

28 | JUNIO 2021



TRANSFORMADORES SECOS

LA NUEVA TENDENCIA EN LA INDUSTRIA

AUTOR: Ing. Laura Condori Carrasco

ASESOR TÉCNICO: Ing. Orlando Pérez

CONTENIDO

1 RESUMEN	2
2 ¿QUÉ DEBES SABER DE LOS TRANSFORMADORES DEL TIPO SECO?	3
1 ¿CUÁL ES LA FUNCIÓN DE UN TRANSFORMADOR SECO ENCAPSULADO EN RESINA?	3
2 NORMAS	3
3 ¿CUÁLES SON LOS CRITERIOS PARA ESPECIFICAR UN TRANSFORMADOR?	4
4 ¿CÓMO, CUÁNTO Y QUÉ TIEMPO PUEDO SOBRECARGAR UN TRANSFORMADOR?	4
5 ¿A QUÉ PRUEBAS SE SOMETEN LOS TRANSFORMADORES ANTES DE SER ENTREGADOS AL CLIENTE?	4
6 ¿CÓMO EVALUAR LA CALIDAD DE UN TRANSFORMADOR?	5
7 ¿CUÁNTO DE VIDA ÚTIL TIENE UN TRANSFORMADOR SECO?	5
8 MATERIAL DE LOS TRANSFORMADORES TIPO SECO	5
9 VENTAJAS DE LOS TRANSFORMADORES TIPO SECO	6
10 CONDICIONES DE FUNCIONAMIENTO	8
11 IMPORTANCIA DE LA VENTILACIÓN EN EL INCREMENTO DE POTENCIA	9
12 COBRE VS ALUMINIO, MITOS Y REALIDADES	10
13 CORRECCIONES DEBIDO A LA ALTITUD DE INSTALACIÓN EN TRANSFORMADORES TIPO SECO SEGÚN IEEE e IEC	12
3 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	13
4 BIBLIOGRAFÍA	14



1 RESUMEN

La eficiencia energética, la seguridad y la disminución de pérdidas de los transformadores, activo más importante de la red de distribución de energía ver Figura 1: además de la incorporación de materiales ecológicos en su fabricación son las especificaciones que, aun con dificultad, están tratando de imponerse sobre el criterio del precio, con importantes innovaciones en: los materiales utilizados, la autoprotección y el monitoreo.



Figura 1: ejemplo típico de distribución de energía, del Manual de transformadores encapsulados en resina de LEGRAND.

Un proyecto debe considerar el precio como un conjunto de costos relacionados para el caso del transformador, como ser *COSTO DE COMPRA*, *COSTO DE INSTALACIÓN*, *COSTO OPERATIVO*, *COSTO DE MANTENIMIENTO* y *COSTO DE ELIMINACIÓN DE MATERIALES*, estos deben ser evaluados de forma separada y al final ser considerados de forma integral, para conocer las ventajas reales entre diferentes tipos de transformadores a ser utilizados.

$$C_{Transf} = \sum C_{compra} + C_{instalación} + C_{operativo} + C_{mantenimiento} + C_{eliminacion\ de\ materiales}$$

Por otra parte, contra esta tendencia, se estableció la importancia de sopesar las diferencias técnicas entre un tipo de transformador y otro. Para compensar el factor precio, es importante colocar sobre la balanza aspectos como una buena especificación, estandarización del producto y el cumplimiento de normas desde el punto de vista técnico.

Al momento de decidir la compra de un transformador, el criterio del precio es el que define, en muchas oportunidades, la elección del tipo de activo que se utilizará; en este artículo demostraremos una evaluación integral tanto técnica como económica del valor real, para optar por un transformador del tipo SECO.

2 ¿QUÉ DEBES SABER DE LOS TRANSFORMADORES DEL TIPO SECO?

1 ¿CUÁL ES LA FUNCIÓN DE UN TRANSFORMADOR SECO ENCAPSULADO EN RESINA?

Los transformadores del tipo SECO son equipos en los que el núcleo, devanado y demás componentes utilizan el aire ambiente, como medio de refrigeración.

La función principal del transformador seco es la misma que los transformadores sumergidos en líquido aislante dieléctrico, es decir, adecuar los niveles de tensión primaria (elevar o reducir) para la utilización en industrias, residencias y emprendimientos en general.

2 NORMAS

Las normativas que rigen la fabricación y diseño de los transformadores secos encapsulados en resina son:

- **IEC 60076-1:** Transformadores de potencia. Parte 1: Generalidades.
- **IEC 60076-1:** Transformadores de potencia. Parte 1: Generalidades.
- **IEC 60076-11:** Transformadores de potencia. Parte 11: Transformadores de tipo seco.
- **IEC 60076-12:** Transformadores de potencia. Parte 12: Guía de carga para transformadores de potencia de tipo seco.
- **ANSI/IEEE Std C57.12.01.01-1998:** Requisitos generales del estándar IEEE para transformadores de distribución y potencia de tipo seco, incluidos aquellos con alambres encapsulados en resina y/o fundición sólida.
- **ANSI/IEEE Std C57.96-1999:** Guía IEEE para cargar transformadores de potencia y distribución de tipo seco.
- **IEC 60071-2:** coordinación de aislamiento, guía de aplicación.

3 ¿CUÁLES SON LOS CRITERIOS PARA ESPECIFICAR UN TRANSFORMADOR?

CRITERIOS	CONSIDERACIONES
USO O APLICACIÓN	Residencial o Industrial (con las posibilidades futuras de aumento de carga)
TIPO DE MONTAJE	Exterior en poste o sobre piso; Interior en sótano o pisos superiores.
CARGA A APLICAR AL TRANSFORMADOR (kVA)	Según lo que requiera 75 kVA, 500 kVA, 1000 kVA, etc.
TENSIÓN DE LA RED DE ALIMENTACIÓN (kV)	Usualmente en Bolivia: 12; 6.9; 24.9; 34.5; 10.5; 14.4; 19.9 kV
NIVEL DE AISLACIÓN (kV)	Debe estar en función a la tensión nominal del sistema, 6.9 → 60 ; 12→ 95 (sin derateo)
TIPO DE SERVICIO	Monofásico o Trifásico
TENSIÓN DE USO SECUNDARIO (V)	230 V, 400 V
CONEXIÓN	Las conexiones que pueden ser: Dyn, Ynd, Yyn, Yzn, etc.
DERRATEO	Ubicación geográfica (msnm)
REFRIGERACIÓN	Tipo seco o en liquido

Tabla 1: Tabla de especificaciones técnicas para transformadores (AMPER)

4 ¿CÓMO, CUÁNTO Y QUÉ TIEMPO PUEDO SOBRECARGAR UN TRANSFORMADOR?

Un transformador puede ser sobrecargado si se conoce:

- » La temperatura ambiente promedio del lugar o recinto donde está instalado.
- » La carga que tuvo el transformador las 24 horas precedentes.

Con lo anterior, y basado en las guías de cargabilidad, dato suministrado por el fabricante, se puede determinar qué nivel de sobrecarga y por cuánto tiempo se le puede aplicar al transformador. Queda entendido que una sobrecarga exige térmicamente a los diversos aislantes y puede ocasionar una disminución en la vida útil del transformador.

5 ¿A QUÉ PRUEBAS SE SOMETEN LOS TRANSFORMADORES ANTES DE SER ENTREGADOS AL CLIENTE?

Todas las unidades pasan por las pruebas de RUTINA que son realizadas en el propio laboratorio de la fábrica, sin ningún costo al cliente y las pruebas TIPO son aquellas que el fabricante realiza en laboratorios certificados ya sean externos o propios para validar su diseño según la norma IEC 60076-II de acuerdo al siguiente detalle:

PRUEBAS DE RUTINA

- » Medida del valor de la resistencia óhmica de los devanados en la posición de trabajo del conmutador de derivaciones.
- » Medida de la relación de transformador verificación y comprobación de la polaridad y grupo de conexión.
- » Medida de las pérdidas y tensión de cortocircuito.
- » Medida de las pérdidas y corrientes de vacío.
- » Pruebas de tensión inducida: se verifica la calidad de aislamiento entre espiras y entre capas. Para el efecto, se aplica una tensión por el devanado de baja tensión, equivalente al doble de la tensión de vacío y, para evitar la saturación del núcleo, se aplica una frecuencia equivalente como mínimo al doble de la nominal y durante un lapso de tiempo que depende de la frecuencia aplicada.
- » Prueba de tensión aplicada: con este ensayo se verifica el estado de los aislamientos y entre estos a tierra.

PRUEBAS TIPO

- » Pruebas de impulso y de frentes de onda: Simulan las descargas atmosféricas y los rayos para demostrar que el transformador tiene un aislamiento suficiente grande para resistirlos.
- » Prueba de calentamiento: Verifica que las temperaturas de trabajo normal de transformador sean las apropiadas; este factor es primordial en la vida del transformador. Esta prueba simula el transformador con toda su carga para medir la temperatura resultante.
- » Pruebas de descargas parciales: el objetivo de esta prueba es determinar que no existan fuentes dañinas de descargas parciales posterior a pruebas de alta tensión o después de su operación.

6 ¿CÓMO EVALUAR LA CALIDAD DE UN TRANSFORMADOR?

Se establece que un menor nivel de descargas parciales (DP) supone una mayor calidad de los transformadores y una vida útil más larga. La fiabilidad garantizada en los transformadores "tipo SECO", por las pruebas de DP, siempre ha alcanzado valores por debajo de 5 pC.

La fiabilidad es garantizada cuando los transformadores han alcanzado valores de DP por debajo de 5 pC, este resultado es muy inferior al requisito de la norma IEC 60076-II (todas las bobinas con una tensión $\geq 3,6$ kV se deben someter a la medición de DP) que establece el valor máximo de 10 pC.

Un valor bajo de DP da una idea de las características positivas, como:

- » Sólidos criterios de diseño.
- » Alta calidad de las materias primas utilizadas.
- » Alta precisión durante las fases de bobinado de los conductores.
- » Alto nivel de confiabilidad durante el vertido de la resina epóxica alrededor de la bobina de alta tensión.
- » Alto coeficiente de impregnación de la bobina de baja tensión.
- » Precisión en el montaje final realizado por los fabricantes de productos semiacabados.

7 ¿CUÁNTO DE VIDA ÚTIL TIENE UN TRANSFORMADOR SECO?

Un transformador "tipo SECO", si es operado en las condiciones normales estipuladas en la placa de características o garantizadas por el fabricante, puede durar mínimo **30 años**, a diferencia de un transformador sumergido en aceite que puede tener una vida útil de **20 años**, acorde con sus características nominales y además en condiciones de instalación, operación y mantenimiento.

8 MATERIAL DE LOS TRANSFORMADORES TIPO SECO

- » La bobina de alto voltaje moldeada, consiste en un encapsulamiento con resina **EPOXI CLASE F** mediante proceso de vacío, con adición de endurecedor y mineral que forman un bloque único de material aislante.
- » Núcleo en tres columnas hecho de chapas magnéticas de acero con cristales orientados de **alta permeabilidad**, disponibles con distintos niveles de pérdidas.
- » Bobinado de bajo voltaje hecho con banda de aluminio (disponibles en cobre) e impregnado en resina EPOXI mediante vacío.
- » El aislamiento de resina EPOXI hace que el transformador no necesite mucho mantenimiento.



Figura 2: Tecnología de los materiales secos encapsulados de resina (Manual LEGRAND) se presentan las diferentes partes de un transformador "tipo SECO" descritos precedentemente.

NOTA. - Los conductores típicamente utilizados son láminas de aluminio. Para el proceso es necesario el uso de moldes de tamaño exacto para cada transformador que será producido.

9 VENTAJAS DE LOS TRANSFORMADORES TIPO SECO

- » **Mayor seguridad:** No hay riesgo de explosión ya que no llevan líquido refrigerante y reducen drásticamente su contribución en caso de incendio si se comparan con transformadores que utilizan líquido aislante.
- » **Confiables:** Están fabricados al 100% con materiales piro retardantes y auto extingüibles, por lo que su inflamabilidad es mínima y apenas emiten gases tóxicos.



- » **Amigables con el medio ambiente:** Una vez que el transformador ha agotado su ciclo de vida útil, todos los materiales que lo conforman se pueden reciclar o desechar fácilmente.
- » **Mayor capacidad de sobrecarga:** Puesto que los transformadores encapsulados en resina son refrigerados por aire y tardan más en alcanzar la temperatura de funcionamiento, aguantan una sobrecarga mayor que los transformadores sumergidos en líquido aislante y por tanto, son especialmente aptos para alimentar cargas con corrientes de arranque frecuentes.

ECONÓMICAS

Desde el punto de vista económico, a la hora de elegir un transformador se debe evaluar el Retorno de Inversión (ROI) y los siguientes costes:

- » **Coste de compra inicial:** Es el costo de compra del equipo, también se define como la inversión inicial y forma parte del costo total de propiedad de un activo.
- » **Simplificación de la instalación:** Los transformadores "tipo SECO" no requieren obras civiles caras como: fosos de colección de fluidos, rejillas de extinción y/o mecanismos de separación con cortafuegos.
- » **Se pueden instalar dentro de edificios, incluso cerca de ambientes donde hay gente;** Además, los transformadores instalados dentro de edificios pueden estar más cerca de las cargas, con la ventaja de ahorrar costes de conexión y reducir las pérdidas en la línea de suministro.
- » **Tienen menores dimensiones y pesos:** Por contar con bobinas de aluminio estas son de menor peso y menor dimensión por no contar con un contenedor de aceite dieléctrico, al ser refrigerador por aire.
- » **Costes operativos:** Mínimos, debido al poco mantenimiento que requieren por ser aislados en RESINA EPÓXICA.
- » **Reducción del mantenimiento:** Tienen costes de mantenimiento bajos porque solo se requiere la revisión periódica de acumulación de polvo y/o suciedad.
- » **Costes de eliminación de materiales:** El 90% de los materiales que componen al transformador "tipo SECO" son reciclables y fáciles de reutilizar.

Para llevar a cabo una evaluación económica adecuada, a la hora de comprar un transformador se debe prestar especial atención al coste operativo de la máquina.

En resumen, tenemos el siguiente detalle de las ventajas económicas de un transformador "tipo SECO":



$$\begin{aligned}
 &\text{TCO} \\
 &(\text{Coste total de propiedad}) \\
 &= \\
 &\text{COSTE DE COMPRA} \\
 &+ \\
 &\text{COSTE OPERATIVO}
 \end{aligned}$$

El precio de compra del transformador es solamente una parte marginal del coste total de propiedad (TCO) de la máquina, mientras que el coste operativo (a menudo relacionado con las pérdidas) representa más del 80% del coste total.

Esto significa que, en un periodo relativamente corto, es posible recuperar el gasto extra invertido en la compra de un transformador seco en comparación con el coste de un transformador inmerso en líquido con pérdidas estándar.

En la siguiente Tabla se presentan valores referenciales de compra de transformadores de distribución de 1 MVA considerando todos los costes incurridos en el diagrama presentado precedentemente:

TIPO	TCO Inicial del Transformador	TCO Transformador 5 años	TCO Transformador 10 años
I. Transformador tipo SECO	USD 22.000,00	USD 22.000,00	USD 24.500,00
II. Transformador tipo ACEITE	USD 15.000,00	USD 23.165,50	USD 30.341,13
Diferencia (I/II)	31,82%	-5,30%	-23,84%

Tabla 2: Tabla comparativa de costo de inversión inicial (ABB)

Costo real de un transformador tipo SECO en Resina

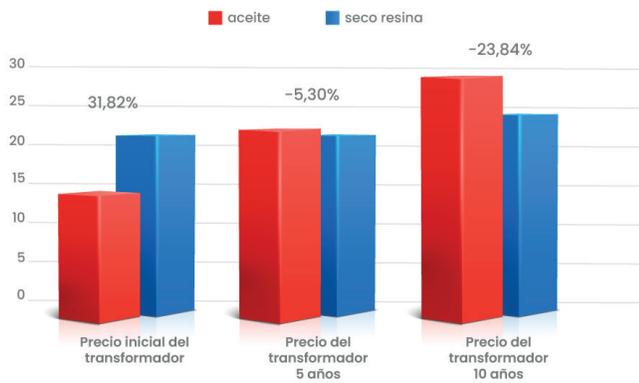


Figura 3: Comparación económica entre un transformador en aceite Vs transformador seco (Schneider Electric)

Para explicar la Figura 3: Comparación económica entre un transformador en aceite vs transformador seco (Schneider Electric) y la Tabla anterior, se establece que en el año 1 se representan los costos iniciales de inversión, o costo de compra del equipo, por tanto, el costo de compra de un transformador seco es 31.82% más alto que el costo de compra de un transformador sumergido en aceite, para el caso del costo de un transformador de 1 MVA.

En conclusión, la inversión inicial de un transformador "tipo SECO" puede recuperarse en un periodo de 10 años.

10 CONDICIONES DE FUNCIONAMIENTO

Si bien los transformadores "tipo SECO" estándar, están hechos para interiores, protegidos de la luz solar directa y con una atmosfera industrial normal también pueden ser fabricados para ser utilizados en las condiciones ambientales más difíciles.

Los transformadores soportan diferentes condiciones ambientales (ver. Figura 4, 5 y 6) durante el almacenamiento, el transporte y la utilización.

- » Temperatura ambiente mínima: -25 °C
- » Temperatura ambiente máxima: 40 °C
- » Humedad relativa máxima: 93%

La norma IEC 60076-II utiliza un código alfanumérico para identificar las clases ambiental, climática y de comportamiento al fuego de los transformadores encapsulados en resina de "tipo SECO":

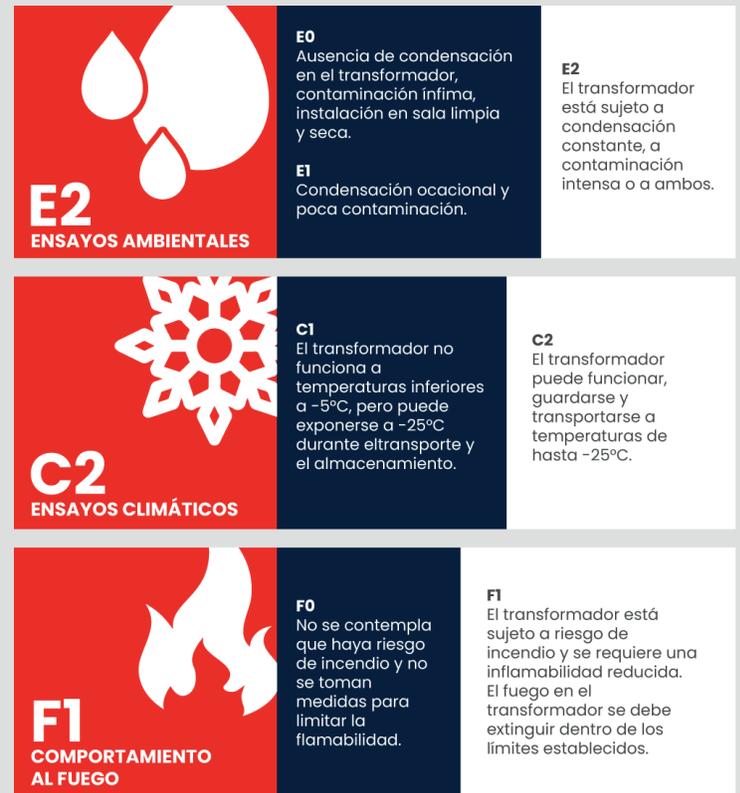


FIGURA 4: Clasificación Climática, Clasificación Ambiental y Clasificación Ante El Fuego

11 IMPORTANCIA DE LA VENTILACIÓN EN EL INCREMENTO DE POTENCIA

La norma IEC 60076-11 especifica que la temperatura ambiente de la instalación no debe superar los siguientes valores:

20 °C de media anual.

30 °C de media mensual del mes más caluroso.

40 °C en ningún momento.

Se define que un sistema de ventilación es adecuado cuando la corriente de aire entra por debajo, cruza la sala donde está instalado el transformador y sale por el lado contrario arriba, podemos valorarlo mejor con la imagen (Ver Figura 5). Sin embargo, durante el funcionamiento, el transformador genera calor debido a las pérdidas, por lo cual es necesario disipar este calor de la sala donde está instalado el transformador. Para ello, si la ventilación de la sala no es suficiente, hay que instalar ventilación forzada. (ver Figura 6).

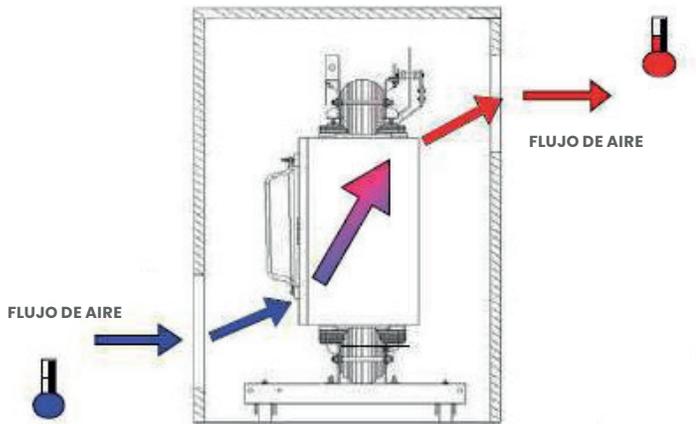


FIGURA 5: Imagen de la ventilación adecuada (Manual de LEGRAND).

La ventilación forzada es necesaria en los siguientes casos:

- » Sobrecargas frecuentes.
- » Sala pequeña.
- » Sala con poca ventilación o poco intercambio de aire.
- » Temperatura media anual superior a 20 °C.

La ventilación forzada se puede lograr mediante ventiladores (instalados directamente por el fabricante o posteriormente). Se recomienda instalar el sistema extractor en la abertura superior.

El flujo de aire recomendado es de 3,5 - 4,0 m³/min de aire fresco por cada kW de pérdidas, a 120 °C.

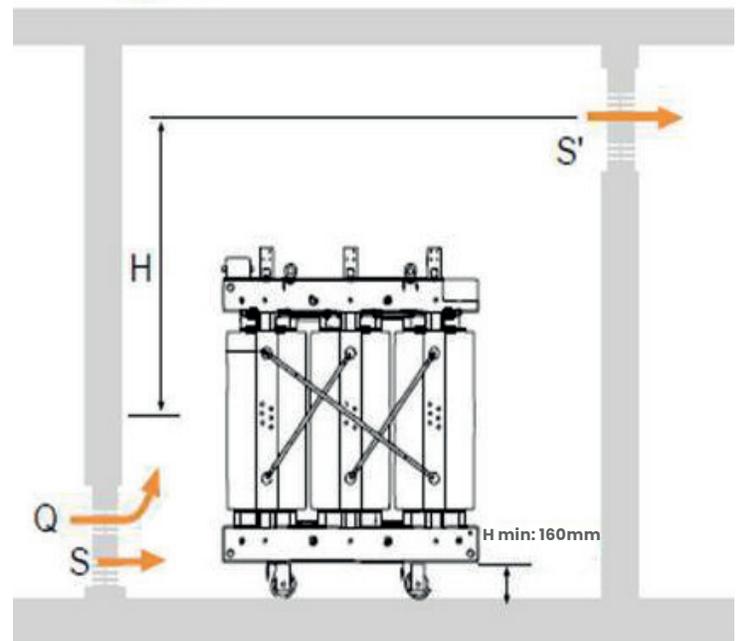


FIGURA 6: Ventilación forzada (Manual LEGRAND).

12 COBRE VS ALUMINIO, MITOS Y REALIDADES

Considerando que la mayoría de los transformadores "tipo SECO" de BT y MT, se basan en devanados de aluminio para transferencia de energía, muchos ingenieros y operadores de planta prefieren devanados de cobre para aplicaciones específicas, por lo cual, a continuación, se presenta la COMPARACIÓN DE MATERIALES (Ver Figura 7: Gráfica aluminio Vs cobre. Fuente: Amper), con las diferencias primarias entre los dos tipos, para despejar dudas y eliminar susceptibilidades que puedan existir:

- » **COSTO INICIAL:** Al principio, los devanados de aluminio son generalmente menos costosos que los devanados en cobre por que el material en sí mismo es relativamente más barato de producir. Mas aun, el precio del aluminio ha demostrado permanecer estable durante largos periodos.
- » **COSTOS OPERATIVOS:** Los devanados de aluminio usualmente toman mayor sección transversal en área de los transformadores "tipo SECO" que las opciones en cobre. El diseño más costoso de los devanados de aluminio produce una densidad de

corriente baja, resultando en una menor pérdida nominal de calor y ahorrando más energía cuando son comparados con los modelos antiguos de los transformadores en cobre.

- » **CONFIABILIDAD:** Mientras que ambos devanados de cobre y aluminio proveen las mismas funciones generales para transformadores de BT y MT, pueden alcanzar los mismos niveles de confiabilidad debido a que los transformadores en aluminio pueden ser fácilmente dimensionados para compensar alguna diferencia con los de cobre.
- » **TIEMPO DE VIDA ÚTIL:** Si los devanados de cobre y aluminio son adecuadamente instalados y mantenidos, sus tiempos de vida útil deberían ser cercanamente iguales.
- » **ASPECTOS ELECTROQUÍMICOS:** A efectos de evitar la pérdida de material de Al por la acción galvánica y la consecuente pérdida de contacto con las terminales por la menor ductilidad del Al respecto al Cu, se deben utilizar terminaciones apropiadas del mismo material de Al.

TRANSFORMADORES SECOS ENCAPSULADOS EN RESINA ¿POR QUÉ BOBINADO DE ALUMINIO?				
PARÁMETROS	COBRE	ALUMINIO	INFORMACIÓN ADICIONAL/ CÁLCULOS	OBSERVACIONES
Coefficiente de expansión lineal	$17 * 10^{-6}/k$	$24 * 10^{-6}/k$	Resin $-30 * 10^{-6}/k$	Aluminio y Resina son material es compatibles, donde las posibi idades de creación de vacíos y grietas durante el cambio de cargas son mínimas a comparación de Cobre y Resina.
Conductividad (σ)	$56 * 10^6 \frac{\text{siemens}}{\text{m}}$	$35 * 10^6 \frac{\text{siemens}}{\text{m}}$	$1.6 * 35 * 10^6 = 56 * 10^6 \text{ s/m}$	Una más alta CS área del conductor de Aluminio es 1.6 veces más que el conductor de Cobre, proporciona la misma conductividad y las pérdidas de carga resultantes.
capacidad térmica de almacenamiento	$0.214 \text{ cal/gm/}^\circ\text{C}$ 8.9 gm/cm^2 1 $8.9 * 0.092 = 0.8188$	$0.214 \text{ cal/gm/}^\circ\text{C}$ 2.7 gm/cm^2 1.6 $0.214 * 2.7 * 1.6 = 0.9248$	Capacidad de almacenamiento térmico	El Aluminio puede soportar una mayor oleada y corriente de sobrecarga que el Cobre equivalente.

Tabla 3: Tabla comparativa de devanado entre cobre y aluminio (ELETTROMECCANICA COLOMBO)

COMPARACIÓN DE MATERIALES

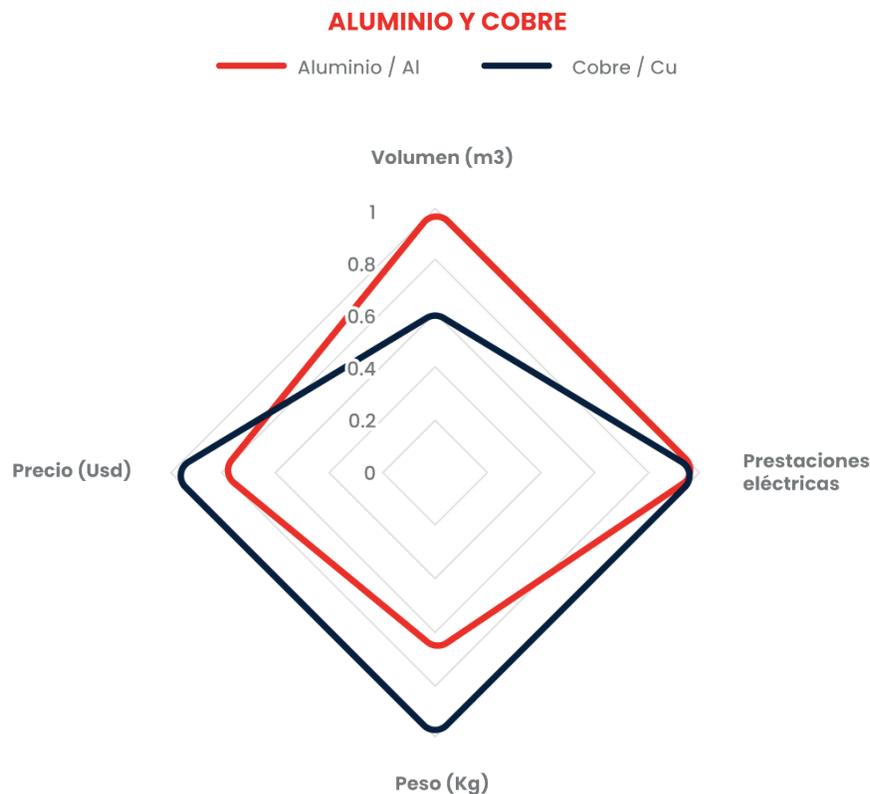


FIGURA 7: Gráfica aluminio Vs cobre (Fuente: Amper)

MITOS

Los equipos fabricados con devanado de aluminio son más grandes con respecto a los de devanado de cobre.

El aluminio no conduce igual que el cobre y, por lo tanto, trabaja a mayor temperatura.

Los equipos con devanados de aluminio no tienen la misma capacidad de soportar cortos circuitos que los de devanado de cobre.

REALIDADES

Realmente, las dimensiones externas de los equipos son las mismas, tanto para cobre como para aluminio; lo que cambia es el tamaño de los devanados.

Si los equipos están diseñados por el método de elevación de temperatura y cumplen con los requerimientos de UL o ANSI, los niveles de temperatura se mantendrán por debajo de lo indicado, aun utilizando devanados de aluminio.

Al tener que incrementar el tamaño de los devanados de aluminio para alcanzar la misma conductividad que los devanados de cobre, la resistencia a la tensión también se incrementa, teniendo la misma capacidad de soportar los esfuerzos mecánicos generados durante un corto circuito.

13 CORRECCIONES DEBIDO A LA ALTITUD DE INSTALACIÓN EN TRANSFORMADORES TIPO SECO SEGÚN IEEE e IEC:

Considerando que en Bolivia existen varios lugares donde los equipos deben funcionar a una altitud mayor a 4000 msnm, se debe informar de este hecho al fabricante para que considere los siguientes criterios para fabricar y operar transformadores normalizados por encima del valor de 1000 msnm o 2000 msnm, considerando principalmente los siguientes aspectos:

COMPENSACIÓN DEL NIVEL DE TEMPERATURA SEGÚN IEEE

Considerando que los transformadores "tipo SECO" dependen completamente de la disipación en el aire del calor generado, el efecto de la reducción de la densidad del aire con el incremento de la altitud, se traduce en un incremento de temperatura de los transformadores que impacta sobre el aislamiento del activo.

Como se especifica en la norma IEEE C57.96, los transformadores pueden operar en temperaturas ambiente mayores a 30° C. en altitudes mayores a 1000 msnm sin exceder los límites de temperatura establecidos para cada tipo de enfriamiento. La carga (kVA) a ser alimentada, debe reducir su valor nominal en un porcentaje de acuerdo a la Tabla (I) por cada 100 m que se exceda a los 1000 msnm.

TIPO DE REFRIGERACIÓN	FACTOR DE DERRATEO POR CADA 100 m
Auto refrigeración (AA, ANV)	0.3
Refrigeración por aire forzado (AA / FA, AFA)	0.5

Tabla 4: Factor de derrateo, según tipo de refrigeración (IEEE C57.96)

COMPENSACIÓN DEL NIVEL DE AISLAMIENTO DIELECTRICO (BIL) SEGÚN IEEE

La norma IEEE C57.12.01 especifica que los niveles de resistencia del aislamiento de transformadores dependen totalmente o parcialmente de la densidad del aire circundante.

El nivel de la resistencia del aislamiento correspondiente a la altitud de operación, debe ser corregido de acuerdo al valor del factor indicado en la Tabla (J)

de la norma IEEE C57.12.01, valor que no podrá ser menor al nivel de aislamiento requerido para la altitud de operación.

TABLA (J) FACTOR DE CORRECCIÓN DE NIVEL DE AISLACIÓN DIELECTRICA	
ALTURA Metros (m)	FACTOR DE CORRECCIÓN POR ALTURA PARA RESISTENCIA DIELECTRICA
≤ 1000	1.00
1800	0.92
2700	0.83
3600	0.75
4200	0.70
4500	0.67

Tabla 5: Factor de corrección de nivel de aislación dieléctrica (IEEE C57.12.01)

COMPENSACIÓN DEL NIVEL DE AISLAMIENTO DIELECTRICO (BIL) SEGÚN IEC

Hay 2 consideraciones principales para operar transformadores en altitudes superiores a 1000 m/3300(pies):

Los diseños del estado de las normas actuales deben ser válidos para estas alturas. Por encima de esta altura, la densidad del aire ya no funciona con la misma eficacia para eliminar el calor. Como resultado, los KVA funcionales del transformador deben reducirse a altitudes más altas, típicamente alrededor del 0,3% por cada 100m/330'.

Es que la constante dieléctrica del aire se reduce a mayores altitudes. Los transformadores de tipo seco utilizan espacio de aire con un componente importante de las propiedades de aislamiento eléctrico. A mayores altitudes, estos valores de aislamiento más bajos, típicamente en niveles BIL de media tensión. Idealmente, si los transformadores se instalarán por encima de 1000 m, informe al fabricante y el diseño se puede ajustar para cumplir con todos los requisitos en las altitudes más altas.

Para determinar el BIL de los equipos eléctricos que serán operados en lugares que superen los 1000 msnm se utiliza un factor de corrección atmosférica K_a que viene dado por la siguiente expresión según la norma IEC 60071-2: Coordinación de aislamiento, Guía práctica.

$$K_a = e^{m \cdot \frac{(H-1000)}{8150}} ; \quad \text{para } H \geq 1000 \text{ m; } k_a \geq 1$$

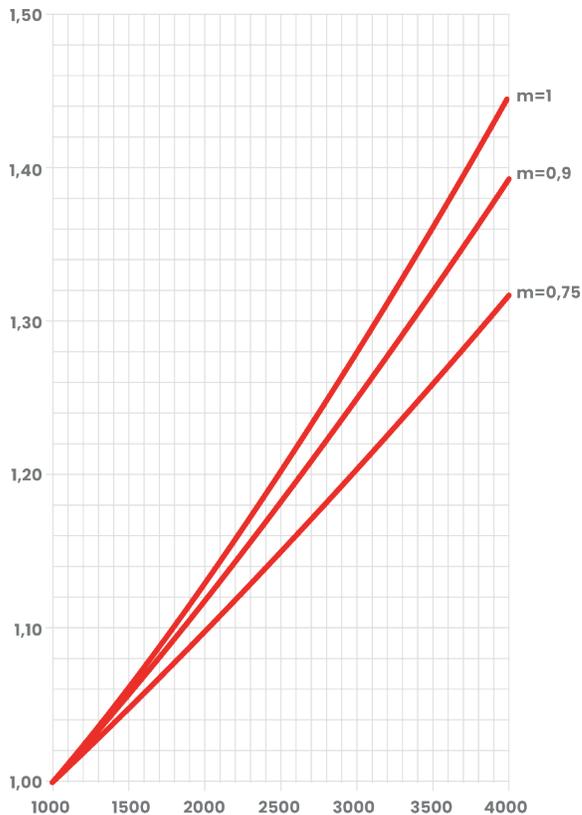


FIGURA 8: Ilustración del factor de corrección Atmosférico

Donde:

K_a = Factor de corrección atmosférica

m = Constante que depende del tipo de aislamiento, se considera:

- » $m = 1$ para tensiones de impulso de maniobra fase-fase, a frecuencia industrial o impulso atmosférico.
- » $m = 0.9$ para tensiones de impulso de maniobra longitudinal.
- » $m = 0.75$ para tensiones de impulso de maniobra, fase-tierra.

H = altura en metros.

En algunos casos, dado que la altitud es relativamente alta hasta un límite que cambiará el equipo seleccionado (especialmente si se está utilizando tecnología de aire aislado), también puede considerar sistemas de aparamenta con aislamiento sólido o con gas para minimizar la huella / tamaño utilizado por el equipo en el sitio; esto se debe al hecho de que estas tecnologías normalmente ofrecen una mayor inmunidad a las condiciones ambientales, incluso cuando se trata de grandes altitudes.

FACTOR DE DERRATEO "K"	m (DISEÑO)	MSNM (m)
1.00	1	1000
1.13	1	2000
1.28	1	3000
1.44	1	4000

Tabla 6: Tabla de factor de derrateo, según IEC 60071-2

3 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El presente artículo técnico describe los criterios para la especificación de un transformador seco, los puntos más relevantes acerca de un transformador en general, además de enfatizar en las ventajas en varios escenarios de su aplicación. Las conclusiones y recomendaciones son las siguientes:

La inversión inicial de un transformador seco es considerable en comparación a la de un transformador sumergido en aceite, pero es recuperable a corto plazo debido a los costos de mantenimiento que tienen los transformadores sumergidos en aceite.

El índice de seguridad ante eventos explosivos que es la mayor desventaja en la aplicación de transformadores sumergidos en aceite y conlleva estructuras civiles adicionales que exige la norma es nulo en la aplicación de transformadores secos encapsulados en resina, haciendo su aplicación completamente segura, eliminando la construcción de estructuras civiles adicionales.

La especificación de un transformador seco tiene parámetros mínimos necesarios en caso de un transformador estándar y que fueron descritos en el presente artículo y para aplicaciones especiales debe revisarse la normativa y solicitar asesoría técnica especializada.

Debido a la tendencia mundial de tecnologías verdes y amigables con el medio ambiente, es la única opción la tecnología de transformadores secos encapsulados en resina.

Se recomienda la especificación de transformadores con bobinas de aluminio debido a que cuentan con similares ventajas a las de cobre, además de tener una ventaja mayor en cuanto al costo de este material; el costo del aluminio es mucho menos variable que el del cobre en el mercado mundial, por tanto, el costo del transformador será menos variable en el tiempo.

El verdadero asunto es que, los transformadores con devanados de bobina de aluminio o cobre pueden tener pérdidas y rendimientos similares dependiendo de sus diseños actuales. Desde que ambos transformadores de cobre y aluminio usan los mismos sistemas de aislación y tienen incrementos de temperaturas similares, ellos tienen niveles similares de tiempo de vida. Sin embargo, en costo consciente de edad, es el aluminio el cual está probando ser la opción más considerable.

SOLUCIONES DE CALIDAD, RENDIMIENTO Y DURABILIDAD SUPERIOR, PARA LAS APLICACIONES MÁS EXIGENTES

4 BIBLIOGRAFÍA

- » Schneider Electric – Power EMEAS – BU Energy – Lob transformers – junio 2011
- » tecnologías-transformadores-secos-Schneider-Electric
- » Manual de transformadores Secos encapsulados en resina de LEGRAND
- » Menor impacto ambiental y reducción de costes, ABB.
- » ELSCO Transformers, Cobre Vs Aluminio devanado de transformadores seco 2020.
- » TRANSMAGNECA, Cobre Vs Aluminio, 2016
- » 2014 actualización del mercado LED, Comisión Europea
- » IEEE C57.96: Compensación del Nivel de Temperatura
- » IEEE C57.12.01: Compensación del Nivel de Aislamiento Dieléctrico (BIL)
- » IEC 60071-2: Coordinación de aislamiento, guía práctica.

Todos los derechos reservados | © 2021 Amper SRL