

PRACTICA NO.4. TRANSFORMADORES MONOFÁSICOS: AUTOTRANSFORMADOR

Daniel Fernando Aranda Contreras, Diana Fernanda Abril Roa, Nicolás Hernández Buitrago,
Rafael Miguel Segura Garzon

Escuela E3T, Universidad Industrial de Santander

Correo electrónico: {daniel2221648, diana2212074, nicolás2204593, rafael2202194 }@correo.uis.edu.co

Index Terms—Autotransformador, Transformador monofásico, Pruebas de vacío, Pruebas de cortocircuito, Relación de transformación, Rendimiento, Regulación, Carga resistiva (R), Carga inductiva (L), Carga capacitiva (C), Modelo equivalente, Máxima eficiencia, Tensión primaria, Tensión secundaria, Corriente nominal, Factor de potencia, Conexión eléctrica, Potencia de entrada, Potencia de salida.

MARCO TEÓRICO

Relación de Transformación

En un autotransformador, parte de la energía se transfiere a través de un devanado común entre la bobina primaria y secundaria. La relación de voltajes entre el primario y el secundario de un autotransformador se determina como:

$$\frac{V_s}{V_p} = \frac{N_s}{N_p} \quad (1)$$

Donde:

- V_s : Voltaje en el lado secundario del autotransformador.
- V_p : Voltaje en el lado primario del autotransformador.
- N_s : Número de vueltas en la parte secundaria del devanado común.
- N_p : Número de vueltas en la parte primaria del devanado común.

En un autotransformador, la relación de voltaje depende de cuántas vueltas del devanado están involucradas en el secundario, en comparación con el primario. Es decir, la relación de voltaje es directamente proporcional a la cantidad de vueltas en cada parte del devanado.

Prueba de Vacío

La prueba de vacío es un procedimiento utilizado para evaluar las pérdidas de núcleo o pérdidas de hierro del autotransformador. En esta prueba, el transformador se conecta al suministro eléctrico en su lado primario, aplicando el voltaje nominal, pero sin carga conectada al lado secundario. Al no haber carga, la corriente medida es pequeña y está compuesta principalmente por la corriente de magnetización, necesaria para excitar el núcleo del transformador.

Las pérdidas en este caso se deben principalmente a los efectos magnéticos en el núcleo, como las pérdidas por histéresis y las pérdidas por corrientes de Foucault, además de las pérdidas resistivas de los devanados. El objetivo principal de la prueba de vacío es medir la potencia de vacío, que es la potencia consumida

I. OBJETIVOS

- Realizar las pruebas de vacío y de cortocircuito en un transformador monofásico configurado como autotransformador para analizar su comportamiento eléctrico.
- Determinar experimentalmente el rendimiento y la regulación del autotransformador bajo diferentes tipos de carga: resistiva, inductiva y capacitiva.

II. EQUIPOS Y MATERIALES

- Transformador monofásico.
- Voltímetro CA.
- Amperímetro CA.
- Vatímetro monofásico CA.
- Transformador de corriente (CT).
- Cargas: resistivas (R), inductivas (L) y capacitivas (C).

III. INTRODUCCIÓN

Los autotransformadores son dispositivos eléctricos que facilitan la modificación de los niveles de tensión dentro de un rango específico de manera eficiente. A diferencia de los transformadores tradicionales, en los autotransformadores los devanados primario y secundario no están completamente aislados, ya que comparten una parte del mismo arrollamiento. Esto resulta en una reducción del material conductor utilizado y en una mejora de la eficiencia del sistema. En este laboratorio, se realizará un estudio de un transformador monofásico funcionando como autotransformador, a través de pruebas experimentales que permitirán evaluar su rendimiento y regulación en diversas condiciones de carga.

por el transformador debido a las pérdidas de hierro, las cuales son constantes y no dependen de la carga. Estas pérdidas son importantes porque afectan la eficiencia global del transformador, ya que siempre están presentes, incluso cuando el transformador no está alimentando ninguna carga.

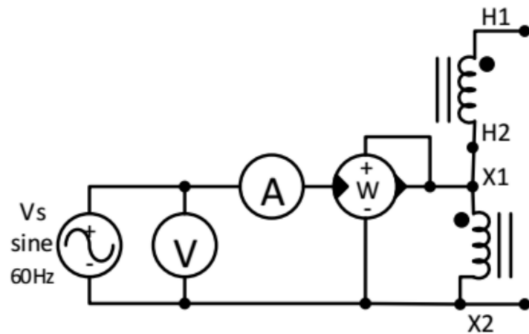


Figura 1: Esquema de conexión del autotransformador a partir del transformador prueba de vacío. Fuente: PDF Práctica No. 4. Transformadores Monofásicos: Autotransformador.

Prueba de Corto Circuito

La prueba de corto circuito se realiza para determinar las pérdidas de cobre y la impedancia de los devanados del autotransformador cuando este está bajo condiciones de carga. En esta prueba, el lado secundario del transformador se conecta a un cortocircuito, lo que provoca que la corriente de corto circuito fluya por los devanados secundarios. Al mismo tiempo, se aplica un voltaje reducido en el lado primario del transformador. Este voltaje es suficiente para generar la corriente de corto circuito requerida en el lado secundario, pero no es tan alto como para causar daños en el transformador.

La corriente medida en esta prueba es proporcional a las pérdidas de cobre, que son pérdidas resistivas causadas por la resistencia de los devanados. Estas pérdidas dependen directamente de la corriente que circula por los devanados y son más altas cuando el transformador está bajo carga. A partir de esta prueba, se puede calcular la impedancia total del transformador, que incluye tanto la resistencia como la reactancia de los devanados. Esta impedancia es crucial para determinar el comportamiento del transformador bajo carga y para dimensionar adecuadamente el dispositivo según las necesidades de la red.

Prueba de Rendimiento

La prueba de rendimiento se lleva a cabo para evaluar el comportamiento general del autotransformador cuando está operando con una carga conectada. El propósito de esta prueba es medir la eficiencia del transformador bajo condiciones de operación reales, es decir, cuando se le aplica una carga en su salida. Durante esta prueba, se mide tanto la potencia de

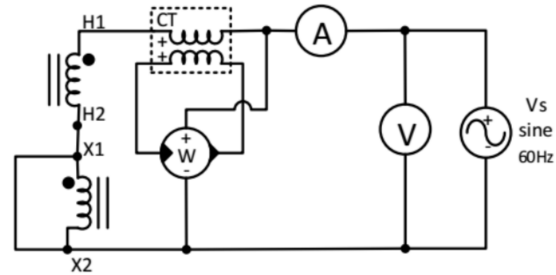


Figura 2: Esquema de conexión del autotransformador a partir del transformador prueba de cortocircuito. Fuente: PDF Práctica No. 4. Transformadores Monofásicos: Autotransformador.

entrada como la potencia de salida del transformador, así como las pérdidas totales que ocurren durante el proceso de transformación.

Para realizar la prueba de rendimiento, se conecta el autotransformador a una carga conocida y se aplica el voltaje nominal en el lado primario. Se mide la potencia activa y reactiva tanto en el lado primario como en el secundario. Las pérdidas totales incluyen las pérdidas de hierro (que ya se determinaron en la prueba de vacío) y las pérdidas de cobre (que fueron determinadas en la prueba de corto circuito). La eficiencia del autotransformador se calcula como:

$$\eta[\%] = \frac{P_{\text{salida}}}{P_{\text{entrada}}} \times 100 \quad (2)$$

Este valor es fundamental para evaluar la efectividad del transformador al convertir la energía eléctrica de entrada en energía útil para la carga.

Regulación

La regulación es un parámetro crítico en los transformadores, especialmente en los autotransformadores, y describe la capacidad del transformador para mantener un voltaje constante en su salida frente a las variaciones de carga. En términos simples, la regulación se refiere al cambio en el voltaje secundario cuando el transformador pasa de carga total a vacío.

La regulación de un transformador está estrechamente relacionada con las pérdidas de cobre y la impedancia de los devanados, ya que las variaciones de carga afectan la caída de tensión en los devanados. Cuando el autotransformador se carga, la corriente que fluye a través de los devanados genera una caída de tensión proporcional a la impedancia total del transformador, lo que reduce el voltaje de salida. La fórmula general para calcular la regulación de un transformador es:

$$\text{Regulación} = \frac{V_{\text{vacío}} - V_{\text{carga}}}{V_{\text{carga}}} \times 100 \quad (3)$$

IV. TRATAMIENTO DE DATOS

IV-A. Introducción

En este documento se presentan los cálculos realizados a partir de las pruebas de vacío y corto circuito, con el objetivo de determinar los parámetros del circuito equivalente. Los resultados obtenidos se analizan tanto para los lados de alta como de baja tensión.

IV-B. Pruebas de Vacío en Baja Tensión (BT)

Los datos obtenidos en las pruebas de vacío se encuentran en la siguiente tabla:

Voltaje [V]	Corriente [A]	Potencia [kW]
220	1.6	0.16

Cuadro I: Pruebas de vacío en BT.

Con los datos de la tabla anterior, se realizarán los cálculos necesarios para construir el circuito equivalente. En particular, se analizarán los parámetros magnéticos referidos a los lados de alta y baja tensión.

$$R_m = \frac{V^2}{P} = 302,5 \text{ } [\Omega]$$

$$S = |V||I| = 352[V A]$$

$$Q = \sqrt{S^2 - P^2} = 313,5347[V AR]$$

$$X_m = \frac{V^2}{Q} = 154,3689 \text{ } [\Omega]$$

IV-C. Pruebas de Corto Circuito en Baja Tensión (BT)

Los datos obtenidos en las pruebas de corto circuito se presentan en la siguiente tabla:

Voltaje [V]	Corriente [A]	Potencia [kW]
10.06	5.42	0.035

Cuadro II: Pruebas de corto circuito en BT.

A partir de estos datos, se calcularán las pérdidas de bobinado de cobre. Además, se podrán obtener los parámetros equivalentes referidos al lado de alta tensión.

$$R_{cc} = \frac{P}{I^2} = 1,1974 \text{ } [\Omega]$$

$$Z_{cc} = \frac{V}{I} = 1,8561 \text{ } [\Omega]$$

$$X_{cc} = \sqrt{Z_{cc}^2 - R_{cc}^2} = 1,4232 \text{ } [\Omega]$$

IV-C1. Modelo del Circuito Equivalente: En la Figura 3 se muestra el modelo del circuito equivalente utilizando un autotransformador.

IV-C2. Eficiencia: Para los cálculos de eficiencia, se tomaron los valores de potencia de entrada y de salida obtenidos directamente en el laboratorio. A partir de estos datos, se realizó la respectiva operación para determinar la eficiencia del sistema.

$$\eta \% = \frac{P_{out}}{P_{in}} = \frac{0,006}{0,010} * 100 = 60 \% \text{ Con tensión aplicada: } 150,02 \text{ V}$$

$$\eta \% = \frac{P_{out}}{P_{in}} = \frac{0,0015}{0,007} * 100 = 21,4286 \% \text{ Con una tensión aplicada: } 133,6 \text{ V}$$

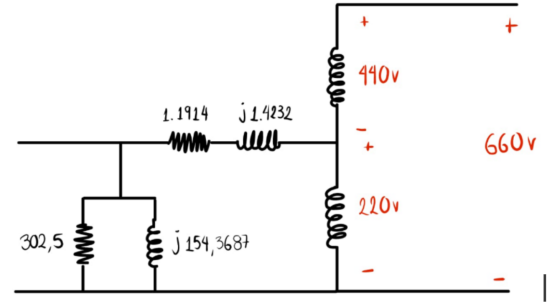


Figura 3: Modelo del circuito equivalente de un auto-transformador.

IV-C3. Regulación: Para determinar la regulación se analizaron diferentes tipos de cargas: una **RL**, una **RC** y una **RLC**, todas al mismo nivel de alimentación en el primario. Con estos datos fue posible calcular la regulación de tensión, obteniendo resultados precisos y acordes al sistema estudiado.

$$V_{aplicada} = 180,5 \text{ V} \Rightarrow V_{sincarga} = 180,5 * \left(\frac{660}{220}\right) = 541,5 \text{ V} \text{ Con valores RL} \Rightarrow V = 535 \text{ V}_{carga}$$

$$\text{Con valores RC} \Rightarrow V = 543 \text{ V}_{carga} \Rightarrow VR \% = \frac{V_{fuente} - V_{carga}}{V_{fuente}} * 100 = \frac{541,5 - 543}{543} * 100 = -0,2762 \%$$

$$\text{Con valores RLC} \Rightarrow V = 540 \text{ V}_{carga} \Rightarrow VR \% = \frac{V_{fuente} - V_{carga}}{V_{fuente}} * 100 = \frac{541,5 - 540}{540} * 100 = 0,2778 \%$$

CONCLUSIONES

- Las pruebas de vacío, corto circuito, rendimiento y regulación son esenciales para la caracterización y evaluación de autotransformadores. La prueba de vacío evalúa las pérdidas de núcleo, mientras que la prueba de corto circuito permite medir las pérdidas de cobre y la impedancia de los devanados bajo carga. Por último, la prueba de rendimiento proporciona información sobre la eficiencia global del transformador cuando está operando con carga. La combinación de estas pruebas proporciona una imagen integral del comportamiento del transformador, lo cual es crucial para garantizar su rendimiento y eficiencia a lo largo de su vida útil.
- A lo largo del laboratorio, se estudió el comportamiento de un transformador monofásico operando como autotransformador, evaluando su rendimiento y regulación bajo diferentes condiciones de carga, las cuales tienen una gran influencia en su rendimiento dependiendo el tipo de carga, si es una carga RC conectada en paralelo tiende a aumentar su tensión de salida en comparación con una carga netamente resistiva, mientras que con una carga inductiva conectada en serie su nivel de tensión de salida disminuye, pero si conectamos

una carga RLC está tiene un comportamiento de compensacion, si las cargas inductivas (L) y capacitivas (C) tienen valores similares.

- Los resultados obtenidos muestran que la potencia entregada a la carga aumenta a medida que la resistencia disminuye, lo cual es coherente con la relación entre la impedancia y la corriente.
- Puesto que la conexión del autotransformador está compuesta por un devanado continuo, si se presenta una falla, dicha falla no afectará meramente a un devanado, sino a todo el transformador y continuara por el sistema.

V. ANEXOS DE LA PRÁCTICA 5

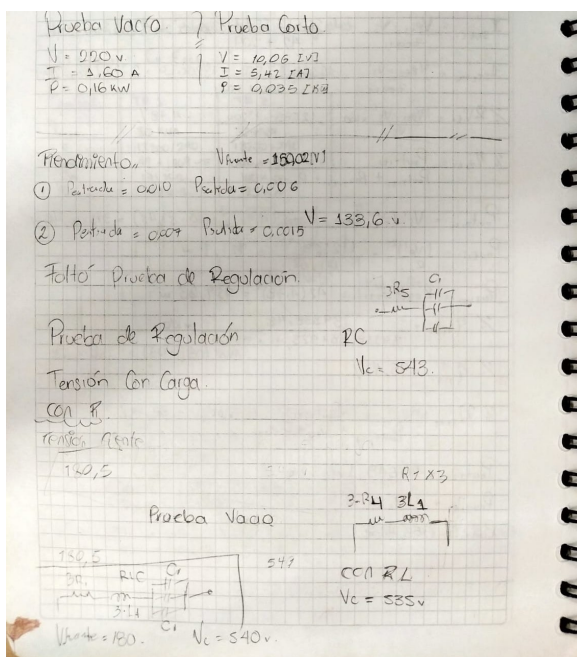
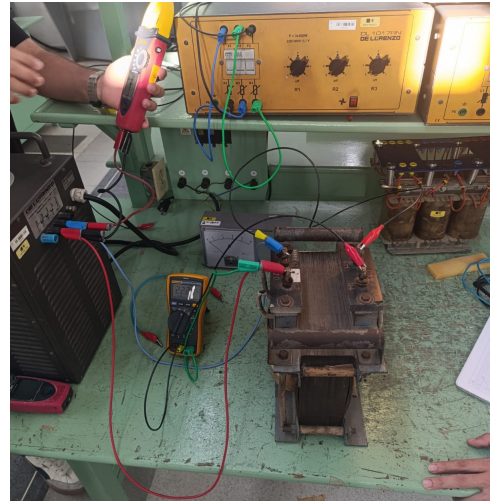
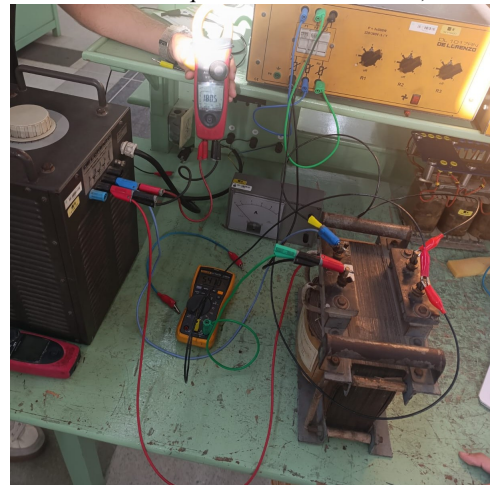


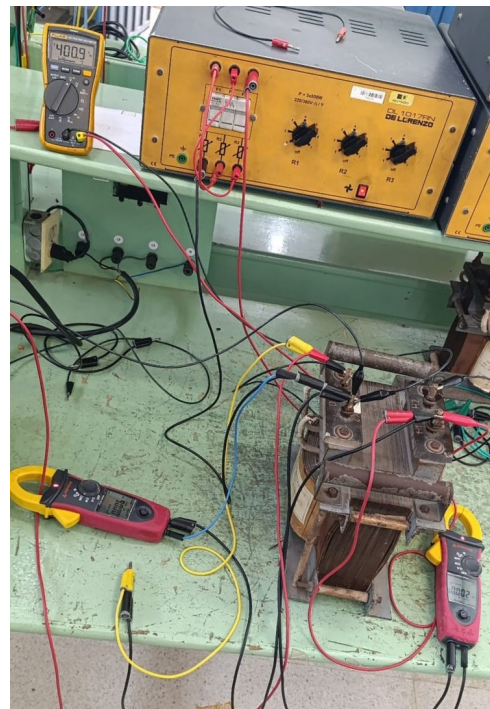
Figura 4: Hoja de la practica con los resultados de las pruebas.



(a) Autotransformador en la prueba de vacío (Hay una carga de resistencias en serie que están desconectadas).



(b) Autotransformador con tres cargas resistivas conectadas en serie.



(c) Autotransformador realizando prueba de rendimiento.