

La Importancia de la Sostenibilidad en la Enseñanza de los Transformadores de Distribución

Elisa Peñalvo López^a, Vicente León Martínez^a, Joaquín Montañana Romeu^a e Iván Valencia Salazar^a

elpealpe@upvnet.upv.es Universitat Politècnica de València. Camino de Vera 14, 46022 – Valencia (España).

Abstract

The concept of sustainability in electrical transformers is associated with the amount of greenhouse gas emissions caused by their power consumptions. In the teaching of transformers, greater importance has traditionally been given to the functional aspect than to the environmental one. This article aims to show the importance of sustainability as a relevant concept to incorporate in the study of distribution transformers.

Keywords: Transformation houses, distribution transformers, energy losses, sustainability.

Resumen

El concepto de sostenibilidad en los transformadores eléctricos está asociado a la cantidad de emisiones de gases de efecto invernadero causados por sus consumos energéticos. En la enseñanza de los transformadores, se ha dado tradicionalmente mayor importancia al aspecto funcional que al medioambiental. Este artículo pretende mostrar la importancia de la sostenibilidad como concepto relevante a incorporar en el estudio de los transformadores de distribución.

Palabras clave: Centros de transformación, transformadores de distribución, pérdidas energéticas, sostenibilidad.

INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

Los transformadores eléctricos son dispositivos fundamentales en la transmisión y distribución de la energía eléctrica, que están presentes en cualquier actividad industrial, comercial y doméstica. En su funcionamiento, estas máquinas tienen consumos energéticos (pérdidas en el núcleo y pérdidas en las bobinas) y, por tanto, dan lugar a emisiones de carbono a la atmósfera. Estos dos parámetros (pérdidas/emisiones) determinan la sostenibilidad energética y medioambiental de estas máquinas. Por esta razón, desde principios del presente siglo se ha impulsado el desarrollo de transformadores eficientes, como paso necesario para estimular la economía circular y garantizar la sostenibilidad energética (véanse las referencias).

Los transformadores eficientes presentan las siguientes ventajas frente a los tradicionales:

- a) menores pérdidas debidas a la carga (en el cobre), dado que sus bobinas son de material conductor de elevada conductividad y, por tanto, con resistencia de cortocircuito (r_{cc}) pequeña, y
- b) pérdidas en vacío mucho más reducidas, al disponer de núcleos de material magnético de gran calidad, con lazos de histéresis muy estrechos.

El principal objetivo de este artículo ha sido fomentar entre los docentes la incorporación del concepto de sostenibilidad en la enseñanza de los transformadores eléctricos, en general, y de los transformadores de distribución existentes en los centros de transformación, en particular, utilizándose, para ello, la magnitud de los ahorros energéticos y en emisiones que se derivan de la sustitución de transformadores ineficientes por otros más eficientes, en un caso de aplicación real. En el caso de estudio, realizado por los autores del artículo por encargo del gestor de una red de distribución, se determinan los consumos energéticos y las emisiones de CO₂ de un transformador ineficiente de 1600 kVA y 24 años de antigüedad, de uno de los centros de transformación de la red de distribución de 20 kV, que suministra energía a las empresas de un área industrial cercana a la ciudad de Valencia. Los valores indicados en los siguientes apartados se corresponden a medidas efectuadas sobre este transformador.

PÉRDIDAS ENERGÉTICAS EN TRANSFORMADORES DE DISTRIBUCIÓN Y EMISIONES DE GASES DE EFECTO INVERNADERO

En la enseñanza de los transformadores eléctricos se consideran dos tipos de pérdidas energéticas: las originadas en el núcleo (P_0) y las causadas por la circulación de corrientes en los devanados o pérdidas debidas a la carga (P_{cc}). Las pérdidas en el núcleo son proporcionales al cuadrado de la tensión aplicada al primario del transformador. Las pérdidas debidas a la carga varían con el cuadrado de los valores eficaces de las corrientes (I_z) que circulan por las bobinas del secundario del transformador, según la expresión:

$$P_{cc} = r_{cc} \cdot \sum_{z=A,B,C} I_z^2 \quad (1)$$

donde r_{cc} es la resistencia de cortocircuito del transformador vista desde el secundario, obtenida tal como se indica en la norma IEC 60076-1.

Las pérdidas totales en el transformador se obtienen como suma de los dos tipos anteriores de pérdidas. Las consecuencias sobre el medio ambiente de estas pérdidas son las emisiones de dióxido de carbono, entre otros gases, cuyo valor se deduce, en cada país, utilizando los factores de emisión, que proporcionan las agencias gubernamentales y los operadores de red. El factor de emisión en España es de 0.241 kg CO₂/kWh, según fuentes del operador eléctrico Red Eléctrica Española. Las diferencias entre los valores del factor de emisión resultan de los distintos mix energéticos, para cada país y año.

CASO DE APLICACIÓN Y RESULTADOS

El gestor de la red eléctrica de un polígono industrial, de una población cercana a Valencia, nos solicitó evaluar el impacto que, sobre la sostenibilidad energética y medioambiental,

causan las pérdidas energéticas de los transformadores de sus centros de transformación. Para cumplimentar este encargo, se efectuó una campaña de medidas entre los meses de octubre y diciembre del año 2020, utilizando el analizador de redes Fluke 435 Series II.

El estudio que se describe en este apartado está centrado en uno de los centros de transformación analizados de la red de distribución del polígono industrial y su sustitución por otro eficiente. El transformador existente en dicho centro era del fabricante ORMAZABAL, de 1600 kVA, y características nominales indicadas en la Tabla 1. Este transformador estaba conectado a la red eléctrica de media tensión de 20 kV. Asimismo, en la Tabla 1 se indican las características nominales de transformadores eficientes de sustitución, establecidos por la Comisión Regulation Nº 548/2014 de la Unión Europea, utilizados en el estudio.

Tabla 1. Características nominales de transformadores de distribución de 24 kV. (1) Ormazabal, ineficiente. (2) Transformadores eficientes, según Commission Regulation (EU) No 548/2014.

Potencia nominal (kVA)	Pérdidas debidas a la carga (W)	Pérdidas en vacío (W)	Resistencia de cortocircuito (Ω)
1600 ⁽¹⁾	17000	2600	0,011708
1600 ⁽²⁾	12000	1080	0,000826447
1000 ⁽²⁾	7600	693	0,00134064

La Tabla 2 muestra los consumos energéticos medidos en el transformador Ormazabal y calculados en los transformadores eficientes de sustitución tras la campaña de medidas.

Tabla 2. Energías perdidas anualmente, en carga ($W_c^{(1)}$, $W_c^{(2)}$) y totales: (1) transformador Ormazabal y (2) utilizando transformadores eficientes.

Transformador	ENERGÍA PERDIDA EN CARGA (kWh/año)		ENERGÍA PERDIDA TOTAL (kWh/año)		
	Días Laborables (251)	Días Festivos (114)	Días Laborables (251)	Días Festivos (114)	Total (365)
1600 kVA ⁽¹⁾	3824,84	61,31	19487,24	7174,91	26662,15
1600 kVA ⁽²⁾	2699,89	43,28	9205,81	2998,16	12203,96
1000 kVA ⁽²⁾	4379,68	70,20	8554,32	1966,25	10520,57

Los valores de las emisiones de dióxido de carbono (Tabla 3) se han determinado multiplicando las energías totales perdidas, para cada transformador, indicados en la Tabla 2, por el factor de emisiones en España, 0,241 kg CO₂/kWh.

Tabla 3. Emisiones de CO2 anuales, en kg/año con: (1) transformador Ormazabal; (2) transformadores eficientes.

Transformador	Laborables (251)	Festivos (114)	Total (365)
1600 kVA (1)	4696,42	1729,15	6425,57
1600 kVA (2)	2218,60	722,56	2941,16
1000 kVA (2)	2061,59	473,87	2535,46

Observando las pérdidas energéticas totales, indicadas en la Tabla 2, y las emisiones de dióxido de carbono, en la Tabla 3, se deduce que el transformador de sustitución más adecuado al actual de 1600 kVA debe ser un transformador eficiente de potencia nominal 1000 kVA.

CONCLUSIONES

Atendiendo a lo indicado en el anterior apartado, se deduce que la sustitución de los actuales transformadores de distribución ineficientes por otros eficientes, mejora considerablemente la sostenibilidad de los centros de transformación. En el caso de estudio, se obtienen ahorros anuales de energía de 16141,58 kWh y reducciones en emisiones de dióxido de carbono de 3890,11 kg/año, tras la sustitución del transformador Ormazabal de 1600 kVA por uno eficiente de sólo 1000 kVA. La importancia de estos ahorros justifica, en nuestra opinión, la inclusión de la sostenibilidad en la enseñanza de los transformadores eléctricos.

REFERENCIAS

PUBLICACIONES:

U4E. Accelerating the Global Adoption of Energy-Efficient Transformers. UN Environment. Economy Division. Energy & Climate Branch. 1 Rue Miollis, Building VII. 75015, Paris (France). united4efficiency.org. 2017.

WEB:

ABB. Energy efficient transformers: European Minimum Energy Performance Regulation (MEPS). Disponible en www.abb.com/transformers.

HPS – Hammond Power Solutions Inc. Energy Efficient Distribution Transformers. Disponible en www.hammondpowersolutions.com.

Leonardo Program. Energy efficient distribution transformers. 2017. Disponible en <https://leonardo-energy.pl/wp-content/uploads/2017/08/Energy-efficient-distribution-transformers.pdf>

Red Eléctrica de España. Informe de Sostenibilidad 2020. Abril 21, 2021. Disponible en <https://www.ree.es/es/publicaciones/informe-sostenibilidad-2020>

NORMATIVA:

Commission Regulation (EU) No 548/2014 of 21 May 2014 on implementing Directive 2009/125/EC of the European Parliament and of the Council with regard to small, medium and large power transformers.