

---

GUÍA TÉCNICA

---



---

TRANSFORMADORES DE RESINA

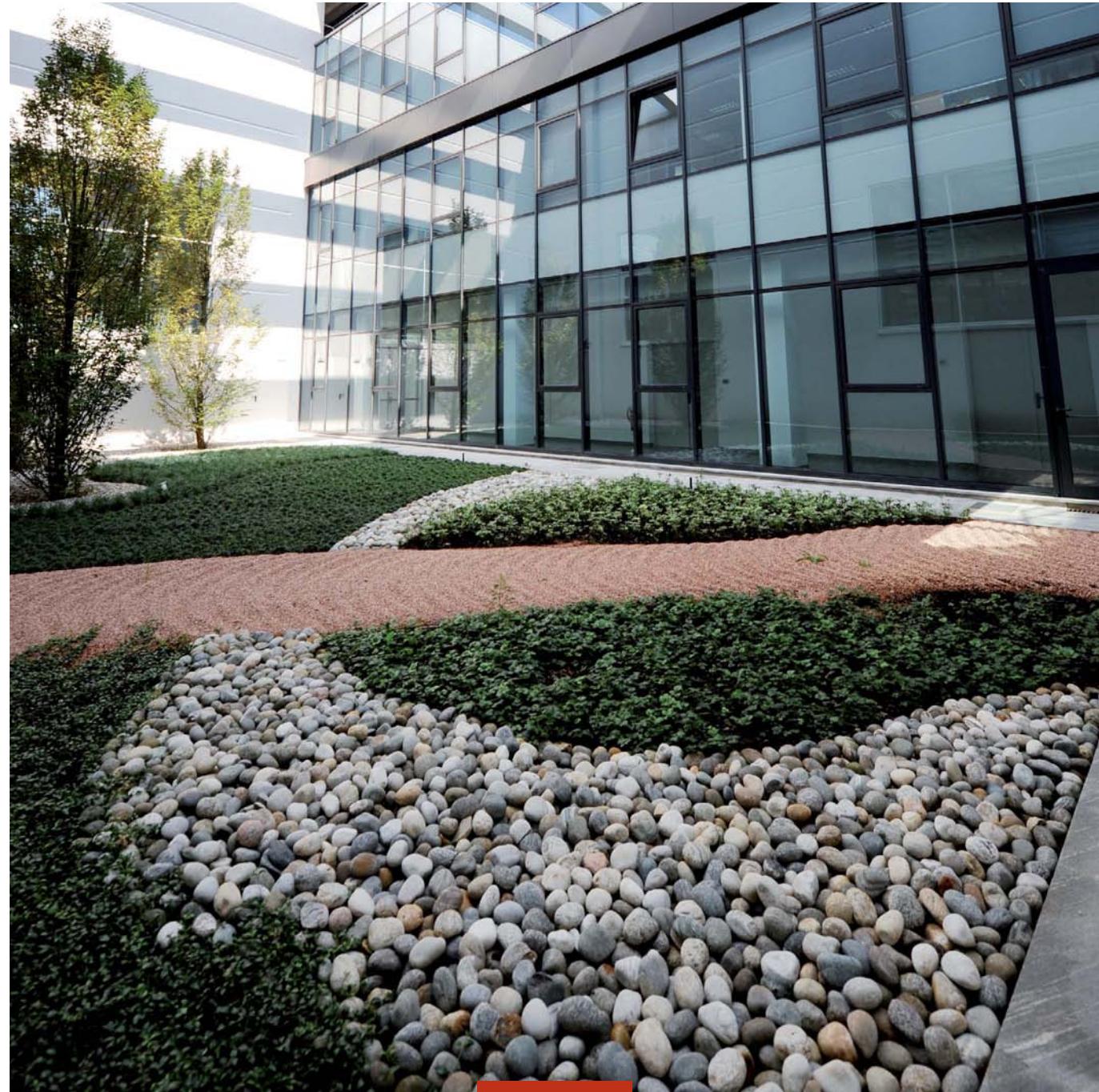
---

# ÍNDICE

Quiénes somos • El Transformador • Potencia activa  
Principales características constructivas • Ventajas del transformador encapsulado en resina  
Datos principales para solicitar un transformador encapsulado  
Ensayos en los transformadores • Transformadores en paralelo • Transformadores para rectificación  
Corrección del factor de potencia • Protección del transformador  
Sobrecarga de corta y larga duración • Comparación entre aluminio y cobre

## QUIENES SOMOS

TMC TRANSFORMERS es una empresa europea que opera a escala mundial. Líder en el diseño y la fabricación de transformadores encapsulados en media y baja tensión y guiada por una profunda ambición, a través de la pasión y la profesionalidad, TMC TRANSFORMERS ha desarrollado un modelo de negocio consistente y único que le ha permitido imponerse en un mercado maduro, gobernado por unas pocas multinacionales multi-producto. Con 30.000 transformadores fabricados y vendidos en sólo una década, 10.000 kilos de resina procesados cada día, así como una capacidad de fabricar 7.000 transformadores al año, que suponen 8000 MVA de potencia transformable al año, TMC TRANSFORMERS se mantiene compitiendo en un escenario mundial, junto a otras compañías de referencia en el sector. Orgullosa de la experiencia, del compromiso de los profesionales que trabajan en la empresa y de la fiabilidad de sus proveedores estratégicos con los que colaboramos, nuestra misión es entregar productos y servicios en el mercado con una excelente relación calidad/ precio, siempre acordes con todas las normas internacionales en vigor. En la actualidad, el Grupo cuenta con sedes productivas en Italia, España y Argentina, una planta de montaje en Israel y filiales comerciales en Alemania, Francia y Reino Unido. Asimismo, TMC está presente con agentes comerciales en el Norte y Este de Europa. Por otro lado, se están desarrollando asociaciones industriales en Rusia, Sudáfrica, Sudamérica, Sudeste asiático e India, donde TMC TRANSFORMERS está directamente presente con una filial de diseño.



La mayor parte de las instalaciones eléctricas operan en baja tensión, y así por ejemplo en las viviendas europeas la tensión nominal es de 230 V. Sin embargo, no resulta económicamente viable generar y transportar la energía eléctrica a tan baja tensión.

La unidad de medida de la tensión es el **Voltio (V)**

La función principal del transformador es adaptar la tensión al valor nominal solicitado.

En la Figura.1 se representa el recorrido de la energía eléctrica desde la generación al cliente final, en el cual están intercalados los **Step Up Transformers** que elevan la tensión de generación al valor de transporte en la línea y los **Step Down Transformers** que la reducen a valores de tensión aptos para los distintos usos.

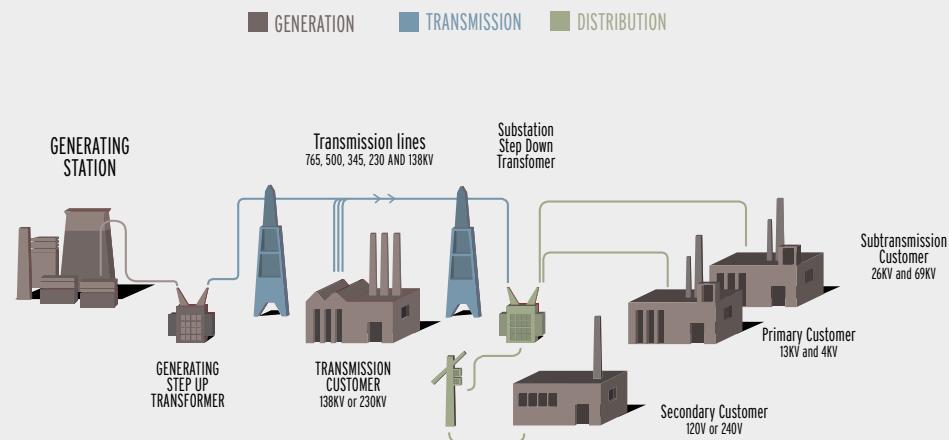


Figura.1

Otro parámetro de referencia en el empleo de la energía eléctrica es la **corriente nominal**. La corriente eléctrica puede ser definida como un flujo de cargas negativas (electrones) que recorre los conductores eléctricos en un tiempo determinado. Si pensamos en el agua que fluye por efecto de la fuerza de la gravedad, del mismo modo podemos imaginar el flujo de la corriente de electrones en el interior de los conductores por efecto de la tensión.

La unidad de medida de la corriente es el **Amperio (A)**

En la práctica se utilizan distintos tipos de corrientes que se encuentran representados en la figura.2

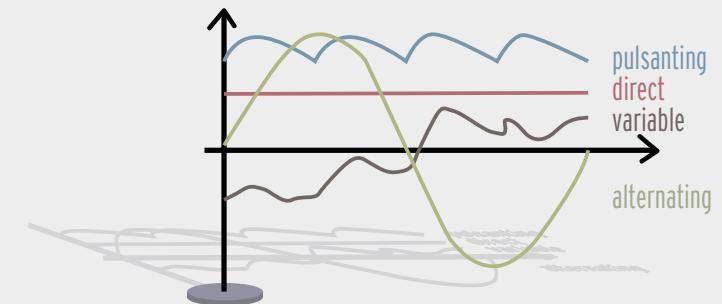


Figura.2

El transformador funciona sólo con corriente alterna siendo la forma de la tensión nominal sinusoidal.

La **potencia activa** es el trabajo que una máquina o una persona pueden desarrollar en un tiempo determinado y se mide en **Vatios (W)**.

En el caso de las máquinas eléctricas de corriente alterna solo la potencia activa no es suficiente para que puedan funcionar, sino que se necesita también una potencia llamada **potencia reactiva**. La potencia reactiva se mide en **voltamperios reactivos (VAR)**.

La composición de la potencia activa y reactiva recibe el nombre de **potencia aparente** y define la potencia de las máquinas eléctricas en corriente alterna.

La potencia aparente se mide en **voltamperios (VA)**.

Un transformador es una máquina eléctrica estática, es decir, sin partes en movimiento, capaz de transferir potencia eléctrica aparente desde un valor de tensión a otro.

En la mayoría de transformadores (reductores), la parte alimentada con mayor tensión se denomina bobinado primario, mientras que la parte con menor tensión recibe el nombre de bobinado secundario.

En el caso específico de transformadores con bobinados encapsulados en resina, la definición de los parámetros necesarios para identificar el producto a efectos de compra, bajo el perfil de las características técnicas y de los ensayos de laboratorio, se define en las siguientes Normas:

- ◆ IEC - EN 60076 - 1 - "Power Transformers";
- ◆ IEC - EN 60076 - 11 - "Dry-type power Transformers".

Existen además una serie de normas que contemplan los transformadores para aplicaciones especiales.

Por su parte, la red eléctrica puede ser de tipo monofásica o trifásica:

- ◆ la red monofásica está constituida por una conexión con dos cables, como en el caso del uso doméstico. La tensión entre los dos cables será la nominal, por ejemplo 230 V;
- ◆ la red trifásica está constituida por tres redes monofásicas con el mismo valor de tensión nominal como se muestra en la Figura.3.

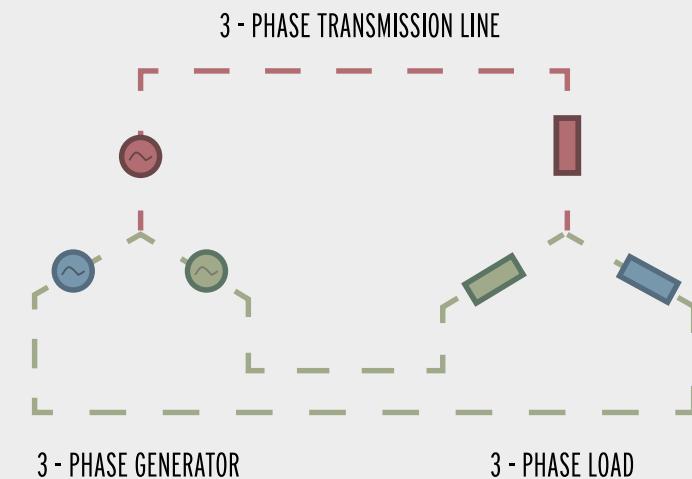


Figura.3

Para permitir la circulación de corriente entre las tres fases, las tensiones están desfasadas entre ellas 120 grados (Figura. 4).

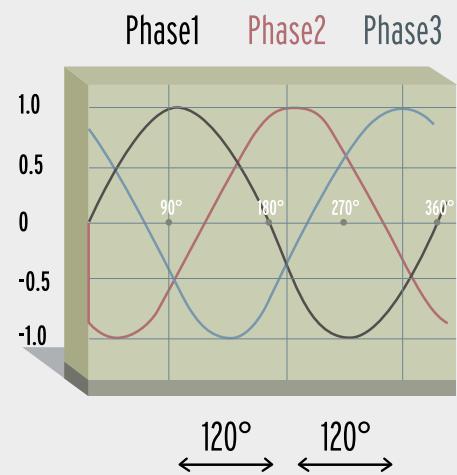


Figura.4

Por lo tanto, las corrientes que circulan en un sistema de alimentación trifásica también estarán desfasadas entre ellas 120°.

En consecuencia, en un sistema trifásico se distinguen dos tipos de tensión:

- ◆ de fase, entendida como el valor de tensión de cada fase respecto a tierra;
- ◆ de línea, entendida como la diferencia entre dos tensiones de fase.

Dado que las tensiones de fase están desfasadas entre ellas 120°, el valor de las tensiones de línea viene dado por el valor de la tensión de fase multiplicado por  $\sqrt{3}$ , cuyo valor es aproximadamente 1.73.

En la figura.5  $\vec{E}_1, \vec{E}_2, \vec{E}_3$ , son las tensiones de fase; mientras que  $\vec{V}_{12}, \vec{V}_{23}, \vec{V}_{31}$  son las tensiones de línea, es decir, entre fases.

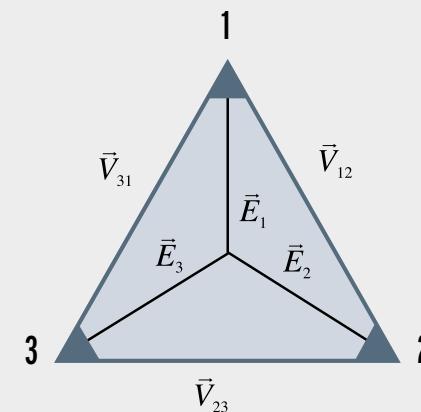


Figura.5

---

Los transformadores se pueden conectar tanto a una red monofásica, como a una red trifásica.

---

**LA MORFOLOGÍA CLÁSICA DEL TRANSFORMADOR ESTÁ FORMADA POR**

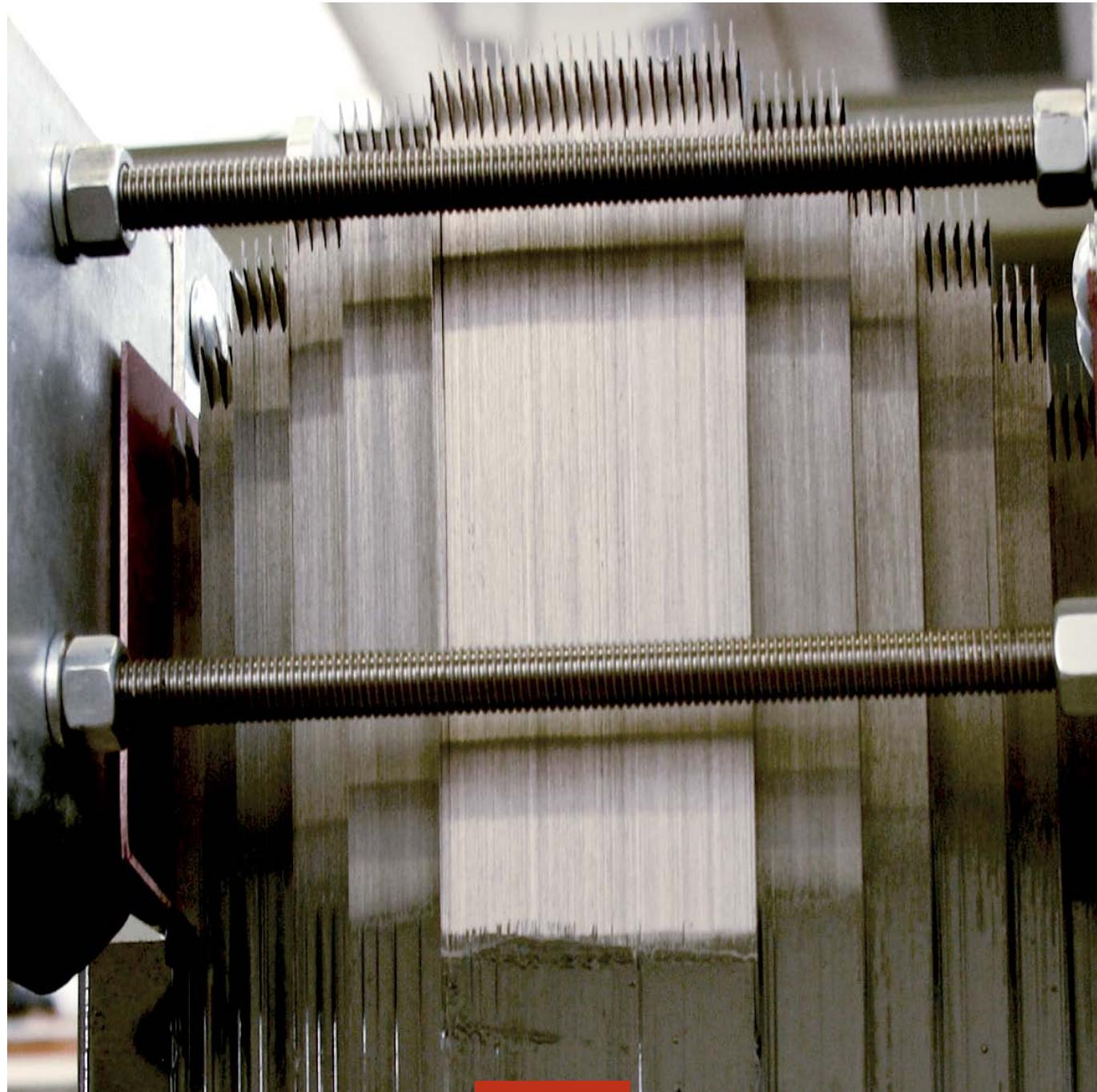
- ◆ un núcleo de chapa de acero al silicio, en donde se canaliza el campo magnético. El núcleo está formado por columnas (verticales) y culatas (horizontales);
- ◆ uno o más bobinados secundarios concéntricos montados en el núcleo y realizados en aluminio o cobre;
- ◆ un bobinado primario de aluminio o cobre montado concéntrica y externamente al bobinado secundario.

**A CONTINUACIÓN DESCRIBIREMOS LAS CARACTERÍSTICAS CONSTRUCTIVAS DEL TRANSFORMADOR TMC****Núcleo**

El material que constituye los núcleos magnéticos de los transformadores TMC es chapa magnética de acero al silicio con grano orientado. Este tipo de acero presenta un elevado valor de permeabilidad al campo magnético y a sus variaciones, para reducir las pérdidas.

Las uniones entre las columnas y las culatas se realizan a base de chapas intercaladas con montaje Step Lap, de modo que se favorece el recorrido del flujo magnético, la reducción de la corriente de vacío y el ruido, confiriendo además una buena rigidez mecánica al núcleo.





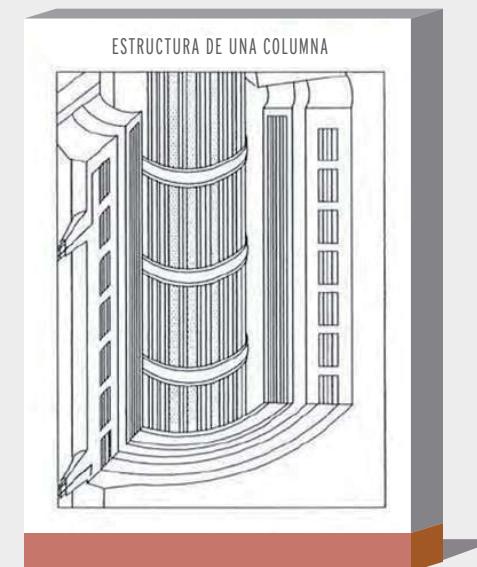


Figura.6

#### Bobinado secundario

El bobinado secundario (de baja tensión) está formado por un conductor en banda de aluminio o cobre protegido completamente por un aislante impregnado con resinas epoxi, y se realiza en bobinadoras automáticas que aseguran una perfecta tensión y compacidad a la bobina. La bobina así obtenida es sometida a una impregnación con resina bajo vacío. La alta calidad de los materiales empleados y el proceso de bobinado permiten obtener una bobina capaz de optimizar la evacuación del calor y de resistir los esfuerzos electromecánicos en caso de cortocircuito.



### Bobinado primario

El bobinado primario (de media tensión) está formado por un conductor en banda de aluminio de pequeño espesor bobinado junto a un aislante de poliéster. El bobinado está formado por discos realizados en modo continuo por máquinas automáticas que realizan también la unión entre discos y la soldadura de las derivaciones. Una vez terminado el bobinado se encapsula bajo vacío con resina epoxi cargada con cuarzo y alúmina, sucesivamente, se polimeriza en horno con un procedimiento controlado para asegurar la máxima homogeneidad mecánica de la bobina. De este modo se obtienen grandes ventajas de resistencia a los ciclos térmicos en los regímenes de funcionamiento, a las descargas parciales y a los agentes contaminantes.





Bobinados primarios encapsulados



Instalación de encapsulado

**El transformador en resina tiene las siguientes ventajas**

- ◆ presenta una alta resistencia al fuego y es autoextinguible;
- ◆ ausencia de toxicidad en caso de incendio;
- ◆ el lugar de instalación no precisa características particulares, (a diferencia de los transformadores en aceite que necesitan barreras contra el fuego o de recogida de aceite);
- ◆ posibilidad de utilización en ambientes con fuertes contenidos de humedad y contaminación;
- ◆ gastos de instalación reducidos;
- ◆ ausencia de mantenimiento (a diferencia de los transformadores en aceite);
- ◆ valores reducidos de pérdidas durante el funcionamiento debido a la posibilidad de instalación del transformador junto a la carga a alimentar;
- ◆ excelente resistencia al ensayo de cortocircuito;
- ◆ excelente resistencia a las sobrecargas;
- ◆ elevado nivel de aislamiento y ausencia de descargas parciales;
- ◆ dimensiones reducidas respecto a los transformadores secos no encapsulados en resina.

**Con estas características se adapta a diferentes ambientes como por ejemplo**

- ◆ sedes de oficinas;
- ◆ aeropuertos;
- ◆ instalaciones militares;
- ◆ plataformas off-shore;
- ◆ transportes: tracción eléctrica terrestre y marítima;
- ◆ centros de telecomunicaciones;
- ◆ centros comerciales y culturales;
- ◆ bancos;
- ◆ hospitales;
- ◆ escuelas;
- ◆ plantas fotovoltaicas y eólicas;
- ◆ todos aquellos lugares con peligro de incendio;
- ◆ planta de energía eléctrica (gas, nuclear).

## ◆ APLICACIONES ◆

**PROYECTOS ESPECIALES**

La torre Shard - Londres (Reino Unido)  
La torre Agbar - Barcelona (España)  
Feria de muestras de Milán (Italia)

**AEROPUERTOS**

Aeropuerto de Milán Malpensa (Italia)  
Aeropuerto de Barcelona (España)  
Aeropuerto internacional Yeravan (Armenia)  
Aeropuerto de Santorini (Grecia)

**FERROCARRILES Y TRANVIAS**

Tren de alta velocidad TGV (Francia)  
Linea Tranvía de Angers (Francia)  
Estación de tren "Porta Nuova Garibaldi" Milán (Italia)  
Estación central de Viena (Austria)





---

#### CENTRALES ELÉCTRICAS

---

Central Nuclear Olkiluoto (Finlandia)  
Central Eléctrica de Scandale (Italia)  
Central Eléctrica de West Burton (Reino Unido)  
Central Hidroeléctrica de Kiev (Ucrania)  
Central Eléctrica de Bachaquero y Tamare (Venezuela)

---

#### UNIVERSIDADES Y HOSPITALES

---

Hospital Universitario Karolinska (Suecia)  
Universidad J. Gutemberg (Alemania)  
Hospital San Camillo Roma (Italia)

---

#### PARQUES FOTOVOLTAICOS

---

Parque fotovoltaico Casella (Italia)  
Parque fotovoltaico en la Fira de Barcelona (España)  
Parque fotovoltaico Picaro (Italia)  
Parque fotovoltaico Ruvo (Italia)

---

#### PARQUES EÓLICOS

---

Parque eólico Faro Farelo (España)  
Parque eólico Pehimo (España)  
Parque eólico Lucito y Melissa (Italia)  
Parque eólico Vallè du Moulin (Francia)





LAS CARACTERÍSTICAS FUNDAMENTALES NECESARIAS PARA REALIZAR LOS PEDIDOS SON

Tensión nominal de cada bobinado (Vn)

Cada bobinado del transformador se caracteriza por su tensión nominal. Para los transformadores monofásicos esta tensión es la tensión de fase, mientras que para los transformadores trifásicos se trata de la tensión de línea. Estas tensiones están referidas al funcionamiento en vacío y se determinan en el ensayo de vacío.

Relación de transformación (k)

Se obtiene de la relación entre la tensión nominal del primario y del secundario.

$$k = \frac{V_{1n}}{V_{2n}}$$

Los datos que el cliente tiene que facilitar para solicitar un transformador están definidos en la norma IEC 60076 (v. Anexo A.1.1-IEC 60076 parte 1)

Un ejemplo de placa TMC

**TMC**  
TRANSFORMERS  
POWER TO ENERGY

**TMC TRANSFORMERS**

CAST RESIN TRANSFORMER

Nº	26616	YEAR	2011	RATING	2000	kVA	3
COOLING	AN	INSULATION TEMP.	F/F	TEMPERATURE RI			
IMP.	6.33 %	GROUP	Dyn11	INSUL. CLASS.	LI 75	AC	
HIGH VOLTAGE			CONNECTION		LOW VOLTAGE		
					400		
11550		V	7-6		2886.75		
11275		V	7-5				
11000		V	7-4				behaviour agai
10725		V	5-8				clima
10450		V	4-8				envinro
		V					
104.97		A					

### Potencia nominal ( $S_n$ )

Es la potencia aparente para la cual el transformador ha sido diseñado.  
El valor de la potencia aparente nominal se obtiene:

- para transformadores monofásicos, de la tensión nominal del bobinado primario o secundario, multiplicado por la correspondiente corriente;

$$S_n = V_n \cdot I_n$$

- para un transformador trifásico se obtiene de multiplicar tres veces la potencia de cada fase (por ejemplo para un transformador de 1 MVA cada fase tendrá 0.333 MVA de potencia nominal). La potencia nominal está siempre relacionada a la toma nominal y se puede calcular con la siguiente fórmula, donde  $V_n$  es la tensión de línea y  $I_n$  la corriente nominal.

$$S_n = \sqrt{3} \cdot V_n \cdot I_n$$

### Corriente nominal de cada Bobinado ( $I_n$ )

Es la corriente que el bobinado puede soportar por un tiempo indefinido. Se calcula a partir de la potencia nominal y de la tensión nominal.

- para transformadores monofásicos  $I_n = \frac{S_n}{V_n}$

- para transformadores trifásicos  $I_n = \frac{S_n}{\sqrt{3} \cdot V_n}$

Se tiene que calcular por cada bobinado del transformador.

### Frecuencia ( $F_n$ )

Es la frecuencia nominal para la que el transformador ha sido proyectado, en los casos más comunes 50 Hz o 60 Hz.

### Tipo de aislamiento

Debe especificarse si el aislamiento es seco o en aceite.

### Instalación

Debe especificarse si el transformador irá instalado en interior o a la intemperie, así como el grado de protección de la envolvente (v. Clase IPXY, más adelante)

### Grupo vectorial

Se aplica solo a los transformadores trifásicos. En un transformador trifásico, las fases de un mismo bobinado (primario o secundario) pueden estar conectadas de distintos modos. El grupo y el índice horario identifican la conexión para el primario y el secundario.

En la Tabla 1 se pueden ver los grupos de conexión más usados.

La letra mayúscula identifica la conexión para el bobinado con mayor tensión mientras que la letra minúscula indica la conexión para el bobinado con menor tensión.

0	 Yy0 Dd0	 Dd0 Dz0	 Dz0 Yy0
1	 Yd1 Dy1	 Dy1 Yz1	 Yz1 Yd1
5	 Yd5 Dy5	 Dy5 Yz5	 Yz5 Yd5
6	 Yy6 Dd6	 Dd6 Dz6	 Dz6 Yy6
11	 Yd11 Dy11	 Dy11 Yz11	 Yz11 Yd11

TABLA 1

Por ejemplo el grupo Dy11 significa

- ◆ conexión del primario en triángulo (D);
- ◆ conexión del secundario en estrella (y);
- ◆ 11 es el índice horario y expresa el retraso de la tensión de fase secundaria respecto a la tensión de fase primaria, así en este caso se tendrá  $11 \times 30^\circ = 330^\circ$  de retraso (o  $30^\circ$  de adelanto).

Una exposición completa al respecto se encuentra en la norma IEC 60076-Parte 1. Dos o más transformadores en paralelo tienen que tener el mismo grupo vectorial, ya que en caso contrario se intercambiarán potencias.

#### Modo de conexión a tierra de cada bobinado

Especificar si el bobinado será puesto a tierra o no y de qué forma (si directamente o a través de una impedancia).

#### Clase de aislamiento de los bobinados

Es la clase de aislamiento para la que se garantiza el funcionamiento del transformador (v. IEC 60076). Las clases de aislamiento dependen de la tensión nominal de los bobinados. Por ejemplo, para un bobinado con tensión nominal 0.400 kV, la clase de aislamiento correspondiente es 1.1 kV. La clase de aislamiento es fundamental porque determina también el tipo de ensayos a los que se someterá el transformador.

#### Clase de aislamiento referida a la temperatura de funcionamiento

La temperatura de funcionamiento condiciona la vida útil de los aislantes y por tanto, del transformador. Por este motivo, se definen las clases de aislamiento en función del material que constituye el aislamiento del transformador. Para cada clase se fija el calentamiento permitido respecto a la temperatura ambiente de proyecto de  $40^\circ \text{C}$ .

Por ejemplo: para los transformadores encapsulados en resina la clase de aislamiento es la F, a la que le corresponde un calentamiento de  $100 \text{K} = 100^\circ \text{C}$ . Para esta clase, la temperatura permitida será de  $100^\circ \text{C} + 40^\circ \text{C} = 140^\circ \text{C}$ .

Una completa exposición del tema se encuentra en la norma IEC 60085 Electrical insulation - Thermal evaluation and designation.

#### ————— Tensión máxima (Um) para cada bobinado —————

Es la máxima tensión respecto a masa para la cual está destinado a funcionar el transformador. Esta información es muy importante porque algunos transformadores no tienen la misma clase de aislamiento que corresponde por su tensión nominal.

#### ————— Tensión de cortocircuito ( $U_{cc}$ o $U_{cc}\%$ ) —————

En el ensayo de cortocircuito la  $U_{cc}$  es el valor de tensión que es necesario aplicar en el bobinado primario para conseguir la circulación de las corrientes nominales en el transformador, teniendo los bobinados secundarios en corto circuito.

Generalmente se expresa en fracción porcentual de la tensión nominal.

Por ejemplo si medimos, durante la prueba de cortocircuito, una tensión en el primario de 14 V y la tensión nominal del primario es de 230 V entonces tendremos  $U_{cc}\% = 14 \text{ V} / 230 \text{ V} * 100 = 6.08\%$

#### ————— Corriente de vacío ( $I_0$ o $I_0\%$ ) —————

Es la corriente aplicada al bobinado primario durante el ensayo de vacío. A partir de ella se obtiene el valor de la potencia disipada en el funcionamiento en vacío y generalmente se expresa en porcentaje de la corriente nominal del primario.

#### ————— Terminales de regulación —————

En el funcionamiento en carga, la tensión secundaria puede sufrir variaciones debidas a la carga o a la línea de alimentación del transformador. Los terminales de regulación permiten, entre ciertos límites, adaptarse a la tensión secundaria. Generalmente el ajuste es  $\pm 5\%$  con 5 terminales y variaciones de 2.5%.

#### Terminales de regulación



### Temperatura de referencia

Es la temperatura de referencia determinada por la norma para la medida de las pérdidas en corto circuito y en vacío. En el caso de los transformadores de distribución en clase F esta temperatura es de 120° C.

### Pérdidas en vacío ( $P_0$ )

Son las pérdidas medidas en el ensayo de vacío y determinan la potencia que el transformador absorbe para magnetizar el núcleo y que también se absorbe cuando el transformador no alimenta ninguna carga. Este valor puede ser solicitado por el cliente o bien puede obtenerse de las tablas estándar de los principales fabricantes.

### Pérdidas en corto circuito ( $P_{cc}$ )

Son las pérdidas medidas en el ensayo de corto circuito y determinan la potencia que se pierde en los bobinados del transformador cuando por ellos circulan las corrientes nominales. Equivalen a la suma de las pérdidas del primario y del secundario de todo el transformador. Este valor puede ser solicitado por el cliente o bien puede obtenerse de las tablas estándar de los principales fabricantes. El valor medido de las pérdidas se calcula en base a la temperatura de referencia (Ver arriba).

### Refrigeración

Los transformadores encapsulados en resina pueden tener dos tipos de refrigeración: con aire natural (AN) o con aire forzado (AF), obtenido mediante ventiladores.

### Temperatura ambiente de proyecto

Es la temperatura ambiente para la que el transformador ha sido diseñado y su valor normalmente es de 40° C.

### Altitud sobre el nivel del mar

Esta información es de gran utilidad ya que la potencia de un transformador instalado por debajo de los 1.000 m.s.n.m tiene una potencia nominal mayor que el mismo transformador instalado a una altitud superior a 1.000 m.s.n.m. (v. IEC 60076-parte 2). En particular, para transformadores AN que se ensayen por debajo de los 1.000 m.s.n.m., pero que vayan a ser instalados a una altitud superior a 1.000 m.s.n.m., la norma considera necesario disminuir el calentamiento en 2.5 K por cada 500 m de altitud sobre los 1.000 m.s.n.m.. Por ejemplo si un transformador diseñado para una altitud inferior o igual a 1.000 m.s.n.m. y de clase F, es decir, con un calentamiento de 100 K, se instala a 2.000 m.s.n.m. el valor del calentamiento pasará a ser 95 K. Del mismo modo también debe modificarse el nivel de aislamiento en el ensayo de tensión aplicada realizado por debajo de la cota de los 1.000 m.s.n.m. La norma preve un aumento del nivel de aislamiento en el ensayo del 1% por cada 100 m por encima de los 1.000 m. Para un transformador con tensión aplicada de 50 kV instalado a 2.000 m.s.n.m. la tensión aplicada en el ensayo pasará a ser de 55 kV.

### Clase IPXYZ- letras opcionales (International Protection XYZ-additional letters)

La clase IPXYZ-letras opcionales se refiere a la envolvente que contiene el transformador. La primera cifra identifica tanto la protección contra la penetración de cuerpos sólidos y polvo, como la protección contra el acceso a partes peligrosas. La segunda cifra indica el grado de protección contra la penetración del agua. Mientras que la tercera cifra indica el grado de protección contra los golpes. Existen además otras dos letras adicionales opcionales: la primera señala la inaccesibilidad a la envolvente con los dedos o con las manos, o con objetos agarrados por una persona. La segunda letra opcional se refiere a condiciones particulares en relación al tipo o al empleo de la envolvente y de su contenido. Por ejemplo el grado de protección IP101BH indica

- ◆ primera cifra 1: protegido de cuerpos sólidos de un diámetro mayor de 50 mm;
- ◆ segunda cifra 0: no protegido contra el agua;
- ◆ tercera cifra 1: protección contra golpes con una energía máxima igual a 0.225 J;
- ◆ primera letra opcional B: indica que la envolvente está dotada de dispositivos particulares que no permiten el contacto de los dedos de una mano con partes peligrosas;
- ◆ segunda letra opcional H: indica que la envolvente puede contener aparatos de alta tensión.

## Envolvente de protección



Una explicación completa se encuentra en la norma IEC 60529.

1 <sup>st</sup> N. PROTECTION AGAINST SOLID BODIES			2 <sup>nd</sup> N. PROTECTION AGAINST LIQUIDS			3 <sup>rd</sup> N. MECHANICAL PROTECTION		
IP	Tests	Description	IP	Tests	Description	IP	Tests	Description
0		No Protection	0		No Protection	0		No Protection
1		Protection against solid bodies larger than d. 50 mm (ex. involuntary contact by hand)	1		Protection against the vertical fall of water drops (condensation)	1		Impact energy 0.225 joules
2		Protection against solid bodies larger than d. 12 mm (ex. finger contact)	2		Protection against the fall of water drops up to 15° from the vertical	2		Impact energy 0.375 joules
3		Protection against solid bodies larger than d. 2.5 mm (ends of tools, wires)	3		Protection against the fall of water drops and rain up to 60° from the vertical	3		Impact energy 0.500 joules
4		Protection against solid bodies larger than d. 1 mm (ends of tools, thin wires)	4		Protection against water jets from all directions	4		Impact energy 2.000 joules
5		Protection against dust (no harmful deposits)	5		Protection against forced water jets from all directions	7		Impact energy 6.000 joules
6		Total protection against dust	6		Protection against water similar to waves	9		Impact energy 20.000 joules
			7		Protection against water immersion			

TABLA 2

La tabla 2 resume los significados de las cifras con sus ensayos.

## Tablas de letras opcionales

PRIMERA LETRA OPCIONAL	
LEVEL	PROTECT AGAINST ACCESS TO HAZARDOUS PARTS WITH
A	BACK OF HAND
B	FINGER
C	TOOL
D	WIRE

TABLA 3

SEGUNDA LETRA OPCIONAL	
LETTER	MEANING
H	HIGH VOLTAGE DEVICE
M	DEVICE MOVING DURING WATER TEST
S	DEVICE STANDING STILL DURING WATER TEST
W	WEATHER CONDITIONS

TABLA 4

### Nivel de ruido

Si son necesarias exigencias particulares del nivel de ruido, el cliente tendrá que especificar dicho nivel en dB. Generalmente se indica el nivel de presión acústica. La medida se efectúa alrededor del perímetro del transformador a una distancia de 1m si el transformador es IP00 y a una distancia de 0.3 m si el transformador tiene una envolvente de protección. Mayores detalles sobre estos métodos de ensayo se encuentran en la norma IEC 60076-10.

### Dimensiones y peso

Es necesario indicar todas las dimensiones externas del transformador, incluyendo también las de la envolvente si la tuviera. El peso será comunicado por el fabricante, o bien se podrá encontrar en los catálogos técnicos de dicho fabricante.

Para mayor información ver la norma IEC 60076-Parte 1- Anexo A.



LOS ENSAYOS EN LOS TRANSFORMADORES ESTÁN REGULADOS POR LA NORMA IEC 60076-11 Y SE DIVIDEN EN ENSAYOS INDIVIDUALES, ENSAYOS DE TIPO Y ENSAYOS ESPECIALES.

#### Ensayos individuales

- ◆ medición de la resistencia eléctrica de los bobinados;
- ◆ medición de la relación de transformación y control del grupo vectorial;
- ◆ medición de la tensión de corto circuito  $U_{cc}\%$ ;
- ◆ medición de las pérdidas de corto circuito  $P_{cc}$ ;
- ◆ medición de las pérdidas en vacío  $P_0$  y de la corriente de vacío  $I_0\%$ ;
- ◆ ensayos de aislamiento con tensión aplicada;
- ◆ ensayo de aislamiento con tensión inducida;
- ◆ medida de las descargas parciales;
- ◆ control de las dimensiones.

#### Ensayos de tipo

- ◆ ensayo de impulso atmosférico;
- ◆ ensayo de calentamiento.

#### Ensayos especiales

- ◆ medida del nivel de ruido;
- ◆ ensayo de aptitud para soportar cortocircuitos;
- ◆ ensayo climático (C1 - C2);
- ◆ ensayo ambiental.





Dos o más transformadores trabajan en paralelo cuando están alimentados por la misma línea primaria y distribuyen energía en la misma línea secundaria. La disposición contigua de las dos máquinas hace que las impedancias externas (barras de conexión) sean insignificantes respecto a las propias impedancias.

Las condiciones necesarias para que se pueda realizar el paralelo son

- ♦ misma relación de transformación  $k$ ;
- ♦ mismo grupo vectorial;
- ♦ misma tensión de corto circuito  $U_{cc}\%$  en la toma principal, con una tolerancia admitida por la norma del  $\pm 10\%$ ; Además, si las tomas de regulación son más que las habituales de  $\pm 5\%$ , también es necesario conocer la  $U_{cc}\%$  en la toma superior e inferior;
- ♦ relación entre las potencias de los transformadores en paralelo comprendida entre 0.5 y 2.

Mientras las dos primeras condiciones son necesarias, las otras dos conciernen sobretodo a la división de cargas entre los transformadores en paralelo. En efecto, si la  $U_{cc}\%$  de los transformadores es distinta, las corrientes se reparten en razón inversa a las  $U_{cc}\%$  y proporcionalmente a sus potencias (Figura.7).

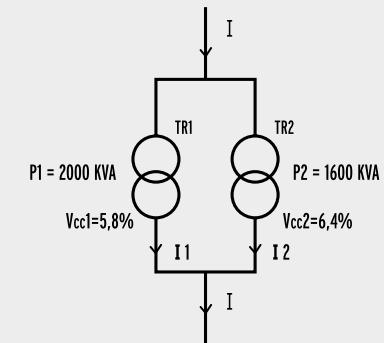


Figura.7

Si consideramos dos transformadores TR1 y TR2 en paralelo con los siguientes datos

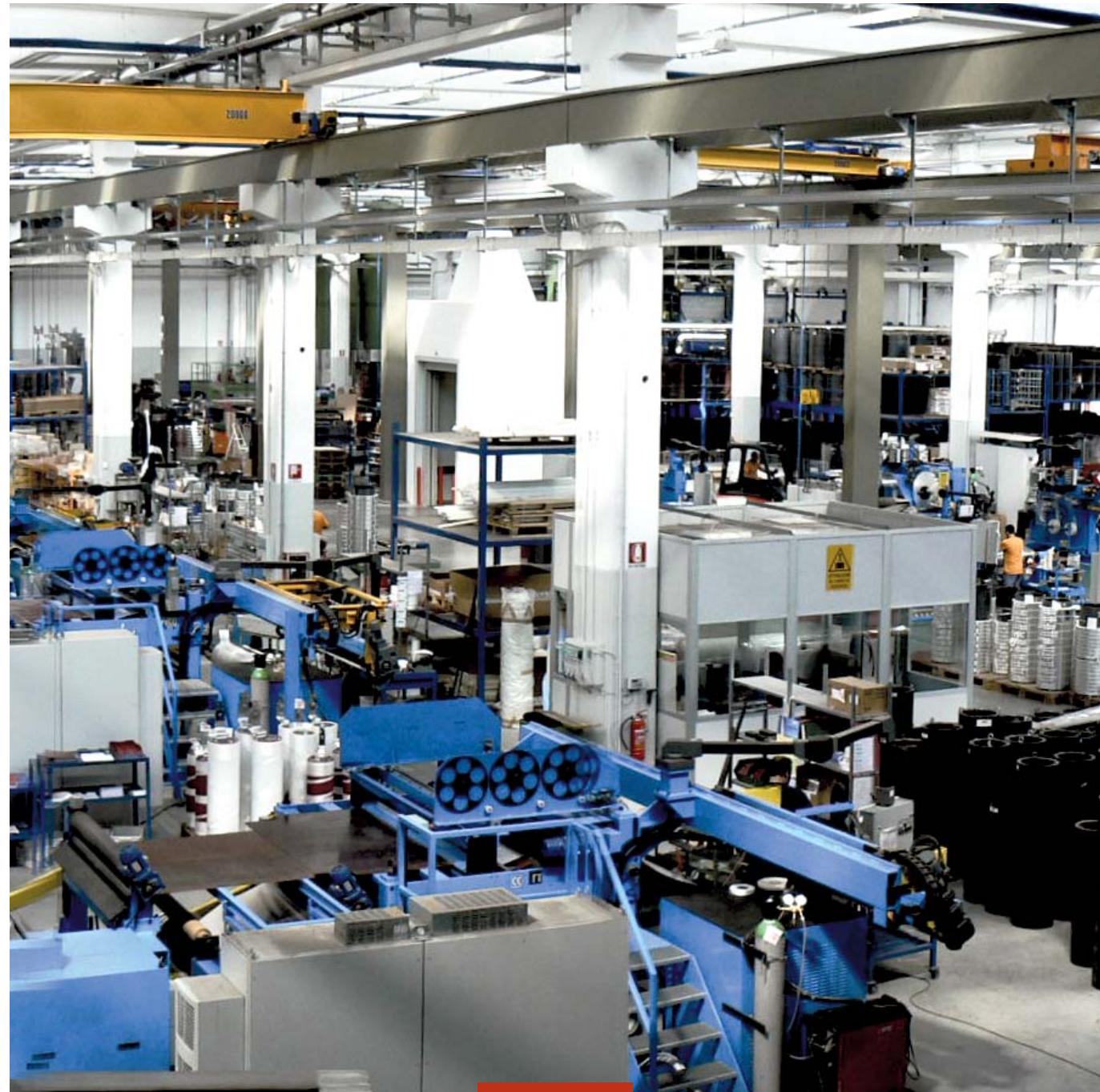
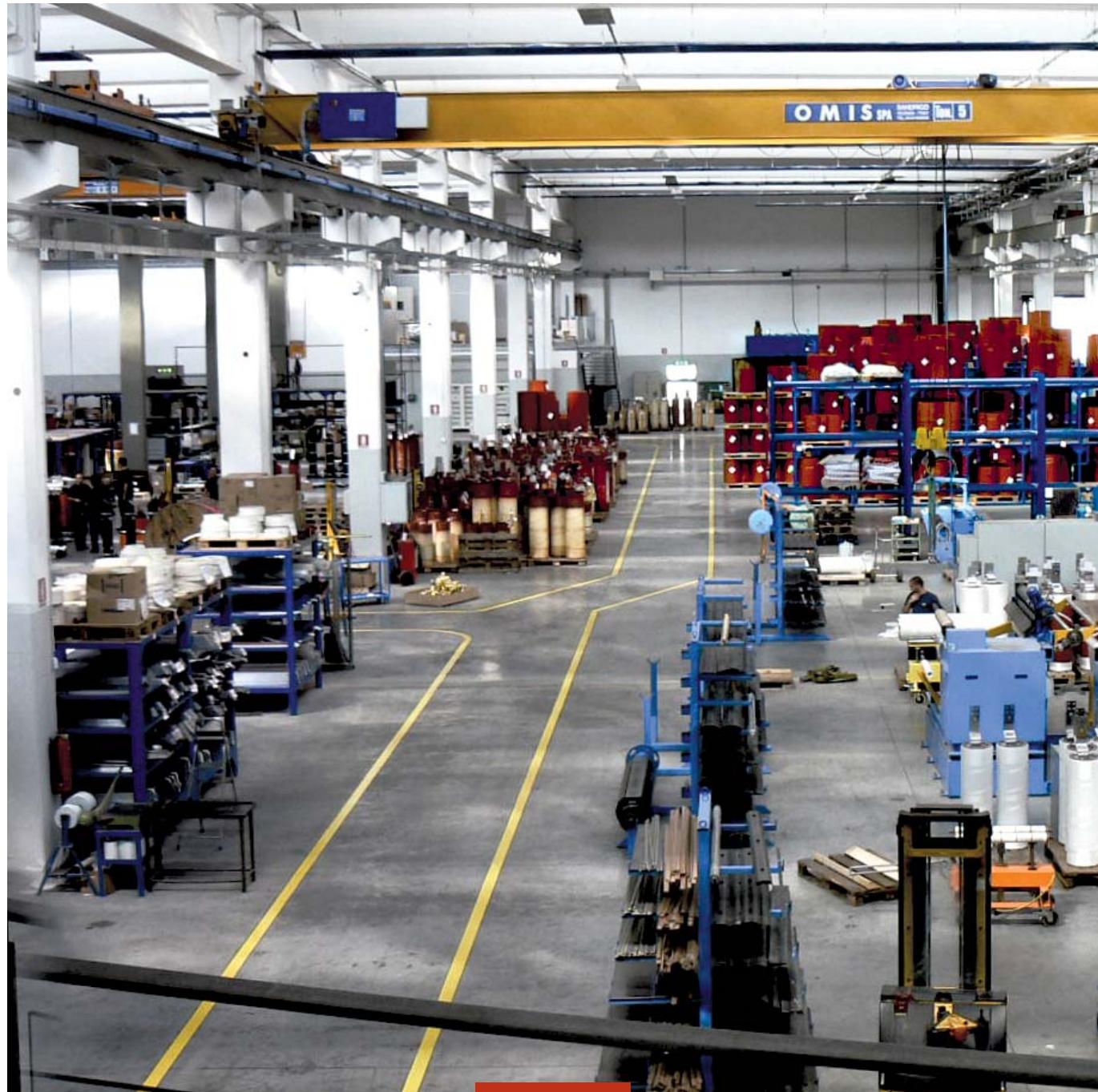
- ♦ misma relación de transformación  $k$ ;
- ♦ mismo grupo vectorial;
- ♦  $P1 = 2000 \text{ kVA}$  y  $P2 = 1600 \text{ kVA}$ ;
- ♦  $U_{cc1}\% = 5.8\%$  y  $U_{cc2}\% = 6.4\%$ .

TR1 con  $U_{cc1}\% = 5.8\%$  suministrará su potencia nominal de 2000 kVA mientras TR2 con  $U_{cc2}\% = 6.4$  suministrará una potencia igual a:

$$P2 \left( \frac{U_{cc1}\%}{U_{cc2}\%} \right) = 1600 \left( \frac{5.8}{6.4} \right) = 1450 \text{ kVA}$$

De este modo la potencia suministrada por los dos transformadores será 2000 kVA + 1450 kVA = 3450 kVA en vez de los 3600 kVA suma de las potencias nominales de los dos transformadores.

Por eso en el momento del pedido es necesario saber si el transformador se conectará en paralelo con otros ya existentes y si es así, solicitar los protocolos de ensayos de dichos transformadores.



### LOS TRANSFORMADORES DE RECTIFICACIÓN SE UTILIZAN EN LA CONVERSIÓN DE LA ENERGÍA ELÉCTRICA.

Los principales campos de aplicación de la conversión son

- ◆ electrólisis;
- ◆ electrometalurgia;
- ◆ alimentación de motores en corriente continua con accionamientos a velocidad variable;
- ◆ tracción eléctrica;
- ◆ aplicaciones galvánicas;
- ◆ electroforesis.

Además, cuando se utiliza en las aplicaciones citadas, el transformador realiza también otras funciones como

- ◆ transformar la tensión de alimentación al valor necesario para obtener en el lado de corriente continua el valor de tensión deseado;
- ◆ suministrar el número de fases y los decalajes necesarios para la realización del esquema de conversión elegido;
- ◆ regular la tensión con el fin de variar la tensión continua a la salida del convertidor.

El funcionamiento de los convertidores causa una distorsión en la forma de onda de la corriente que deja de ser perfectamente senoidal (Figura. 8).

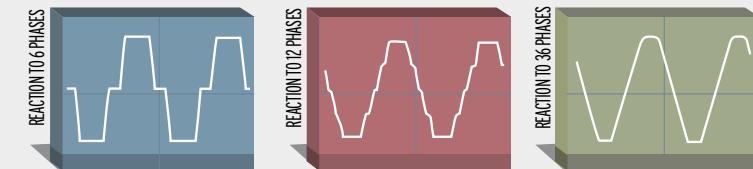


Figura.8

Los transformadores para rectificación pueden funcionar con formas de onda distorsionadas y filtrar la mayor parte de la energía de distorsión. Por eso tienen que ser dimensionados no solo para la potencia nominal, sino también para absorber y disipar la potencia de distorsión.

Para tener en cuenta este dimensionamiento se usa, de modo especial en los países anglosajones, el factor K (K-factor).

El K-factor está definido en la norma ANSI/IEEE C57.110 e indica el valor de las distorsiones en una red eléctrica. Se recomienda consultar la norma para el cálculo y otros particulares. Underwriters Laboratory (UL) utiliza este coeficiente para catalogar a los transformadores utilizados en redes con distorsiones de la forma de onda de tensión y de corriente(UL1561).

Existe también otro método europeo de cálculo llamado Factor-K que encontramos en la norma BS 7821 Part 4.

LOAD	K-FACTOR
ELECTRIC DISCHARGE LIGHTING	K-4
UPS WITH OPTIONAL INPUT FILTERING	K-4
WELDERS	K-4
INDUCTION HEATING EQUIPMENT	K-4
PLCS AND SOLID STATE CONTROLS (OTHER THAN VARIABLE SPEED DRIVERS)	K-4
TELECOMMUNICATIONS EQUIPMENT (E.G. PRX)	K-13
UPS WITHOUT INPUT FILTERING	K-13
MULTIWIRE RECEPTACLE CIRCUITS IN GENERAL CARE AREAS OF HEALTH CARE FACILITIES AND CLASSROOMS OF SCHOOLS, ETC.	K-13
MULTIWIRE RECEPTACLE CIRCUITS SUPPLYING INSPECTION OR TESTING EQUIPMENT ON AN ASSEMBLY OR PRODUCTION LINE	K-13
MAINFRAME COMPUTER LOADS	K-13
SOLID STATE MOTOR DRIVES (VARIABLE SPEED DRIVERS)	K-13
MULTIWIRE RECEPTACLE CIRCUITS IN CRITICAL CARE AREAS AND OPERATING / RECOVERY ROOMS OF HOSPITALS	K-13

TABLA 5

La Tabla 5 resume los casos más frecuentes de K-factor.

El K-factor puede utilizarse de dos formas

- para determinar cuánto tiene que ser sobredimensionado un transformador estándar para la aplicación con distorsión;
- para identificar, por parte del fabricante, el tipo de transformador más idóneo a la aplicación con distorsión.

POR EJEMPLO SI INDICAMOS UN K FACTOR IGUAL A 4, TENDREMOS UN DE-RATING DE CASI EL 10% (FIGURA.9)

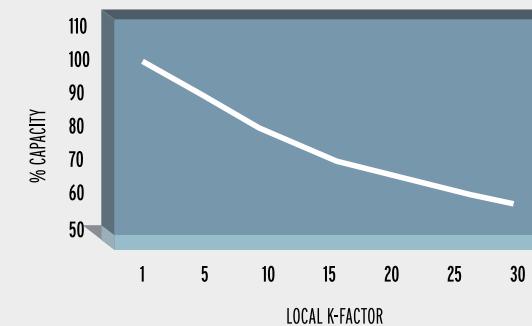


Figura.9

Por otro lado se aconseja siempre que el estudio de ingeniería o el cliente establezca y comunique al fabricante el factor K del transformador de forma que se solicite una máquina adecuada al tipo de carga esperada.

El transformador es una carga resistente inductiva. La parte inductiva es predominante y determina una absorción de potencia reactiva inductiva nada despreciable. La consecuencia más directa es que, para los transformadores de potencia, se hace necesario recurrir a una corrección del factor de potencia. La potencia capacitiva necesaria para la corrección del factor de potencia se puede calcular con las siguientes formulas.

Para el funcionamiento en vacío

$$Q_0 = tg\varphi_0 \cdot P_0 \text{ VAR}$$

donde:

$$\varphi_0 = \arccos\left(\frac{P_0}{V_n \cdot I_0}\right) \text{ para transformadores monofásicos;}$$

$$\varphi_0 = \arccos\left(\frac{P_0}{\sqrt{3} \cdot V_n \cdot I_0}\right) \text{ para transformadores trifásicos.}$$

Para el funcionamiento a plena carga

$$Q_{cc} = Q_0 + tg\varphi_{cc} \cdot P_{cc} \text{ VAR}$$

$$\text{donde: } \varphi_{cc} = \arccos\left(\frac{P_{cc}\%}{U_{cc}\%}\right) \text{ y } P_{cc}\% = \frac{P_{cc}}{S_n} \cdot 100$$

El valor  $Q_0$  es la potencia mínima a corregir y  $Q_{cc}$  es la potencia máxima.



### PROTECCIÓN TÉRMICA

Durante su funcionamiento, el transformador puede sufrir fallos en el suministro y averías, determinadas por diversos factores, entre ellos:

- ◆ una temperatura ambiental superior a la del proyecto;
- ◆ presencia de sobrecargas no indicadas en la fase de pedido;
- ◆ una insuficiente renovación del aire o bien una dirección incorrecta de su flujo a través de los bobinados.

Para evitar estos inconvenientes se prevé un sistema de protección térmica mediante la adopción de uno o más de los siguientes tipos de detectores de temperatura.

- ◆ termómetro con dos contactos;
- ◆ termosondas con centralita sin display;
- ◆ termorresistencias y centralita con display.

Teniendo en cuenta la tolerancia de los detectores térmicos, así como la posible diferencia entre la temperatura del punto caliente del bobinado y la temperatura del punto de posicionamiento de los detectores, se adoptan las siguientes calibraciones:

- ◆ calibración para la clase F, alarma 130° C desconexión 140° C;
- ◆ calibración para la clase B, alarma 110° C desconexión 120° C.

### Termómetro con dos contactos

Si solo se dispone de un termómetro, éste será colocado en la columna central de baja tensión (BT), mientras que si se dispone de más de un termómetro, se colocará uno en cada bobinado de BT.

Características principales

- ◆ tensión de alimentación 24 - 380 V<sub>cc-ca</sub>;
- ◆ corriente máxima 0.4A;
- ◆ potencia máxima 18 VA.

Esquema del termómetro (Figura. 10)

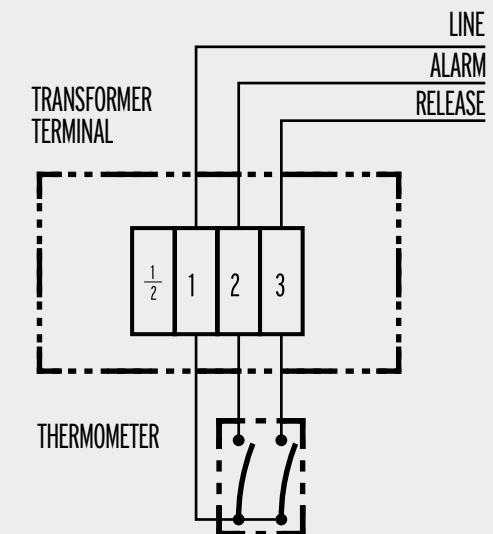


Figura.10

### Las termosondas con centralita sin display

Las termosondas son elementos sensibles calibrados a la temperatura deseada. Tienen una tolerancia de  $\pm 6^\circ\text{C}$  y una rigidez dieléctrica de 2500 V<sub>ca</sub>. Se instalan dos unidades sobre cada una de las tres columnas de BT.

Generalmente la centralita se instala sobre el cuadro de media tensión (MT) y tiene las siguientes características

- ◆ 2 grupos de tres termosondas PTC 100 ohm en serie en la entrada;
- ◆ alimentación 110/220 V<sub>ca</sub> y frecuencia 50-60 Hz o 24-48 V<sub>cc</sub>;
- ◆ capacidad de los contactos a la salida: 5 A;
- ◆ potencia absorbida 4 VA.

Esquema termosondas con centralita sin display

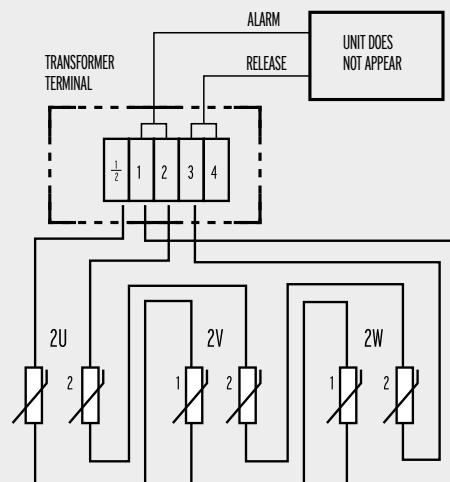
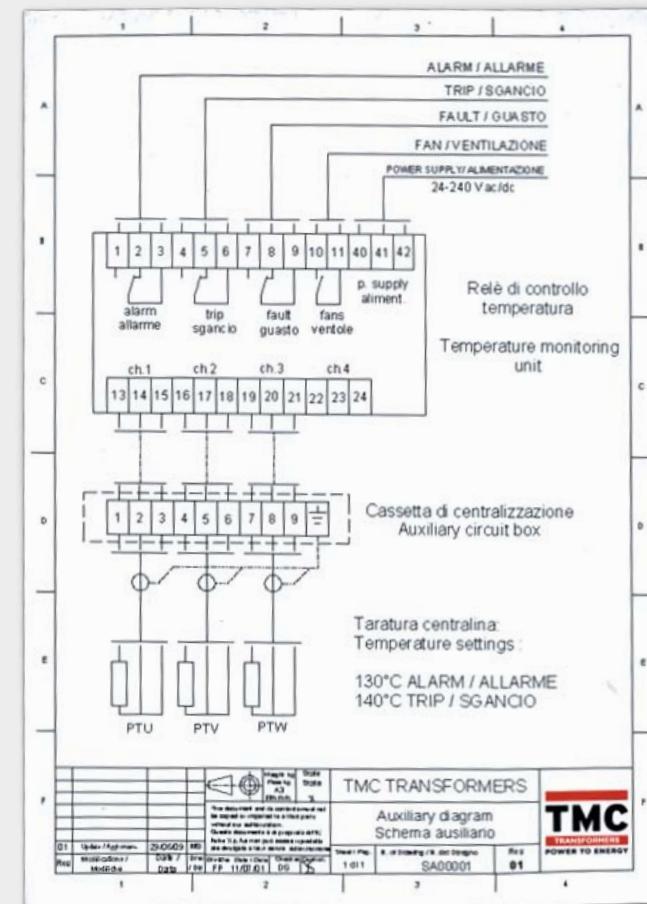


Imagen.11

### Termorresistencias y centralita con display



Las termorresistencias son elementos sensibles a las variaciones de temperatura. El elemento sensible está constituido por un hilo fino de platino envuelto en un soporte aislante encapsulado en resina. El valor de base de la resistencia es de 100 ohm a 0° C con tolerancia  $\pm 0.1$  ohm. La rigidez dieléctrica es de 2000 Vca. Generalmente están instaladas en las columnas de BT y, bajo pedido, también pueden instalarse en el núcleo. Además pueden instalarse termorresistencias suplementarias como repuesto. La centralita con display de tipo digital se instala en el cuadro de MT y tiene las siguientes características:

- ◆ 3 o 4 canales de entrada para los sensores de platino PT 100 ohm;
- ◆ posibilidad de configuración para el control de los ventiladores de refrigeración;
- ◆ 2 set-point con predisposición de la temperatura digital hasta 220° C;
- ◆ alimentación 18-270 Vcc-Vca;
- ◆ capacidad de los contactos a la 5 A;
- ◆ potencia absorbida 7 VA;
- ◆ protección eléctrica (no competencia de la estructura del transformador).

La obtención de la máxima protección del transformador en cabina MT/BT se realiza a través de los siguientes dispositivos.

#### Lado MT (Primario del transformador)

- ◆ seccionador de línea MT;
- ◆ seccionador para toma a tierra de la línea MT;
- ◆ descargadores de sobretensión;
- ◆ interruptor general de maniobra + Fusible de protección.

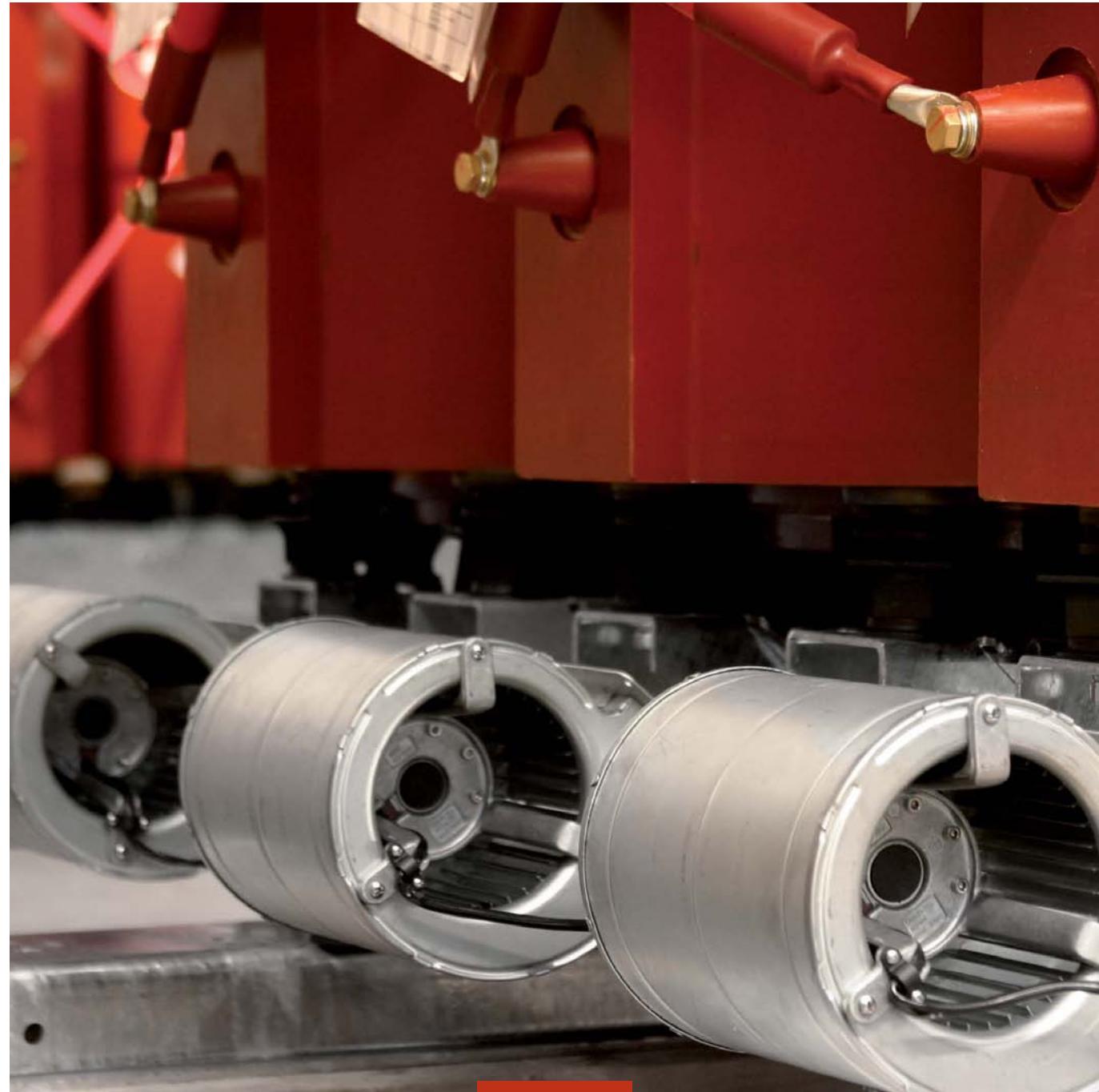
#### Lado BT (Secundario del transformador)

- ◆ interruptor automático de maniobra y protección.

#### Lado MT y BT

Se trata de una protección contra fallos internos del transformador (protección diferencial). Esta protección se puede realizar mediante un relé diferencial y está aconsejada para transformadores de más de 1 MVA de potencia aparente. En funcionamiento normal las corrientes del primario y del secundario del transformador son proporcionales a un valor próximo a  $1/k$  (inverso de la relación de transformación). Si como consecuencia de un fallo se produjera una dispersión anormal de la corriente, las corrientes del primario y del secundario no cumplirían esta condición. El relé diferencial interviene cuando el desequilibrio entre la corriente en el primario y la corriente en el secundario del transformador superan un valor fijo calibrado.





CON EL TÉRMINO SOBRECARGA ENTENDEMOS UNA ABSORCIÓN DE POTENCIA MAYOR AL DE LA POTENCIA NOMINAL.

Se pueden encontrar dos tipos distintos de sobrecarga

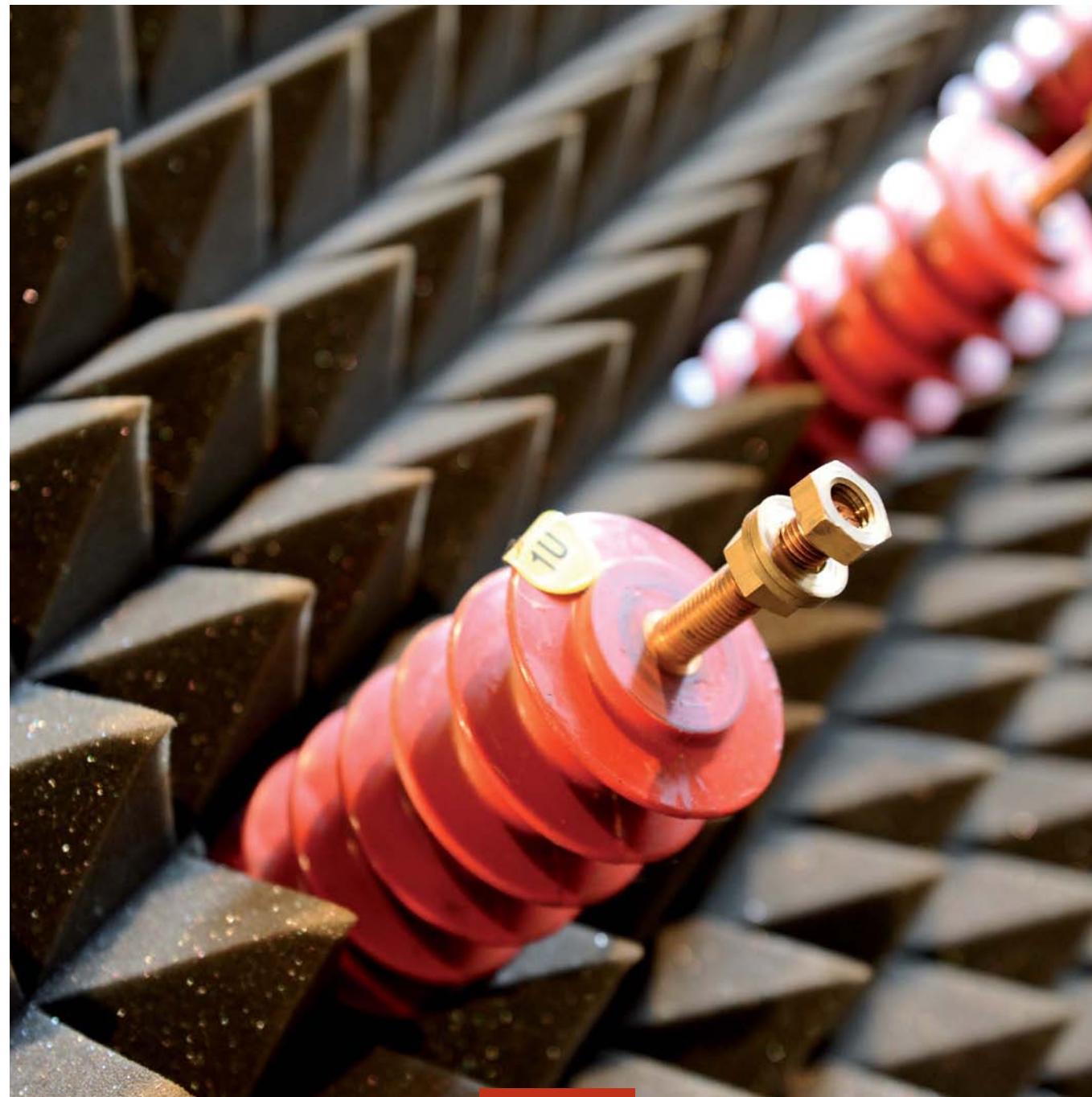
- ◆ sobrecarga de **corta duración** entendida como un aumento de la carga que permanece durante un tiempo tal que no modifica de modo significativo y permanente el valor de la temperatura de la máquina.
- ◆ sobrecarga de **larga duración** entendida como un aumento de la carga que permanece durante un tiempo tal que modifica de modo significativo y permanente el valor de la temperatura de la máquina.

El método de cálculo para la obtención de la temperatura de las sobrecargas de corta y larga duración se encuentra en la normativa IEC - EN 60076-12. La norma precisa las condiciones para su cálculo y ofrece una serie de indicaciones para la valoración de la pérdida de vida porcentual en los fenómenos de sobrecarga.

El calentamiento en un transformador depende principalmente

- ◆ de la carga, o bien del valor de corriente absorbido a igualdad de tensión;
- ◆ del tiempo de aplicación de la carga;
- ◆ de las masas de las bobinas;
- ◆ de la temperatura ambiente: cuanto menor es la temperatura ambiente, más lento es el fenómeno de calentamiento;
- ◆ del tipo de refrigeración previsto en el transformador, aire natural (AN) o ventilación forzada (AF).

La norma limita el cálculo a valores de sobrecarga iguales a 1.5 veces la corriente de funcionamiento, y considera para la clase F una temperatura del punto más caliente igual a 180° C. Además este método no es válido para instalaciones exteriores.



## EJEMPLO DE CÁLCULO PARA SOBRECARGAS DE CORTA DURACIÓN

Para el cálculo de sobrecargas de corta duración es necesario conocer la masa de las bobinas y el tipo de conductor utilizado en las mismas (cobre o aluminio). A partir de estos valores se calcula la constante del transformador.

### Se considera el siguiente transformador

- ♦ temperatura con carga nominal: 110° C (valor de cálculo del fabricante o valor de ensayo);
- ♦ constante del transformador calculada a partir de la masa de las bobinas y del tipo de conductor: 0.5 h (valor de cálculo del fabricante o valor de ensayo);
- ♦ clase F : 155° C;
- ♦ temperatura ambiente igual a 30° C independiente de la carga;
- ♦ refrigeración AN.

### Y el siguiente funcionamiento

- ♦ carga inicial 80% de la carga nominal;
- ♦ sobrecarga al 120% por  $t_2 = 1$  h.

### El cálculo da como resultado

- ♦ temperatura del punto más caliente al ochenta por ciento de carga: 100° C ;
- ♦ temperatura del punto más caliente después de 1.5 h al 120%: 163° C.

Pérdida de vida para el fenómeno de sobrecarga de corta duración: 1.83 h.

La norma considera como vida mínima de proyecto para los transformadores un valor de 180.000 h. Por ello, el fenómeno de corta duración ha provocado una pérdida de vida del 0.001%.

Generalmente las sobrecargas de corta duración no dan lugar a pérdidas de vida significativas, pero los calentamientos localizados pueden ser relevantes, así como las deformaciones a ellos asociadas.

## EJEMPLO DE CÁLCULO PARA SOBRECARGAS DE LARGA DURACIÓN

En este caso el transformador alcanza una temperatura constante superior a la temperatura de funcionamiento nominal.

### Se considera el transformador del ejemplo anterior, pero con el siguiente funcionamiento

- ♦ carga inicial 80% de la carga nominal;
- ♦ sobrecarga al 130% por  $t_2 = 168$  h (una semana).

### El cálculo da como resultado

- ♦ temperatura del punto más caliente al ochenta por ciento de carga: 100° C;
- ♦ temperatura del punto más caliente durante 168 h al 130%: 173° C.

Pérdida de vida provocada por el fenómeno de sobrecarga de larga duración: 3.602 h.

La norma considera como mínima vida de proyecto para los transformadores un valor de 180.000 h. Por ello, el fenómeno de larga duración ha dado lugar a una pérdida de vida porcentual del 2%: con 50 sobrecargas de una magnitud similar la vida del transformador se podría considerar terminada.

Las sobrecargas de larga duración generalmente dan lugar a una pérdida de vida significativa y es, por tanto, necesario comprobar previamente con el fabricante la pérdida de vida debida a las sobrecargas que se esperan durante la vida del transformador.

Se pueden también prever medidas de control de la sobrecarga como por ejemplo, la colocación de ventiladores para el caso de transformadores refrigerados con aire natural.

La mayor parte de los fabricantes de transformadores encapsulados en resina, entre ellos también el grupo TMC, ha elegido como técnica de fabricación más idónea aquella basada en la utilización de banda de aluminio como material conductor. Esta elección permite indudables ventajas y por ello ha sido también adoptada en los últimos tiempos por muchos fabricantes de máquinas con aislamiento en aceite, que inicialmente preferían recurrir a las tradicionales técnicas de hilo o de pletina en cobre.

Inicialmente la decisión de utilizar un conductor en banda de aluminio fue consecuencia de la mejor compatibilidad entre el coeficiente de dilatación de este material y el del compuesto epoxi utilizado en la fase de encapsulado del bobinado de media tensión. De esta forma, se reducían los riesgos de agrietamiento por efecto de las dilataciones mecánicas consecuencia de las variaciones de carga o eventuales exposiciones a bajas temperaturas.

Desde la aparición en el mercado del transformador encapsulado, el problema del agrietamiento fue un asunto estudiado con atención tanto por parte del fabricante como por parte del usuario. Esto era debido a que tanto el conductor como los aislantes eran sólidos, a diferencia de los transformadores aislados en aceite donde este problema nunca había existido.

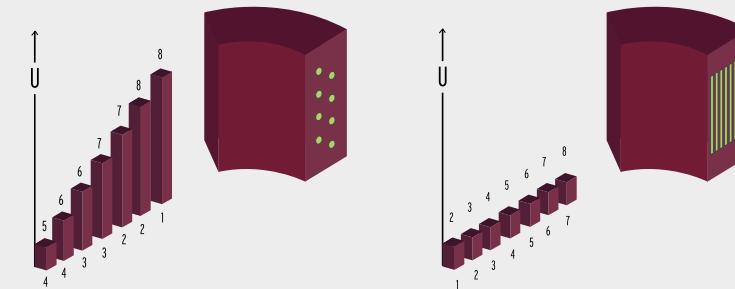
Las dificultades encontradas fueron mayores de las esperadas ya que todavía no se utilizaba la técnica consistente en reforzar mecánicamente los bobinados encapsulados, nacida como directa consecuencia de la aplicación de la normativa inherente a la clase climática C2, hoy en día solicitada a nivel mundial.

Más allá de esta problemática, consecuencia de las dilataciones, otras indudables ventajas han caracterizado la elección del uso de banda en vez del hilo y pletina tradicionales. En primer lugar se ha podido obtener una mejor compactabilidad de la máquina, que ha reducido el tamaño y compensado las mayores distancias necesarias tanto para el aislamiento como para los canales de refrigeración.

Las superficies planas de la banda han facilitado la penetración de la resina en el interior del bobinado, favoreciendo un mejor relleno de los intersticios y permitiendo disminuir al mínimo los valores de las descargas parciales, lo cual se conoce como factor de envejecimiento.

Se demuestra que en el caso de los bobinados en hilo / pletina la penetración de la resina en modo uniforme se hace más complicada con el llenado bajo vacío que caracteriza esta técnica.

El tipo de bobinado MT en bobinas superpuestas, ha permitido mantener un gradiente constante de la tensión en el interior de la misma, tanto entre espira y espira como entre disco y disco, al contrario de lo que ocurre en el bobinado a capas en hilo o pletina, donde el gradiente es creciente (ver esquema de abajo)



Bobinado realizado con conductor en hilo

Bobinado realizado con conductor en banda

La elección de la banda no descarta en modo absoluto la utilización del cobre, ya que si consideramos el mayor valor de conductividad de este material y con el fin de optimizar la relación calidad- precio, para una pequeña gama de potencias / tensiones no es conveniente la utilización de banda.

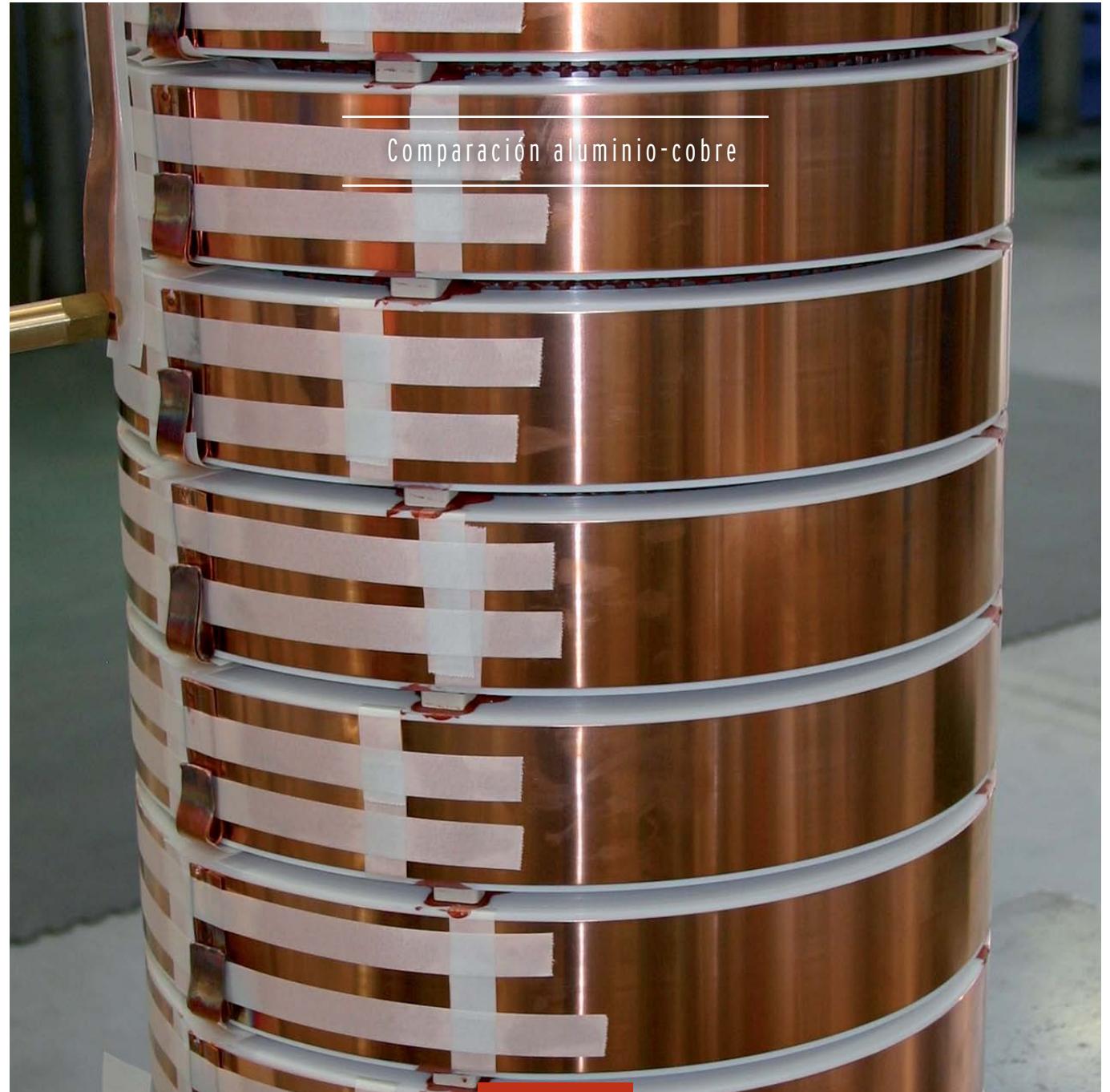
Para ello, se tendrían que utilizar espesores demasiado grandes, que pueden hacer extremadamente difícil y no demasiado fiable, el trabajo con las bobinadoras en banda.

Por ello, en estos casos, una vez considerada la utilización de cobre, es necesario recurrir al uso de hilo y de pletina, típica solución de los transformadores aislados en aceite, donde la fluidez del aislante no dificulta la obtención de uniformidad en el aislamiento.

Esta solución, en el caso de los transformadores con bobinados encapsulados, expone, en cambio, al producto a los riesgos ya citados anteriormente.



Comparación aluminio-cobre en hilo



Comparación aluminio-cobre

[www.tmctransformers.com](http://www.tmctransformers.com)  
[tmcitalia@tmctransformers.com](mailto:tmcitalia@tmctransformers.com)

**TG.11.06.ESP**