

Transformador

(Modalidad Virtual)



Fig. 1 Transformador

1. OBJETIVOS A LOGRAR:

- Realizar el cableado del transformador e instrumentos de medición.
- Configurar el transformador según requerimiento.
- Medir parámetros eléctricos del transformador en operación y en ensayos.
- Realizar configuración del ensayo de vacío a condiciones del ensayo.
- Realizar configuración del ensayo de cortocircuito a condiciones del ensayo.
- Plantear el circuito equivalente del transformador a partir de la medición de resistencia y los ensayos de vacío y cortocircuito.
- Definir el ensayo regulación del transformador.

2. FUNDAMENTO TEORICO:

Es la aplicación directa de la Ley de inducción de Faraday en la forma estática, es decir, el transformador no tiene ninguna parte móvil.

$$e = \frac{\partial \Phi}{\partial t}$$

e Tensión inducida.

Φ Flujo magnético producido por el campo inductor.

El requisito fundamental para la existencia de la tensión inducida e es la existencia de la derivada del flujo con respecto del tiempo; en el caso del transformador esto se logra en términos generales aplicando una tensión variable con el tiempo al primario del transformador.

La tensión inducida en valor eficaz está dada por:

$$E = \frac{2 \cdot \pi}{\sqrt{2}} \cdot N_{esp} \cdot f \cdot A \cdot B_{max}$$

E Tensión inducida eficaz.

N_{esp} Numero de espiras de la bobina.

f Frecuencia de la tensión de alimentación de la bobina.

A Área trasversal al campo magnético.

B_{max} Campo magnético máximo.

Donde se puede apreciar que la tensión generada, para un transformador dado, depende fundamentalmente del número de espiras de la bobina y la magnitud del flujo aplicado.

Los transformadores pueden ser de:

- **Tensión** donde se transmite la energía del primario al secundario aumentando (trafo elevador) o disminuyendo la tensión (transformador reductor). Todo transformador puede funcionar como elevador o reductor de tensión cuidando únicamente de no sobrepasar los valores nominales de tensión, potencia y corriente.

$$a = \frac{N_1}{N_2} = \frac{E_1}{E_2} = \frac{V_1}{V_2} = \frac{I_2}{I_1}$$

- **Aislamiento** utilizado para aislar el circuito un circuito secundario de un circuito primario, para filtrar la componente DC de una señal que tiene componentes AC y DC.

$$a = 1$$

- **Autotransformadores** normalmente se utilizan como transformadores reductores con relaciones de transformación bajas (2:1)

Circuito equivalente de un transformador monofásico

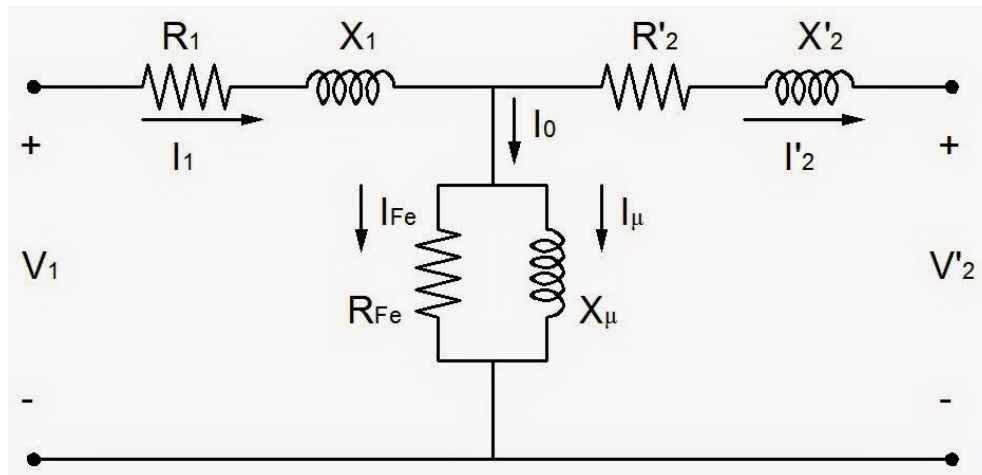


Fig. 2 Circuito equivalente del transformador monofásico

- R_1, R'_2 : Resistencias de pérdidas en el cobre.

Son determinadas mediante en ensayo de cortocircuito y representan las pérdidas en el cobre al aplicársele carga al transformador. Se ven fundamentalmente afectadas por el tipo de material empleado y el diámetro del conductor.

- X_1, X'_2 : Reactancias de pérdidas por dispersión de flujo.

Son determinadas mediante el ensayo de cortocircuito y representa el flujo disperso o de fuga que no concatena electromagnéticamente al primario y secundario.

- R_{Fe} : Resistencia de pérdidas en el núcleo.

Es evaluada mediante el ensayo de vacío y representa las pérdidas en el núcleo debidas a las corrientes parásitas y a la histéresis del material.

Las pérdidas por corrientes parásitas están relacionadas con la forma constructiva del núcleo, es decir, si es macizo o formado por la apilación de chapas delgadas y separadas una de la otra por un barniz u otro material adecuado.

Las pérdidas por histéresis están relacionadas con la clase de material empleado en la construcción del núcleo. El área encerrada por el lazo de histéresis representa las pérdidas por histéresis por lo cual se selecciona un material que cumpla dos requisitos:

- Menor lazo de histéresis
- Menor costo

a la frecuencia de trabajo. A frecuencias industriales de hasta 100 Hz se utiliza el acero al silicio.

- X_m : Reactancia de magnetización.

Se evalúa con el ensayo de vacío, modela el comportamiento del circuito magnético del núcleo en cuanto al acoplamiento electromagnético entre las bobinas primaria y secundaria.

- I_0 : Corriente de vacío

La corriente de vacío es la mínima corriente necesaria para producir el acoplamiento electromagnético entre la bobina primaria y secundaria y compensar las pérdidas en vacío. Se descomponer en:

- Corriente de pérdidas en el núcleo
 - Histéresis
 - Foucault o Eddy o parásitas
- Corriente de magnetización.
-

- I_1, I'_2 : Corriente del primario y del secundario referida al primario.

-

3. ACTIVIDADES A DESARROLLAR

- Identificar los parámetros eléctricos de la placa del transformador y determinar valores nominales para las pruebas a realizar.
- Realizar la medición de resistencias de los bobinados, el ensayo de vacío y el ensayo de cortocircuito del transformador.
- Realizar el cálculo del circuito equivalente.
- Realizar el ensayo de regulación con diversos tipos de carga.
- Analizar resultados y compararlos con los cálculos del circuito equivalente.
- Resolver las preguntas propuestas en función de los datos obtenidos en el laboratorio.

4. MATERIALES PARA LA REALIZACIÓN DEL LABORATORIO

4.1. LISTA DE EQUIPOS E INSTRUMENTOS EN EL SOFTWARE

<i>Equipos e Instrumentos</i>	<i>Características</i>
<i>Fuente de alimentación</i>	<i>Tensión constante 220/380 VAC, 20 A. Tensión variable 0-220/380 VAC. 20 A.</i>
<i>Vatímetros Yokogawa WT230</i>	<i>Entrada de Corriente máxima: 26A Precisión básica: 0.1 % Actualización de datos de alta velocidad 10 lecturas por segundo</i>
<i>Multímetro Fluke 189</i>	<i>Entrada de Corriente máxima: 10A Precisión básica: 0.1 %</i>
<i>Transformado monofásico</i>	<i>1 kVA / AT – 220 V / BT – 4 x 55 V</i>
<i>Carga Resistiva</i>	<i>32 ohm , 6 A.</i>
<i>Carga Inductiva</i>	<i>Y 3 x 380 V, 0.7 - 4.5 A</i>
<i>Carga Capacitiva</i>	<i>Y 3 x 380 V, 0.7 - 4.5 A</i>

Tabla 1 - Equipos a utilizar en el Laboratorio del Transformador

5. PROCEDIMIENTO

5.1. CONFIGURACIÓN DEL TRANSFORMADOR

Para esta prueba el transformador es de las siguientes características de 1KVA / 220V / 110V, y se conectará para una relación de transformación de 220V / 110V.

- Identificar datos de placa del transformador.
- Realizar la conexión para una configuración de 220V / 110 V con potencia nominal.

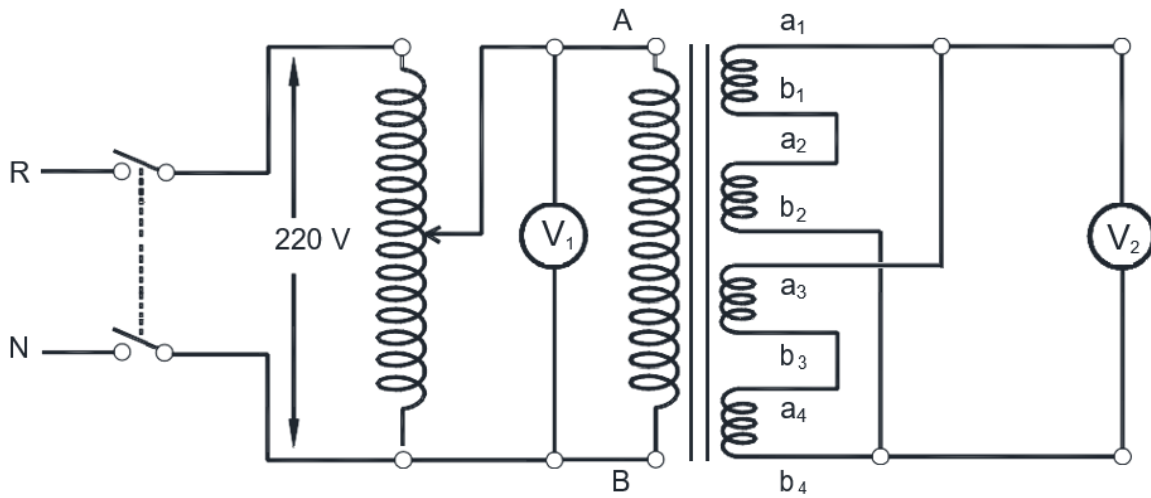


Fig. 7. Diagrama eléctrico para el ensayo de relación de transformación

N°	Voltaje sugerido V_1 (V)	Volteje inducido V_2 (V)	Relación de transformación ($a = V_P / V_S$)
1	80		
2	160		
3	220		
4	240		

Tabla 2 – Valores obtenidos en el ensayo de relación de transformación

5.2. MEDICIÓN DE LA RESISTENCIA DE LOS BOBINADOS

Para medir la resistencia interna del bobinado (devanado) primario en los terminales (A, B) y del bobinado secundario en los terminales (a, b).

Para la evaluación de los resultados, se referirá las resistencias de medidas a la temperatura de trabajo en 75°C:

Bobina	Terminales	Resistencia
Alta Tensión		
Baja Tensión		

Tabla 3 - Medición de Resistencias

5.3. ENSAYO DE VACIO

Para cuantificar las pérdidas en el hierro ($P_{Fe} = P_0$) se realiza el ensayo de vacío, que consiste en medir cuánta potencia de pérdidas en el hierro consume un transformador.

El circuito a utilizar es el indicado en la figura 7 para el ensayo en vacío.

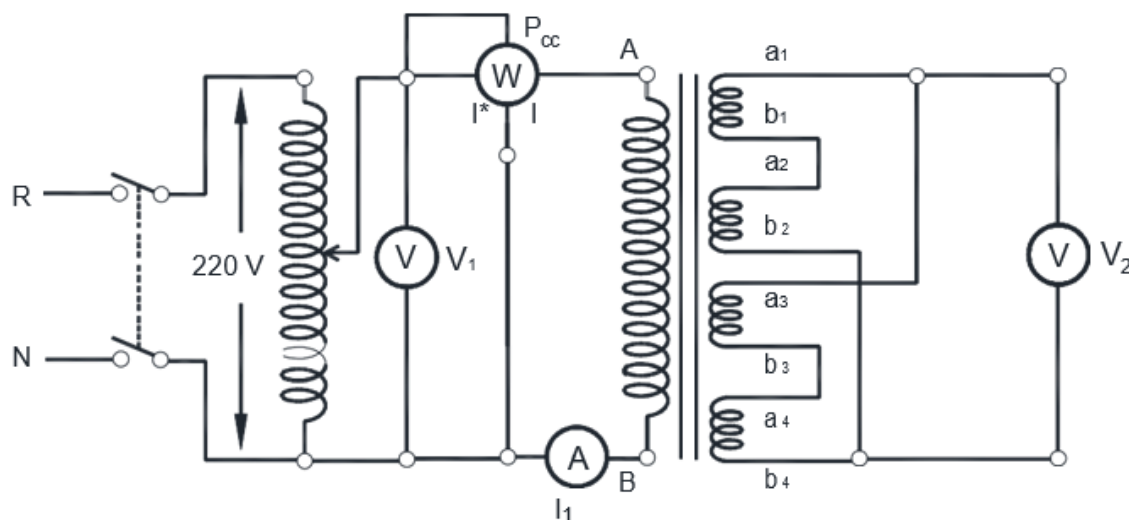


Fig. 8. Diagrama de conexiones del transformador para la prueba de vacío

El ensayo se realiza con el secundario abierto (sin carga).

Se considera el valor de $I_1 \cong 3$ a 5 % de la corriente nominal.

Se deben medir las siguientes magnitudes:

V_1 (V_0) : Voltaje de alimentación (V)

I_1 (I_0) : Corriente de vacío (A).

P_0 : Potencia activa (W).

Utilizando la fuente de voltaje variable del banco de pruebas se regula el voltaje para los valores que se indican en la tabla 4.

V_1 (V)	I_0 (A)	P_o (W)	S_o (VA)	$\cos \phi$
50				
100				
150				
200				
220				
240				

Tabla 4 – Valores obtenidos para el ensayo de vacío

5.4. ENSAYO DE CORTOCIRCUITO.

El ensayo de cortocircuito se lleva a cabo cortocircuitando los bornes de uno de los arrollamientos del transformador (figura 9) y alimentando al otro arrollamiento con un voltaje reducido de forma que circule una corriente del orden de 25 y 100% de la corriente nominal (según norma para transformadores de potencia).

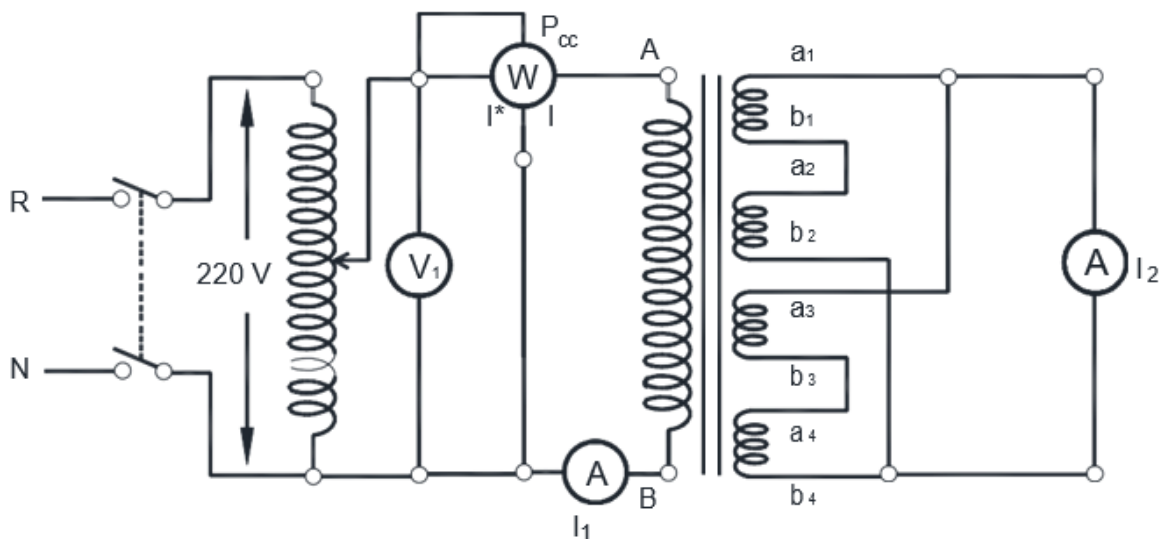


Fig. 9. Diagrama de conexiones del transformador para la prueba de cortocircuito

En estas condiciones, el voltaje de alimentación o voltaje de cortocircuito (V_{cc}) es del orden del 5 al 10% del voltaje nominal y, por lo tanto, el flujo en el núcleo, las pérdidas en el hierro y en general la corriente de magnetización son prácticamente despreciables, de modo las pérdidas medidas por el vatímetro son exclusivamente a las pérdidas por efecto joule en los arrollamientos.

Se deben medir las siguientes magnitudes:

V_{cc} (V_1) : Voltaje reducida o voltaje de cortocircuito (V)
 I_{cc1} (I_1) : Corriente del primario (A)
 I_{cc2} (I_2) : Corriente del secundario (A)
 P_{cc} : Potencia consumida por el cobre

Utilizando la fuente de voltaje variable del banco de pruebas se regula el voltaje para los conseguir las corrientes que se indican en la tabla 5.

V_{cc} (V)	I_{cc1} (A)	I_{cc2} (A)	P_{cc} (W)	S_{cc} (VA)	$\cos \phi$
	1				
	2				
	3				
	4				
	4,5				
	5				

Tabla 5 – Valores obtenidos para el ensayo de cortocircuito

5.5. ENSAYO CON CARGA.

El voltaje primario se mantiene constante entre los valores del intervalo, $V_1 = 220$ V (figura 10.a, 10.b, 10.c).

El lado secundario del transformador se debe aplicar una carga de 25% hasta la condición nominal usado como carga los módulos de carga, resistencia, inductancia, y el capacitor los cuales deben ser conectados por separado. Simultáneamente los valores de V_1 , V_2 , I_2 , P_{act} , deben ser leídos y anotados en las tablas 6, 7 y 8

5.6.1. Ensayo con carga Resistiva.

Para esta condición de carga se debe usar el módulo de carga monástico de 220V / 2.5 kW, más una resistencia de 32Ω .

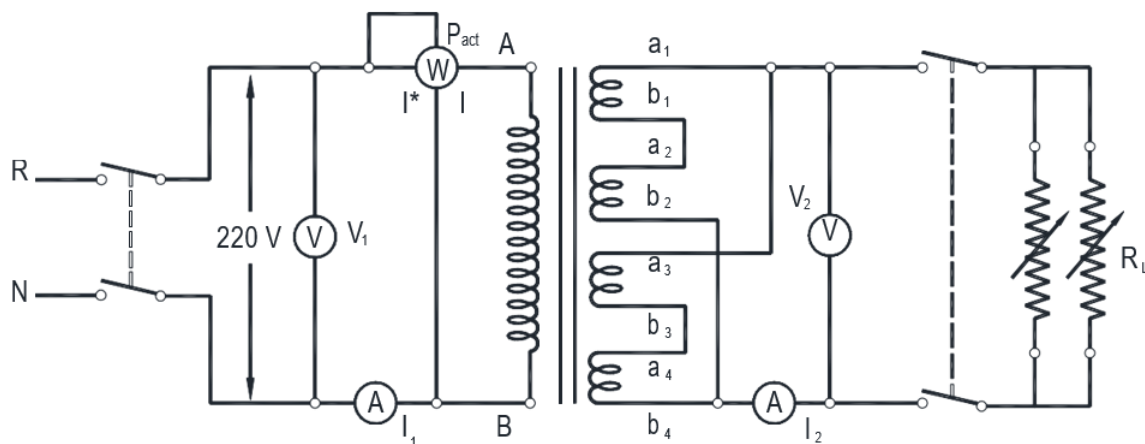


Fig. 10.a. Diagrama de conexiones del transformador con carga resistiva

V_1 (V)	I_1 (A)	V_2 (V)	I_2 (A)	P_{FE} (W)	$P_{cc1} + P_{cc2}$ (W)	P_{PT} (W)	$P_{act.}$ (W)	S (VA)	Cos Φ	P_2 (W)

Tabla 6 – Valores obtenidos en el ensayo con carga resistiva

5.6.2. Ensayo con carga Inductiva.

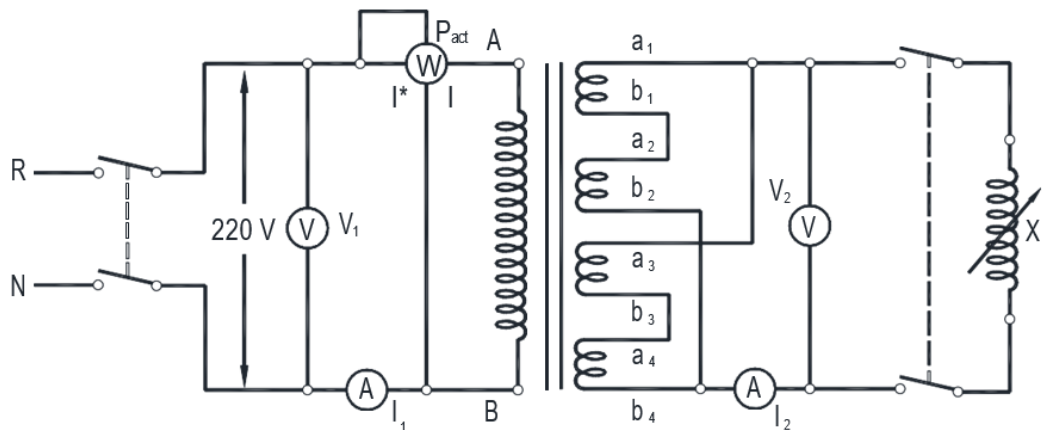


Fig. 10.b. Diagrama de conexiones del transformador con carga inductiva

V_1 (V)	I_1 (A)	V_2 (V)	I_2 (A)	P_{FE} (W)	$P_{cc1} + P_{cc2}$ (W)	P_{PT} (W)	$P_{act.}$ (W)	S (VA)	Cos Φ	P_2 (W)

Tabla 7 – Valores obtenidos en el ensayo con carga inductiva

5.6.3. Ensayo con carga Capacitiva.

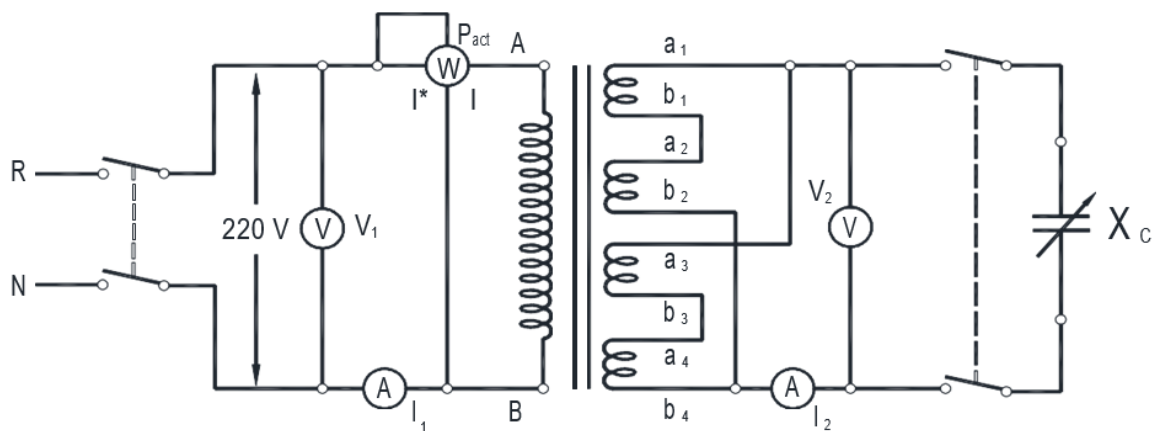


Fig. 10.c. Diagrama de conexiones del transformador con carga capacitiva

V_1 (V)	I_1 (A)	V_2 (V)	I_2 (A)	P_{FE} (W)	$P_{cc1} + P_{cc2}$ (W)	P_{PT} (W)	$P_{act.}$ (W)	S (VA)	Cos Φ	P_2 (W)

Tabla 8 – Valores obtenidos en el ensayo con carga capacitiva

5.6. ENSAYO DE REGULACIÓN.

En los transformadores, el voltaje en el secundario varía con la carga, aun cuando el voltaje de alimentación del lado primario permanezca constante. Esto es debido a que las resistencias de los bobinados y reactancia de dispersión del transformador provocan una caída de voltaje en función a la corriente que circula en los bobinados. Esta variación de voltaje en el lado secundario del transformador es muy importante, ya que cuanto menor sea esta variación con carga, tanto mejor será la regulación del transformador. La regulación de voltaje de un transformador es la medida de variación del voltaje del lado secundario respecto a la de vacío que se aplica sobre la carga cuando esta última varía, y se calcula:

$$r = \frac{V_2(Vacío) - V_2(Nominal)}{V_2(Nominal)} \cdot 100\%$$

Los valores usuales de regulación oscilan entre 2,5% y 4,5%.

El circuito a utilizar para el ensayo de regulación es el indicado en la figura 11.

- El transformador se alimenta con una fuente de voltaje variable.
- El secundario se conecta a una carga variable y factor de potencia constate.
- Se varía el voltaje de entrada y la carga hasta que en la salida se obtienen los valores nominales de V_2 , I_2 .
- Se desconecta la carga y se verifica la tensión de salida V_2 .
- Mida y anote los valores obtenidos en la tabla 9.

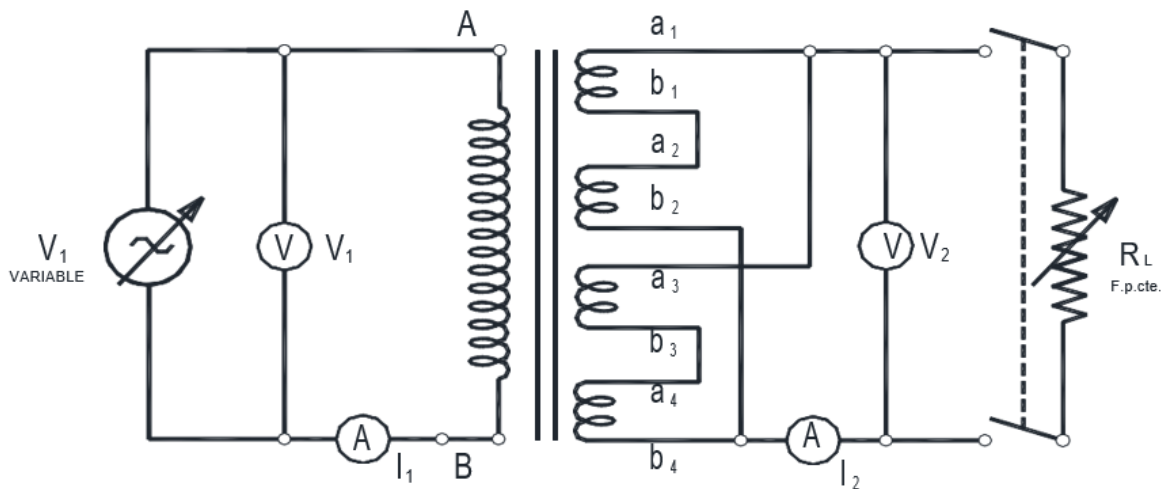


Fig. 11 Diagrama de conexiones para el ensayo de regulación

V_1 (V)	I_1 (A)	V_1 (vacío)	V_1 (nominal)	I_2 (A)	r

Tabla 9 – Valores obtenidos en el ensayo de regulación

5.7. EFICIENCIA O RENDIMIENTO.

Es la relación entre la potencia activa que entrega el transformador y la potencia activa que se le suministra al transformador.

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} * 100\% = \frac{P_{Salida}}{P_{Salida} + P_{Pérdidas}} * 100\% = \frac{P_2}{P_2 + P_{Fe} + P_{Cu}} * 100\%$$

6. COMPLEMENTO DE LAS ACTIVIDADES DE MEDICIÓN:

- Con los datos del ensayo de vacío graficar la curva V_0 vs P_1 .
- Con los datos del ensayo de cortocircuito graficar la curva I_{cc} vs P_1 .
- Crear un programa u hoja de cálculo para a partir de los datos de resistencias, el ensayo de vacío y el ensayo de cortocircuito se pueda calcular el circuito equivalente. Explicar cálculos.

-
- Crear un programa u hoja de cálculo para que con los datos del circuito equivalente se pueda estimar la corriente de armadura, potencia activa y potencia reactiva para una determinada carga.
 - Analizar que sucede con las diversas cargas.
 - Redactar observaciones y conclusiones y presentarlas en un video.