t = 0,1 segundos
	Máxima corriente a tiempo dependiente	51	Umbral bajo de tiempo inverso selectivo con BT Umbral alto > I _{ccb} BT, instantáneo
	Diferencial de porcentaje	87 T	Pendiente = 15% + extensión de reglaje Nivel míni 30%
Defectos a tierra			
	Máxima corriente de tierra	51N	Umbral ≤ 20% I _{max} defecto a tierra y > 10% calibre TC (si 3TC) Temporización 0.1 segundos si MALT en la red Temporización función de la selectividad si MALT en el transformador.
	Diferencial de tierra	64REF	Umbral 10% I _n , sin temporización
	Máxima corriente de neutro	51N	Nivel 10% I _{max} defecto a tierra temporización selectividad cronométrica con salidas y llegadas
	Máxima tensión residual	59N	Nivel 10% V _r (sea 30% de V _n) temporización selectividad cronométrica con salidas y llegadas

Maniobras repetitivas de disyuntores Impacto sobre los transformadores



Un fenómeno conocido hace tiempo

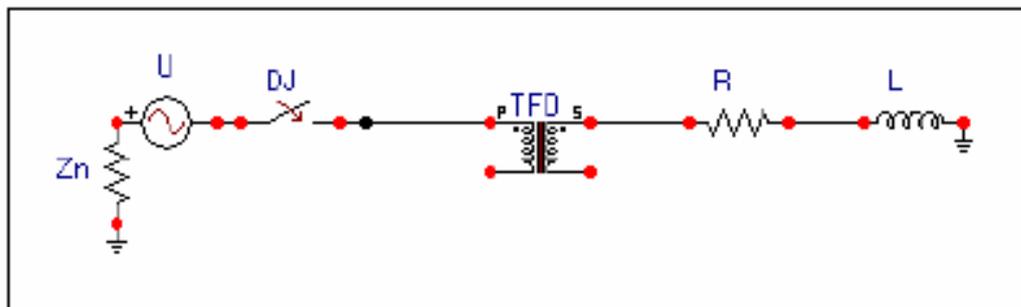
La interacción entre el transformador y disyuntor (particularmente en los disyuntores de vacío) es un fenómeno descrito en la literatura electrotécnica en numerosos artículos (ver bibliografía al final del texto), que explican las múltiples averías sobre los arrollamientos de transformadores.

Todos estos artículos revelan que, en ciertas condiciones, detalladas a continuación, las tensiones transitorias en bornes del transformador son generadas por la interacción entre el transformador, el disyuntor, la carga y el sistema eléctrico. En efecto, durante las maniobras de los disyuntores, se generan ondas de tensión oscilatorias de alta frecuencia y pueden producir sobretensiones importantes en el interior de los transformadores. Este es el resultado de la corriente guillotizada durante la fase de interrupción de la corriente (reencendidos del disyuntor).

Si la tensión transitoria producida por el sistema tiene una componente de frecuencia próxima a una de las frecuencias propias del transformador, la estructura aislante interna del transformador puede estar sometida a unos esfuerzos dieléctricos superiores a los límites de seguridad de funcionamiento del aparato, y a los niveles de ensayos definidos por las normas IEC 726 y IEC 60076.

Explicación del fenómeno

Para explicar mejor el fenómeno, consideremos la red eléctrica siguiente:



Durante la apertura de un disyuntor, la red está separada en dos partes: el lado "Alimentación" y el lado "Carga".

En el lado de alimentación del disyuntor, la tensión sólo contiene la componente fundamental (50 Hz / 60 Hz) en régimen estable. En bornas del disyuntor lado carga, se establece una tensión transitoria en el momento de la redistribución de la energía reactiva en la estructura magnética lado carga y conexiones capacitivas), y la carga. La amplitud y la duración de la tensión transitoria dependen de la amplitud de la corriente cortada por el disyuntor.

El paso por cero de la corriente es el caso ideal. En este caso, si la red es inductiva o capacitiva, una tensión transitoria de restablecimiento (TTR) aparece en las bornas aguas arriba del disyuntor.

La frecuencia o la amplitud de esta tensión TTR pueden tener un nivel suficientemente importante para provocar el reencendido del disyuntor durante la apertura.

En las redes con neutro aislado, la TTR puede ser significativamente grande.

Pero, en general, el disyuntor corta la corriente antes de su paso por cero. Este acto de interrupción prematuro de la corriente puede causar una cantidad de energía substancial en la estructura magnética del transformador. Esta energía resultante es normalmente transferida dentro de la estructura capacitiva del transformador, los cables próximos y la red. La frecuencia de la tensión transitoria es una función de la inductancia y de la capacidad shunt del transformador y de la red adyacente.

Si la tensión aumenta demasiado rápidamente (a causa de la frecuencia y/o de la amplitud de la TTR), el disyuntor se reencenderá.

Estos múltiples reencendidos en un disyuntor de vacío generan ondas repetitivas con un ancho espectro de frecuencias, excitando una de las frecuencias propias del transformador.

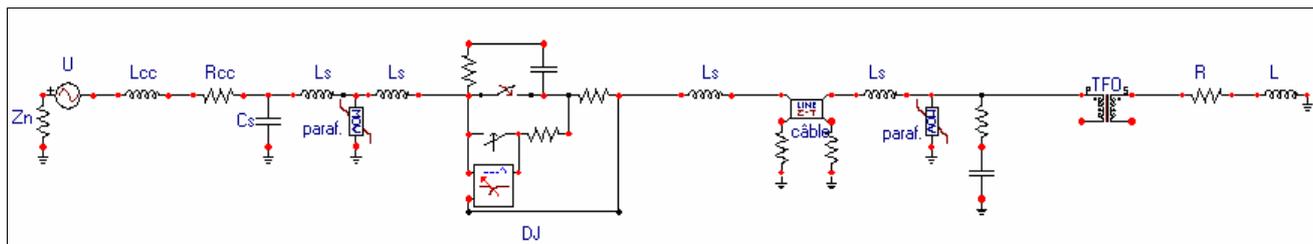
En unas circunstancias desfavorables, los reencendidos múltiples del disyuntor pueden provocar una sobretensión.

Las redes eléctricas "en riesgo"

Las principales configuraciones de estas redes son las siguientes:

1. El disyuntor de MT al vacío está muy cerca del transformador muy débilmente cargado (< 10 % Potencia nominal) o fuertemente cargado inductiva o capacitivamente (grandes longitudes de cables o condensadores al lado del secundario).
2. Las redes con neutro aislado o puesto a tierra por fuertes impedancias pueden igualmente generar sobretensiones transitorias oscilatorias de AF en el momento de maniobras de los disyuntores (vacío).

Para ilustrar el primer caso, se han realizado varias simulaciones de redes eléctricas con el EMTP/ATP según el modelo siguiente:



Características de los elementos de la red:

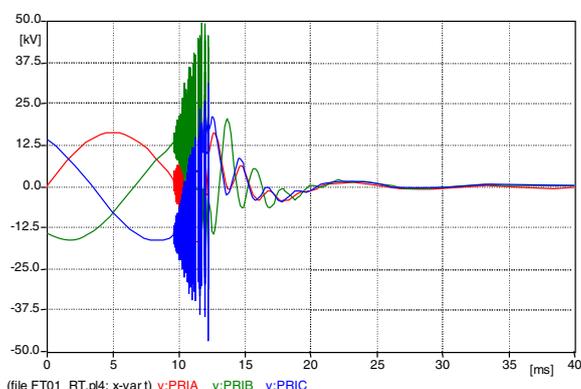
- Pcc red = 60 y 300 MVA
- Disyuntor en vacío = modelo estadístico calibrado sobre ensayos
- Longitud de los cables = 30, 100 y 1000 m
- Potencia transformador = 250, 630, 1000, 1250 y 2500 kVA
- Tensión nominal = 10 y 20 kV
- Carga del transformador = 10 y 50 % de la potencia nominal

Resultados, sin filtro de atenuación

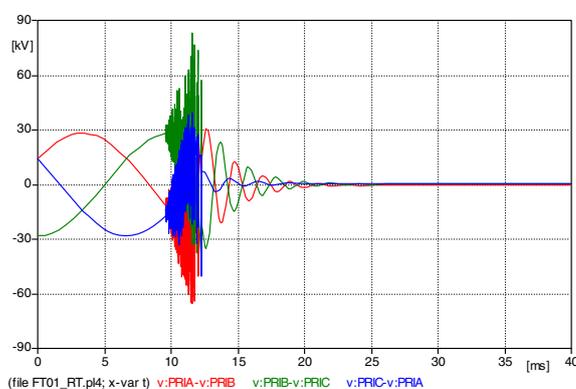
Tensión Red kV	Referencia de la configuración	Configuración detallada				Tensión máx entre-fases transformadores kV
		Cables m	Potencia kVA	Carga %	Pcc red MVA	
20	B23T16M1	30	630	50	300	139
	B26T16M1	30	630	50	60	144
	B23T12F1	30	2500	10	300	134
10	B13T16M1	30	630	50	300	99

Formas de las tensiones MT en los bornes del transformador

Así, para la configuración "B23T16F", se observan las de formaciones siguientes de las señales de tensión, por fase y entre fases:



Tensiones por fase



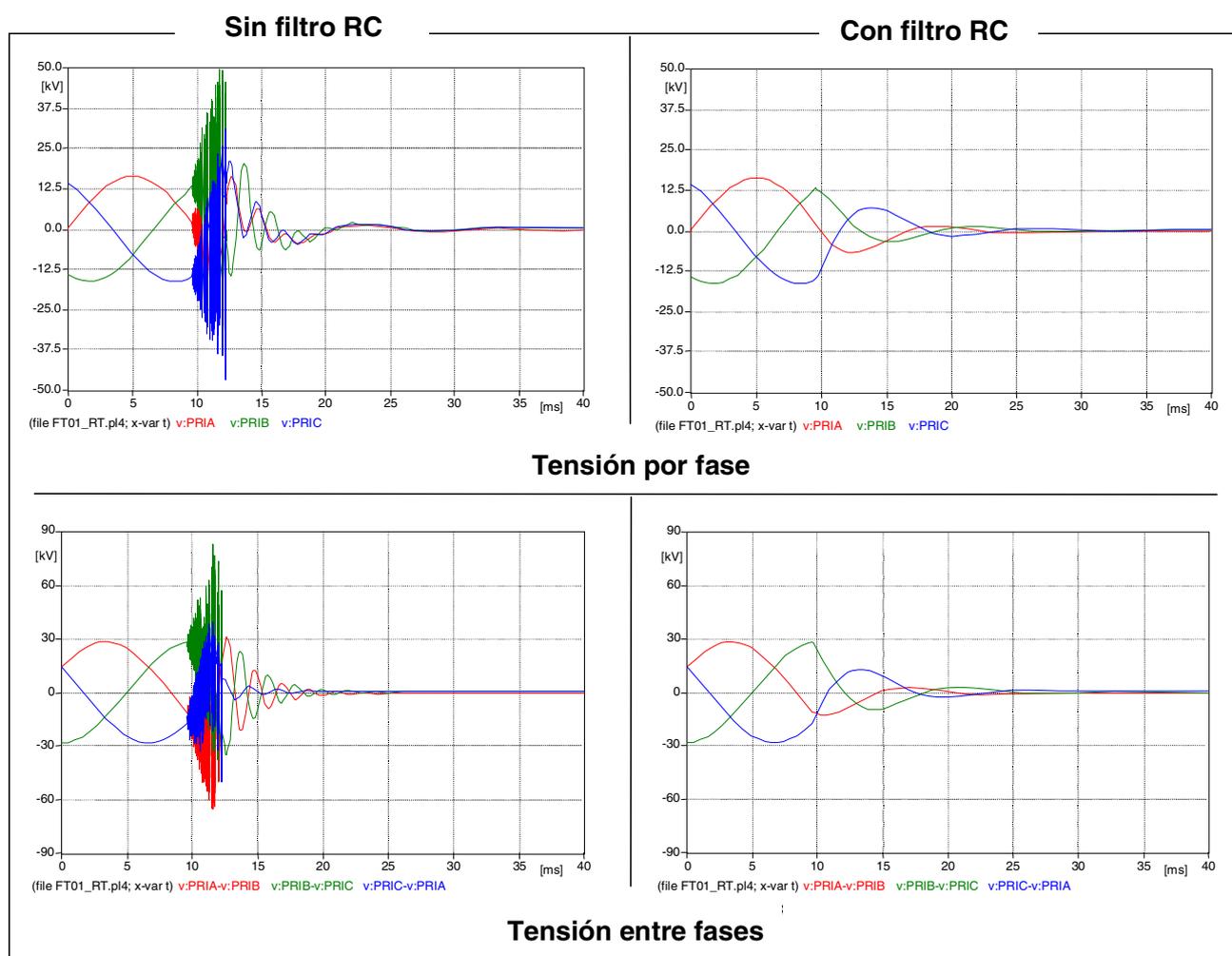
Tensiones entre fases

La solución del problema: el filtro RC

Para protegerse completamente de estas sobretensiones transitorias (con oscilaciones Alta Frecuencia) , la solución ideal consiste en colocar entre fases y tierra un filtro de amortiguación RC. Este filtro RC debe ser colocado lo más cerca de las bornes primarias del transformador. Así el fenómeno alta frecuencia es eliminado y las tensiones a las bornes del transformador son limitadas.

Forma de las señales: influencia del filtro RC

Para la configuración del modelo "B23T16F"
(30 m de cable – transformador 630 kVa – carga 10 % Pcc
Red = 300 MVA):



El filtro RC, un remedio eficaz

Permutación de tensiones en bornas del transformador:

Referencia de la configuración	SIN FILTRO RC		CON FILTRO RC		Δ% Con/Sin Filtro RC	
	Umax. por fase kV	Umax. Entre fases kV	Umax. por fase kV	Umax. Entre fases kV	Umax. por fase %	Umax. Entre fases %
B23T16M1	80	139	35	58	56%	58%
B23T16F1	59	82	22	37	64%	54%
B26T16M1	93	144	35	58	62%	60%
B26T16F1	61	85	22	37	64%	56%
B23T12F1	80	134	31	53	61%	61%
B23T11F1	66	105	24	42	63%	60%
B23K11M1	62	91	35	61	43%	34%
B26T11F1	69	96	26	42	63%	56%
B26K11M1	55	91	36	61	34%	34%
B13T16F1	46	62	18	28	62%	54%
B13K16M1	46	66	26	42	44%	37%
B16T16F1	46	61	18	28	62%	53%
B16K16M1	45	64	26	42	42%	35%
B13T12M1	59	95	22	36	64%	61%
B16T12M1	51	72	23	36	55%	49%
B16T12F1	37	63	10	19	71%	70%
B13T11F1	49	75	21	34	58%	55%
B13K11F1	22	35	15	26	31%	27%
B16T11F1	48	69	21	34	57%	51%
B16K11F1	22	35	15	26	31%	27%

Recomendaciones adaptadas al uso

Configuración transformador / disyuntor	Nuestra recomendación
<ul style="list-style-type: none"> • Maniobras de un disyuntor con un transformador en vacío (secundario abierto) 	<ul style="list-style-type: none"> • Protecciones no necesarias (no hay sobretensiones apreciable generada)
<ul style="list-style-type: none"> • Maniobras de un disyuntor con un transformador en vacío conectado a unos cables BT de gran longitud 	<ul style="list-style-type: none"> • Utilizar Autoválvulas
<ul style="list-style-type: none"> • Maniobras de un disyuntor con un transformador ligeramente cargado ($I < 10\% I_{nomin al}$, $\cos \lambda < 0,3$): <ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> Maniobras involuntarias raras (<2/an) <input type="checkbox"/> Maniobras ocasionales (<10/an) <input type="checkbox"/> Maniobras frecuentes en relación con un proceso, particularmente con: <ul style="list-style-type: none"> ➢ Disyuntor cerca del transformador, muy débilmente cargado (<10% potencia nominal) ➢ Carga fuertemente inductiva o capacitiva (gran longitud de cables o condensadores lado secundario) ➢ Red a neutro aislado o puesto a tierra por grandes impedancias 	<ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> Protecciones no necesarias (probabilidad reducida de sobretensión) <input type="checkbox"/> Protección por autoválvulas fase-tierra <input type="checkbox"/> Filtro RC

Una protección recomendada

• Frente a las sobretensiones (con oscilaciones AF) generadas en los bornes del transformador en el momento de maniobras frecuentes del disyuntor, la solución del filtro RC es la mejor desde el punto de vista de protección y debe ser recomendada.

• Sin embargo en una configuración de red eléctrica menos severa (maniobras ocasionales de disyuntores de tecnología distinta al vacío), puede proponerse la solución de colocar autoválvulas en el primario del transformador.

• Esta solución será menos eficaz que el filtro RC y no garantiza una protección completa. El filtro RC suprime las oscilaciones AF y así los riesgos potenciales de resonancia interna en los enrollamientos de los transformadores.

Bibliographies

- *Detailed study of fast transient phenomena in transformers and substations* – K.V. Leuven Electrical Energy Division / Belgium
- *Application Guide for vacuum switching equipment* - TOSHIBA
- *Overvoltages due to switching off an unloaded transformer with a vacuum circuit breaker* – IEEE, M. Popov / E.Acha - 1998
- *Tensions de commutation dans les réseaux MT: nature, caractéristiques et méthodes pour en prévenir la formation ou en limiter la portée* - CIRED 1989
- *A guide to describe the occurrence and mitigation of switching transients induced by transformer and breaker interaction* – IEEE PC 57.142/D1.3 – USA - 2000

Las autoválvulas de MT en los transformadores



El transformador, un material a proteger

Durante la explotación, la red de distribución eléctrica está sujeta a una serie de solicitaciones externas tales como las sobretensiones. Estas sobretensiones normalmente son perjudiciales para los equipos eléctricos cuando su amplitud es mayor que el nivel de aislamiento para el cual fue dimensionado el material.

El transformador tiene el mismo nivel de aislamiento que el resto de materiales de la instalación pero es mucho más sensible a las sobretensiones. En efecto, el transformador presenta una impedancia de entrada elevada en régimen impulsional y es un componente privilegiado para la reflexión de ondas, por tanto, el transformador, es uno de los elementos más expuestos de la red.

Por tanto conviene proteger el transformador del entorno exterior, con objeto de limitar las sobretensiones a niveles aceptables, es decir, conservando un margen con relación al nivel de aislamiento del aparato: la mejor solución consiste en instalar autoválvulas próximas a los puntos de conexión del transformador.



Resistencia del transformador y las autoválvulas a las sobretensiones

Las sobretensiones, origen del problema

La sobretensión es una tensión de valor anormalmente superior a la tensión de servicio de la red, que puede ser:

- de origen atmosférico, es decir externa a la red,
- como consecuencia de maniobras del aparellaje o a fenómenos de resonancia, en cuyo caso son sobretensiones internas.
- o bien, ligadas a aperturas intempestivas del disyuntor en el momento de la magnetización del transformador.

Sobretensiones de origen atmosférico

Tienen como origen las descargas atmosféricas (rayo) y pueden producirse:

- directamente cuando el rayo afecta a los conductores de la línea de alimentación del transformador,
- indirectamente cuando el rayo afecta la tierra o estructuras metálicas vecinas de la línea, como resultado, genera corrientes inducidas y provoca la elevación del potencial de tierra.

Sobretensiones de maniobra

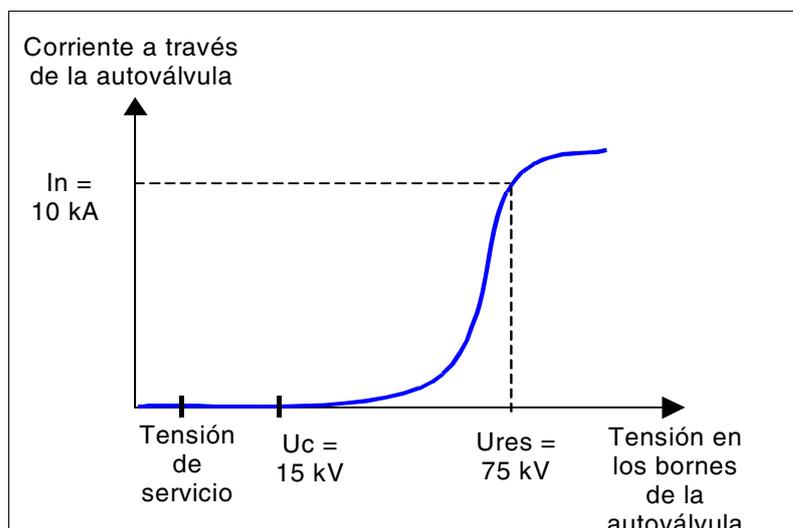
Son debidas a intervenciones normales en las redes, tales como el corte de cargas inductivas o capacitivas por disyuntores o fusibles.

Sobretensiones debidas a aperturas intempestivas durante la conexión

Un mal reglaje de las protecciones, el desconocimiento de las corrientes de conexión, la falta de "frenado H2" en las protecciones, pueden provocar justo después de la conexión, la apertura del disyuntor. Esta apertura intempestiva en el momento de la magnetización del transformador provoca sobretensiones importantes

Las autoválvulas, solución ideal

Las autoválvulas son dispositivos estáticos destinados a limitar la amplitud de las sobretensiones que pueden producirse en un punto determinado de la red.

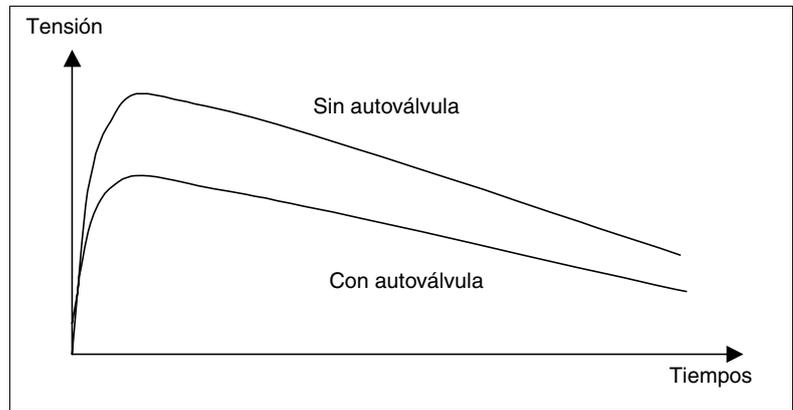


Comportamiento dinámico de una autoválvula

La limitación de las sobretensiones se realiza por la salida de la corriente a tierra a través de la autoválvula.

La autoválvula está conectada permanentemente a la red, próxima a los bornes del transformador. Cuando una onda de sobretensión se propaga por la red con valor superior a su tensión de limitación, la resistencia de ésta se reduce temporalmente, permitiendo la salida a tierra y limitando así la tensión en los bornes del transformador. La autoválvula se convierte espontáneamente en aislante cuando la tensión en la red vuelve a su valor normal.

Esta solución presenta una verdadera ventaja en términos de explotación de la red, ya que no genera interrupciones de servicio.



Comportamiento de las autoválvulas frente a las sobretensiones

La razón de ser y la elección de las autoválvulas

Para justificar las autoválvulas, conviene estimar el riesgo del impacto de rayo a través de diferentes parámetros tales como:

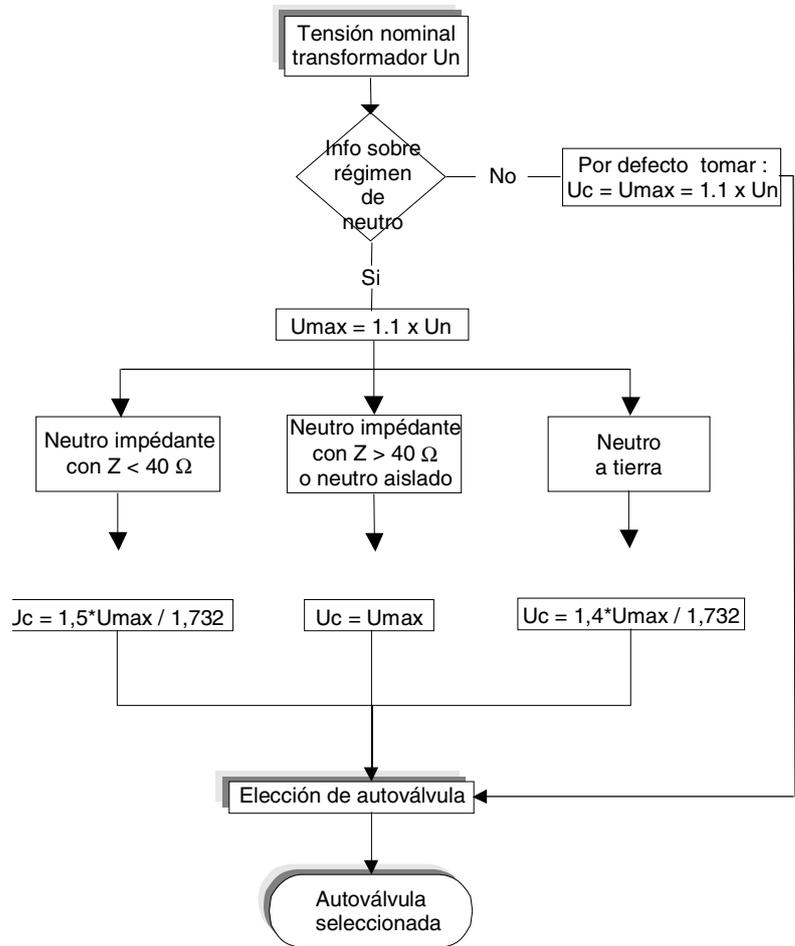
- el nivel cerámico N_k , es el número de días al año en que un trueno es oído en un lugar determinado,
- la naturaleza de la red,
- la topología del lugar.

Para definir una autoválvula se necesitan conocer las características de la red, y particularmente el régimen de neutro que condiciona la elección de la tensión de servicio permanente.

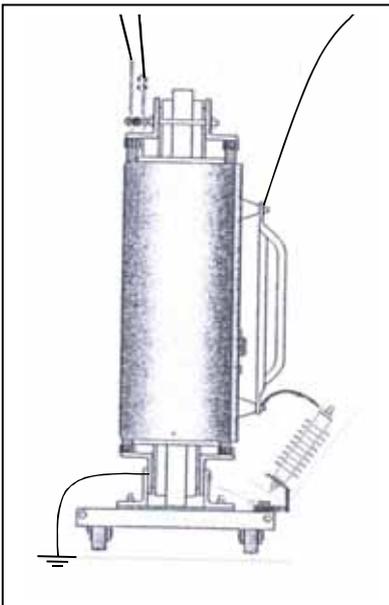
Generalmente los parámetros de la red son desconocidos por el fabricante de transformador; además los cálculos de probabilidad son diferentes según la naturaleza de las redes y de los países.

Los principales criterios eléctricos de dimensionado son:

- la tensión máxima permanente U_c , función de la tensión nominal U_n y del régimen de neutro,
- la corriente nominal I_n (ej: 10 kA)
- la tensión residual U_{res} , a I_n (onda 8/20 μs)
- la línea de fuga.



Organigrama simplificado para la elección de autoválvulas



Instalación ideal de autoválvulas

La instalación

Si la distancia entre el pararrayos y el transformador a proteger es importante, puede producirse una reflexión en los bornes de éste, cuya impedancia es elevada, causando un transitorio muy superior al nivel de protección del pararrayos. En esta situación, el pararrayos no ejerce su función de protección.

En consecuencia, imperativamente hay que:

- **instalar las autoválvulas muy próximas al transformador** (a menos de 10 metros si es posible), incluso directamente sobre éste.
- **realizar el enlace a tierra del pararrayos directamente a la masa del transformador**; así la sobretensión soportada por el transformador será la limitada por las autoválvulas.

Recordamos que la impedancia de un cable de tierra es de $1\mu\text{H/m}$, lo que significa que en el caso de impacto de rayo de $1\text{ kA}/\mu\text{s}$ de frente de subida, la caída de tensión sería de 1 kV/m .

A tener en cuenta:

Instalar autoválvulas si:

-Nk > a 25

- Maniobras de transformadores con carga reducida inductiva

- Alimentación aérea-subterránea

El contador de descargas

La duración de vida de las autoválvulas están limitadas en el tiempo, conviene cambiarlas cuando el número de descargas es superior a 500.

El control del número de descargas puede realizarse por un contador de descargas, instalado en serie con la puesta a tierra del pararrayos.

Conclusiones y recomendaciones

*Es **necesario** instalar autoválvulas fase-tierra en los casos siguientes:*

▶ Cuando el nivel cerámico Nk es superior a 25. El riesgo de sobretensiones atmosféricas directas o inducidas es directamente proporcional a Nk (ej: Indonesia Nk = 180).

▶ En caso de maniobras ocasionales (menos de 10 al año) de un transformador ligeramente cargado o en fase de magnetización.

*Es **muy recomendado** instalarlas en el caso siguiente:*

▶ Cuando el centro está alimentado por una red con partes aéreas, y por un cable de longitud superior a 20m (caso de una red aérea subterránea, alimentación aérea-subterránea).

Los limitadores de sobretensión en BT y los transformadores



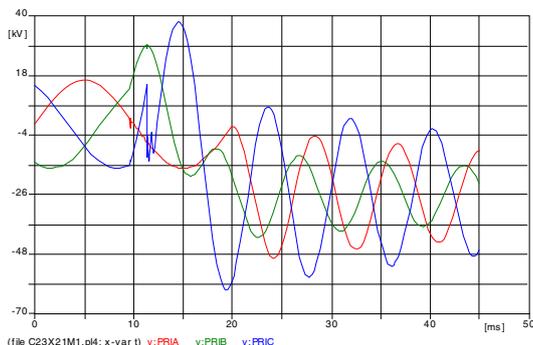
Introducción

Las instalaciones eléctricas están sometidas regularmente a un cierto número de sobretensiones de origen atmosférico o debidas a maniobras vinculadas a la explotación del material eléctrico.

Estas perturbaciones conducen a fallos de funcionamiento o a la destrucción del material. Las consecuencias pueden ser importantes y generar interrupciones de servicio.

El coste de reparación e incluso el reemplazo del material, así como las pérdidas financieras vinculadas a la suspensión de la producción, pueden ser muy elevadas comparadas con los gastos necesarios para disponer de una protección eficaz.

El transformador es uno de los elementos de la red eléctrica, expuesto igualmente a estas perturbaciones, su avería puede ocasionar graves consecuencias. Debe, por tanto, estar protegido con el mismo nivel que los receptores eléctricos o electrónicos, respetando las reglas de coordinación de protecciones.



Las sobretensiones

En una red eléctrica, las sobretensiones que pueden aparecer son generalmente catalogadas en función de su duración, de su frecuencia y de su forma, lo que permite hacer la distinción siguiente:

- Sobretensiones de rayo por fenómenos atmosféricos.
- Sobretensiones de maniobra durante el periodo transitorio consecutivo al funcionamiento de los aparatos de corte.
- Sobretensiones temporales, la mayoría de las veces a frecuencia industrial debidas al funcionamiento de la red.

Sólo se consideran en este documento las sobretensiones de origen atmosférico.

Sobretensiones de origen atmosférico

El rayo es un fenómeno natural cuyos efectos son espectaculares y destructivos.

En España, 1 millón de impactos de rayos causan cada año la muerte de 30 personas, 10 000 animales e inician 7 000 incendios. Provocan 20 000 cortes sobre las redes eléctricas y telefónicas, destruyen numerosos transformadores y millares de aparatos electrodomésticos.

Cuando el rayo impacta sobre una estructura, la corriente de rayo genera una sobretensión de impulso importante

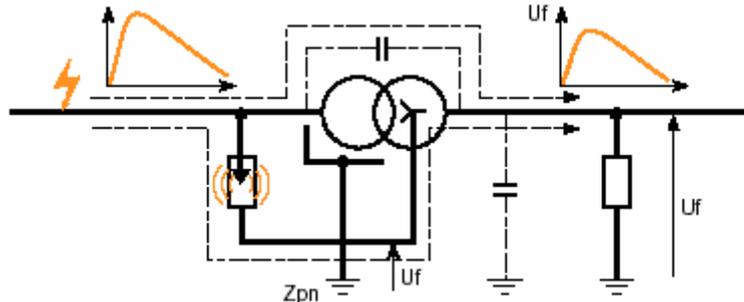
El impacto del rayo con relación al material considerado permite distinguir:

a) **El impacto directo del rayo**, que alcanza directamente las instalaciones eléctricas (líneas aéreas, subestaciones,...).

La instalación de un pararrayos permite captar y llevar a tierra la corriente del rayo y así eliminar los efectos destructivos de la circulación de una fuerte corriente por los conductores.

b) **El impacto indirecto del rayo**, es la manifestación más o menos distante del impacto de rayo directo, bajo uno de los tres aspectos siguientes:

- las sobretensiones conducidas por la red, consecuencia de un impacto sobre las líneas aéreas. Si el impacto ocurre sobre una red de MT, la transmisión por el transformador hacia la BT se realiza por acoplamiento capacitivo.



La transmisión de una sobretensión de rayo, desde la MT hasta la BT, se realiza por acoplamiento capacitivo de los arrollamientos del transformador.

- la elevación del potencial de tierra que tiene lugar cuando la corriente del rayo se ha introducido en el suelo. Esta variación de potencial de tierra compromete las instalaciones industriales cuando el impacto del rayo se origina en las proximidades de la conexión de tierra de la instalación, o en el momento del paso de la corriente de rayo a través de los pararrayos.
- la radiación: el impacto indirecto del rayo puede producir una variación extremadamente rápida del campo electromagnético, que puede ser el origen de sobretensiones inducidas.

La solución a las sobretensiones por rayo: los limitadores de baja

Los limitadores de sobretensión, son considerados como una protección de segundo orden, porque está instalada en interior (en contraste con el pararrayos, protección de primer orden pues está instalado en exterior). Los limitadores de sobretensión, permiten limitar al mismo tiempo las sobretensiones conducidas, las inducidas y los aumentos de potencial respecto a tierra.

Durante una sobretensión, el limitador responde a la solicitud eléctrica disminuyendo su impedancia y derivando así la corriente a tierra con el fin de limitar la tensión a su nivel de protección.

Después de la sobretensión, el limitador recobra su elevada impedancia, de hecho no hay interrupción de servicio durante esta fase.

Los limitadores son elegidos esencialmente en función de su corriente máxima de descarga **I_{max}** (capacidad máxima de absorción del limitador sobre un fenómeno transitorio) y su nivel de protección **U_p** (tensión en bornas del limitador cuando está siendo recorrido por I_{max}). Esta tensión U_p debe ser inferior a la resistencia al choque (ensayo onda de choque tipo rayo) de los materiales a proteger.

Reglas de instalación de los limitadores

Las reglas de instalación siguientes de los limitadores de sobretensión en BT deben ser absolutamente respetadas, si no la protección es totalmente ineficaz:

- se instalan generalmente dentro del cuadro general baja tensión.
- La distancia entre el limitador y el material a proteger (el transformador) debe ser inferior a 30 m.

Conclusiones y recomendaciones

Cada país impone sus condiciones reglamentarias en la materia.

A título de ejemplo, citaremos la evolución normativa aplicable en Francia en el cuadro de la norma nacional NF C 15-100:

Tabla 771D – Condiciones de instalación de los limitadores o autoválvulas

Alimentación del edificio	Nivel isoceraunico(Nk)	
	Nk ≤ 25(AQ1)	Nk > 25(AQ 2)
Edificio equipado con pararrayos	No obligatorio	Obligatorio(2)
Alimentación en BT por línea subterránea o parcialmente aérea(1)	No obligatorio	Obligatorio(2)
Alimentación en BT por línea enteramente subterránea	No obligatorio	No obligatorio

(1) Esta disposición es aplicada cuando las líneas aéreas están constituidas por conductores aislados con pantalla metálica a tierra o conteniendo conductores puestos a tierra.

(2) En todo caso, la ausencia de limitadores será admitida si se justifica por análisis de riesgos según la guía UTE C 15-443

Transformadores y condensadores de compensación de energía reactiva

Precauciones de instalación
en centros interiores de transformación



Ventajas del sistema para centros de interior

Las reducciones de costes son realizadas con centros integrados



La reducción de costes implica la instalación de los condensadores cerca del transformador.

Pero esta implantación puede provocar sobretensiones transitorias importantes.

Disminución de la longitud del cable B.T.

Un centro de interior situado próximo a la carga disminuye la longitud, y por tanto el coste, del cable B.T.

Los transformadores suelen estar instalados al nivel de los cuadros principales y de la carga en redes radiales o en bucle.

Transformador bien integrado en su entorno

El transformador seco encapsulado Trihal tiene excelentes propiedades con relación al incendio, los usuarios lo eligen frecuentemente en grandes edificios, en fabricas de alta tecnología, en edificios de oficinas, en centros comerciales y hoteles.

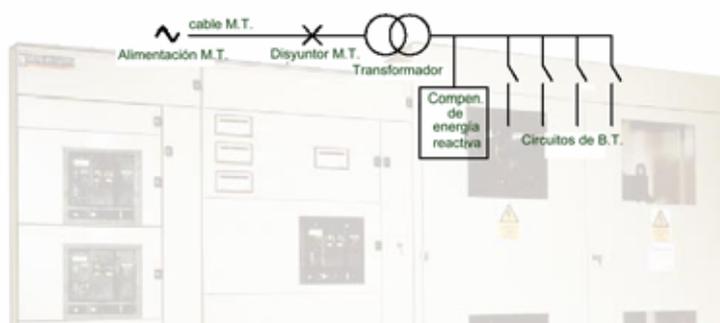
Permite reducir costes de extinción de incendios, alarmas e infraestructuras de obra civil.

Compensación de energía reactiva integrada, conmutación automática de los condensadores

Los sistemas de compensación de energía reactiva Incluyen frecuentemente conmutación automática de los condensadores.

Esto consiste en un dispositivo de mando que calcula el factor de potencia y conecta o desconecta los condensadores por escalones de 30, 50 o 100 kVAr.

De esta manera, es posible corregir el factor de potencia a un valor superior al límite contractual fijado por el distribuidor de energía.



Los puntos a vigilar

Estas sobretensiones pueden provocar la avería de los transformadores y los condensadores

La asociación de un transformador y una compensación de energía reactiva puede provocar averías en los condensadores o en el aislamiento del transformador

Cuando el dispositivo de compensación de energía reactiva está instalado en el mismo cuadro que el transformador, o si está conectado por barras o cables de longitud reducida, la impedancia entre el transformador y los condensadores es muy reducida.

Esto implica puntas de corriente importantes en los condensadores que pueden provocar sobretensiones muy elevadas en los bobinados de alta y baja tensión del transformador.

Estas sobretensiones pueden averiar los condensadores y otros elementos del sistema de distribución.

Esta condición es más rigurosa si el cable de MT entre el transformador y la fuente de MT es largo.

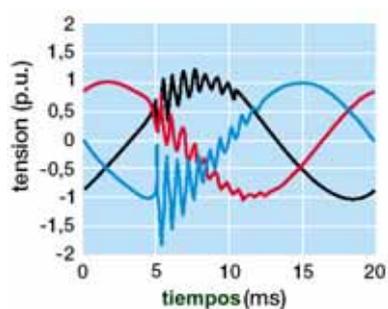
Condiciones propicias a las sobretensiones

Circunstancias	Ejemplos
Períodos de carga reducida	- edificio de oficinas durante la noche - imprenta en la cual las prensas paran entre ciclos - complejo deportivo
Enlace entre la compensación de energía reactiva y los bornes del transformador o el juego de barras, con un cable corto o con barras cortas	- cuadro principal y transformadores en el interior del edificio - cuadro con transformador y dispositivo de compensación de energía reactiva
Conmutación frecuente de los condensadores (tiempo de descarga insuficiente entre la desconexión de tensión y su reposición, es decir inferior a un minuto)	- motores de ascensor o de climatización - arranque frecuente de pequeños motores - reglaje demasiado ajustado en la limitación del factor de potencia
Cable M.T. largo	- edificio de gran tamaño o gran superficie

Schneider Electric ha estudiado este tema y puede proponer soluciones

La solución

Schneider Electric propone soluciones para mejorar la seguridad de los sistemas existentes



sobretensión M.T. = $U_n \times 1,4$ à $2,8$
sobretensión B.T. = $U_n \times 1,9$ à $3,8$



Resistencia de pre-inserción: contactor LC1-D.K

La punta de corriente se reduce gracias a la utilización de un contactor con equipado con resistencias de pre-inserción.

El contactor de Telemecánica LC1-D.K es un dispositivo adaptado y ensayado para este tipo de servicio.

Se han realizado simulaciones en ordenador para diferentes potencias de transformadores para definir el valor óptimo de la resistencia de pre-inserción a instalar.

Esta resistencia está elegida para minimizar el régimen transitorio inicial y el secundario.

Las fuentes de información utilizadas por Schneider Electric proceden de una publicación del CIREN 99 y han sido ratificadas por otros organismos independientes, tal como el CIGRE.

Dichas fuentes han establecido que tales sobretensiones transitorias a altas frecuencias repetitivas pueden dañar el aislante de los condensadores de compensación de energía reactiva o el de los transformadores.

Ha sido probado que este efecto es más severo si el transformador está alimentado por un cable largo de M.T. con carga reducida y con compensación automática de energía reactiva por medio de contactores desprovisto de limitadores de puntas de corriente.

Es muy recomendable equipar la compensación de energía reactiva, si está instalada muy próxima al transformador, con limitadores de puntas de corriente con el fin de reducir las sobretensiones transitorias a un nivel no perjudicial para el transformador.

El contactor LC1-D.K a sido pensado para que las resistencias de pre-inserción sean conectadas únicamente durante los ciclos de cierre y apertura.

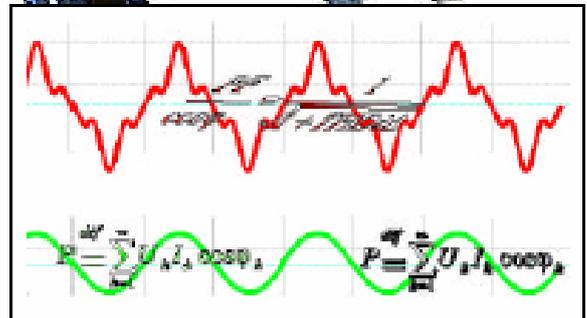
Cuando los contactos principales están cerrados, las resistencias están desconectadas debido a que los contactos auxiliares están abiertos.

Esto permite limitar el tiempo durante el cual las resistencias están insertadas en el circuito, y por tanto la cantidad de calor producida, de manera que se obtiene una gran duración de vida.

El dispositivo ha sido objeto de patente.



Los armónicos y los transformadores



Los armónicos, polución de redes eléctricas

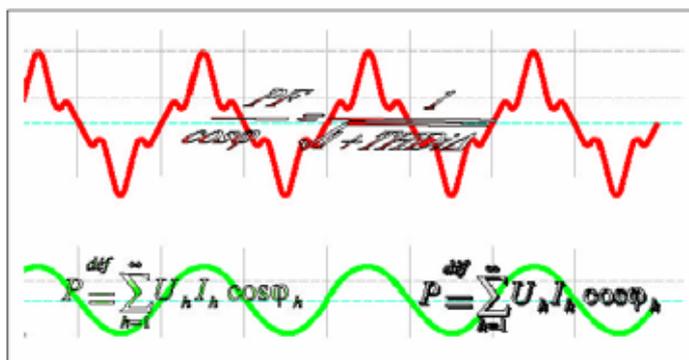
Las redes de BT y MT están sometidas cada vez más a armónicos de corriente y de tensión que las polucionan.

Estos armónicos están generados por cargas no lineales, cada vez más presentes en las redes actuales, cargas que integran variadores de frecuencia, reguladores de corriente continua, hornos de inducción, alimentación de seguridad, iluminación económica y de lámparas de descarga.

Las soluciones preventivas básicas posibles para atenuar los efectos de estos armónicos consisten en:

- posicionar las cargas polucionantes al principio de la red,
- reagrupar las cargas polucionantes,
- separar las fuentes de alimentación,
- utilizar transformadores con grupos de conexión especiales,
- disponer inductancias en la instalación,
- elegir un esquema de conexión a tierra adaptado,

Estos armónicos de corriente y tensión pueden comprometer fuertemente los transformadores, hasta destruirlos.



Soluciones propuestas por Schneider Electric

Frente a este fenómeno, con arreglo al tipo de armónicos y de su importancia, existen 2 tipos de soluciones, a veces complementarias, propuestas por Schneider Electric:

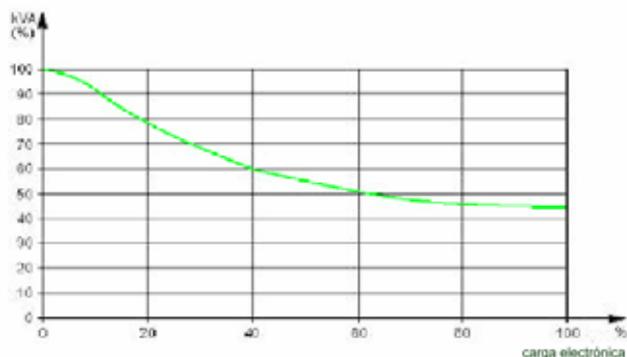
- El sobredimensionamiento del transformador desde su concepción,
- La colocación de sistemas de filtros para proteger la instalación.

Sobredimensionamiento del transformador

Desde un punto de vista térmico, los transformadores deben ser sobredimensionados para tener en cuenta corrientes armónicas que generan pérdidas especiales suplementarias.

En el caso de una red contaminada por armónicos de corriente, los documentos de armonización HD 428 y HD538 definen respectivamente para los transformadores en aceite y secos de distribución ya instalados coeficientes de reducción de potencia determinados a partir de la tasa y rango de los armónicos de corriente.

- La curva siguiente, extraída del proyecto de la Guía de aplicación IEEE 519 de 1996, da la desclasificación típica a aplicar a un transformador alimentando cargas electrónicas



Tasa de desclasificación a aplicar a un transformador que alimenta cargas electrónicas. Ejemplo: desclasificación del 40% si el transformador alimenta el 40% de carga electrónica.

- La norma UTE C15-112 suministra un factor de desclasificación de transformadores en función de las corrientes armónicas

$$k = \frac{1}{\sqrt{1 + 0,1 \left(\sum_{h=2}^{40} h^{1,6} \cdot T_h^2 \right)}}$$

$$T_h = \frac{I_h}{I_1}$$

Valores típicos:

- Corrientes “de forma rectangular” (espectro en $1/h$): $k = 0,86$
- Corriente tipo convertidor de frecuencia (THD @ 50%): $k = 0,80$ (*) en realidad, la forma de la señal de corriente se aproxima a una forma rectangular; este es el caso de todos los rectificadores de corriente (rectificadores trifásicos, hornos de inducción,...)

- La norma ANSI C57.110 define un coeficiente de desclasificación llamado « factor K » por la fórmula siguiente:

$$K = \frac{\sum_{h=1}^{\infty} I_h^2 \cdot h^2}{\sum_{h=1}^{\infty} I_h^2} = \sum_{h=1}^{\infty} \left(\frac{I_h}{I_{\text{eff}}} \right)^2 \cdot h^2$$

este coeficiente de desclasificación factor K, más restrictivo, es muy utilizado en América del Norte.

En el ejemplo siguiente, se obtiene un “ factor K” igual a 13:

Armónico de rango h	Corriente armónica I_h (%)
5	30
7	20
11	14
13	11
17	8
19	7
23	5
25	4

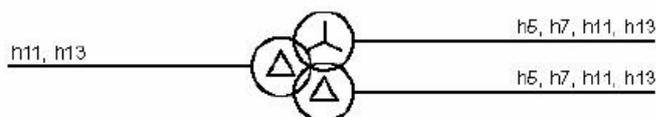
Considerar que el sobrecoste de un transformador dimensionado con dicho « factor K » varía del 30 al 60% dentro de los márgenes de potencias comprendidas entre 15 y 500 kVA.

Esta solución de sobredimensionamiento solo puede ser contemplada cuando es conocida la polución armónica y transmitida al fabricante antes del estudio del transformador.

➤ Otra solución preventiva que puede aplicarse a transformadores consiste en utilizar **transformadores con acoplamientos especiales**, ya que algunos grupos de conexión tienen la propiedad de suprimir ciertos rangos de armónicos.

De forma que:

- un grupo de conexión " **Dyd** " frena los armónicos de rango 5 y 7
- un grupo de conexión " **Dy** " frena los armónicos de rango 3 (los armónicos circulan por cada fase y se cierran por el neutro del transformador).
- un grupo de conexión " **DZ5** " frena los armónicos de rango 5 (que se cierran por el circuito magnético).



La utilización de un transformador " **Dyd** " frena la propagación de los armónicos de rango 5 y 7 aguas arriba de la red

Filtrado de armónicos

Desde el punto de vista dieléctrico, para las aplicaciones con presencia de electrónica de potencia, alimentación de ondulatorios, 2 fases de la red alterna están en cortocircuito durante un tiempo muy breve en cada conmutación.

Las formas de onda de tensión en el lado de MT y BT están deformadas, con aparición de armónicos y valores de (dv / dt) muy elevados debido a los huecos de conmutación.

La presencia de armónicos de tensión debido a los huecos de tensión comprometen fuertemente a los aislantes del transformador.

Estos huecos de conmutación repetitivos (con frecuencia de oscilación de 10 kHz) pueden conducir a un envejecimiento prematuro del transformador o a una resonancia interna con sus arrollamientos cuando las frecuencias coinciden con la de las oscilaciones de los huecos de conmutación.

En el caso donde las acciones preventivas citadas en la introducción son insuficientes, será necesario equipar la instalación polucionada con dispositivos de filtrado.

Tres tipos de filtros suelen utilizarse en función de la aplicación de la fuente de armónicos:

- el filtro pasivo,
- el filtro activo,
- el filtro híbrido.

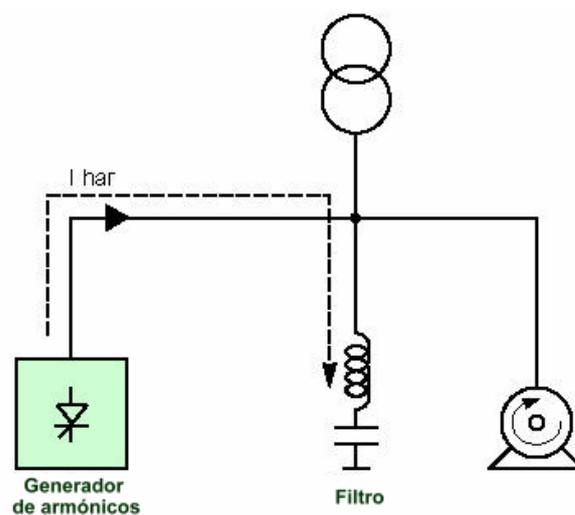
El filtro pasivo:

Aplicaciones típicas:

- instalaciones industriales con un conjunto de generadores de armónicos de potencia total superior a 200 kVA aproximadamente (variadores de velocidad, SAIS, rectificadores),
- instalaciones con compensación de energía reactiva
- necesidad de reducción de la tasa de distorsión en tensión para evitar perturbaciones en receptores sensibles,
- necesidad de reducción de la tasa de distorsión de corriente para evitar sobrecargas.

Principio de funcionamiento

Consiste en un circuito LC sintonizado para cada frecuencia armónica a filtrar, en paralelo con el generador de armónicos. Este circuito en derivación absorbe los armónicos y evita que circulen hacia la alimentación.



Principio de utilización de un filtro pasivo

En general, el filtro pasivo está sintonizado sobre un rango de armónicos próximo al armónico a eliminar. Varias ramas del filtro en paralelo pueden ser utilizadas cuando se necesita una fuerte reducción de la tasa de distorsión en varios rangos.

El filtro activo:

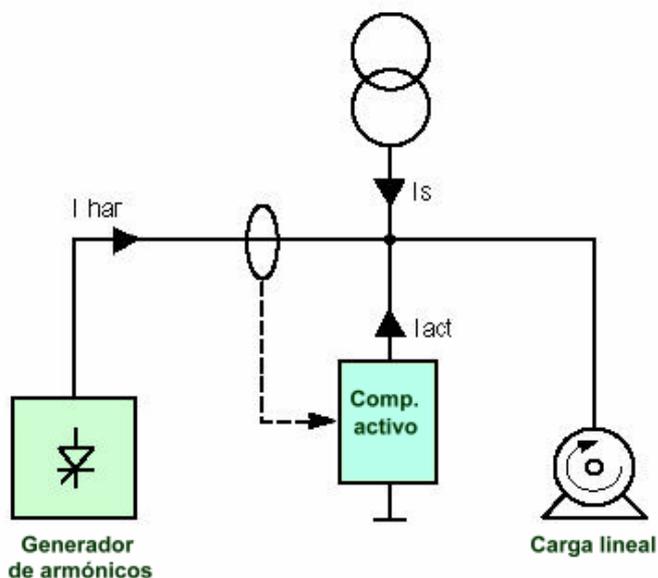
Aplicaciones típicas:

- instalaciones terciarias con generadores de armónicos de potencia total inferior a 200 kVA (variadores de velocidad, SAIS, ofimática,...),
- necesidad de reducción de la tasa de distorsión en corriente para evitar sobrecargas.

Principio de funcionamiento:

Se exponen seguidamente los sistemas electrónicos de potencia instalados en serie o paralelo con las cargas no lineales al objeto de compensar las tensiones o las corrientes armónicas que generan.

La figura siguiente es un ejemplo de filtro activo compensando la corriente armónica: $i_{har} = -i_{act}$



El filtro activo reinyecta en oposición de fase los armónicos presentes en la alimentación de la carga, de tal forma que la corriente de línea sea senoidal.

El filtro híbrido:

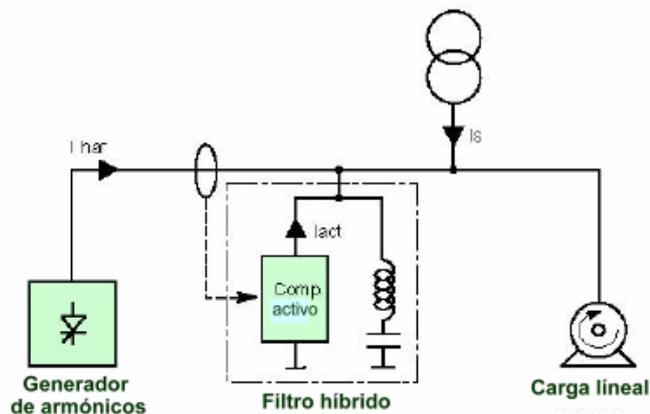
Aplicaciones típicas:

- instalaciones industriales con conjuntos de generadores de armónicos de potencia total superior a 200 kVA aproximadamente (variadores de velocidad, SAIS, rectificadores,...),
- instalaciones con compensación de energía reactiva.
- necesidad de reducción de tasas de distorsión de tensión para evitar perturbaciones en receptores sensibles,
- necesidad de reducir las tasas de distorsión de corriente para evitar sobrecargas,
- Aplicaciones para satisfacer los límites normalizados de emisión armónica
-

Principio de funcionamiento:

Los dos tipos de dispositivos precedentes pueden ser asociados en un mismo equipo y constituir un filtro híbrido: ver figura

Esta nueva solución de filtrado permite acumular las ventajas de las soluciones existentes y cubrir un amplio margen de potencias y posibilidades.



Criterios y guía de elección del filtro:

- El **filtro pasivo** permite a la vez:

- la compensación de energía reactiva,
- una gran capacidad de filtrado de corriente.

La instalación donde este instalado el filtro debe presentar una estabilidad suficiente, con pocas fluctuaciones de carga.

Si la potencia reactiva suministrada es importante, es aconsejable desconectar el filtro pasivo durante los periodos de escasa carga.

El estudio de conexionado de un filtro debe tener en cuenta la eventual presencia de una batería de compensación pudiendo acarrear su inhabilitación.

-El **filtro activo** permite el filtrado de los armónicos en una amplia banda de frecuencias. Ellos se adaptan a cualquier carga.

Sin embargo, su potencia armónica es limitada.

- El **filtro híbrido** reúne el conjunto de posibilidades de los filtros pasivos y activos.

Estos criterios permiten promulgar una guía de elección del filtro, en función de la aplicación requerida:

Tipo de aplicación	Filtro pasivo	Filtro activo	Filtro híbrido
Edificio terciario (Informática, climatización, alumbrado, ascensores)	■	■■■	■■
Industria papel, cartón, plástico (transporte, enrollado, desenrollado)	■■■	■	■■
Industrias tratamiento agua (bombeo, soldadura)	■■	■■■	■■■
Manutención (elevación, grúas)	■■	■	■■■

Legenda:

- : totalmente adaptado
- : totalmente adaptado técnicamente, pero económicamente no optimizado
- : solución satisfactoria

Cualquiera que sea la solución elegida, es muy importante el diálogo entre cliente

y el corresponsal Schneider Electric antes del pedido del material, con objeto de evitar decepciones en su funcionamiento por consecuencias a veces desagradables.



Límites térmicos del transformador



Calentamiento de los transformadores

Sin otras especificaciones por parte del cliente, el transformador está dimensionado para una utilización normal, con un calentamiento que no cause daños a los componentes del aparato.

Para utilizaciones "anormales", es muy importante disponer de una especificación con el fin de diseñar el transformador de tal forma que los sobre calentamientos, creados por estas situaciones anormales, no reduzcan su duración de vida.

Aunque también, es posible no sobre dimensionar el transformador dependiendo de su carga previa con relación a los periodos de sobrecarga.

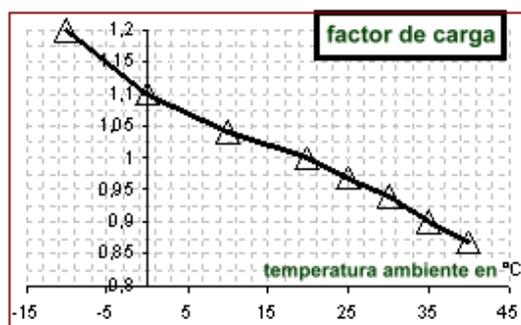
Estas aplicaciones específicas y la solución a los problemas de calentamiento se plantean en este documento.

Temperatura ambiente

Si el transformador esta diseñado para una temperatura " máxima ambiente de 40 °C ", esto significa que el aire de refrigeración, por tanto la temperatura ambiente, no debe sobrepasar en ningún caso :

- 30 °C de media diaria,
- 20 °C de media anual,
- y no debe jamás sobrepasar 40 °C.

De tal forma, si se especifica la temperatura de 50 °C máxima en el pedido, corresponde a una temperatura ambiente aplicable de 40 °C diaria y 30 °C anual..



Ejemplo de un transformador previsto para un ambiente máximo de 40 °C :

- Sobrepasando en 5°C la temperatura ambiente, la norma prevé un factor de desclasificación de 0.97 para un funcionamiento continuo del transformador sin disminución de la duración de vida. Un transformador de 1000 kVA deberá entonces desclasificarse a 970 kVA,
- sin embargo, para un ambiente inferior de 10 °C este mismo transformador podrá funcionar a 1040 kVA.

¡Atención! La temperatura ambiente debe ser respetada, aún así esto no es suficiente, es necesario además dimensionar adecuadamente el local, particularmente cuando la concepción de las aberturas de ventilación están dispuestas en las paredes con el fin de evacuar el calor generado por el transformador en funcionamiento!

La norma CEI 905 (UNE 20182) indica los factores de carga aceptables en régimen continuo a diferentes temperaturas ambientes.

De esta forma, un transformador fabricado para una temperatura ambiente dada puede ver aumentada su potencia si la temperatura ambiente disminuye. Por el contrario, si la temperatura ambiente aumenta, disminuye la potencia del transformador.

La temperatura del aire ambiente no debe ser inferior :

- a - 25 °C para aparatos de tipo exterior.
- a - 5 °C para aparatos de tipo interior.

Sobrecargas de explotación

Sobrecargas de corriente

Arranque/bloqueo de motores eléctricos :

En el arranque, los motores necesitan una corriente superior a la nominal durante algunos segundos.

Estos arranques son a menudo repetitivos si el transformador en estas condiciones, no está debidamente sobredimensionado puede verse seriamente sobrecargado.

De la misma forma, el motor bloqueado provoca una corriente muy importante y la duración del bloqueo provoca una sobrecarga más o menos prolongada.

Armónicos

Las cargas inductivas, los rectificadores y la mayoría de los convertidores inducen armónicos y tasas de distorsión que pueden ser bastante elevadas.

Las papeleras en general se caracterizan por generar este tipo de fenómenos (picos de tensión para el corte de papel)
Esto supone una desclasificación de potencia del transformador.

Cortocircuitos

Forma parte del dimensionado nominal del transformador cuando no excede una duración de 2 segundos (según CEI 60076-5).

Más allá de este tiempo normalizado, se pueden generar sobre calentamientos muy importantes.

Conexión

Está integrado en el dimensionado nominal del transformador, mientras ocurra de modo ocasional.

Sin embargo, las puestas en conexión frecuentes, pueden generar sobrecalentamientos

Sobrecargas de tensión

Sobre-inducción

Pueden suceder cuando el transformador funciona en una posición de las tomas de regulación no adaptada a la tensión de la red.

Esto conduce ineludiblemente a una sobre inducción : las pérdidas generadas por el circuito magnético del transformador aumentan considerablemente e implican un sobre calentamiento.

Frecuencia

Cuando la frecuencia de la red es inferior a la frecuencia que ha sido determinada en el dimensionado del transformador, se produce sobre inducción, con las mismas consecuencias que precedentemente. Aunque este fenómeno ocurre raramente.

Armónicos

En presencia de armónicos de tensión, las pérdidas generadas por el circuito magnético aumentan, debido al sobrecalentamiento del núcleo y del bobinado de BT.

Sobrecalentamientos ligados a la temperatura ambiente y la ventilación del local

Si se sobrepasa la temperatura ambiente normalizada y no se respetan las reglas de instalación y concepción del local, el transformador se sobrecalentará.

Sobrecalentamientos : Consecuencias y soluciones

Los fenómenos térmicos en los transformadores

El transformador está compuesto de un circuito magnético, donde se generan las pérdidas en el hierro y los bobinados (MT y BT) donde se desarrollan las pérdidas Joule: todas estas pérdidas son fuentes de calor para el transformador.

Envejecimiento/compensación de los sobrecalentamientos

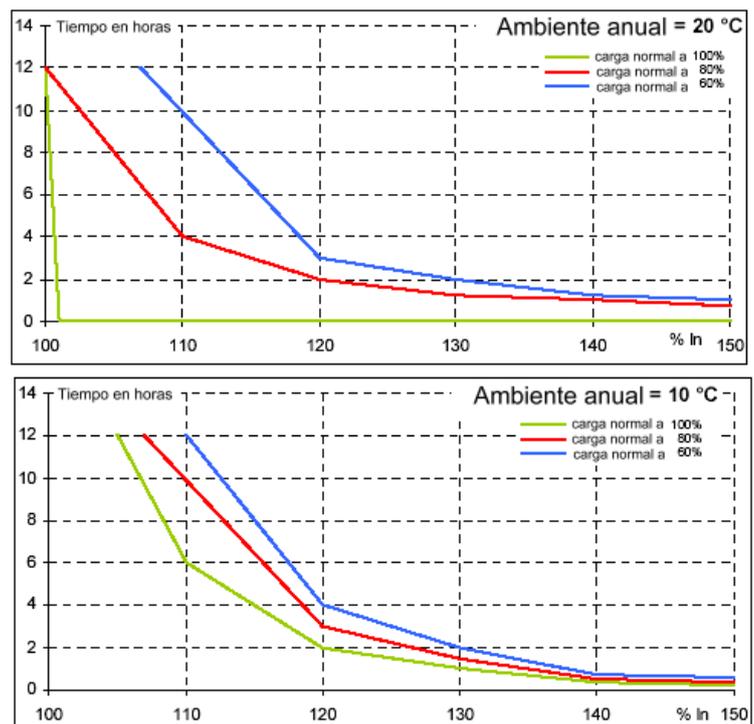
La constante de tiempo de calentamiento es por término medio del orden de las 2 horas pero varía alrededor de este valor de un transformador a otro.

Consecuencias de los sobrecalentamientos

- dilataciones, incluso grietas en los materiales.
- Degradación de las propiedades dieléctricas de los aislantes.
- Envejecimiento prematuro de componentes, concretamente los aislantes utilizados en los bobinados. En efecto, cada vez que el transformador se sobrecarga (ambiente, corriente, tensión) con relación a su funcionamiento nominal, existe sobrecalentamiento, y por tanto reducción en su duración de vida.

Si el transformador trabaja desahogado de carga (temperatura ambiente baja, corriente inferior a la nominal,...) durante un periodo prolongado, será posible sobrecargarlo más allá de los límites nominales normalizados (hasta los 190 °C del punto más caliente).

Tipo de sobrecarga cíclica sin pérdida de duración de vida :



Limitaciones normalizadas de calentamientos

La norma CEI 726 limita el calentamiento medio del transformador en régimen nominal estabilizado mientras que la guía de carga CEI 905 limita la temperatura máxima del punto más caliente de los arrollamientos durante las sobrecargas del transformador. Según estas normas, las temperaturas admisibles son de :

- Para los bobinados :
 - 145 °C en régimen estable para una temperatura ambiente anual de 20 °C (lo que corresponde a una temperatura de 155 °C diaria y no sobrepasando en ningún caso 165 °C). El calentamiento medio de los bobinados está limitado en tal caso a 100 K con el régimen asignado.
 - 190 °C máximo en sobrecarga sin sobrepasarlo en ningún caso
- Para el circuito magnético, las partes metálicas y otros materiales adyacentes, la norma prescribe : “ la temperatura no debe, en ningún caso, alcanzar un valor tal que perjudique al circuito magnético u otros materiales adyacentes”

Circulación de aire en el CT.

Según el emplazamiento de los transformadores, la circulación de aire se efectúa de forma diferente ; si uno de los transformadores está más cerca de la entrada de aire fresco estará mejor refrigerado que el que este más alejado de esta entrada. Indicamos seguidamente algunas indicaciones para refrigerar adecuadamente los transformadores.

Principio del efecto chimenea :

El aire caliente es menos denso que el aire frío por lo tanto asciende ; el aire caliente que se desprende del transformador se eleva hacia el techo del local. Una ventilación eficaz consiste en la capacidad de impulsar el aire caliente hacia lo alto del local; para ello, la entrada de aire frío debe situarse lo más bajo posible y la salida del aire caliente lo más alto posible y sobre el muro opuesto.

Además, cuanto más altura exista sobre el transformador más importante es la cantidad de aire que se eleva y mejor es la refrigeración del transformador.

Disponer la entrada de aire frío por encima del transformador impide la salida del aire caliente del transformador (efecto tapón). La consecuencia es la elevación peligrosa de la temperatura del transformador.

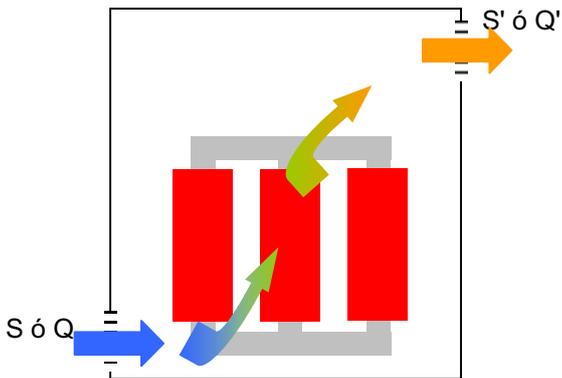
Concepción de los locales :

Con el fin de obtener la refrigeración adecuada de los transformadores, les recomendamos las siguientes consideraciones para una buena ventilación de los aparatos : es conveniente respetar algunas reglas:

- cualquiera que sean las dimensiones del local
- que la ubicación de los transformadores sea o no en celdas

estas recomendaciones no son específicas; estas se aplican en electrotecnia en general: permiten la utilización optima sin degradación de todo el aparellaje eléctrico y evitan las situaciones de sobre calentamiento que provocan la degradación de los aislantes y un envejecimiento prematuro.

Una buena ventilación del local tiene como finalidad el disipar las calorías producidas por las pérdidas totales de los transformadores en funcionamiento y de los aparatos situados en el mismo lugar. Para ser eficaz, las aberturas inferiores (entrada de aire fresco) deben estar situadas cerca del transformador y lo más bajas posible y las aberturas superiores (salida de aire caliente) lo más alto sobre el muro opuesto.



En funcionamiento nominal dentro de las condiciones normales, los transformadores disipan P kW

Una ventilación natural necesitará una entrada de aire fresco de S m² y una salida de aire caliente de S' m² suponiendo que existe H metros de altura libre sobre el transformador. Es inútil prever una extracción de aire caliente si estas dimensiones se respetan.

Cuando no sea posible realizar estas aberturas, deberá practicarse una ventilación forzada el caudal de entrada será entonces Q m³/h y la extracción de aire caliente de Q' m³/h, igualmente situados respectivamente abajo y arriba en oposición.

Es igualmente posible una combinación de ambos: sea respetando la superficie de entrada y el caudal de aire de salida, sea respetando el caudal de entrada y la superficie de salida del aire.

$$S = \frac{0.18P}{\sqrt{H}}$$

$$Q = 0.081P$$

$$S' = 1.1 \times S \quad Q' = 1.1 \times Q$$

$$P \text{ (kW)}, S \text{ (m}^2\text{)}, Q \text{ (m}^3\text{/s)}$$

El transformador en esta configuración funciona a :

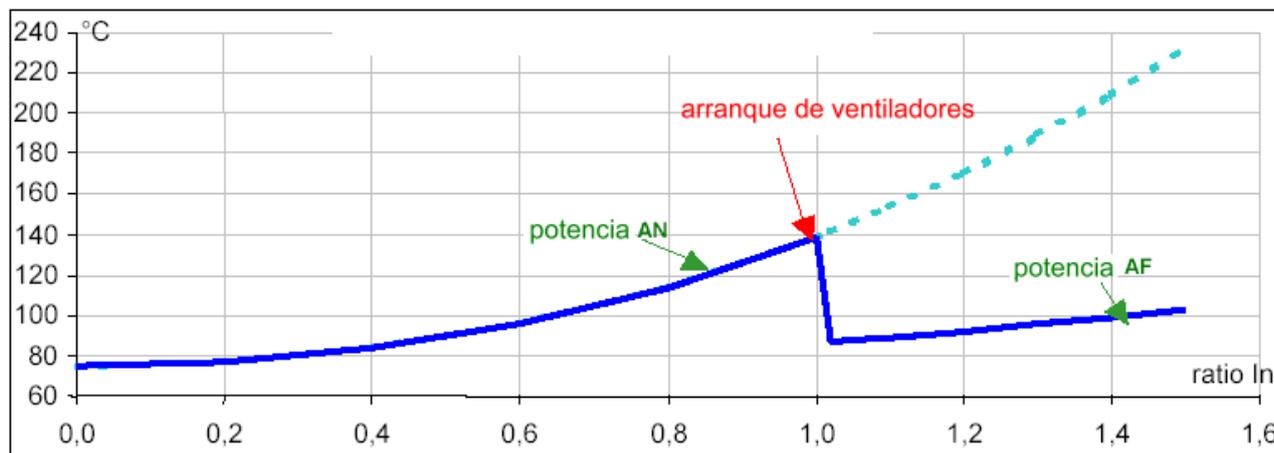
- 100 K de calentamiento medio en funcionamiento nominal para transformadores secos
- 65 K de calentamiento medio en los arrollamientos y 60 K en el aceite en funcionamiento nominal para los transformadores sumergidos.

La protección térmica

En opción se propone una protección térmica que asegura una vigilancia permanente y automática del transformador. Esta protección está diseñada para un funcionamiento permanente en régimen nominal del transformador y da respuesta a las sondas destinadas a proteger el transformador y medir la temperatura del punto más caliente del bobinado: las normas CEI 726 y 905 precisan las temperaturas de los bobinados, las sondas se instalan en el centro mismo de los bobinados de BT para captar la temperatura interior de los bobinados: los umbrales de alarma y

disparo están adaptados en consecuencia y son tratados por un convertidor electrónico que pondrá en marcha las acciones adaptadas al nivel de temperatura alcanzado.

La figura representa una curva teórica de temperatura de la sonda situada en el canal de BT : se trata de un ejemplo real. Estos valores son válidos para una temperatura ambiente de 30 °C (para un transformador dimensionado para 40 °C máx.) y una instalación que permite una refrigeración óptima del aparato.



Temperatura de sondas PTC en el canal del bobinado de BT.

Conclusiones

Los efectos térmicos, ligados al sobrecalentamiento de los transformadores, cualquiera que sea su origen, son determinantes en cuanto al funcionamiento y a la duración de vida del material. Es necesario tenerlos en cuenta en el momento de la fabricación del transformador y sobre todo no olvidar las soluciones siguientes:

- la concepción apropiada del local de ubicación del transformador (altura, espacio libre alrededor del transformador, sección y emplazamientos de las aberturas de aireación).
- La puesta en marcha de una vigilancia permanente de la temperatura de los bobinados, entraña el funcionamiento de los dispositivos una vez se alcanzan las temperaturas máximas.
- La instalación de ventiladores, definidos por el fabricante y adaptados al transformador, paliar los efectos de las sobrecargas eventuales, permitiendo determinadas sobrecargas.

De aquí la importancia de un compromiso entre el usuario y el fabricante para definir las características del transformador, para evitar problemas térmicos durante la explotación, con las nefastas consecuencias que hemos indicado.



El entorno de los transformadores...



Introducción

Como todo material, los transformadores están expuestos al medio ambiente que influye sobre su envejecimiento y su funcionamiento, las agresiones extremas, pueden llegar a destruirlos si estas se mantienen durante mucho tiempo.

Es importante recordar algunas reglas y tomar precauciones para proteger los transformadores de las agresiones de todo tipo, tanto si el transformador está o no en servicio.

Este es el motivo de este documento.

Los agentes agresivos del medio ambiente

El transformador Trihal, como cualquier otro, sufre las agresiones físicas y químicas que dependen de la calidad de su medio ambiente. Las agresiones potenciales son:

- la humedad
- la polución física (polvo, arena) y química (vapores),
- el viento.

Estas agresiones pueden producirse durante el almacenaje o durante el funcionamiento del transformador.

Para determinar el tipo de entorno ambiental de una instalación, es posible dirigirse al conjunto de normas IEC 60721 que tratan de la clasificación de los agentes del medio ambiente y de su severidad.

En periodo de almacenamiento :

Durante el almacenamiento, el transformador está a la temperatura ambiente. Sus materiales aislantes son susceptibles de ser atacados por la humedad ambiente:

- absorción de humedad por el material,
- condensación superficial.

Esto puede conducir a riesgos de cebado de arco en la puesta en tensión del transformador. Es conveniente, por tanto, limitar la humedad relativa por debajo del 90% durante el almacenamiento, y asegurarse de la ausencia de condensación antes de la puesta en tensión.

En funcionamiento :

El transformador puede estar expuesto a diferentes agresiones cuando está en servicio:

La fuerte humedad ambiente

A pesar de un funcionamiento de los arrollamientos a una temperatura superior a la del ambiente, una concentración muy elevada de humedad

puede entrañar absorción de humedad en los aislantes y comportar una disminución de sus características dieléctricas.

El polvo conductor

Si se acumulan en los arrollamientos de MT bajo los efectos del campo eléctrico pueden provocar la reducción de las líneas de fuga dieléctricas, favoreciendo el cebado del arco.

Los vapores de hidrocarburos (vapores de aceite de corte, etc...)

Bajo los efectos del campo eléctrico, estos hidrocarburos se concentran al rededor de los arrollamientos de MT.

Una vez depositados en sus superficies, estos hidrocarburos pueden evolucionar químicamente a causa de la temperatura de las bobinas, particularmente en su parte superior, y formar depósitos que actúan desfavorablemente sobre los campos eléctricos superficiales de la bobina, favoreciendo los cebamientos de arco. La presencia de estos depósitos pueden también propiciar la acumulación del polvo conductor.

La polución química

Ciertas sustancias químicas originadas por polución pueden provocar modificación superficial de los aislantes por ataque químico. Este ataque químico está influenciado por ciertos factores como la humedad, la temperatura. Estas modificaciones de la superficie de los aislantes puede conducir a una degradación de las características eléctricas: modificación progresiva de la resistencia.

El polvo, la arena, la niebla salina, con el viento

Los efectos de estos agentes naturales del medio ambiente están estrechamente asociados con el viento, y a veces agravados por el viento.

Ellos pueden afectar a los transformadores de diferentes maneras :

- penetración de polvo en las envolventes,
- degradación de las características eléctricas, malos contactos, modificación progresiva de la resistencia,
- agarrotamiento o perturbaciones en los ventiladores,
- abrasión superficial de los aislantes que pueden provocar modificaciones de resistencia con la humedad,
- presencia de polvo conductor: se acumulan en las bobinas de MT bajo los efectos del campo eléctrico, pueden dar lugar a la reducción de las líneas de fuga y favorecer el cebado del arco,
- obstrucción de las aberturas de ventilación.

Las atmósferas húmedas y el calor junto con el polvo químico provocan corrosión, al igual que la niebla salina.

El polvo fino es higroscópico y provocan la formación de una capa conductora en la superficie de las bobinas de MT, lo que provoca la reducción de la línea de fuga favoreciendo el cebado del arco.

Los límites a respetar :

Para limitar el impacto de ciertos agentes agresivos, su severidad no debe sobrepasar los niveles siguientes:

- humedad relativa $\leq 90\%$
- dióxido de azufre $\leq 0,1 \text{ mg/m}^3$
- óxidos de nitrógeno $\leq 0,1 \text{ mg/m}^3$
- concentración de polvo y arena $\leq 0,2 \text{ mg/m}^3$
- concentraciones de sal marina $\leq 0,3 \text{ mg/m}^3$

Estas condiciones corresponden generalmente a los entornos siguientes para centros fijos protegidos contra la intemperie (norma CEI 60721-3-3):

- zonas situadas en regiones urbanas con actividades industriales o con gran circulación.
- Lugares sin precauciones particulares para minimizar la presencia de polvo pero que no están situados en la proximidad de fuentes de polvo.

Es necesario tener en cuenta estas consideraciones medioambientales para no disminuir la duración de vida de los transformadores, materiales que representan una gran inversión, y con utilización normal alcanza varios decenios.

El entorno térmico

Con el fin de obtener la refrigeración óptima de los transformadores, proponemos a continuación recomendaciones útiles para una buena ventilación de los aparatos que conviene respetar:

- cualquiera que sean las dimensiones del local
- que los transformadores estén equipados o no de envolvente metálica de protección.

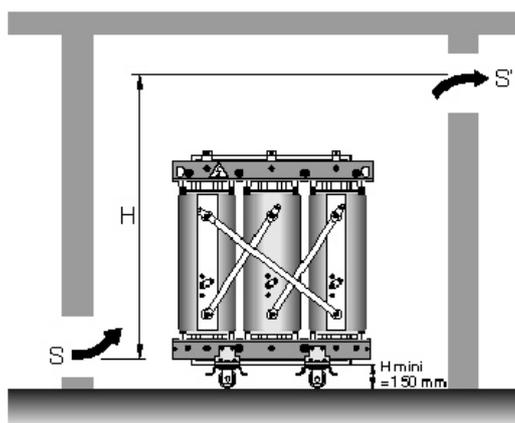
Indicar que estas recomendaciones no son específicas de los transformadores, pero se aplican en electrotecnia en general:

Permiten una utilización óptima sin degradación de todo aparellaje eléctrico y evitan las situaciones de sobrecalentamiento, que provocan una degradación de los aislantes y un envejecimiento prematuro del material.

El principio del efecto chimenea

El aire caliente es menos denso que el aire frío y se eleva de forma natural en el aire ambiente ; de forma que el aire caliente que sale del transformador en funcionamiento asciende hacia el techo del local. Una ventilación eficaz consiste en la capacidad de arrojar el aire caliente hacia lo más alto del local; para ello, una entrada de aire frío debe situarse también lo más bajo posible sobre una pared del local, y una salida de aire caliente lo más alta posible, sobre el muro opuesto.

Cuanto más altura libre exista por encima del transformador más importante es la cantidad de aire que asciende y por tanto mejor será la refrigeración del material.



Ventilación natural del local

Poner el aire frío por encima del transformador impide al aire caliente salir del aparato. La consecuencia es la elevación peligrosa de la temperatura del transformador.

Es el ejemplo típico de la climatización que se coloca encima de los aparatos calientes : aunque exista mucho fresco en el local, el transformador elevará su temperatura hasta producir alarma de la protección térmica, si está equipado de ella.

Si carece de tal protección, serán sus aislantes los que envejecerán prematuramente

El usuario solo tendrá como solución...parar la climatización para resolver su problema.

El diseño de los locales

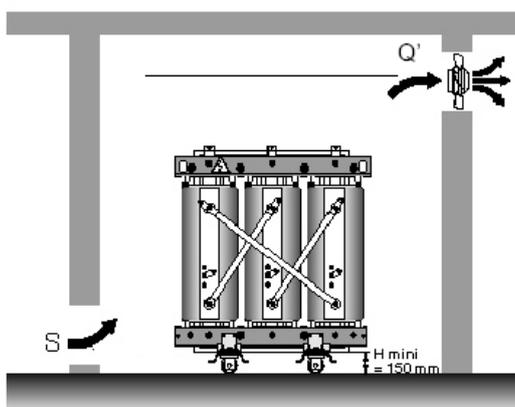
Las reglas de dimensionamiento

Una buena ventilación del local tiene como fin disipar todas las calorías producidas por los aparatos que desprenden calor (transformadores, motores, etc...) situados en el.

En efecto, en condiciones normales de servicio, los transformadores, como todos los aparatos que desprenden calor, generan pérdidas **P**, expresadas en kiloWatts (kW).

Para evacuar estas pérdidas, una ventilación natural correcta del local precisa :

- una entrada de aire fresco con superficie neta * **S** (m²) situada en la parte baja de una pared del local, próxima a la base del transformador,
- una salida de aire caliente de superficie neta* **S'**(m²) situada en la parte alta de la pared opuesta, si es posible en la vertical del transformador y a una altura **H** (metros) con relación a la entrada inferior; la salida de aire debe ser mas grande que la entrada.



Ventilación natural inferior, combinada con ventilación superior forzada por extractor

Estas superficies netas están definidas por las fórmulas :

$$S = \frac{0,18 \cdot P}{\sqrt{H}} \quad \text{y} \quad S' = S \cdot 1,10$$

El espacio por encima del transformador debe quedar libre hasta el techo, excepto para los elementos de conexión.

Estas fórmulas se entienden para un centro :

- instalado a una altura máxima de 1000 metros,
- con una temperatura media anual de 20 °C

Si no es posible respetar estas superficies, será necesario habilitar una circulación forzada de aire instalando:

- Un ventilador soplando aire frío hacia el interior, por la entrada inferior, con un caudal Q (m³/segundo) que dependerá de las pérdidas P (kW) según la fórmula: $Q = 0,10 \times P$
- Un ventilador extractor de aire caliente hacia el exterior, instalado en la salida superior, donde el caudal Q' (m³/seg.) será: $Q' = Q \times 1,1$

Es igualmente posible combinar ambas soluciones :

- respetando la superficie de entrada y el caudal de salida,
- respetando el caudal de entrada y la superficie de salida.

La aplicación de estas reglas

- los índices de protección

Las secciones de entrada de aire fresco o de salida de aire caliente que intervienen en los cálculos precedentes son superficies netas*. Según el índice IP de las rejillas en las aberturas de las paredes, las superficies necesarias para la sección neta eficaz de paso de aire pueden ser importantes; a título de ejemplo, las rejillas de la envolvente IP 31 del Trihal están perforadas al 50%.

** Superficie neta de una abertura : superficie real de la abertura, deduciendo todos los obstáculos como (rejillas, barrotes, etc...)*

- presencia de otros aparatos en el local

La presencia de otros aparatos, fuentes de calor en el local, debe tomarse en cuenta en el dimensionamiento de las superficies o del caudal de aire: las pérdidas que emiten a plena carga serán contabilizadas en P (kW).

- Ventiladores instalados bajo las bobinas del transformador

La presencia de estos ventiladores (opción « aire forzado ») no cambia nada las reglas indicadas anteriormente: estos extraen el aire fresco de la entrada y empujan el aire caliente fuera del transformador; incluso de la envolvente metálica; este aire caliente debe salir del local por las salidas con dimensiones adecuadas o equipadas de un extractor de aire.

La calidad del aire

El polvo

El polvo que se deposita en gran cantidad en las partes del transformador juega un papel de aislante térmico : la temperatura del aparato aumenta. Es necesario realizar una limpieza regular por aspiración (y no por soplado). Las cementeras son ejemplo de empresas plenamente afectadas por este problema.

La humedad ambiente

La humedad no es un factor agravante de sobre calentamiento. Pero la presencia de resistencias calefactoras en el local para eliminar la condensación debe tomarse en consideración en el dimensionamiento de los locales y... de las aberturas de ventilación. Con un local bien proyectado y suficientemente ventilado, el transformador podrá soportar las cargas a las que puede estar sometido, e incluso sobrecargas, con tal que estas sean objeto de una gestión equilibrada y conforme a las normas (CEI 354 y CEI 905).



Esfuerzos mecánicos externos aplicados a los transformadores



Introducción

Este documento tiene por objeto describir y explicar el impacto de los esfuerzos mecánicos "externos" sobre los transformadores, es decir aquellos que no resultan de su funcionamiento eléctrico, pero pueden ser debidos al transporte, a la manutención, a la instalación de los aparatos, y a fenómenos naturales tales como los seísmos.

El resultado de este análisis permitirá concretar las precauciones a tomar:

- En el momento del proyecto de los transformadores,
- En el momento de su manipulación,
- Sobre el lugar de instalación.

Sólo un producto específicamente estudiado podrá responder a este tipo de esfuerzos. Deberán conocerse y cuantificarse antes del estudio del material, y solicitarse en el momento del pedido ya que implica una fuerte repercusión en el precio del transformador.

Las sollicitaciones mecánicas

Los golpes en el transporte y la manipulación

Normalmente, el transformador es transportado por camión, tren, barco o incluso en avión.

En estas condiciones, un transformador puede estar sometido a golpes en su manipulación.

Estos sucesos están normalizados según la norma NF H 00-060 de Junio de 1991, y simulados por ensayos realizados en laboratorio, tales como:

- Caída vertical del material por desequilibrio desde una altura de 20 cm,
- Choques horizontales en un plano inclinado con velocidad de impacto de 1,85 m/s.



Las vibraciones

Ciertas aplicaciones generan sollicitaciones mecánicas o vibraciones a las cuales está sometido el transformador. Estas vibraciones deben estar definidas en las especificaciones suministradas por el usuario:

- En amplitud y frecuencia,
- O en aceleración y frecuencia.

En el caso de vibraciones lineales sinusoidales, la relación entre aceleración, frecuencia y desplazamiento viene dada por la relación:

$$G = 4 \cdot \pi^2 \cdot F^2 \cdot D / 9,81$$

donde :

- F es la frecuencia en Hertz,
- G es la aceleración de cresta en g ($g = 9,81 \text{ m/s}^2$),
- D es el desplazamiento de cresta en metros.

Les vibrations de basse fréquence sont les plus dangereuses pour la tenue mécanique des appareils selon les niveaux d'accélération, car elles produisent les déplacements les plus importants.

Exemples pour une accélération de 0,5 g :

- à 3 Hz : déplacement de 28 mm de crête à crête,
- à 30 Hz : déplacement de 0,28 mm de crête à crête.

Ces vibrations vont solliciter mécaniquement les différentes parties qui composent le transformateur : circuit magnétique, bobines, enveloppe de protection et accessoires divers.

Las vibraciones de frecuencia baja son las más peligrosas para la resistencia mecánica de los aparatos según los niveles de aceleración, porque producen desplazamientos muy importantes.

Ejemplos para una aceleración de 0,5 g:

- a 3 Hz: desplazamiento de 28 mm de cresta a cresta,
- a 30 Hz: desplazamiento de 0,28 mm de cresta a cresta.

Estas vibraciones van a implicar mecánicamente las diferentes partes que compone el transformador: circuito magnético, bobinas, envolvente de protección y accesorios diversos.

Caso de resonancia

Conociendo el tipo de sollicitaciones, podemos definir la respuesta de los componentes del transformador. Es necesario verificar que los subconjuntos no amplifiquen las sollicitaciones de una manera peligrosa para el equipo (caso de las resonancias).

Para un sistema mecánico lineal de primer orden, la frecuencia de resonancia F_r es:

$$F_r = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{K}{M}}$$

donde:

- M es la masa del subconjunto en kg,
- K es la relación elasticidad / rigidez de la fijación en N/m. Es la relación entre el esfuerzo y el desplazamiento debido a la deformación del soporte.

Se comprueba que si la masa de la bobina aumenta, la frecuencia de resonancia baja. Para evitar que la frecuencia de resonancia sea demasiado baja, hay que aumentar la rigidez de las fijaciones, para fortalecer las estructuras de mantenimiento y de sujeción.

Vibraciones de transporte :

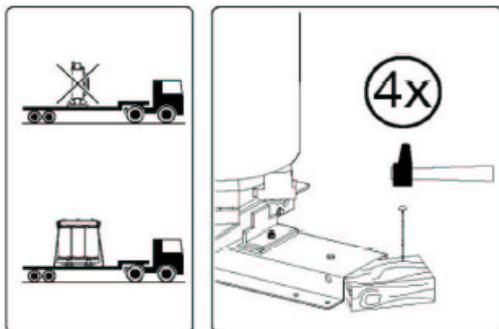


Son simulados por ensayos sobre mesa vibrante según la norma NF H 00-060 de junio de 1991:

- Ensayo de una duración de 30 minutos, entre 3 y 4 Hz, con una amplitud de cresta a cresta horizontal de 6 mm, y vertical de 15 mm.
- Ensayo de una duración de 30 minutos, entre 4 y 5 Hz, con una amplitud de cresta a cresta horizontal de 6 mm, y vertical de 15 mm.

Efectos de los soportes antivibratorios

Los soportes antivibratorios (o soportes elásticos) pueden ser utilizados para reducir eficazmente los ruidos transmitidos por el suelo por él transformado: índice de transmisión de la fundamental del ruido (100 Hz) del orden del 5 %. En cambio la utilización de soportes antivibratorios, para limitar vibraciones transmitidas al transformador, debe ser objeto de un estudio detallado teniendo en cuenta el espectro de las aceleraciones especificadas. Para vibraciones de frecuencia baja (inferiores a 30 Hz), puede producirse la amplificación de la vibración con riesgo de resonancia, lo que puede dañar la instalación.



Transporte y manutención

Transporte

A los choques y vibraciones de transporte se añaden las presiones debidas a las aceleraciones sufridas por el material en curso de desplazamiento:

- Aceleraciones longitudinales debidas al arranque y el frenado de vehículos de transporte (hasta 0,5 g),
- Aceleraciones transversales en el momento de los cambios de dirección del vehículo.



Para limitar el impacto de estas fuerzas vinculadas con el transporte, el transformador debe estar colocado con su eje longitudinal paralelo al sentido de la marcha.

Para evitar el balanceo, debe estar sujeto firmemente sobre el chasis del camión, con la ayuda de cinchas tensas.

Para prevenir desplazamientos, debe estar bloqueado a nivel del bastidor con la ayuda de calas clavadas o atornilladas sobre el piso del camión.

Además, para tener en cuenta las vibraciones de los bobinados en servicio, puede previsto en el proyecto del transformador el refuerzo de las calas o sujeciones de los arrollamientos de MT encapsulados. Este refuerzo se realiza doblando, incluso triplicando el número de las calas o calzos de mantenimiento de cada arrollamiento de MT. Esta solución se aplica normalmente cuando las masas de los arrollamientos son considerables, y sistemáticamente en caso de embalaje marítimo.

Embalaje rígido

El embalaje rígido participa en la protección de la integridad mecánica del transformador durante el transporte. El embalaje propuesto debe haber sido probado ensayado previamente conforme a la norma NF H 00-060. Las recomendaciones usuales de embalaje están vinculadas a las condiciones de transporte:

<i>Transporte por carretera directo (sin ruptura de carga)</i>	<i>Transporte por carretera con ruptura de carga</i>	<i>Transporte marítimo</i>
Funda plástica flexible	SEI4 a (caja completa)	SEI4 c (Funda plástica bajo vacío en caja completa)



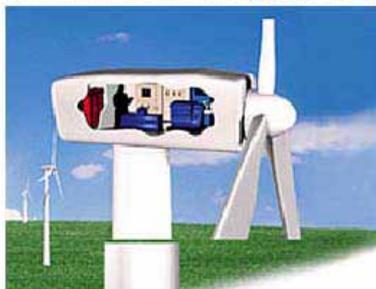
Ejemplos de aplicación

Pórticos portuarios

El transformador será fijado y estabilizado sobre su plataforma soporte, para mejorar su resistencia a las sollicitaciones transversales, con la ayuda de anclajes entre su lado superior y su bastidor de fijación a esta plataforma. Las sujeciones o calas de las bobinas MT serán reforzadas para tener en cuenta las vibraciones en servicio.

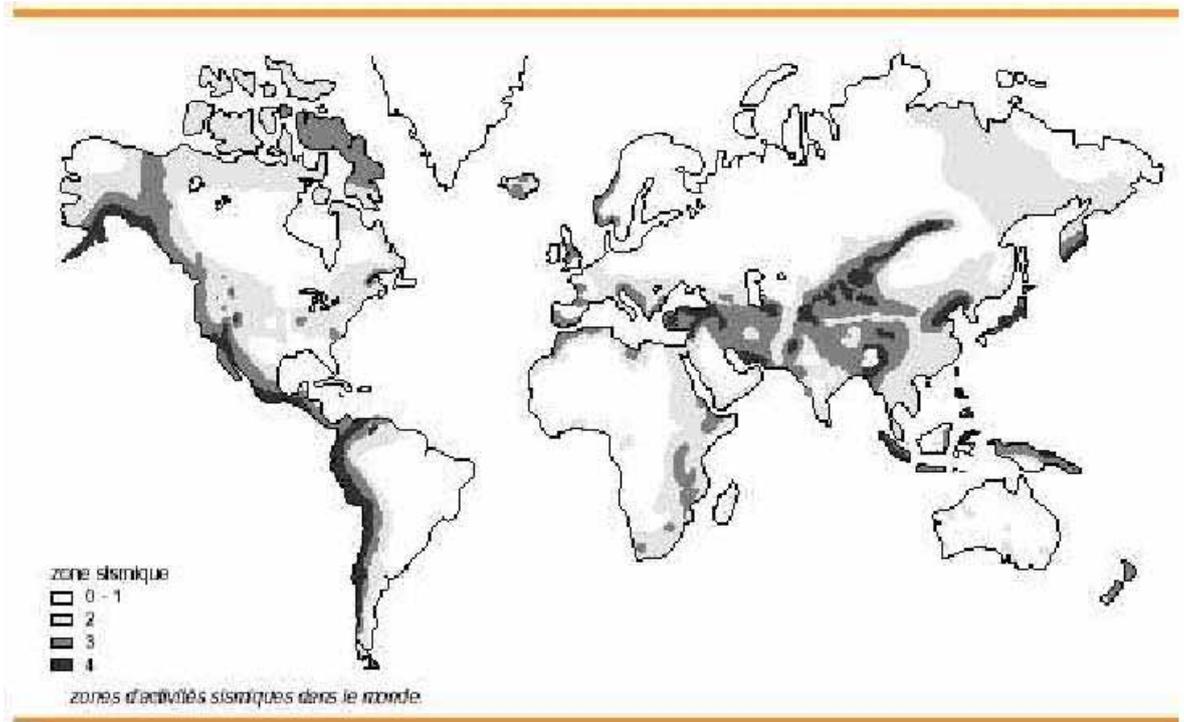
Eólicos

El diseñador del motor eólico especifica la posición del transformador en el eólico, así como el espectro de las vibraciones a los cuales estará sometido el aparato. El nivel de vibración en él mástil es relativamente débil con relación al producido a nivel de la barquilla, donde están colocados generador, caja reductora y hélice. La concepción del transformador debe tener en consideración el nivel de vibración indicado adaptando la resistencia mecánica de sus diferentes órganos.



Resistencia sísmica

La zona geográfica de la instalación del transformador puede estar situada en zonas de actividad sísmica, localizadas sobre el mapa mundial siguiente.



Los 4 tipos de zona sísmica citadas hacen referencia a la escala Mercalli siguiente, cuya intensidad va de 1 a 12. en función de fenómenos físicos comprobados.

Estas zonas sísmicas corresponden a sucesos previstos con un determinado nivel de intensidad, según observaciones efectuadas sobre un período de 200 años.

La resistencia del material a los esfuerzos mecánicos generados por estos fenómenos tiene límites que pueden ser rápidamente sobrepasados, si no han sido previstos en el proyecto la adaptación de los componentes del transformador. De aquí la importancia de conocer la zona de instalación del transformador en la especificación del mismo.

<i>Intensidad</i>	<i>Escala de Mercalli</i>	<i>Zona sísmica</i>
1	Sacudidas no percibidas.	0
2	Sacudidas percibidas por personas en reposo o en pisos superiores.	
3	Oscilaciones de objetos suspendidos. Ligeras vibraciones.	
4	Vibraciones percibidas como las provocadas por el paso de grandes camiones. Temblores de vidrios y vajilla. Balanceo de coches parados.	
5	Sacudidas percibidas en el exterior de los edificios. Despertar del sueño. Caída de pequeños objetos. Desplazamiento de cuadros.	1
6	Sacudidas percibidas por todo el mundo. Muebles desplazados. Rotura de vidrios, caída de objetos de estanterías, fisuras en los enlucidos.	
7	Sacudidas en los automóviles en movimiento. Pérdida de equilibrio en personas de pie, las campanas de las iglesias suenan. Daños : fisuras en chimeneas y ornamentos arquitectónicos, caída de yeso, rotura en muebles, extensas fisuras en enlucidos y albañilería, hundimiento en casas de ladrillo.	2
9	"Cráteres de arena" en suelos arenosos y húmedos en la ciudad. Deslizamiento del terreno. Fisuración del suelo. Destrucción: albañilería de ladrillo no reforzadas. Daños leves o importantes: estructuras de hormigón insuficientemente armado, tuberías enterradas.	
10	Deslizamiento del terreno y destrucción importante del suelo. Destrucción: puentes, túneles, algunas estructuras en hormigón armado, Daños importantes en la mayoría de los edificios, carreteras vías de ferrocarriles.	3 & 4
11	Deformación permanente del suelo	
12	Destrucción total.	

Las disposiciones de utilización habitualmente recomendadas están en función del tipo de zona:

Zona 1 y 2:

Ninguna disposición particular. La instalación estándar sobre las ruedas del transformador es suficiente.

Zona 3:

Hay que prever un anclaje del transformador al suelo, al nivel de su bastidor. Las ruedas serán reemplazadas por uno o varios soportes metálicos de la misma altura, fijados sólidamente en el suelo y sobre los cuales el bastidor será atornillado.

Zona 4:

Si la especificación del usuario precisa la resistencia sísmica requerida en el lugar de instalación del transformador, habrá que prever:

- Un fortalecimiento de las sujeciones (calas) de las bobinas de MT, que serán dobladas o triplicadas,
- Un anclaje del bastidor en el suelo,
- Un apoyo entre el lado superior del aparato y su chasis, por armaduras atornilladas con sistemas que impidan aflojarse.

No hay que olvidar además la protección del material frente a estructuras cercanas (edificios, equipos vecinos) que deben presentar el mismo nivel de resistencia al riesgo sísmico.

Bibliografía

- Norme NF H 00-060 de juin 1991.
- Cahier technique Merlin Gerin n° 180 : Secousses sismiques et équipements électriques (édition de décembre 1995) - Eric MELMOUX.
- Essai n° LV 24119 de tenue au séisme sur transformateur Trihal - Avril 1994 - Laboratoire SOPEMEA à VELIZYVILLACOUBLAY (France).
- Essai n° LH 30441 de vibration sur un transformateur Trihal - Mars 2001 - Laboratoire SOPEMEA à VELIZY-VILLACOUBLAY (France).
- Essais mécaniques et climatiques n° E031025 sur transformateur Trihal, en emballage maritime - Avril 2004 - Laboratoire National d' Essais à TRAPPES (France).



Filtro RC en baja tensión Impactos de los *huecos* de conmutación



Deformaciones de ondas y transformadores

La utilización de convertidores estáticos en las redes eléctricas es actualmente muy frecuente.

Los onduladores, rectificadores, cicloconvertidores, cargas no lineales están diseminadas por todas partes y en todos los sistemas industriales y domésticos. Estos dispositivos con semiconductores provocan deformaciones en la forma de onda de tensión y corriente. Estas últimas son susceptibles de perturbar las instalaciones eléctricas y particularmente los transformadores.

Por ejemplo, se han observado casos de perforación de los arrollamientos de MT de ciertos transformadores secos que alimentan rectificadores (convertidores con diodos o tiristores) la deformación de la tensión de alimentación podría ser el origen de estos problemas.

Se ha realizado un estudio con el fin de explicar estas averías.

En principio, este estudio se apoya en las medidas realizadas en una instalación industrial orientado en las oscilaciones de alta frecuencia de una decena de kHz que se superponen a los huecos de conmutación..

Estas medidas han sido aplicadas por simulación numérica, haciendo variar los diferentes parámetros de la red (longitud de cables, presencia de selfs, potencia de la fuente, tasa de carga...), con el fin de conocer el origen de estas oscilaciones.

El fin de este artículo es presentar a los usuarios los riesgos potenciales de las oscilaciones a frecuencias elevadas que pueden estar vinculadas a los huecos de conmutación y poder proponer soluciones adecuadas.

Conmutador trifásico de corriente con tiristores

Antes de estudiar la red de una instalación industrial, conviene estudiar el fenómeno de los huecos de conmutación, que está íntimamente ligado a una escasa potencia de cortocircuito de la red alterna que alimenta el convertidor estático.

Ilustración teórica de los fenómenos que originan los huecos de conmutación

La tensión en el lado de continua, la corriente en el lado de alterna así como su fundamental y la tensión en bornes de un tiristor están representadas en la figura 1.

La tensión lado red alterna con manifestación del fenómeno de los huecos de conmutación están dados en la figura 2.

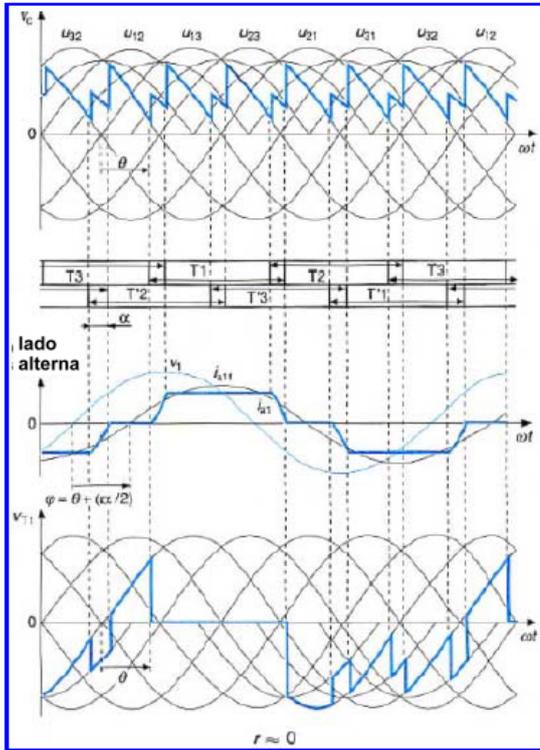


Fig. 1 : Tensión lado continua : formas de onda para un ángulo de cebado de $\alpha/2$

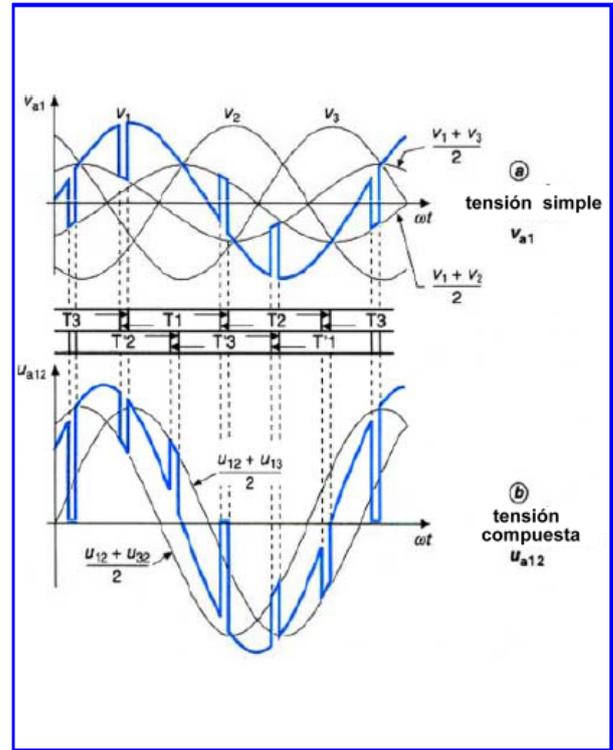


Fig. 2 : Tensión lado red alterna: huecos de conmutación

En la práctica, cuando un convertidor es alimentado por un transformador, la inductancia interna de la red de alterna λ se descompone de hecho en dos inductancias:

- λ_{res} , es la inductancia cíclica de la red de distribución de energía ; esta es tanto más pequeña cuanto más grande es la potencia de cortocircuito de la red.
- λ_{conv} , reagrupa la inductancia de fuga del transformador situado entre la red y el convertidor y las inductancias de conmutación destinadas a limitar las variaciones de di/dt en el cebado de los tiristores.

La forma de onda de la tensión en bornes de la red es en realidad la de la figura 3.

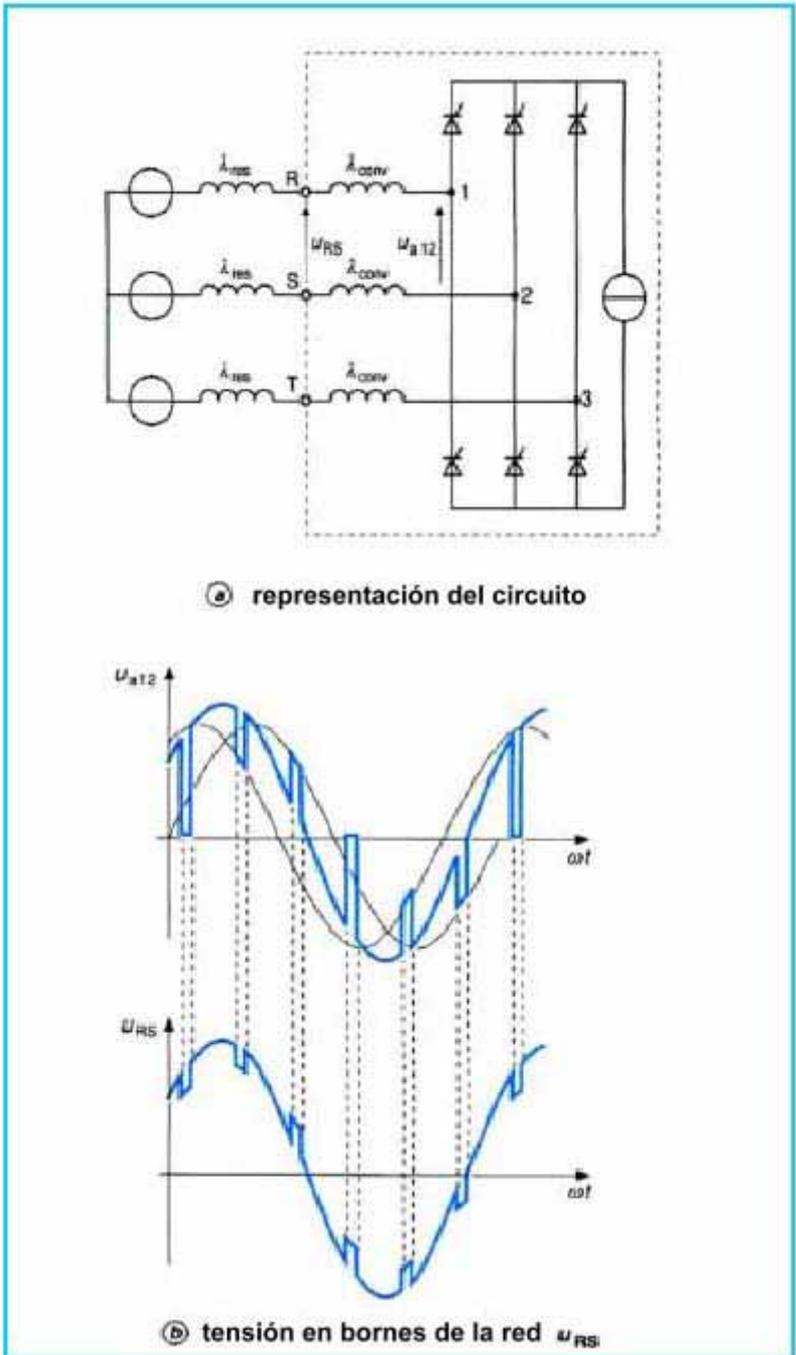


Figure 3 : Desacoplo de la red alterna : huecos de conmutación

Red eléctrica de la instalación considerada

Esquema de la instalación

El esquema de la instalación eléctrica es el indicado en la figura 4.

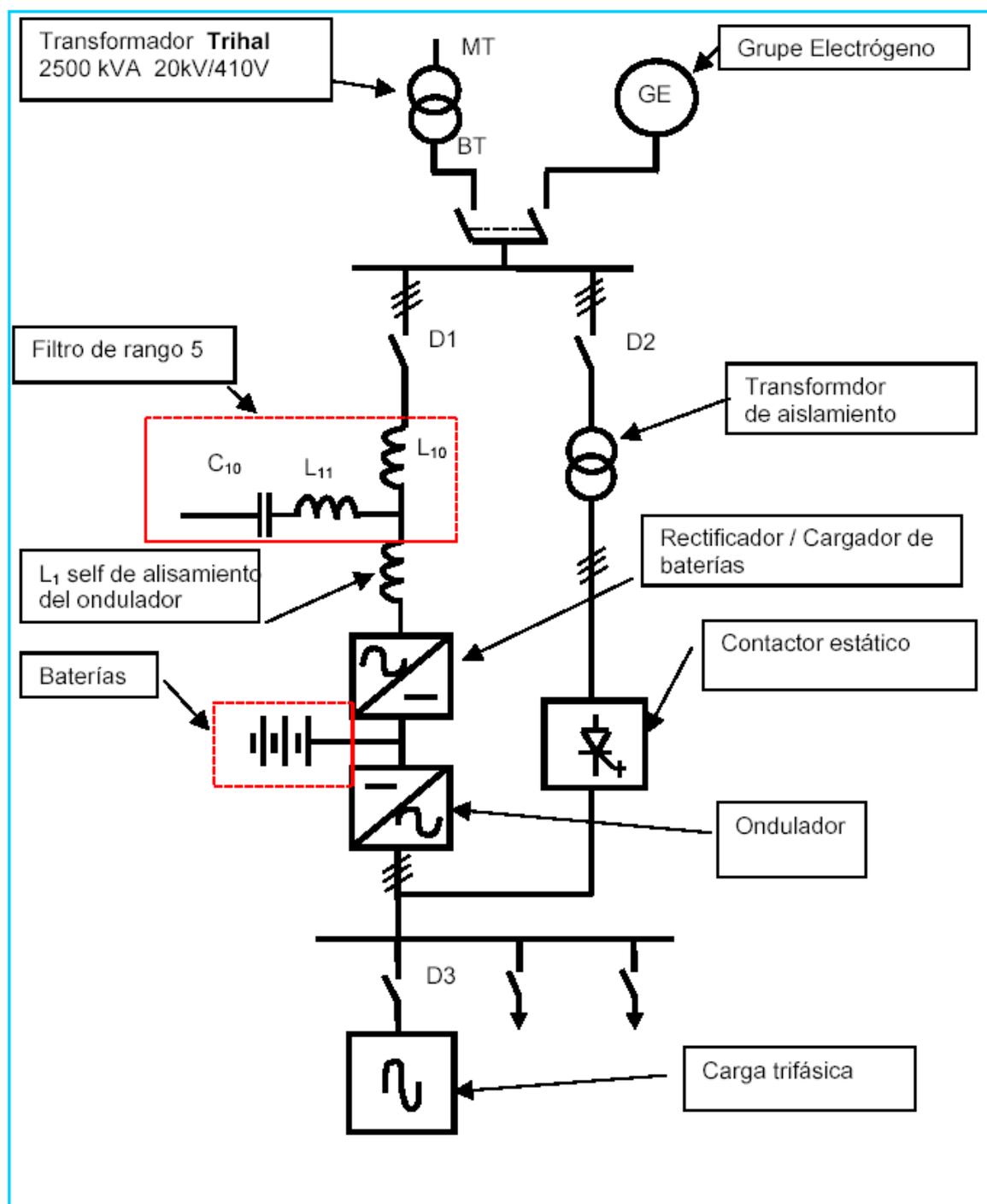


Figura 4 : esquema unifilar de instalación tipo

Los parámetros de la red son los siguientes :

- Potencia de cortocircuito (P_{cc}) de la red de alimentación del arrollamiento de AT del transformador de 150 MVA.
- Transformador y ondulator están instalados uno al lado del otro, la longitud de los cables no exceden de 2 m.
- Cuatro ondulator de 400 kVA cada uno están conectados en paralelo sobre el secundario del transformador; pero, durante las medidas, no existe más que un ondulator de 400 kVA en servicio.
- Transformador seco encapsulado Trihal, de potencia nominal de 2500 kVA.

Resultados

La realización de este estudio se ha realizado en dos etapas.

En una primera etapa, las curvas han sido trazadas con una longitud de cable nula, con el fin de verificar si su forma tiene relación con las medidas en la instalación.

La forma de onda de la figura 8 representa la tensión entre fases en el secundario del transformador de 2500 kVA, con $P_{cc} = 50$ MVA y $P_{carga} = 600$ kVA.

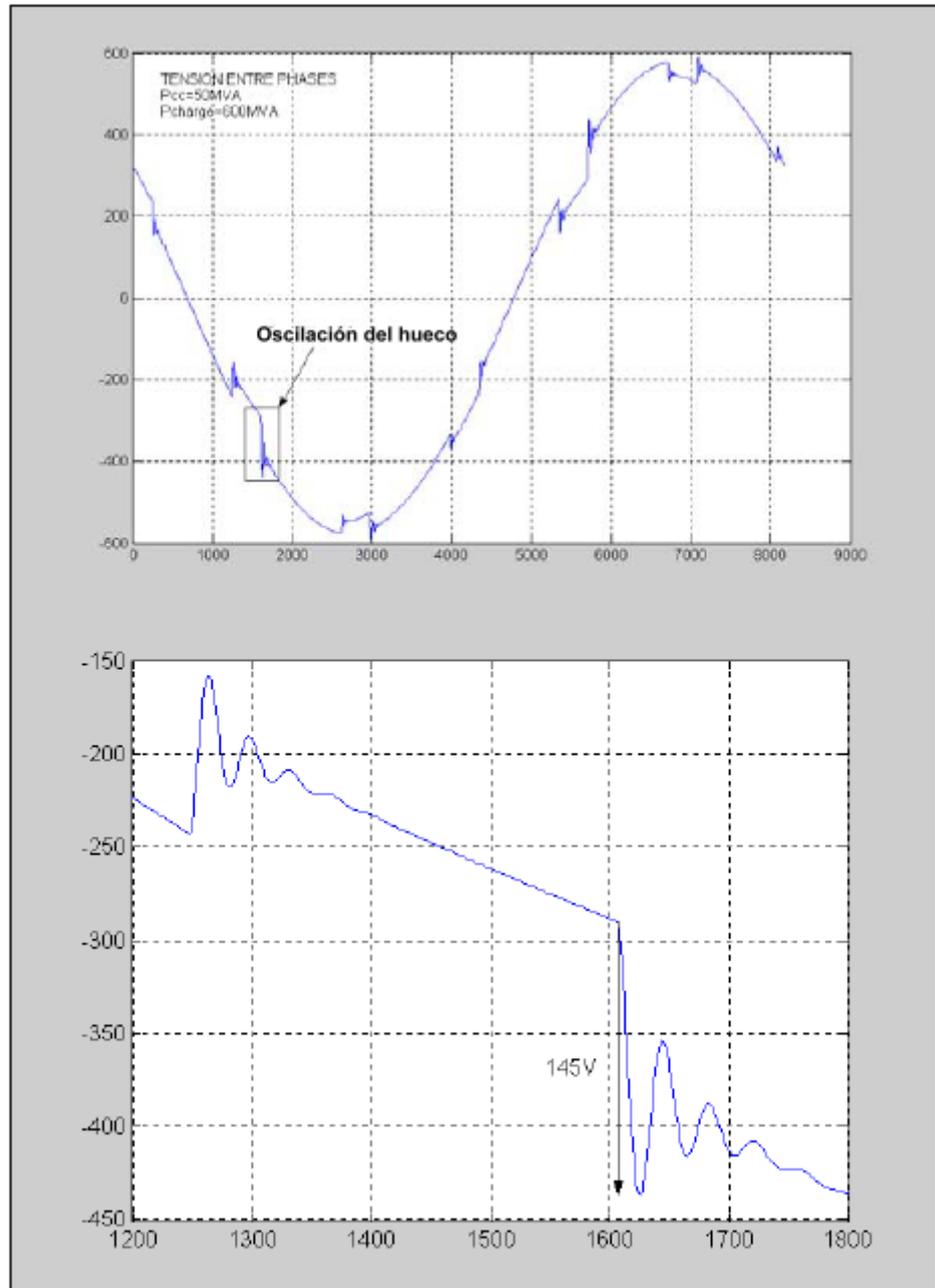


Figura 8 : Curvas resultantes de la simulación

La comparación de estas 2 curvas con las obtenidas en la instalación (figuras 5 y 6) muestra que la forma de tensión entre fases del secundario del transformador es muy parecida a las formas obtenidas en la medida real. Cualitativamente, el fenómeno se obtiene por simulación.

En cuanto al estudio cuantitativo, segunda etapa, se realiza analizando la influencia de los parámetros citados en párrafos precedentes sobre la frecuencia de las oscilaciones de los huecos, así como las amplitudes de cresta a cresta.

Los valores especificados en la tabla 9 adjunta están dados sobre una base de 410 V de tensión nominal en el secundario del transformador.

Amplitud del hueco (en V) cresta-a-cresta	P carga												
	200 kVA			400 kVA			600kVA			2 x 600 kVA*			
	L=0m	L=10m	L=100m	L=0m	L=10m	L=100m	L=0m	L=10m	L=100m	L=0m	L=10m	L=100m	
Pcc Red (en MVA)	500	75	35	30	85			90	40	35	160		
	250	80			90			100			170		
	150	90			100			110			185		
	50	120	55	45	135			145	70	55	250		

Tabla 9 : Resultados simulación para un transformador de 2500 kVA

Frecuencia del hueco (en kHz)	P carga												
	200 kVA			400 kVA			600kVA			2 x 600 kVA*			
	L=0m	L=10m	L=100m	L=0m	L=10m	L=100m	L=0m	L=10m	L=100m	L=0m	L=10m	L=100m	
Pcc Red (en MVA)	500	13,9	13,6	13,6	14			13,9	13,9	13,9	16		
	250	13,3			13,3			13,3			15,9		
	150	12,7			12,7			12,7			15,4		
	50	10,6	10,9	10,3	10,6			10,6	10,6	10,6	13,6		

Tabla 10 : Resultados simulación para un transformador de 2500 kVA

La última columna de estas 2 tablas representa una carga compuesta de dos ondulatorios de 600 kVA conectados en paralelo.

OBSERVACIÓN : las 2 cifras en negrita de estas tablas materializan el caso de la red estudiada en el párrafo 2.

Interpretación de los resultados

Frecuencia de las oscilaciones de los huecos de conmutación de la tensión secundaria :

Para un ondulator dado, depende del transformador (2500 kVA o 1600 kVA) y de la potencia de cortocircuito de la red.

Amplitud de las oscilaciones de los huecos de conmutación de la tensión secundaria :

Varía en sentido inverso de la potencia de cortocircuito de la red de aguas arriba..

Cuanto mayor es la potencia de carga más importante es la amplitud de las oscilaciones.

Si la longitud de los cables aumenta, la amplitud de las oscilaciones de los huecos disminuye. Este resultado parece realista, porque el aumento de la inductancia global de la red « alisa más la tensión y atenúa las oscilaciones ».

Si la potencia del transformador disminuye, las amplitudes de los huecos son relativamente constantes en función de la longitud del cable.

En el caso de dos onduladores conectados en paralelo, la frecuencia de las oscilaciones aumenta del orden del 20% con relación a un ondulador único. En el caso de la red eléctrica del párrafo 2, se repiten cuantitativamente los fenómenos observados en la práctica.

Conclusiones

Después de este estudio, se observa que es necesario proteger ciertos equipos, tal como los transformadores, contra las oscilaciones de frecuencia elevada (> 10 kHz), debidos a la presencia de convertidores estáticos. Se ha podido determinar que los filtros pasivos son susceptibles de eliminar estas oscilaciones o de mantener las amplitudes en valores aceptables.

Según las aplicaciones, es posible, conociendo los posibles parámetros de la instalación, proponer un filtro adaptado para proteger el transformador, como por ejemplo un filtro RC en el lado de BT.

Ejemplo : si la potencia instalada de onduladores es igual o superior al 30% de la potencia del transformador, es muy recomendable intalar un filtro RC en el lado de BT.

Bibliografía

Fonctionnement avec sources réelles des commutateurs à thyristors - FOCH Henry – CHERON Yvon, Technique de l'ingénieur, traité de génie électrique – D3 174 2000 (pages 2, 3, 7 & 11).



Impacto de la corriente continua sobre los transformadores



Redes eléctricas y corriente continua

Tradicionalmente ciertos circuitos eléctricos, tales como las redes de transporte alimentadas en corriente continua han sido una fuente de campos continuos en los transformadores .

Sin embargo con la utilización creciente de los equipos electrónicos de potencia en las redes de transmisión de potencia y en la industria, el número de fuentes posibles de magnetización con componente continua está en constante aumento.

El artículo citado en referencias (" Harmonics from SVC Transformer Saturation with Direct Current Offset ") describe estos fenómenos.

A causa del desarrollo de los materiales magnéticos y de la realización industrial de los circuitos magnéticos, la inductancia magnetizante no saturada es muy grande y la resistencia DC es muy escasa en los transformadores de potencia de reciente concepción.

Las corrientes de vacío de estos transformadores son generalmente muy bajas: el impacto de una componente de corriente continua es todavía más marcada.

En ciertas configuraciones de la red eléctrica del usuario, la fuerte disminución de la impedancia magnetizante del transformador puede crear resonancias eléctricas con otros elementos capacitivos de la red (cables , condensadores ...).

Estas últimas pueden llegar a provocar la avería del transformador.

Fenómenos creados por la presencia de una corriente continua

Las principales consecuencias por la presencia de una componente continua inyectada en el arrollamiento de un transformador son :

- 1- la saturación del material magnético del circuito magnético,
- 2- la muy fuerte disminución de la impedancia magnetizante del transformador,
- 3- la resonancia eléctrica interna de los arrollamientos del transformador,
- 4- el aumento del nivel de ruido,
- 5- el aumento de la corriente de vacío I_0 y de las pérdidas en vacío P_0 .

1 - Saturación del circuito magnético .

Si un transformador es alimentado por la tensión alterna de la red, y al mismo tiempo esta sometido a una inyección de corriente continua

DC en un arrollamiento, existen entonces 2 circulaciones de diferentes flujos magnéticos en el circuito magnético del transformador: una superposición del flujo alterno y del continuo ocupan su espacio.

Por este hecho, el ciclo de histéresis $\beta = \beta (H)$ del material magnético se desplaza y aumenta con la componente continua.

Esta componente continua es un parámetro muy sensible: un pequeño valor de esta al circular en los arrollamientos puede conducir a una saturación total del circuito magnético del transformador con generación de armónicos (deformación de las señales).

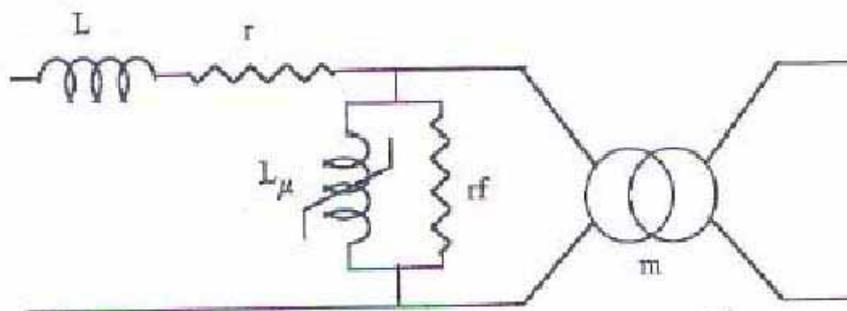
El orden de magnitud de la componente de corriente continua necesaria para saturar el transformador es igual al de la corriente de vacío del transformador, es un pequeño % de la corriente nominal.

2 - Fuerte disminución de la impedancia magnetizante del transformador.

Cuando el circuito magnético del transformador se satura, la permeabilidad relativa $\mu_r = \mu_r(\hat{a})$ del material que la constituye decrece muy fuertemente (desde un factor 1000 a 10000) con el aumento del nivel de saturación del circuito.

La consecuencia de esta saturación es que la impedancia magnetizante del transformador (y la permeabilidad relativa del material magnético) decrece igualmente muy fuertemente.

En el esquema equivalente del transformador adjunto, la inductancia de magnetización L_μ decrece muy fuertemente en el momento de la saturación del circuito magnético:



Esquema equivalente del transformador, por fase, visto lado MT / primario:

- L : inductancia de fuga del transformador
- r : pérdidas en carga del transformador, modelizado por una resistencia
- L_μ : inductancia magnetizante del transformador
- r_f : pérdidas en vacío del transformador, modelizado por una resistencia
- m : relación de transformación

3 - Resonancia interna en los arrollamientos del transformador.

Debido al descenso rápido de la impedancia magnetizante del transformador, este es susceptible de entrar en resonancia con los elementos de tipo capacitivo de la red eléctrica, tales como cables de MT y BT, condensadores, baterías de compensación...

Esta resonancia entre transformador y los elementos de tipo capacitivo de la red eléctrica es posible si, en una cierta configuración de la red, las frecuencias armónicas presentes se corresponden al menos a una de las frecuencias propias de resonancia del transformador.

En este caso, las sobretensiones/sobreintensidades están generalmente localizadas en el interior de un arrollamiento del transformador.

Finalmente estas resonancias internas degeneran en incidentes dieléctricos que conducen a la avería del transformador.

4 - Aumento del nivel de ruido

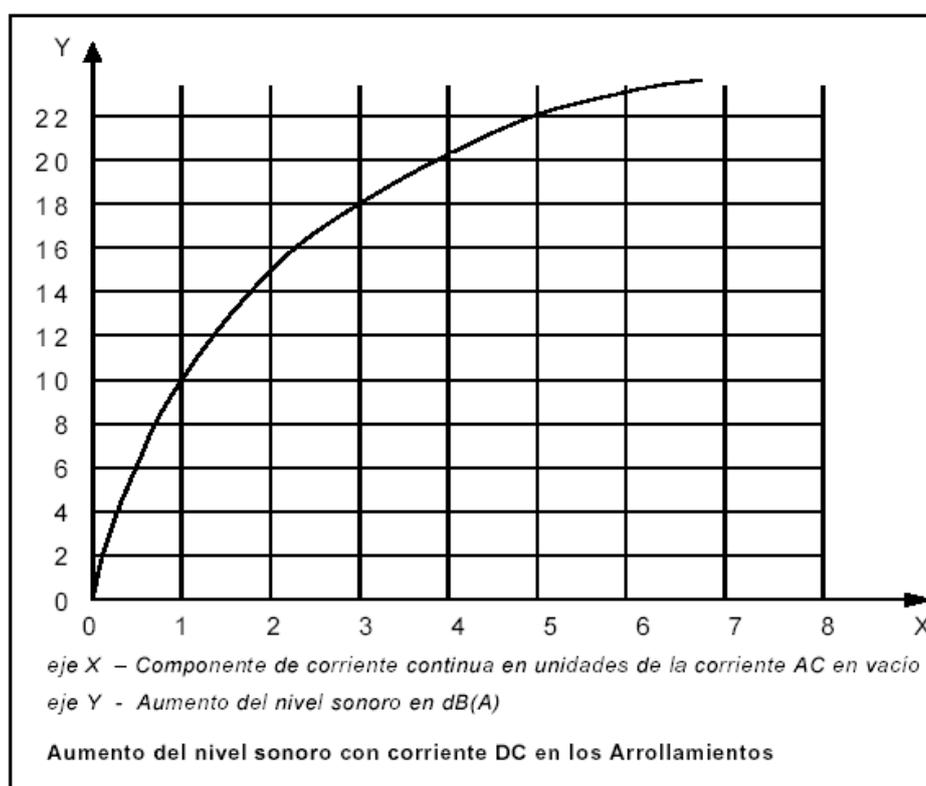
La saturación completa del circuito magnético se obtiene en la práctica por componentes continuas de valor igual a 3 veces la corriente en vacío del transformador.

La corriente en vacío I_0 es aproximadamente el 1% de la corriente nominal del transformador, por lo que una componente continua de aproximadamente el 3% de la corriente nominal saturará completamente el circuito magnético. Una débil componente de corriente continua (orden de magnitud de 5 a 100 A según el tamaño del circuito magnético del transformador) llega a saturar completamente este circuito.

Esta saturación crea un aumento muy significativo del nivel de ruido del material en servicio.

La norma "CEI 60076-10-1 / Guía del Usuario /Determinación de los Niveles Acústicos del transformador " dan una curva del nivel de ruido del transformador, expresado en dB(A) en función del múltiplo de la corriente de vacío I_0 .

Esta curva, aplicada a los transformadores de gran potencia, es la siguiente :



5 – Aumento de la corriente de vacío (I_0) y de las pérdidas en vacío (P_0)

La presencia de una componente de corriente continua satura el material (chapas Hierro - Silicio) del circuito magnético.

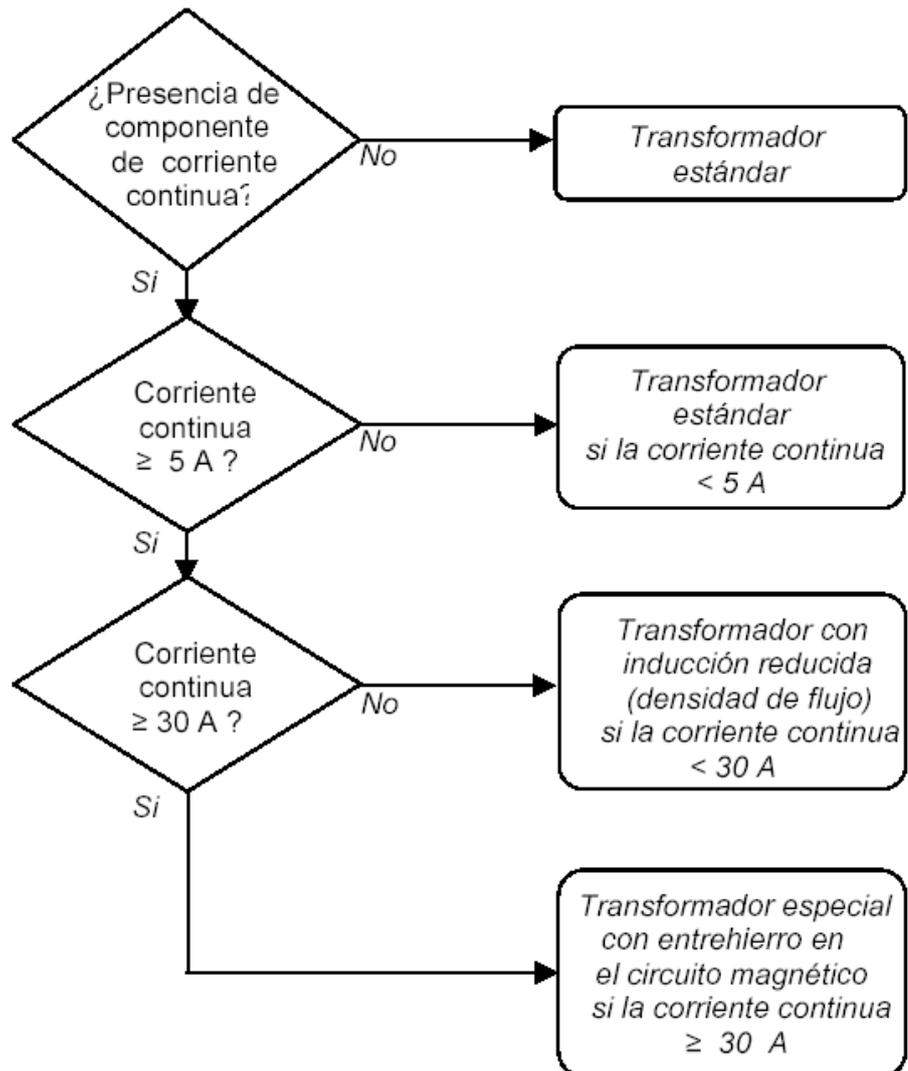
El nivel de inducción magnética en este circuito aumenta significativamente y tiende hacia la inducción de saturación de su material.

Las características magnéticas del material magnético se degradan y en consecuencia, los niveles de corriente en vacío I_0 y de pérdidas en vacío P_0 aumentan significativamente.

Soluciones correctoras : aplicables caso por caso

En función de los niveles de corrientes continuas localizadas en la instalación, deberán ser aplicadas acciones correctoras dependiendo de la concepción del transformador.

Por ejemplo, para un transformador Trihal de 2500 kVA, 22000V - 433V, de una determinada instalación, las soluciones correctoras potenciales están ilustradas en el siguiente diagrama:



Conclusión

La inyección de corriente continua en los arrollamientos de un transformador tiene sensiblemente el mismo efecto, en general, que una puesta bajo tensión de esta última, conduciendo a una fuerte corriente de conexión asimétrica.

Durante el régimen transitorio de puesta en tensión de un transformador, la corriente de conexión presenta también una componente de corriente continua debido a su forma asimétrica y es muy conocido que pueden sobrevenir problemas eléctricos en la fase alimentada, en este instante.

Es imperativo conocer el nivel de corriente continua con el fin de dimensionar el transformador en consecuencia.

La norma CEI 60076-11 da recomendaciones para adaptar la fabricación del material en estos casos.

Inyección de una componente de corriente continua en el arrollamiento de baja tensión

Ensayo realizado en un transformador encapsulado Trihal

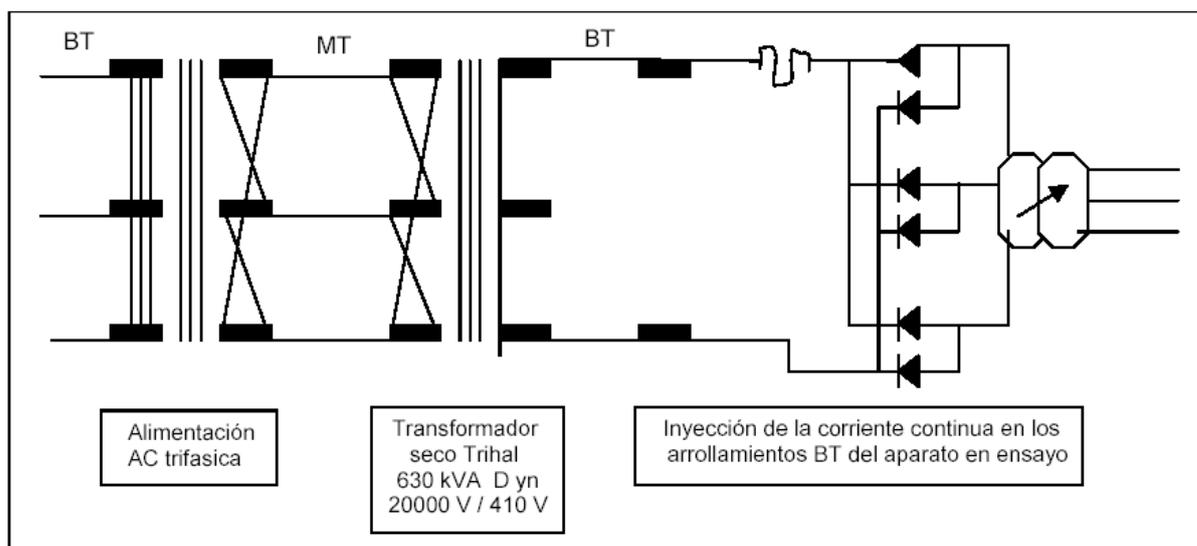
Esquema del montaje para ensayo

Este ensayo ha sido realizado en fábrica.

En el esquema de conexiones adjunto, el aparato en ensayo está alimentado por un transformador intermedio lado MT bajo tensión trifásica.

Por otro lado, una corriente continua se inyecta, por medio de un Variac + Puente rectificador, entre las fases a y c en los arrollamientos BT del transformador en ensayo.

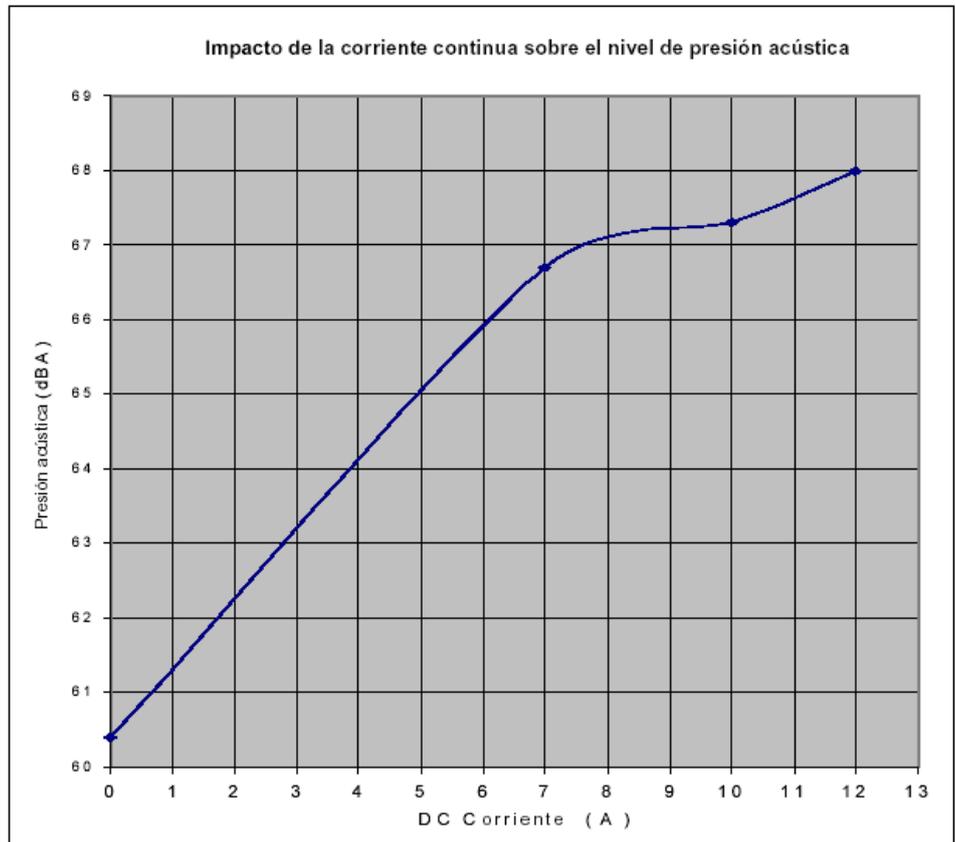
Dos selfs de filtrado desacoplan los circuitos de corriente alterna y de corriente continua.



Resultados del ensayo

La tabla y la curva adjunta indican el nivel de presión acústica medida a 1 metro del transformador en ensayo, en función de la corriente I_{dc} inyectada en los arrollamientos de baja tensión.

I_{dc} (A)	Presión acústica a 1m (dB A)
0	60,4
7	66,7
10	67,3
12	68,0



Conclusiones del ensayo

Para este montaje de ensayo, se observa un aumento del nivel sonoro del transformador de más de 7 dB(A) para una inyección de corriente continua de 12 A lado BT del transformador.

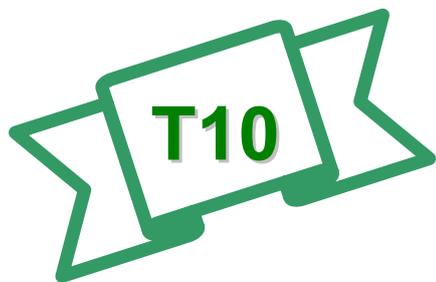
A título de comparación, la corriente nominal AC lado BT del transformador es de 887 A y la corriente de vacío medida (sin inyección de I_{dc}) es de 8.4 A para una tensión nominal de alimentación.

Además el nivel de corriente en vacío a sido multiplicada por un factor de aproximadamente 2 entre las configuraciones sin y con inyección de corriente continua de 12 A, lado BT del Transformador.

Después de inyectar una pequeña corriente continua I_{dc} (igual a aproximadamente 1,5 veces la corriente de vacío) , el circuito magnético del transformador se ha saturado aumentando significativamente su nivel de ruido de 7 dB(A) y el nivel de la corriente de vacío que ha doblado su valor.

Referencias

Harmonics from SVC Transformer Saturation with Direct Current Offset IEEE – Vol 9 N° 3 , July 1994 – BC Hydro - Canada .



Ciclos de ventilación forzada de los transformadores



Introducción

En funcionamiento, un transformador es el asiento de pérdidas en vacío y de pérdidas en carga.

Esta energía provoca la elevación de temperatura de la parte activa del transformador, es decir del circuito magnético y de los arrollamientos.

Es normal que el aparato se caliente estando en funcionamiento.

Este calentamiento se tiene en cuenta en la concepción del transformador y esta por otro lado normalizado.

Para paliar las situaciones de calentamiento excesivo vinculadas a condiciones de funcionamiento y/o anómalas, pueden instalarse ventiladores bajo los arrollamientos del transformador, a petición del cliente.

Esta petición debe ser solicitada en el momento del pedido, porque no siempre es posible satisfacerla cuando el transformador este instalado.

Razón de ser de los ventiladores :

Los ventiladores permiten sobrecargar el transformador sin que éste experimente sobre calentamientos.

Estas sobrecargas pueden ser generadas por:

- La temperatura ambiente alrededor del transformador

En un local mal ventilado donde el ambiente está anormalmente por encima de los valores normalizados durante un periodo corto, los ventiladores pueden puntualmente refrigerar el transformador.

El problema ambiental no estará resuelto pero el funcionamiento de los ventiladores impedirá el disparo de la protección térmica y por tanto, la parada del transformador.

- La corriente de carga o la tensión aplicada al transformador

Hay que tener en cuenta que las pérdidas debidas a la carga son proporcionales al cuadrado de la corriente que circula por el transformador.

Es a veces necesario aumentar la potencia del transformador durante periodos cortos, sin que esto signifique sobredimensionar el aparato en su fabricación, ya que no tendrá que soportar esta sobrecarga en permanencia. Los ventiladores, mantienen los calentamientos del transformador por debajo de los límites normalizados, permitiendo incrementar su potencia sin disminuir la vida del aparato.

Dimensionamiento del transformador

El transformador se dimensiona teniendo en cuenta :

- su potencia nominal,
- con temperatura ambiente nominal, en permanencia con ventilación natural, es decir sin la intervención de ventiladores.

El consumo de los ventiladores, que influye sobre su tamaño, está determinado según las sobrecargas estipuladas por el cliente.

Cuando en la instalación, la carga o la temperatura ambiente llegan a ser excesivas, los ventiladores se ponen en funcionamiento para impedir la subida de temperatura, como consecuencia de la sobrecarga ocasionada.

La protección térmica

Se basa en el principio siguiente :

- las sondas de temperatura están situadas en los puntos más calientes de la parte activa de cada columna; están conectadas en serie y aumentan fuertemente su resistencia si una de ellas se expone a una temperatura límite fijada por construcción,
- un convertidor electrónico vigila permanentemente la resistencia de las sondas ; si detecta una resistencia muy elevada, abre un contacto para dar una orden,
- 2 rampas de ventiladores tangenciales, fijados a ambas partes de cada columna, arrancan por orden del convertidor para inyectar aire ambiente a través de los arrollamientos.

Esta protección está dimensionada para funcionamiento permanente en régimen nominal del transformador, de tal forma que los ventiladores no funcionan en permanencia ya que se paran tan pronto como la temperatura alcance un nivel por debajo del umbral de alarma. .

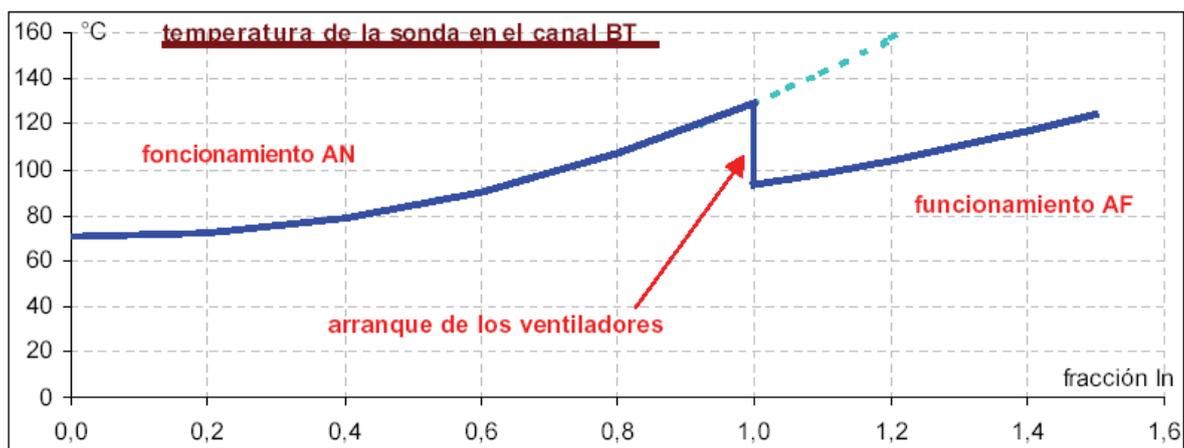
A potencia nominal, el nivel de alarma se activa para temperatura ambiente diaria (30 °C si en el pedido se especifica ambiente máximo 40 °C) y el nivel de disparo se activa para temperatura ambiente máxima (40 °C si en el pedido se especifica ambiente máximo 40 °C).

Los ventiladores arrancan a potencia nominal a una temperatura ambiente correspondiente a la ambiente anual (si en el pedido se especifica ambiente máximo 40 °C), con el fin de que el nivel de alarma no se active antes de la puesta en marcha de los ventiladores.

Los ventiladores funcionan durante 20 minutos después que la temperatura haya disminuido 20 °C. En la práctica, la disminución de temperatura es superior a 20 °C (hasta 50 °C).

Funcionamiento del transformador y los ventiladores

Cualquiera que sea el nivel de la sobrecarga ocasionada, los ventiladores funcionan siempre a plena potencia en relación con la sobrecarga máxima solicitada por el cliente.



El funcionamiento de la ventilación se adapta al perfil de la sobrecarga, según su duración y su importancia.

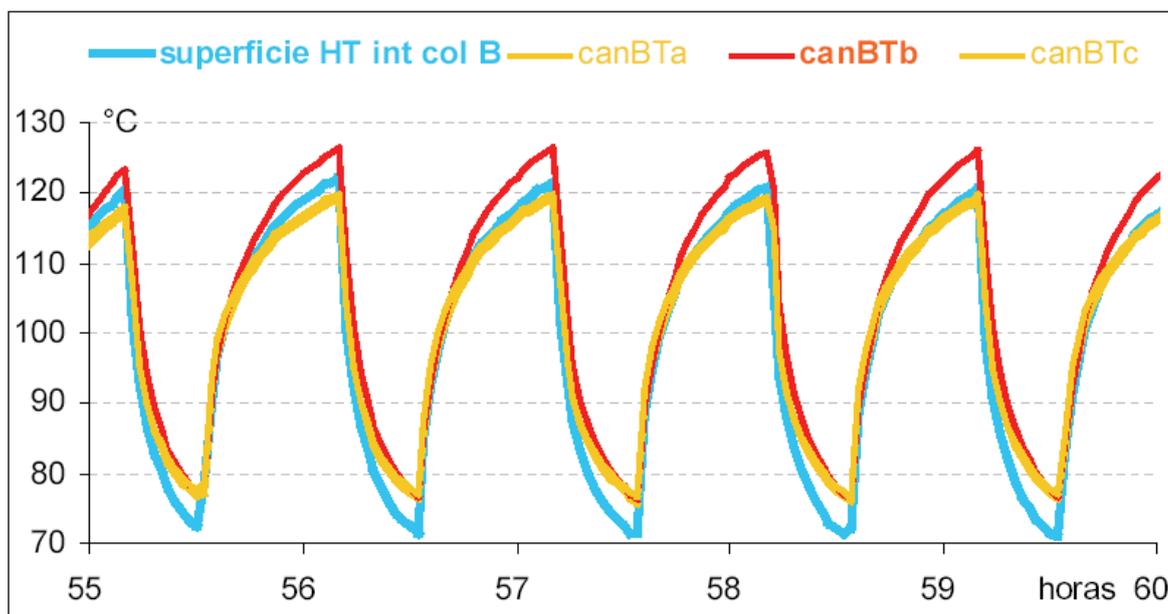
Sobrecarga puntual :

Si la sobrecarga es puntual, los ventiladores funcionan aproximadamente ½ h.

Sobrecarga prolongada

Si la sobrecarga perdura, no se paran ya que la temperatura no disminuye lo bastante para alcanzar el umbral de parada de los ventiladores.

En cambio, si la potencia de los ventiladores es importante, puede suceder lo siguiente:



- la potencia de los ventiladores es tal que la temperatura alcanza su nivel de parada.
- A la parada de estos, la temperatura aumenta de nuevo porque el transformador continúa en sobrecarga.
- Tan pronto como el nivel de alarma conmuta de nuevo, los ventiladores arrancan otra vez y el ciclo vuelve a comenzar indefinidamente si nada modifica las condiciones de funcionamiento.

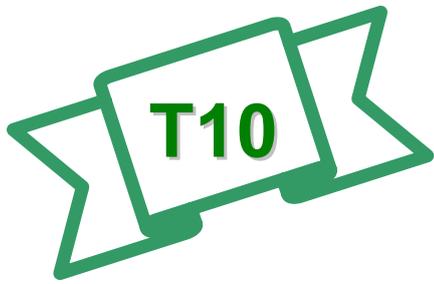
El transformador experimenta entonces ciclos térmicos de temperatura muy importantes.

Esta frecuencia de choques térmicos no es deseable para el arrollamiento encapsulado de MT, porque puede dar lugar a grietas en el material sólido aislante.

Con el fin de evitar este problema, el nivel de puesta en marcha de los ventiladores deberá disminuirse y la temporización debe prolongarse.

Bibliografía - Normas

Norma IEC 60076-11 de 2004.



Ventilación natural y forzada de transformadores



Ventilación natural y forzada de transformadores

El presente documento pretende recordar los requisitos necesarios para obtener el mayor rendimiento de los transformadores y de la instalación en cuanto a sus aspectos térmicos, en concreto nos referimos a la correcta adaptación de soluciones como pueden ser la ventilación natural o la forzada.

El entorno térmico

Con el fin de obtener la refrigeración óptima de los transformadores, proponemos a continuación recomendaciones útiles para una buena ventilación de los aparatos que conviene respetar:

- cualquiera que sean las dimensiones del local
- que los transformadores estén equipados o no de envolvente metálica de protección.

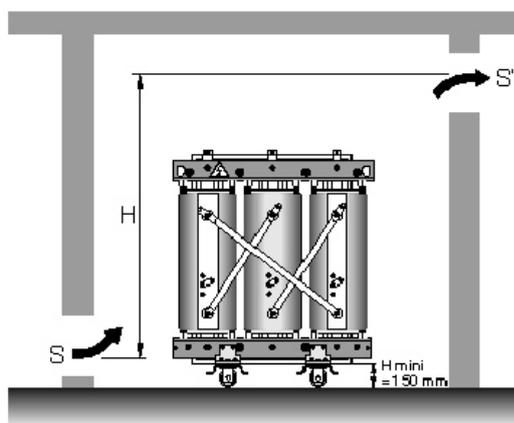
Indicar que estas recomendaciones no son específicas de los transformadores, pero se aplican en electrotecnia en general:

Permiten una utilización óptima sin degradación de todo aparellaje eléctrico y evitan las situaciones de sobrecalentamiento, que provocan una degradación de los aislantes y un envejecimiento prematuro del material.

El principio del efecto chimenea

El aire caliente es menos denso que el aire frío y se eleva de forma natural en el aire ambiente ; de forma que el aire caliente que sale del transformador en funcionamiento asciende hacia el techo del local. Una ventilación eficaz consiste en la capacidad de arrojar el aire caliente hacia lo más alto del local; para ello, una entrada de aire frío debe situarse también lo más bajo posible sobre una pared del local, y una salida de aire caliente lo más alta posible, sobre el muro opuesto.

Cuanto más altura libre exista por encima del transformador más importante es la cantidad de aire que asciende y por tanto mejor será la refrigeración del material.



Ventilación natural del local

Poner el aire caliente por encima del transformador impide al aire caliente salir del aparato. La consecuencia es la elevación peligrosa de la temperatura del transformador.

Es el ejemplo típico de la climatización que se coloca encima de los aparatos calientes : aunque exista mucho fresco en el local, el transformador elevará su temperatura hasta producir alarma de la protección térmica, si está equipada de ella.

Si carece de tal protección, serán sus aislantes los que envejecerán prematuramente

El usuario solo tendrá como solución...parar la climatización para resolver su problema.

El diseño de los locales

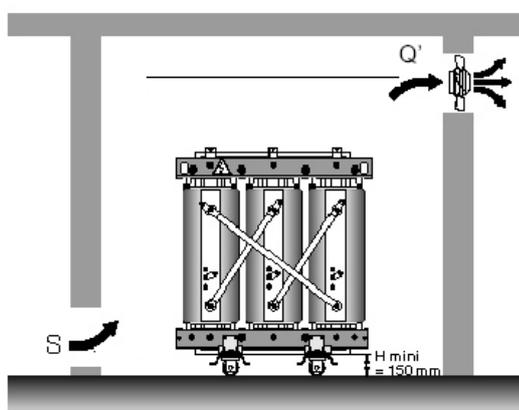
Las reglas de dimensionamiento

Una buena ventilación del local tiene como fin disipar todas las calorías producidas por los aparatos que desprenden calor (transformadores, motores, etc...) situados en el.

En efecto, en condiciones normales de servicio, los transformadores, como todos los aparatos que desprenden calor, generan pérdidas **P**, expresadas en kiloWatts (kW).

Para evacuar estas pérdidas, una ventilación natural correcta del local precisa :

- una entrada de aire fresco con superficie neta * **S** (m)² situada en la parte baja de una pared del local, próxima a la base del transformador,
- una salida de aire caliente de superficie neta* **S'**(m²) situada en la parte alta de la pared opuesta, si es posible en la vertical del transformador y a una altura **H** (metros) con relación a la entrada inferior; la salida de aire debe ser mas grande que la entrada.



Ventilación natural inferior, combinada con ventilación superior forzada por extractor

Estas superficies netas están definidas por las fórmulas :

$$S = \frac{0,18 \cdot P}{\sqrt{H}} \quad \text{y}$$

$$S' = S \cdot 1,10$$

El espacio por encima del transformador debe quedar libre hasta el techo, excepto para los elementos de conexión.

Estas fórmulas se entienden para un centro :

- instalado a una altura máxima de 1000 metros,
- con una temperatura media anual de 20 °C

Si no es posible respetar estas superficies, será necesario habilitar una circulación forzada de aire instalando:

- Un ventilador soplando aire frío hacia el interior, por la entrada inferior, con un caudal **Q** (m³/ segundo) que dependerá de las pérdidas **P** (kW) según la fórmula: **Q = 0,10 x P**
- Un ventilador extractor de aire caliente hacia el exterior, instalado en la salida superior, donde el caudal **Q'** (m³/seg.) será: **Q' = Q x 1,1**

Es igualmente posible combinar ambas soluciones :

- respetando la superficie de entrada y el caudal de salida,
- respetando el caudal de entrada y la superficie de salida.

La aplicación de estas reglas

- los índices de protección

Las secciones de entrada de aire fresco o de salida de aire caliente que intervienen en los cálculos precedentes son superficies netas*. Según el índice IP de las rejillas en las aberturas de las paredes, las superficies necesarias para la sección neta eficaz de paso de aire pueden ser importantes; a título de ejemplo, las rejillas de la envolvente IP 31 del Trihal están perforadas al 50%.

** Superficie neta de una abertura : superficie real de la abertura, deduciendo todos los obstáculos como (rejillas, barros, etc...)*

- presencia de otros aparatos en el local

La presencia de otros aparatos, fuentes de calor en el local, debe tomarse en cuenta en el dimensionamiento de las superficies o del caudal de aire: las pérdidas que emiten a plena carga serán contabilizadas en P (kW).

- **Ventiladores instalados bajo las bobinas del transformador**

La presencia de estos ventiladores (opción « aire forzado ») no cambia nada las reglas indicadas anteriormente: estos extraen el aire fresco de la entrada y empujan el aire caliente fuera del transformador; incluso de la envolvente metálica; este aire caliente debe salir del local por las salidas con dimensiones adecuadas o equipadas de un extractor de aire.

La calidad del aire

El polvo

El polvo que se deposita en gran cantidad en las partes del transformador juega un papel de aislante térmico : la temperatura del aparato aumenta. Es necesario realizar una limpieza regular por aspiración (y no por soplado).

Las cementeras son ejemplo de empresas plenamente afectadas por este problema.

La humedad ambiente

La humedad no es un factor agravante de sobrecalentamiento.

Pero la presencia de resistencias calefactoras en el local para eliminar la condensación debe tomarse en consideración en el dimensionamiento de los locales y... de las aberturas de ventilación.

Con un local bien proyectado y suficientemente ventilado, el transformador podrá soportar las cargas a las que puede estar sometido, e incluso sobrecargas, con tal que estas sean objeto de una gestión equilibrada y conforme a las normas (CEI 354 y CEI 905).

Sobrecargas temporales



En el caso de sobrecargas temporales, para evitar calentamientos excesivos en los arrollamientos, es posible instalar en los transformadores Trihal ventilación forzada a pie de bobinas.

Con IP 00 y para potencias superiores a 630 kVA, es posible instalar ventilación forzada para obtener un aumento **temporal** de potencia del 25%, sin modificaciones particulares.

En todos los casos, podrá obtenerse este aumento temporal del 25% si se indica en el pedido, e incluso puede alcanzarse el 40%, ténganse en cuenta que las pérdidas en cortocircuito aumentan con el cuadrado de

la carga, por lo tanto, cabe esperar un incremento en dichas pérdidas de 2.25 veces el valor correspondiente a una carga nominal del 100%.

Si se solicita este aumento de potencia, se deberá tener en cuenta su repercusión en la elección de los siguientes elementos:

- Las secciones de cables o canalización prefabricada.
- El calibre de los disyuntores de protección del transformador.
- El dimensionamiento de los huecos de entrada y salida de aire del local.
- La duración de vida de los ventiladores en servicio, que es considerablemente más reducida con relación a la del transformador (aproximadamente 3,5 y 25 años respectivamente).

Esta opción comprende la instalación de :

- 2 rampas de ventiladores tangenciales precableados y conectados a un conector de alimentación.
- 1 dispositivo de medida de temperatura tipo Z o T.

Para el tipo Z, un tercer conjunto de sondas PTC se adjunta a la protección térmica estándar, emplazadas en el lugar de la resistencia R instalada de origen en el 3º circuito de medida del convertidor Z.

Para el tipo T, el convertidor digital lleva una salida (FAN) destinada al arranque de los ventiladores tangenciales.

(Véase también la opción de medida y control con relés SEPAM, donde es posible, además, el control del transformador por imagen térmica).



Trihal

Quando sus necesidades encuentran nuestras soluciones ...



Minera

Elija su sector de actividad y sabrá que hacer para explotar adecuadamente su transformador, el corazón de su instalación eléctrica.

Nuestras recomendaciones		Relés de protección numérica	Filtro RC Maniobras repetitivas en disyuntores	Autoválvulas MT instaladas en transformador	Limitadores BT	Resistencia de pre-inserción de energía reactiva	Filtro anti armónicos	Limites térmicos del transformador	Entorno del transformador	Esfuerzos mecánicos transmitidos al transformador
Su aplicación	Edificios	Oficinas y Comercios GEaf 400*								
		Hoteles y Restaurantes GEaf 401*								
		Educación e Investigación GEaf 402*								
Energía e Infraestructuras		Locales sanitarios y sociales GEaf 403*								
		Eólicos GEaf 404*								
		Producción y distribución de energía GEaf 405*								
		Aeropuertos GEaf 406*								
		Cogeneración GEaf 411*								
		Metro y Ferrocarriles GEaf 414								
		Nucleares GEaf 415*								
		Tuneles y Minas GEa 420*								
		Agro-alimentación GEaf 407*								
		Automóvil GEaf 408*								
Industria		Química y Farmacia GEaf 409*								
		Cementeras GEaf 410*								
		Off-shore GEaf 416*								
		Petroquímica y gas GEaf 417*								
		Siderurgia GEaf 418*								
		Electrónica, Internet Data Center & telecommunication GEaf 413*								
		Tratamiento de desechos y potabilizadoras GEaf 419*								
	Materiales embacados GEaf *									

* Ficha referencia

Tener en cuenta obligatoria

Tener en cuenta recomendada

DIRECCION REGIONAL CASTILLA-ARAGON-RIOJA
Delegación:
CASTILLA-BURGOS

Pol. Ind. Gamonal Villimar
30 de Enero de 1964, s/n - 2.ª planta
09007 BURGOS
Tel.: 947 47 44 25 · Fax: 947 47 09 72
E-mail: del.burgos@es.schneider-electric.com

Delegaciones:

ARAGON-ZARAGOZA

Pol. Ind. Argualas, nave 34
50012 ZARAGOZA
Tel.: 976 35 76 61 · Fax: 976 56 77 02
E-mail: del.zaragoza@es.schneider-electric.com

CENTRO/NORTE-VALLADOLID

Topacio, 60 · 2.ª planta
Pol. Ind. San Cristóbal
47012 VALLADOLID
Tel.: 983 21 46 46
Fax: 983 21 46 75
E-mail: del.valladolid@es.schneider-electric.com

LA RIOJA

Avda. Pío XII, 11 · 1.º F
26003 LOGROÑO
Tel.: 941 25 70 19 · Fax: 941 27 09 38

DIRECCION REGIONAL CENTRO

Delegación:
MADRID

Ctra. de Andalucía, km 13
Pol. Ind. Los Angeles
28906 GETAFE (Madrid)
Tel.: 91 624 55 00
Fax: 91 682 40 48
E-mail: del.madrid@es.schneider-electric.com

Delegaciones:

GUADALAJARA-CUENCA

Tel.: 91 624 55 00 · Fax: 91 682 40 47

TOLEDO

Tel.: 91 624 55 00 · Fax: 91 682 40 47

DIRECCION REGIONAL LEVANTE

Delegación:
VALENCIA

Font Santa, 4 · Local D
46910 ALFAFAR (Valencia)
Tel.: 96 318 66 00 · Fax: 96 318 66 01
E-mail: del.valencia@es.schneider-electric.com

Delegaciones:

ALBACETE

Paseo de la Cuba, 21 · 1.º A
02005 ALBACETE
Tel.: 967 24 05 95 · Fax: 967 24 06 49

ALICANTE

Monegros, s/n · Edificio A-7
1.ª planta, locales 1-7
03006 ALICANTE
Tel.: 965 10 83 35 · Fax: 965 11 15 41
E-mail: del.alicante@es.schneider-electric.com

CASTELLON

República Argentina, 12, bajos
12006 CASTELLON
Tel.: 964 24 30 15 · Fax: 964 24 26 17

MURCIA

Senda de Enmedio, 12, bajos
30009 MURCIA
Tel.: 968 28 14 61 · Fax: 968 28 14 80
E-mail: del.murcia@es.schneider-electric.com

DIRECCION REGIONAL NORDESTE

Delegación:
BARCELONA

Sicilia, 91-97 · 6.º
08013 BARCELONA
Tel.: 93 484 31 01 · Fax: 93 484 31 57
E-mail: del.barcelona@es.schneider-electric.com

Delegaciones:

BALEARES

Gremi de Teixidors, 35 · 2.ª planta
07009 PALMA DE MALLORCA
Tel.: 971 43 68 92 · Fax: 971 43 14 43

GIRONA

Pl. Josep Pla, 4 · 1.º 1.ª
17001 GIRONA
Tel.: 972 22 70 65 · Fax: 972 22 69 15

LLEIDA

Prat de la Riba, 18
25004 LLEIDA
Tel.: 973 22 14 72 · Fax: 973 23 50 46

TARRAGONA

Del Molar, bloque C · Nave C-5, planta 1.ª
(esq. Antoni Rubió i Lluch)
Pol. Ind. Agro-Reus
43206 REUS (Tarragona)
Tel.: 977 32 84 98 · Fax: 977 33 26 75

DIRECCION REGIONAL NOROESTE

Delegación:
A CORUÑA

Pol. Ind. Pocomaco, Parcela D · 33 A
15190 A CORUÑA
Tel.: 981 17 52 20 · Fax: 981 28 02 42
E-mail: del.coruna@es.schneider-electric.com

Delegaciones:

ASTURIAS

Parque Tecnológico de Asturias
Edif. Centroelesna, parcela 46 · Oficina 1.º F
33428 LLANERA (Asturias)
Tel.: 98 526 90 30 · Fax: 98 526 75 23
E-mail: del.oviedo@es.schneider-electric.com

GALICIA SUR-VIGO

Ctra. Vella de Madrid, 33, bajos
36214 VIGO
Tel.: 986 27 10 17 · Fax: 986 27 70 64
E-mail: del.vigo@es.schneider-electric.com

LEON

Moisés de León · Bloque 43, bajos
24006 LEON
Tel.: 987 21 88 61 · Fax: 987 21 88 49
E-mail: del.leon@es.schneider-electric.com

DIRECCION REGIONAL NORTE

Delegación:
VIZCAYA

Estartetxe, 5 · Planta 4.ª
48940 LEIOA (Vizcaya)
Tel.: 94 480 46 85 · Fax: 94 480 29 90
E-mail: del.bilbao@es.schneider-electric.com

Delegaciones:

ALAVA

Portal de Gamarra, 1
Edificio Deba · Oficina 210
01013 VITORIA-GASTEIZ
Tel.: 945 123 758 · Fax: 945 257 039

CANTABRIA

Avda. de los Castros, 139 D · 2.º D
39005 SANTANDER
Tel.: 942 32 10 38 / 942 32 10 68 · Fax: 942 32 11 82

GUIPUZCOA

Parque Empresarial Zuatzu
Edificio Urumea, planta baja · Local n.º 5
20018 DONOSTIA - SAN SEBASTIAN
Tel.: 943 31 39 90 · Fax: 943 21 78 19
E-mail: del.donosti@es.schneider-electric.com

NAVARRA

Pol. Ind. de Burlada · Iturrondo, 6
31600 BURLADA (Navarra)
Tel.: 948 29 96 20 · Fax: 948 29 96 25

DIRECCION REGIONAL SUR

Delegación:
SEVILLA

Avda. de la Innovación, s/n
Edificio Arena 2 · Planta 2.ª
41020 SEVILLA
Tel.: 95 499 92 10 · Fax: 95 425 45 20
E-mail: del.sevilla@es.schneider-electric.com

Delegaciones:

ALMERIA

Calle Lentisco s/n · Edif. Celulosa III
Oficina 6 · Local n.º 1
Pol. Ind. La Celulosa
04007 ALMERIA
Tel.: 950 15 18 56 · Fax: 950 15 18 52

CADIZ

Polar, 1 · 4.º E
11405 JEREZ DE LA FRONTERA (Cádiz)
Tel.: 956 31 77 68 · Fax: 956 30 02 29

CORDOBA

Arfe, 16, bajos
14011 CORDOBA
Tel.: 957 23 20 56 · Fax: 957 45 67 57

GRANADA

Baza, s/n · Edificio ICR
Pol. Ind. Juncaril
18220 ALBOLOTE (Granada)
Tel.: 958 46 76 99 · Fax: 958 46 84 36

HUELVA

Tel.: 954 99 92 10 · Fax: 959 15 17 57

JAEN

Paseo de la Estación, 60
Edificio Europa · Planta 1.ª, puerta A
23007 JAEN
Tel.: 953 25 55 68 · Fax: 953 26 45 75

MALAGA

Pol. Ind. Santa Bárbara · Calle Tucídides
Edificio Siglo XXI · Locales 9 y 10
29004 MALAGA
Tel.: 95 217 22 23 · Fax: 95 224 38 95

EXTREMADURA-BADAJOS

Avda. Luis Movilla, 2 · Local B
06011 BADAJOZ
Tel.: 924 22 45 13 · Fax: 924 22 47 98

EXTREMADURA-CACERES

Avda. de Alemania
Edificio Descubrimiento · Local TL 2
10001 CACERES
Tel.: 927 21 33 13 · Fax: 927 21 33 13

CANARIAS-LAS PALMAS

Ctra. del Cardón, 95-97 · Locales 2 y 3
Edificio Jardines de Galicia
35010 LAS PALMAS DE G.C.
Tel.: 928 47 26 80 · Fax: 928 47 26 91
E-mail: del.canarias@es.schneider-electric.com

CANARIAS-TENERIFE

Custodios, 6 · 2.º · El Cardonal
38108 LA LAGUNA (Tenerife)
Tel.: 922 62 50 50 · Fax: 922 62 50 60

En razón de la evolución de las normativas y del material, las características indicadas por el texto y las imágenes de este documento no nos comprometen hasta después de una confirmación por parte de nuestros servicios.

Los precios de las tarifas pueden sufrir variación y, por tanto, el material será siempre facturado a los precios y condiciones vigentes en el momento del suministro.

Schneider Electric España, S.A.

Bac de Roda, 52, Edificio A · 08019 Barcelona · Tel.: 93 484 31 00 · Fax: 93 484 33 07 · <http://www.schneider-electric.es>

080056 B07



membro de:

El Portal de la Instalación Eléctrica