



BOBINADOS EN ALUMINIO PARA TRANSFORMADORES DE DISTRIBUCION





1 - Introducción e Historia.-

2 – Mitos Vs Realidades.-

3 – Ventajas tecnológicas.-

4 - Modelo de calculo de Precios y Perdidas.-

5 – ET con perdidas EPE y perdidas reducidas.-

6 – Plano de vistas.-



INTRODUCCION E HISTORIA

La falta de tecnología para realizar soldaduras en el aluminio, es uno de los motivos que determinó inicialmente el uso del cobre en los bobinados de los transformadores.

Sin embargo, durante la Primera Guerra Mundial (1914-1918) y ante las grandes dificultades para obtener cobre, se comenzó a utilizar el aluminio para la construcción de los bobinados de algunos transformadores, medida que, por el mismo motivo, se intensificó mucho durante la Segunda Guerra Mundial (1939-1945).

Fue el imperativo de la escasez, en unas situaciones de guerra, el que precipitó e impuso la sustitución del cobre por el aluminio en la construcción de transformadores y en otros campos de la electrotecnia, pero la realidad es que ya para entonces se sentía la necesidad de poder utilizar a escala industrial como conductor eléctrico un substitutivo del cobre, debido principalmente a la inestabilidad del precio de este metal, que por ser de especial aplicación para usos militares, está supeditado a que su cotización en las bolsas mundiales experimente muy grandes oscilaciones en cuanto se produce un conflicto bélico o, simplemente, una situación política tensa.

La necesidad de sustituir el cobre por otro metal más abundante y de precio más estable, impulsó el desarrollo de tecnologías para su soldadura, haciendo de este metal el más idóneo para la fabricación de transformadores, por reunir el conjunto de características mecánico-eléctricas óptimas en relación a su coste y garantía de suministro.

En el año 1950 el aluminio comenzó su evolución como conductor para la fabricación de transformadores eléctricos. Puede decirse que en Norteamérica actualmente el 95 % de la producción de transformadores de distribución se realiza con bobinados de aluminio, y únicamente conserva el empleo del cobre en aquellos casos de transformadores de pequeña potencia y tensión elevada, en los que la reducida dimensión del diámetro del hilo impide el uso del aluminio.

También en Europa tanto los fabricantes franceses, alemanes, italianos y suizos, como los de los países nórdicos, construyen por regla general, transformadores con bobinados en aluminio.



MITOS VS REALIDADES

Hoy el bobinado de banda de aluminio consiste en el arrollamiento simultáneo sobre sí mismos de una lámina de aluminio del ancho de la propia bobina y el papel aislante diamantado con resina epoxi termo adherente, dejando como en todo bobinado los canales necesarios para la circulación del líquido refrigerante, de lo que resulta una bobina de una espira por capa, extremadamente robusta, compacta que al no existir falsa espira posee una geometría equilibrada otorgándole así una gran resistencia a los esfuerzos electrodinámicos con un mejor aprovechamiento del espacio ocupado por el conductor, que compensa en parte el mayor volumen que tiene el bobinado de aluminio respecto al de cobre.

Mito 1: Los transformadores con bobinas de aluminio serán menos eficientes que su par en cobre.

No hay ningún argumento técnico que demuestre que el transformador con bobinas en aluminio será menos eficiente o tendrá mayores pérdidas que su par en cobre y, si bien es cierto que el material tiene menor conductividad, esto se toma en cuenta en el diseño y la sección transversal del conductor: simplemente se aumenta para suplir esta carencia.

Mito 2: Los transformadores en aluminio se calientan más que los de cobre.

No es así, porque las temperaturas se limitan de acuerdo a las especificaciones a través del diseño. El diseño y proyecto de un transformador, evidentemente viene condicionado por una serie de características técnicas que debe cumplir (potencia, relación de transformación, pérdidas, intensidad de vacío, impedancia, temperatura, etc.), siendo en definitiva los factores determinantes del dimensionamiento de los bobinados, las exigencias térmicas, o las sollicitaciones dinámicas.

VENTAJAS TECNOLOGICAS

Ventaja 1: Mejor comportamiento térmico en caso de sobrecargas o cortocircuitos

A igualdad de características y garantías técnicas, y debido al mayor calor específico del aluminio y a su menor conductividad, se cumple siempre que:

Masa Al · Calor específico Al > Masa Cu · Calor específico

Ello que significa que la capacidad calorífica de un bobinado de aluminio es siempre superior a la de un bobinado de cobre del transformador equivalente en un 17% aproximadamente.

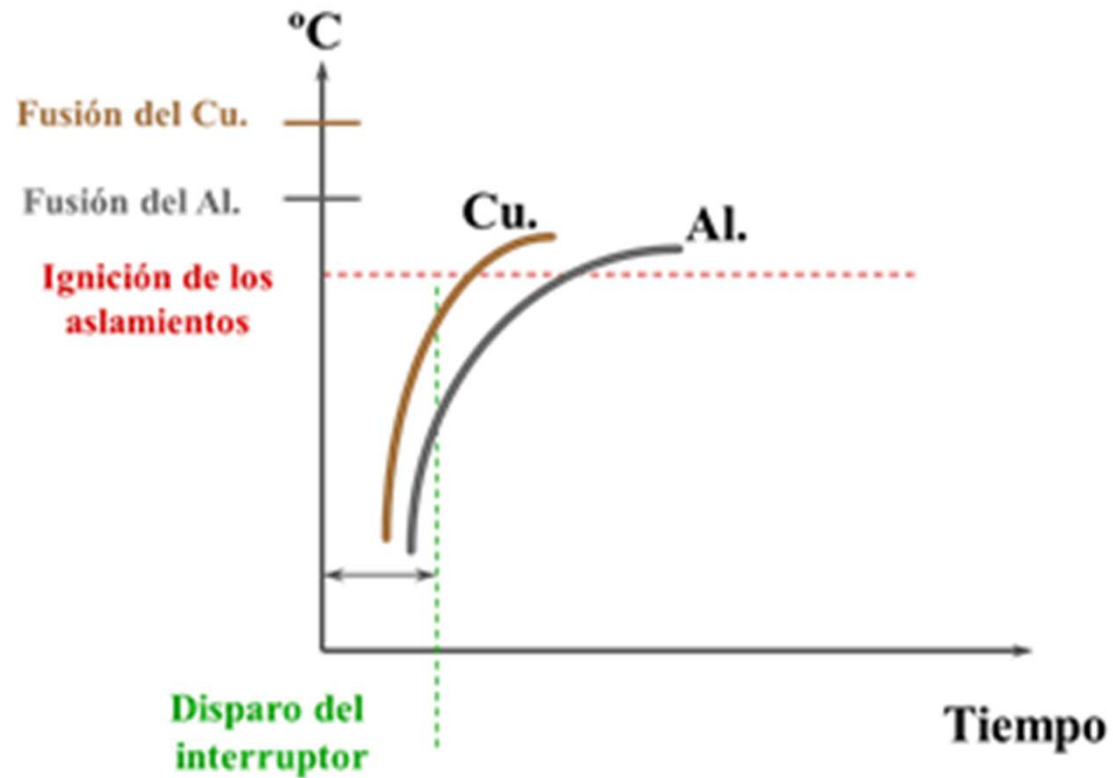
Esto hace que los bobinados de aluminio resistan más tiempo cualquier sobrecarga transitoria, antes de alcanzar una temperatura peligrosa para el aislamiento.

El gráfico de la figura 3 aclara esta idea sobre el comportamiento térmico de los transformadores con bobinados de aluminio.

Trazando las dos curvas que representan el calentamiento de los bobinados de cobre y aluminio, respectivamente, en una situación de cortocircuito, se observa que:

- Cuando corta el interruptor, la temperatura alcanzada por el bobinado de aluminio es menor que la del bobinado de cobre.
- Si el interruptor no actuase por un fallo del sistema de protección, se alcanzaría antes en el bobinado de cobre la temperatura de ignición de los aislamientos.

VENTAJAS TECNOLOGICAS



TRANSFORMADORES
FOHAMA
ELECTROMECHANICA S.R.L.



VENTAJAS TECNOLOGICAS

Ventaja 2: Mejor comportamiento dinámico en caso de cortocircuito

Dada la menor conductividad del aluminio respecto al cobre la sección del conductor del aluminio, y por tanto sus dimensiones, son considerablemente superiores que cuando se utiliza cobre, y ello conduce a módulos resistentes superiores, proporcionales al cubo de la relación de dimensiones, que compensan el menor límite elástico del aluminio respecto del cobre, ofreciendo por ello los conductores de aluminio superior resistencia a los esfuerzos radiales y axiales derivados de un cortocircuito.

Siendo R_{Cu} el modulo resistente del Cu y R_{Al} el modulo resistente del aluminio; C_{Al} y C_{Cu} las conductividades correspondientes se cumple:

$$\frac{R_{Cu}}{R_{Al}} = \left[\frac{C_{Al}}{C_{Cu}} \right]^{\frac{3}{2}}$$

Cuando se produce el cortocircuito se origina un momento flector M , que actúa sobre el conductor, desarrollando un esfuerzo máximo de trabajo σl , función de las dimensiones del conductor, cumpliéndose:

$$\sigma \cdot l = \text{esfuerzo máx.en bobinado} = \frac{M \text{ (momento flector)}}{R \text{ (módulo resistente)}}$$

Estableciendo la relación en ambos casos, resulta:

$$\frac{\sigma \cdot l_{Al}}{\sigma \cdot l_{Cu}} = \frac{\frac{M}{R_{Al}}}{\frac{M}{R_{Cu}}} = \frac{R_{Cu}}{R_{Al}} = \left[\frac{C_{Al}}{C_{Cu}} \right]^{\frac{3}{2}}$$

Lo que quiere decir que para una determinada situación de cortocircuito, los esfuerzos a que trabajan los conductores, según sea el bobinado de cobre o aluminio, están en la misma relación que sus conductividades elevadas a 3/2.

VENTAJAS TECNOLOGICAS

Comparación numérica:

	Aluminio Al 99,5	Cobre
Límite de elasticidad	10	12
Conductividad	35,4	57

$$\sigma \cdot l_{Al\ normal} = \sigma \cdot l_{Cu} \left[\frac{36}{57} \right]^{\frac{3}{2}} = 0,502 \sigma l_{Cu}$$

$$\sigma \cdot l_{Al\ 99,5} = \sigma \cdot l_{Cu} \left[\frac{35,4}{57} \right]^{\frac{3}{2}} = 0,489 \sigma l_{Cu}$$

Efectivamente, suponiendo que la σl del cobre fuera la correspondiente al límite elástico, la σl que obtendríamos en el aluminio sería:

Límites de elasticidad:

$$\sigma \cdot l_{Al\ 99,5} = \sigma \cdot l_{máx.Cu} \cdot 0,489 = 12 \cdot 0,489 = 5,87 < 10$$

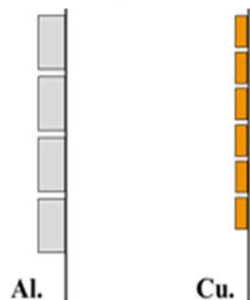
Lo que nos indica que el conductor de aluminio 99,5 trabaja muy por debajo de su límite elástico.

Ventaja 3: Menor envejecimiento de los aislamientos: más larga vida

Las Normas internacionales de construcción de transformadores, CEI, AINSI, etc., señalan como temperatura máxima transitoria alcanzable por el conductor en caso de cortocircuito, 200 °C para el aluminio y 250 °C para el cobre.

VENTAJAS TECNOLOGICAS

Las Normas internacionales de construcción de transformadores, CEI, AINSI, etc., señalan como temperatura máxima transitoria alcanzable por el conductor en caso de cortocircuito, 200 °C para el aluminio y 250 °C para el cobre.



Comparación de las superficies de contacto axial, en los bobinados de aluminio y cobre

Esta limitación de temperatura, y la mayor capacidad calorífica de los bobinados de aluminio, favorece un menor envejecimiento de los aislamientos, que son los que determinan la vida del transformador, por lo que puede afirmarse rotundamente que, en igualdad de circunstancias, la vida de un transformador con bobinados de aluminio es más dilatada que la de otro equivalente con bobinados de cobre.

Ventaja 4: Menores pérdidas adicionales frente a alto contenido armónico

Debido a su mayor resistividad, las corrientes de Eddy son sensiblemente menores a las encontradas en el cobre, razón por la cual es el material más aconsejable cuando se tienen instalaciones que trabajan con alto contenido de armónicos, causantes del incremento de pérdidas y de la temperatura en los transformadores.

Ventaja 5: Menor envejecimiento del aceite

El aluminio no tiene efecto catalítico sobre el aceite, es decir, que no reacciona químicamente con él, como lo hace el cobre, Por lo que el envejecimiento del aceite es más lento, reduciéndose los gastos de mantenimiento y conservación.

VENTAJAS TECNOLOGICAS

Ventaja 6: Menor costo del transformador

Dentro de las ventajas de los transformadores con tecnologías de aluminio, se destacan sin duda su menor precio respecto de su par realizado en cobre. La economía en el precio del conductor permite realizar devanados ovales, y con ello disminuir la cantidad de materia prima utilizada para construir el núcleo, lo que da aun mayor ventaja económica, obteniéndose reducciones de precio de entre 10 y 15% dependiendo de la potencia.

Ventaja 7

La posibilidad de fabricar los bobinados de baja tensión con banda en lugar de pletina otorgando:

7.1º - Mayor robustez mecánica

La propia forma constructiva descrita evidencia su extraordinaria robustez mecánica, muy superior a la de un bobinado clásico de conductor en hélice.

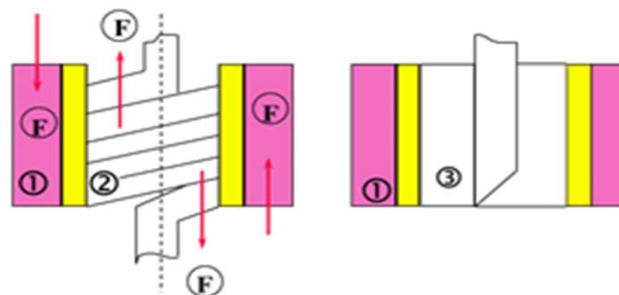
7.2º - Mejor comportamiento ante los esfuerzos axiales de cortocircuito

En el bobinado de banda, los esfuerzos axiales derivados de un cortocircuito quedan minimizados por la perfecta compensación de los amperios/vuelta que se consigue al poder enfrentar, a cada espira de AT, una espira ideal de BT en la masa continua de la banda y, además, tales esfuerzos son absorbidos por la propia cohesión del material, lo que no puede ocurrir con el bobinado de conductor en hélice.

7.3º - Mayor alcance de aplicación: La necesidad de trabajar con mayor sección de conductor posibilita una mayor cantidad de transformadores que se pueden abarcar para realizarlos con banda, como explicamos anteriormente para bajas corrientes el folio no es materialmente logable.-

La consecuencia es que no hay desplazamiento axial de la bobina en el cortocircuito.

VENTAJAS TECNOLOGICAS



- 1.- Bobinado de A.T.
- 2.- Bobinado de B.T. en espiral.
- 3.- Bobinado de B.T. en banda.
- F.- Fuerzas axiales.

Comparación de un bobinado de BT. en espiral, sometido a esfuerzos axiales, con otro de banda de aluminio, no sometido a tales esfuerzos.

7.4º - Ausencia de puntos calientes en el bobinado

Las espiras superpuestas tienen una gran superficie de contacto mutuo a través de un aislamiento delgado, que tan sólo ha de soportar la tensión por espira, lo que proporciona una rápida evacuación de calor en sentido radial, evitándose totalmente la producción de puntos calientes en su interior.

Naturalmente los bobinados son sometidos a mayor esfuerzo térmico en la parte superior, el bobinado en banda atenúa muchísimo ese efecto al ocupar el mismo conductor toda la longitud uniformiza mejor la temperatura

Esta condición contribuye también a retardar la elevación de temperatura durante los regímenes de cortocircuito.