



## Práctico de Laboratorio N° 7

### Características de un Transformador†

#### Objetivos:

1. Determinar la relación de espiras de un transformador dado.
2. Relacionar el efecto de un aumento de la corriente en el arrollamiento secundario (corriente de carga) sobre la corriente del primario (corriente de fuente).
3. Hacer la prueba de resistencia de un transformador.

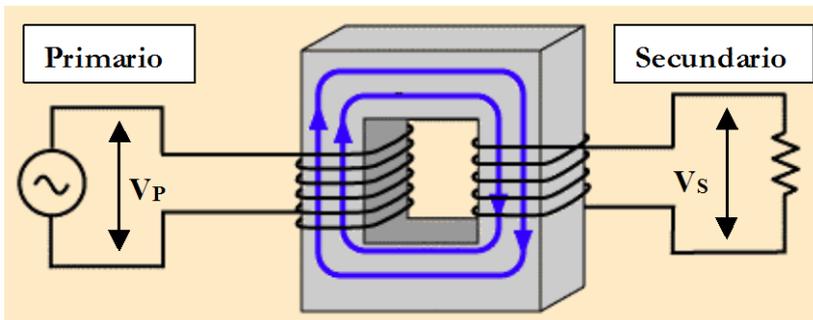
#### I) Introducción teórica.

Por razones de rendimiento es conveniente transportar la energía eléctrica a potenciales elevados e intensidades de corriente pequeñas, con la consiguiente reducción de la cantidad de calor  $I^2R$  perdida por segundo en la línea de transporte.

Por otra parte, las condiciones de seguridad y de aislamiento de las partes móviles requieren voltajes relativamente bajos en los equipos generadores, en los motores y en las instalaciones domésticas. Una de las propiedades más útiles de los circuitos de corriente alterna es la facilidad y rendimiento elevado con que pueden variarse, por medio de **transformadores** los valores de los voltajes (e intensidades de las corrientes).

El transformador es un dispositivo que sirve para acoplar la energía de corriente alterna de una fuente a una carga. Consta en general de dos arrollamientos (también llamados bobinas o devanados) sobre un núcleo (generalmente de hierro) aislados eléctricamente entre sí y magnéticamente acoplados como se muestra en la *Fig. 1*.

El núcleo alrededor del cual están arrollados el primario y el secundario puede ser de hierro, como en el caso de los transformadores de potencia de baja frecuencia y de audio. Para acoplar circuitos de alta frecuencia se puede emplear núcleo de aire. El material y la geometría del núcleo determinan las características de acoplamiento.



**Figura 1:** Transformador con núcleo de Hierro.

La fuente que cede potencia se conecta al arrollamiento primario y la carga que consume potencia, al arrollamiento secundario. La tensión alterna aplicada al primario produce en éste una corriente alterna. Esta corriente crea un campo magnético variable que corta las espiras del arrollamiento secundario induciendo en éste un tensión alterna. Cuando se conecta una carga entre los terminales del secundario, circulará corriente alterna a través de dicha carga.

Una corriente alterna en un arrollamiento de transformador con núcleo de hierro imanta primero el núcleo en una dirección y luego en la otra. Su campo magnético variable corta al arrollamiento de la otra bobina, induciendo en ella una tensión.

**Transformador Ideal:** Un transformador ideal con núcleo de hierro es aquel que no tiene pérdidas de potencia, por lo que, toda la potencia del primario será cedida al secundario, esto se puede expresar a través de la siguiente relación:

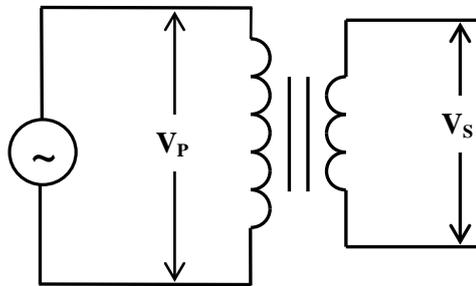
$$V_p I_p = V_s I_s \quad (1)$$

† Ver apuntes de Teoría.

En esta ecuación,  $V_P$  e  $I_P$  representan la tensión y la corriente en el primario respectivamente, y  $V_S$  e  $I_S$  la tensión y la corriente en el secundario. En un transformador sin pérdidas, la relación entre la tensión del primario y la tensión del secundario es la misma que la relación entre el número de espiras del primario  $N_P$  y el número de espiras en el secundario  $N_S$ :

$$\frac{V_P}{V_S} = \frac{N_P}{N_S} = a \quad (2)$$

- Si  $a = 1$ , hay el mismo número de espiras en el primario que en el secundario y las tensiones que aparecen entre los extremos del primario y del secundario son iguales. Este tipo de transformador se llama de aislamiento o separación.
- Si  $a > 1$ , aparece una tensión menor entre los extremos del secundario que entre los del primario. Este es el transformador reductor de tensión, como se muestra en la Fig.2.
- Si  $a < 1$ , aparece entre los extremos del secundario una tensión mayor que entre los del primario. Este es el transformador elevador de tensión.



**Figura 2:** Transformador reductor sin carga.

$$V_P > V_S \quad y \quad I_P < I_S$$

La ecuación (1), se puede escribir de esta forma:

$$\frac{V_P}{V_S} = \frac{I_S}{I_P} = a \quad (3)$$

La última ecuación establece que la corriente y la tensión en los arrollamientos de un transformador ideal están relacionados recíprocamente. Por consiguiente, un transformador elevador de tensión es también un transformador reductor de corriente, y un transformador reductor de tensión es un transformador elevador de corriente.

**Pérdidas de potencia en un transformador:** El transformador ideal no existe a causa de que hay pérdidas de potencia en forma de calor que no permiten la transferencia del 100% de potencia desde la fuente a la carga. Estas pérdidas consisten en el calentamiento  $I^2R$  de los devanados primarios y secundarios (pérdidas del cobre) y en la **histéresis** y **corrientes de Foucault** en el núcleo (pérdidas del núcleo). Otra pérdida de menor importancia es la asociada con la *dispersión magnética*.

Los bobinados tienen una resistencia que disipa potencia a razón de  $I^2R$  en forma de calor. Hay pérdidas  $I^2R$  asociadas con la resistencia del arrollamiento primario (pérdida del primario) y también con la resistencia del secundario (pérdida del secundario). Cuando no hay carga en el arrollamiento secundario, no hay corriente en éste, y por consiguiente no hay pérdida de potencia en el secundario. Sin embargo, en el primario hay corriente y por lo tanto, hay pérdida  $I^2R$  en él.

Si el transformador tiene núcleo de hierro, se producen en éste *corrientes parásitas* (de Foucault). Estas corrientes se producen en el núcleo de hierro por el campo magnético variable. Las corrientes parásitas calientan el transformador y actúan como una pérdida  $I^2R$ . Consumen potencia de la fuente y representan otra pérdidas de potencia. Utilizando núcleos laminados se reducen.

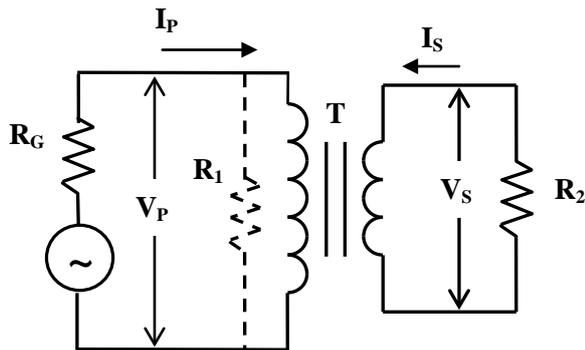
Otra pérdida asociada con el núcleo es la pérdida por histéresis (dependen del material del núcleo). Cuando la corriente invierte su polaridad, el campo magnético del núcleo también lo hace y esta inversión de campo

requiere de cierta cantidad de potencia. Si como material del núcleo se utiliza una aleación de hierro y silicio, las pérdidas por histéresis se reducen.

La dispersión magnética se explica diciendo que no todas las líneas de fuerza magnéticas cortan a las espiras del arrollamiento secundario. En consecuencia, estas líneas de fuerza no actúan en el secundario y se refleja como una pequeña pérdida de energía.

A pesar de las pérdidas enunciadas, el rendimiento de los transformadores sobrepasan el 90% y en las grandes instalaciones pueden alcanzar el 99%.

**Efecto de la corriente de carga sobre la corriente del primario:** En la Fig. 3 se muestra un transformador



**Figura 3:** La corriente primaria  $I_p$  aumenta cuando la corriente secundaria  $I_s$  aumenta, debido a la impedancia reflejada ( $R_1$ ) desde el secundario al primario

conectado a una fuente que le entrega energía a una carga.

La corriente del primario  $I_p$  depende de la corriente de carga  $I_s$  en el secundario, según:

$$\frac{I_s}{I_p} = a \quad \text{ó} \quad I_p = \frac{I_s}{a} \tag{4}$$

Por lo tanto, cuando la corriente de carga  $I_s$  aumenta (debido a una disminución de la resistencia de carga  $R_2$ ) la corriente del primario  $I_p$  también debe aumentar. Si aumenta la corriente en el primario es equivalente a decir que disminuyó la resistencia en el circuito del primario, y ya sabemos que esto se logra con una resistencia en paralelo. En consecuencia, el aumento de la corriente del primario se explica admitiendo que la variación de la impedancia de carga (que es evidenciada por el aumento de la corriente de carga) aparece también como impedancia reflejada en paralelo con el primario. Como la potencia en el primario y en el secundario se han supuesto iguales, y como la potencia sólo se puede disipar en una resistencia, la impedancia reflejada debe ser la resistencia  $R_T$  (Fig. 3)

Además de la corriente de primaria  $I_p$  resultante de la impedancia de carga reflejada, el primario suministra la corriente consumida en las pérdidas producidas en el núcleo de hierro y en la corriente magnetizante. El vector suma de estas dos corrientes (la corriente magnetizante está desfasada con respecto a la tensión) se llama *corriente de excitación*. La corriente de excitación es aproximadamente de 3 a 5% de la salida nominal del transformador. Esto explica que normalmente la corriente del primario sea algo mayor que la prevista por la ecuación 4.

**Prueba de resistencia de los arrollamientos de un transformador:** Las pruebas de resistencias (con el Óhmetro) de los arrollamientos individuales de pequeños transformadores sirven para determinar la continuidad de los arrollamientos. Una prueba con el óhmetro establece también la resistencia de cada arrollamiento. El técnico compara luego con el valor nominal la resistencia medida, para determinar si el transformador sospechoso está efectivamente defectuoso.

Las siguiente consideraciones pueden ser de utilidad para analizar los resultados de las mediciones de resistencia:

- **El arrollamiento mide resistencia infinita:** Este arrollamiento esta "abierto". La interrupción puede estar al principio o al final del arrollamiento donde están conectados los conductores terminales. Este tipo de interrupción se puede reparar fácilmente volviendo a soldar los conductores terminales al arrollamiento. Si la discontinuidad no está en estos puntos, el transformador debe ser reemplazado.



- **Resistencia del arrollamiento muy alta:** Un arrollamiento que de una lectura muy alta comparada con su valor nominal puede estar abierto, o puede haber una soldadura fría en las conexiones de los terminales.
- **Resistencia de arrollamiento muy baja comparada con el valor nominal:** Las espiras del arrollamiento pueden estar cortocircuitadas o el arrollamiento puede estar cortocircuitado con la carcasa. Sin embargo, una pequeña diferencia de resistencia entre los valores nominales y medido puede no tener importancia. La diferencia se puede atribuir a la inexactitud del óhmetro.
- **Resistencia entre arrollamientos:** Los arrollamientos de los transformadores (que no sean autotransformadores) están aislados entre sí. Debe haber resistencia infinita entre los arrollamientos aislados, siempre que el transformador no este conectado en un circuito. Si el aislamiento entre los arrollamientos está roto o deteriorado, habrá una resistencia medible entre los arrollamientos, lo que significa que el transformador este defectuoso.
- **Factores que determinan la resistencia de un arrollamiento:** La resistencia de un arrollamiento depende del diámetro del hilo (relacionado con el área transversal) y del número de espiras (relacionado con su longitud). Sabemos que:

$$R = \rho \frac{L}{A\pi r} = \rho \frac{L}{\frac{\pi d^2}{4}} = \rho \frac{L}{\pi \left(\frac{d}{2}\right)^2 d} = \frac{4\rho L}{d^2}$$

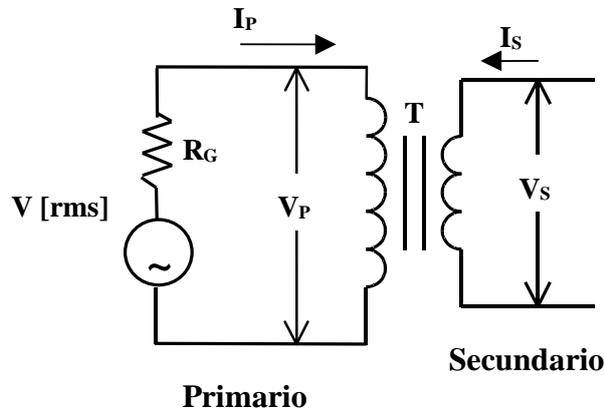
Es decir, la resistencia varía inversamente proporcional con el cuadrado del diámetro y directamente proporcional con el número de espiras. En arrollamientos por los que pueda pasar una corriente de mucha intensidad, el diámetro del hilo deber ser grande; en arrollamientos de poca corriente, el diámetro puede ser pequeño. El primario de un transformador reductor de tensión tiene más espiras que el secundario. Por otra parte, un transformador reductor de tensión es también, elevador de corriente. Por tanto, la corriente del secundario será mayor que la del primario y la resistencia del primario deber ser mayor que la del secundario. La relación depende del número de espiras y del diámetro del hilo.



### Experiencia

Materiales Necesarios:

1. Transformador de 220V, 50 Hz a 9V.
2. Generador de ondas
3. Osciloscopio.
4. Caja de Resistencias.
5. Cables de conexión.



Relación de espiras:

1. Armar el circuito anterior.
2. Mida las tensiones  $V_p$  (entre los extremos del primario) y  $V_s$  (entre los extremos del secundario) y anótelas en la tabla.

$V_p$	$V_s$	$a = V_p/V_s$

Medición de la resistencia de los arrollamientos:

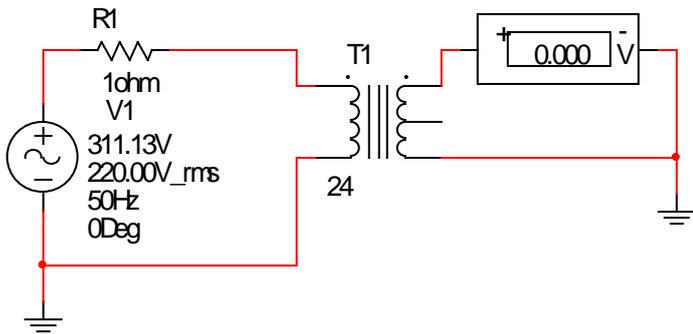
3. Desconectar de la red y luego desconectar del circuito el primario y el secundario del transformador. Medir la resistencia del primario y el secundario con el óhmetro. Medir la resistencia entre los arrollamientos y entre cada uno de ellos y la carcasa. Completar la tabla:

Resistencia en $\Omega$				
Primario	Secundario	Primario a Secundario	Primario a armazón	Secundario a armazón

**Nota: Debe tener TODOS los informes Aprobados para rendir el Parcial.**



**ANEXO MULTISIM**

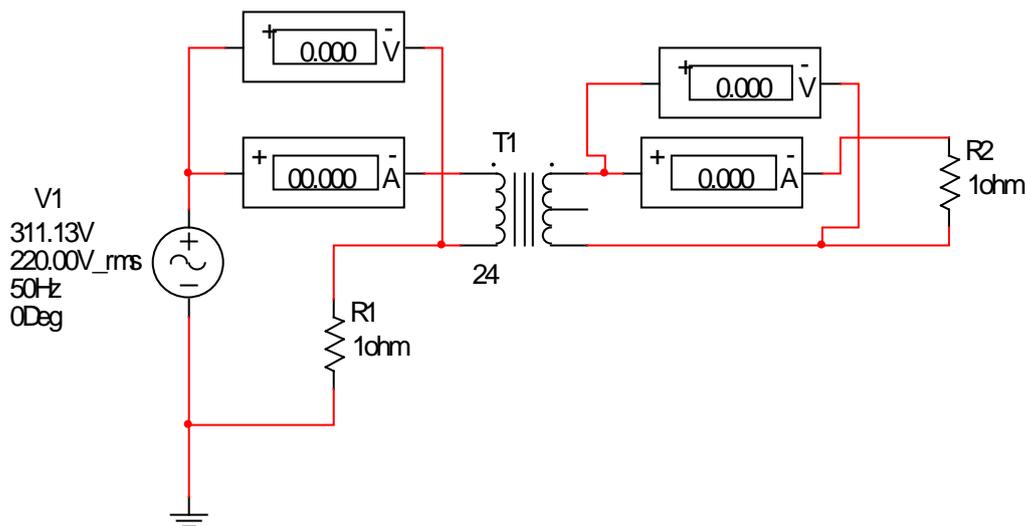


**Relación de espiras:**

1. Armar el circuito anterior.
2. Mida las tensiones  $V_P$  (entre los extremos del primario) y  $V_S$  (entre los extremos del secundario) y anótelas en la tabla.

$V_P$	$V_S$	$a = V_P/V_S$	$V_S(\text{punto medio})$

**Efecto de la carga sobre la corriente primaria:**



3. Armar el siguiente circuito:
4. Complete la Tabla de valores que sigue, para los valores de resistencia de carga que se le indicará.  $I_S$  es la corriente calculada en el secundario,  $I_{P_i}$  es el valor de la corriente calculada que habría en el primario de un transformador ideal. Restar  $I_{P_i}$  de  $I_P$  (corriente medida en el primario) y anotar el resultado en la columna correspondiente a  $\Delta I$ . En  $P_S$ , calcular la potencia



disipada por la resistencia de carga  $R_2$  para cada valor. Use el osciloscopio para medir el ángulo  $\varphi_1, \varphi_2$  de defasaje entre V e I.

$R_2$ Ohm s	$I_P$ A	$V_P$ Volts	$V_S$ Volts	$I_S =$ $V_S/R_2$ A	$I_{P1}=I_S/a$ A	$\Delta I = I_P - I_{P1}$ A	$\varphi_P$	$\varphi_S$	$P_p$ Watts	$P_S$ Watts
1										
2										
3										
10										
20										
100										
200										
1000										
2000										

**Preguntas:**

- i. ¿Es elevador de tensión o elevador de corriente su transformador?
- ii. ¿Cómo es afectada la corriente primaria por la corriente secundaria? ¿Por qué?
- iii. ¿Es  $\Delta I$  relativamente constante? ¿Qué representa  $\Delta I$  ?
- iv. ¿Qué pérdidas tiene el transformador empleado?