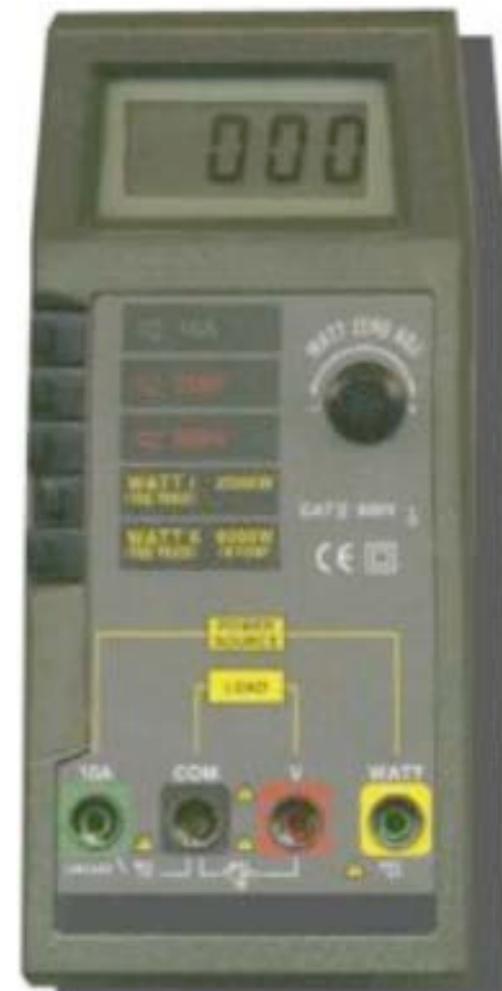


# EC1081 LABORATORIO DE CIRCUITOS ELÉCTRICOS

## PRÁCTICA N° 9 : EL VATÍMETRO CARACTERISTICAS DEL TRANSFORMADOR MONOFASICO

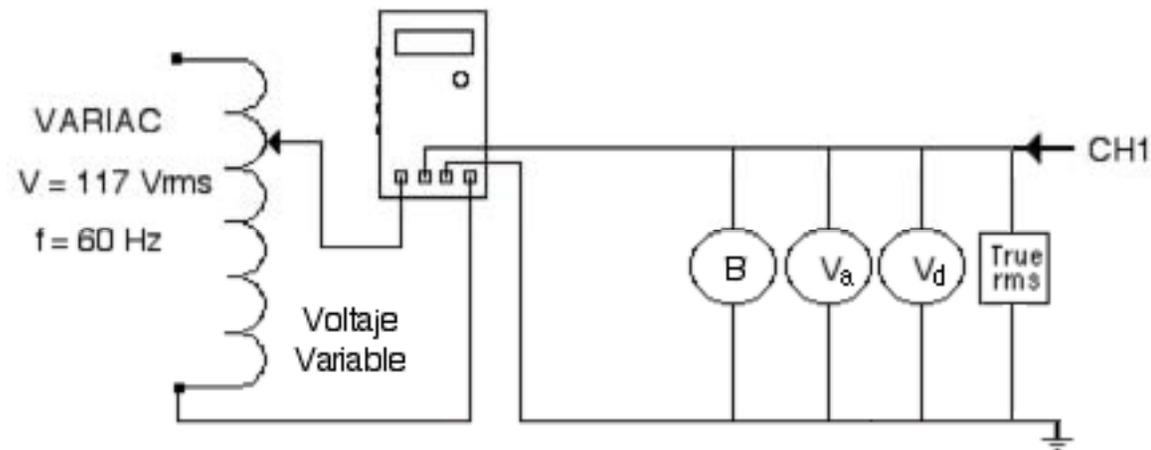
VATIMETRO DIGITAL

SUNEQUIPLO DWM-03060

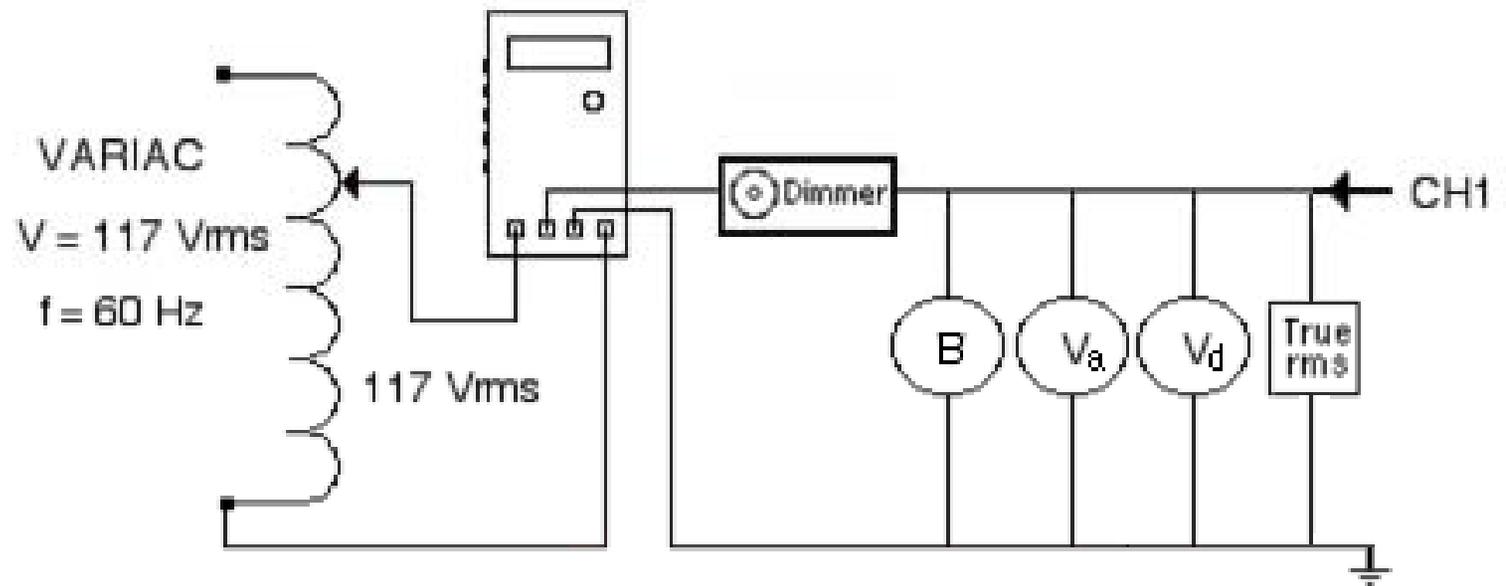


## EXPERIMENTO DEMOSTRATIVO DE LA PRÁCTICA 8

En el laboratorio se van a montar los circuitos mostrados u otros equivalentes para demostrar la diferencia entre las mediciones obtenidas con instrumentos que leen el verdadero valor rms y las obtenidas con otros que no tienen esta capacidad de medición.

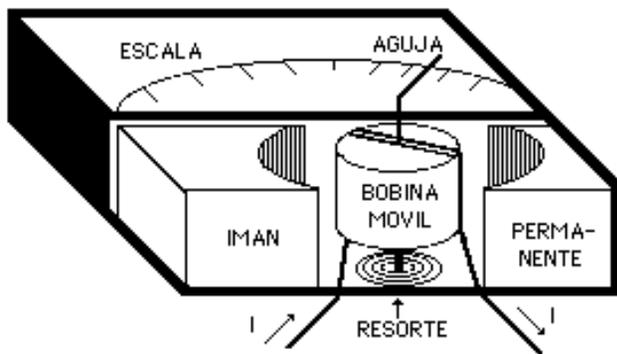


**Circuito solo con Variac**



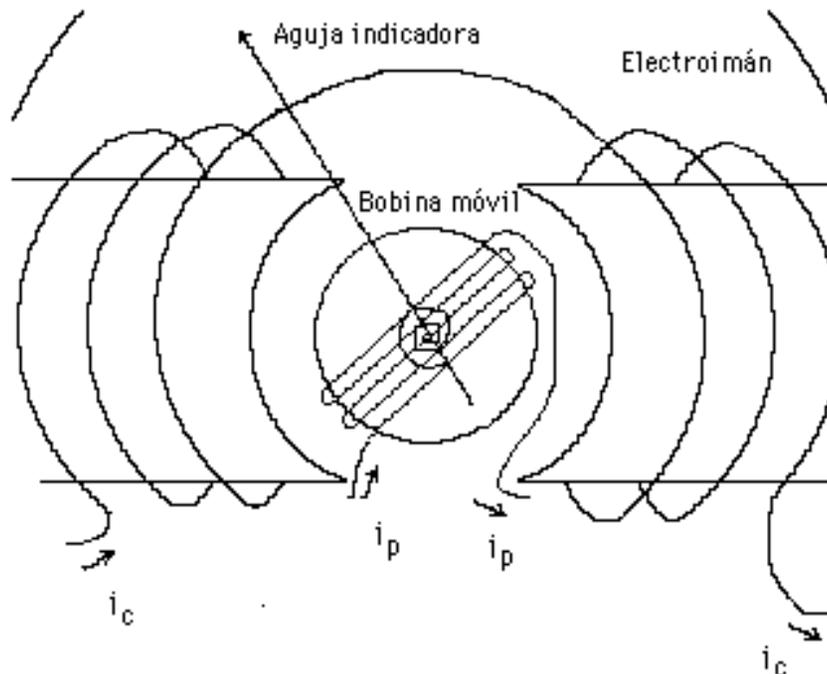
**Circuito con Variac y dimmer**

# VATIMETRO ANALÓGICO: INSTRUMENTO ELECTRODINAMOMÉTRICO

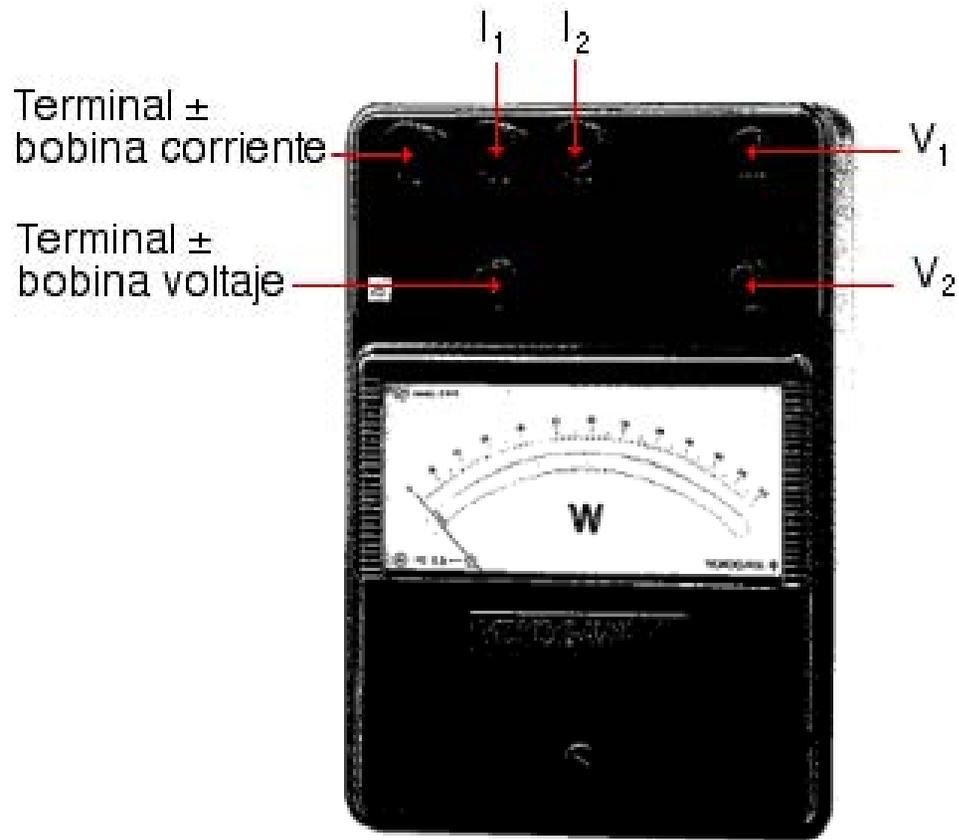


Galvanómetro de D'Arsonval

Instrumento  
electrodinamométrico

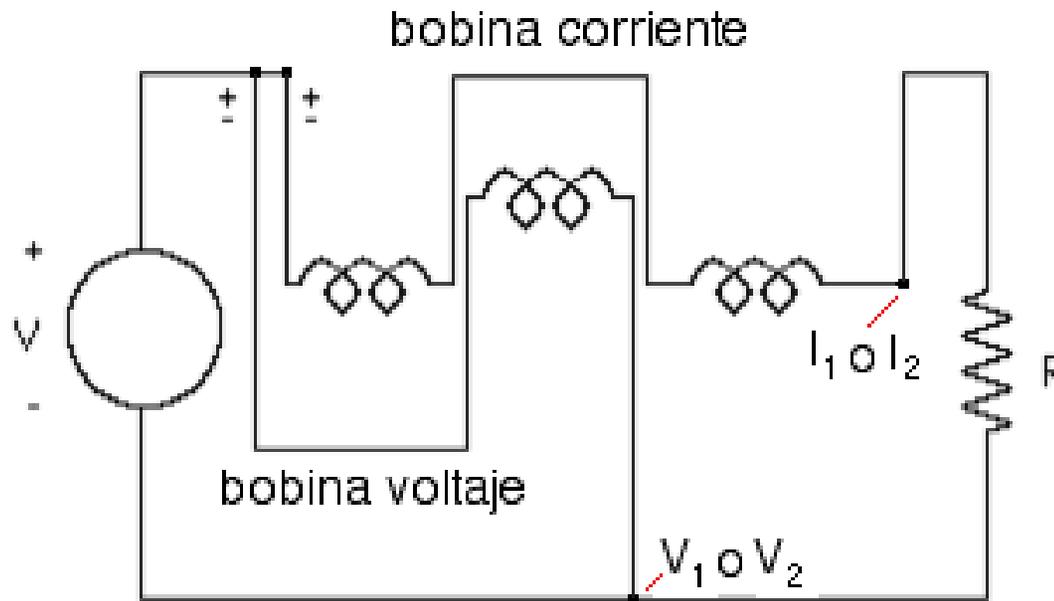


# IDENTIFICACIÓN TERMINALES DEL VATIMETRO MONOFÁSICO



	Multiplicador	
	$V_1 = 120 \text{ V}$	$V_2 = 240 \text{ V}$
$I_1 = 1 \text{ A}$	1	2
$I_2 = 5 \text{ A}$	5	10

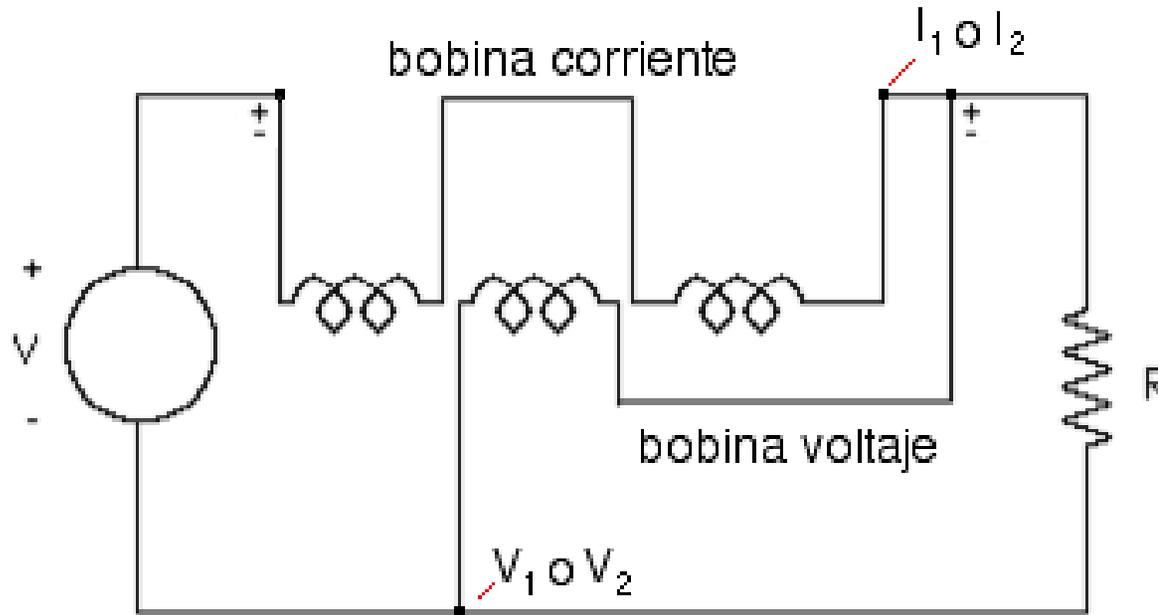
## FORMAS DE CONEXIÓN DE UN VATÍMETRO MONOFÁSICO PRIMERA FORMA



\* La potencia medida por el vatímetro es la suma de la potencia en la carga más la potencia disipada por la bobina de corriente.

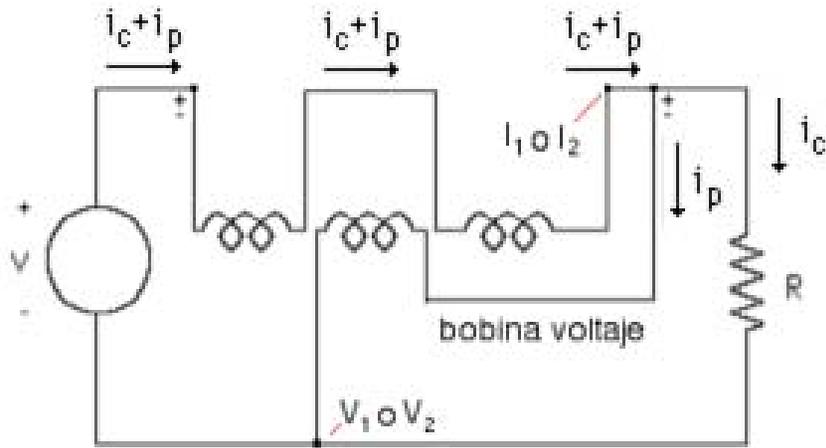
\* Conveniente cuando la resistencia de carga es mucho mayor que la resistencia de la bobina de corriente.

## FORMAS DE CONEXIÓN DE UN VATIMETRO MONOFÁSICO SEGUNDA FORMA



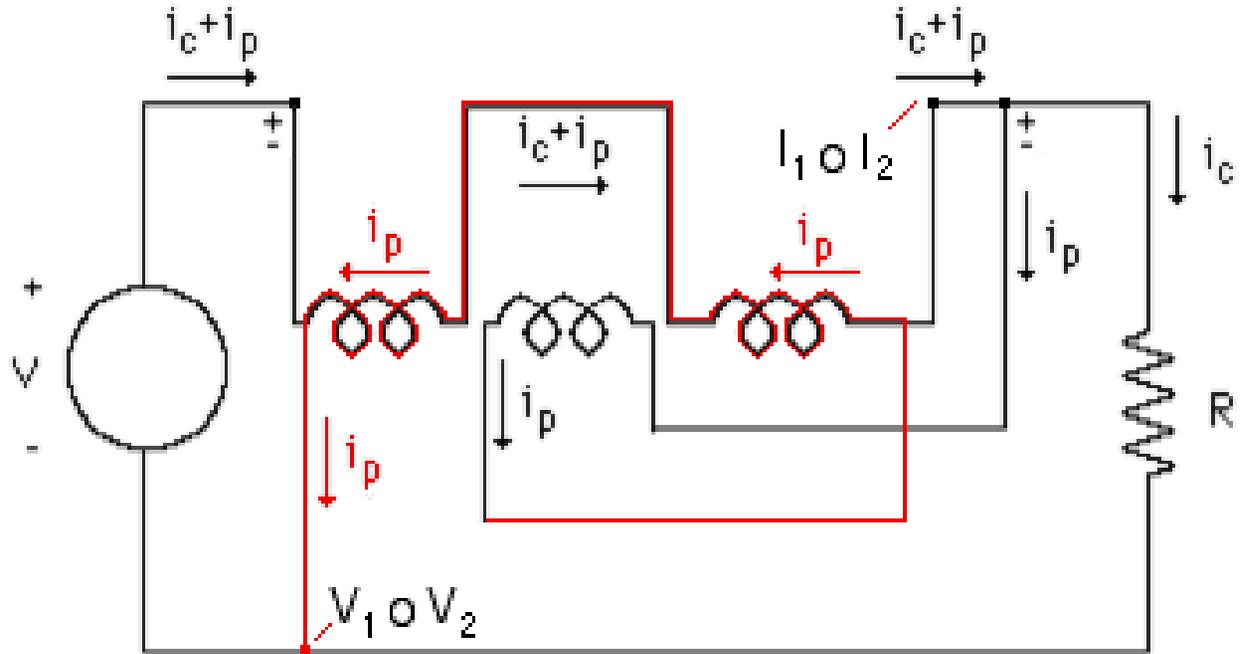
- \* La potencia medida por el vatímetro es la suma de la potencia en la carga más la potencia disipada por la bobina de voltaje.
- \* Conveniente cuando la resistencia de carga es mucho menor que la resistencia de la bobina de voltaje.

## COMPENSACIÓN DEL VATÍMETRO MONOFÁSICO

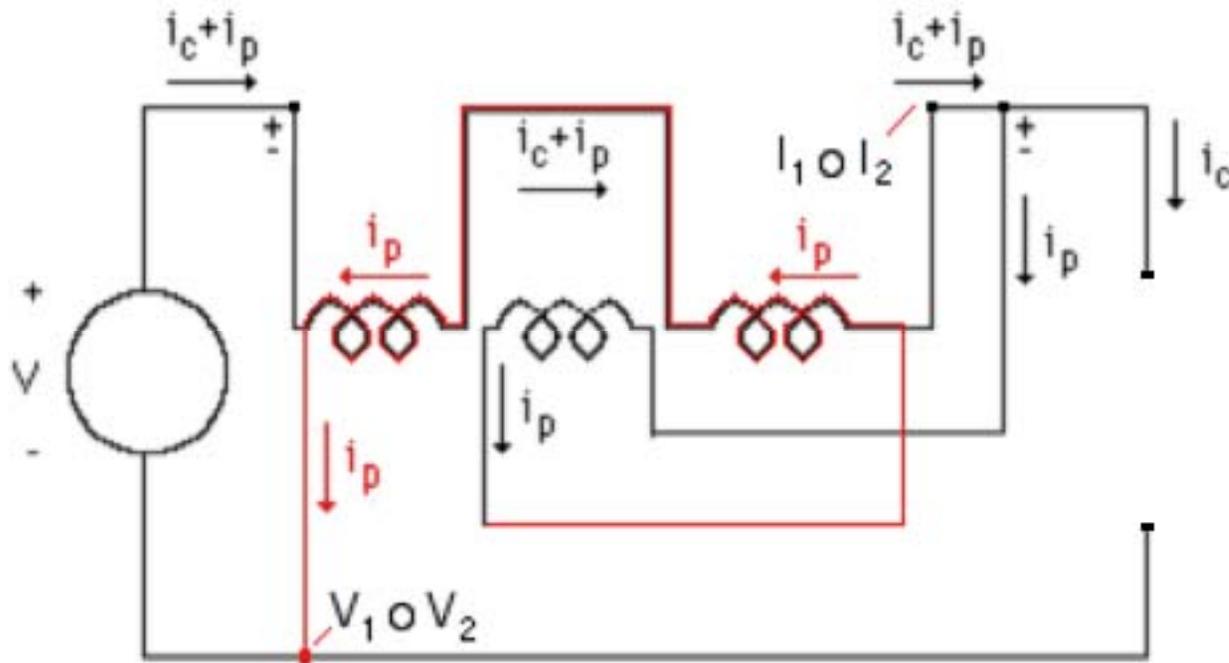


Vatímetro analógico  
sin compensación  
conectado en  
la segunda forma

Vatímetro  
compensado:  
El campo del  
electroimán es  
proporcional a  $i_p$ .  
El vatímetro indica  
la potencia en R.



## ¿COMO SABER SI UN VATIMETRO ESTÁ COMPENSADO?

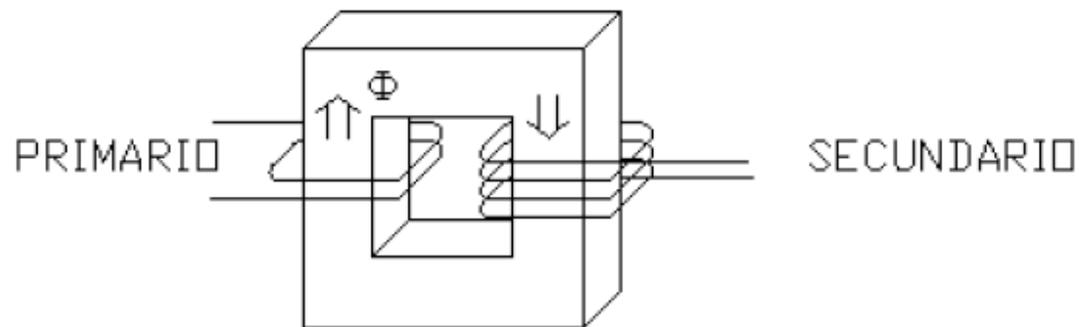


- \*Se conecta el vatímetro en la segunda forma de conexión.
- \* Se desconecta la carga  $R$ , por lo que  $i_c$  es cero.
- \* Si está compensado, la lectura del instrumento es cero.

# TRANSFORMADOR MONOFÁSICO

\* Es un dispositivo constituido por dos o más bobinas de material conductor, aisladas entre sí eléctricamente y enrolladas alrededor de un mismo núcleo de **material ferromagnético**.

\* Convierte la energía eléctrica alterna de un cierto nivel de tensión, en energía alterna de otro nivel de tensión y misma frecuencia, por medio de la **inducción electromagnética**.



## CONCEPTOS FUNDAMENTALES

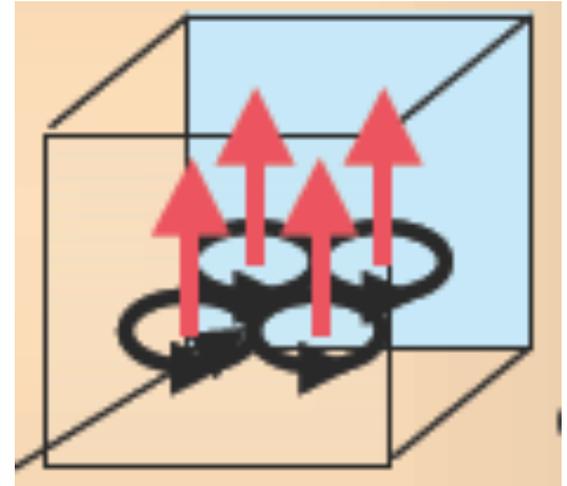
\* Un **campo magnético** es la región del espacio donde se manifiestan acciones sobre las agujas magnéticas.

\* Un **dipolo magnético** es un elemento puntual que produce un campo magnético.

\* La variable física que caracteriza a un dipolo magnético es su **momento magnético**.

\* La **inducción electromagnética** es el fenómeno que origina la producción de una fuerza electromotriz (voltaje) en un medio o cuerpo expuesto a un campo magnético variable. (Ley de Faraday, una de las cuatro Ecuaciones de Maxwell).

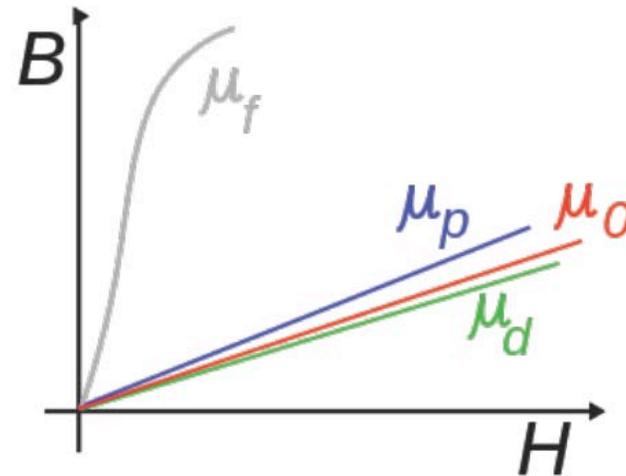
$$v(t) = N \frac{d\Phi(t)}{dt}$$



## CONCEPTOS FUNDAMENTALES

\* **La permeabilidad magnética  $\mu$**  es la capacidad de una sustancia o medio para atraer y hacer pasar a través de sí los campos magnéticos. Relaciona la densidad de flujo magnético **B** con la intensidad de campo **H**. Esta relación puede ser lineal o no lineal.

$$B = (\mu, H).$$



\*Según la característica de  $\mu$ , hay materiales ferromagnéticos, paramagnéticos y diamagnéticos.

\* En los materiales ferromagnéticos la magnetización depende de la historia magnética del material y pueden presentar magnetización en ausencia de corriente (imanes permanentes, usados para el núcleo de los transformadores). Se caracterizan por el ciclo de histéresis que se presenta en el plano  $B,H$ .

## CURVA DE MAGNETIZACIÓN (CICLO DE HISTÉRESIS)

\*En un material ferromagnético (núcleo del transformador) que no ha sido sometido a campos electromagnéticos, inicialmente los momentos magnéticos tienen direcciones aleatorias. Al aplicar corriente eléctrica, los momentos magnéticos se empiezan a orientar.

\*La relación entre la densidad de flujo magnético, que depende de la orientación de los momentos magnéticos, y la intensidad de campo, relacionada con la corriente que se aplique, está dada por la ecuación:

$$B = f(\mu, H)$$

donde

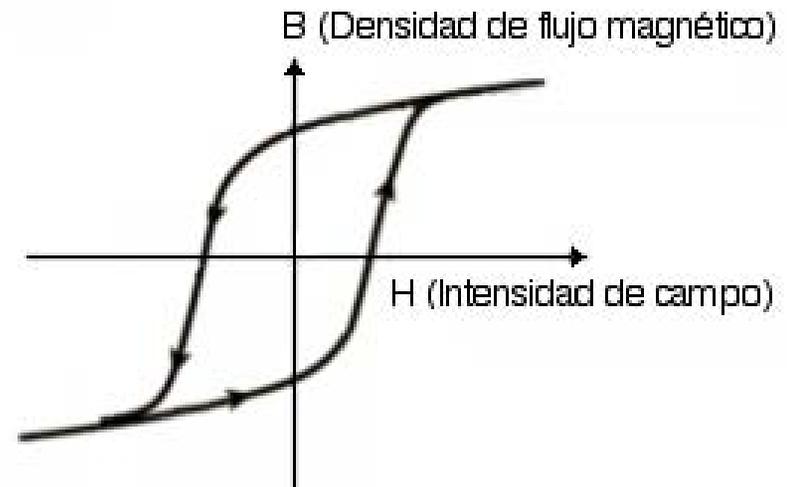
B: Densidad de flujo magnético

H: Intensidad de campo

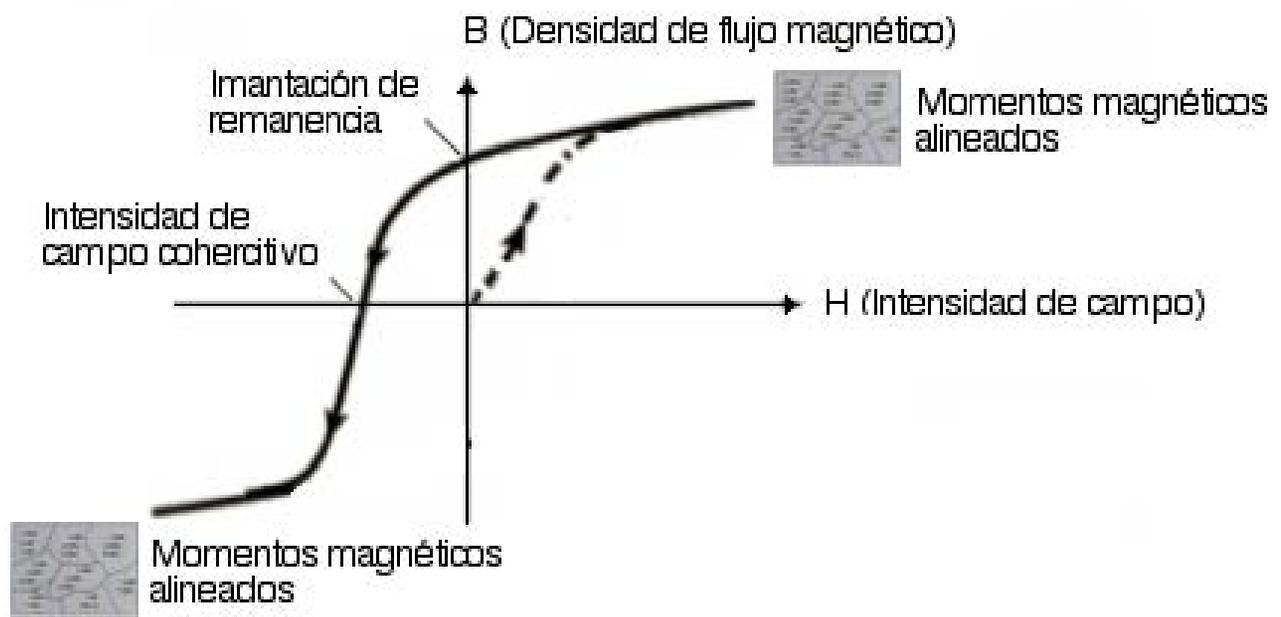
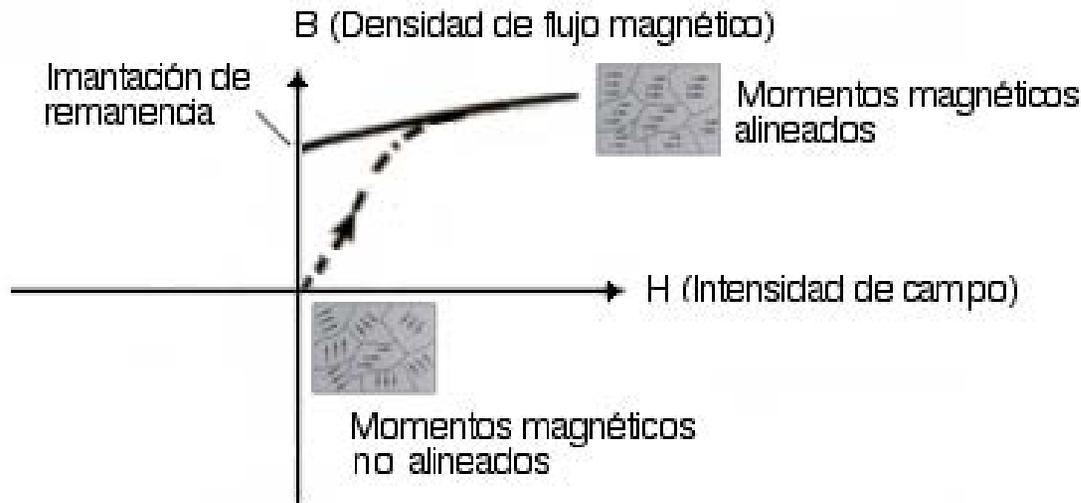
$\mu$ : Permeabilidad magnética

\*La curva que se obtiene al representar esta función en el plano (H,B) se llama

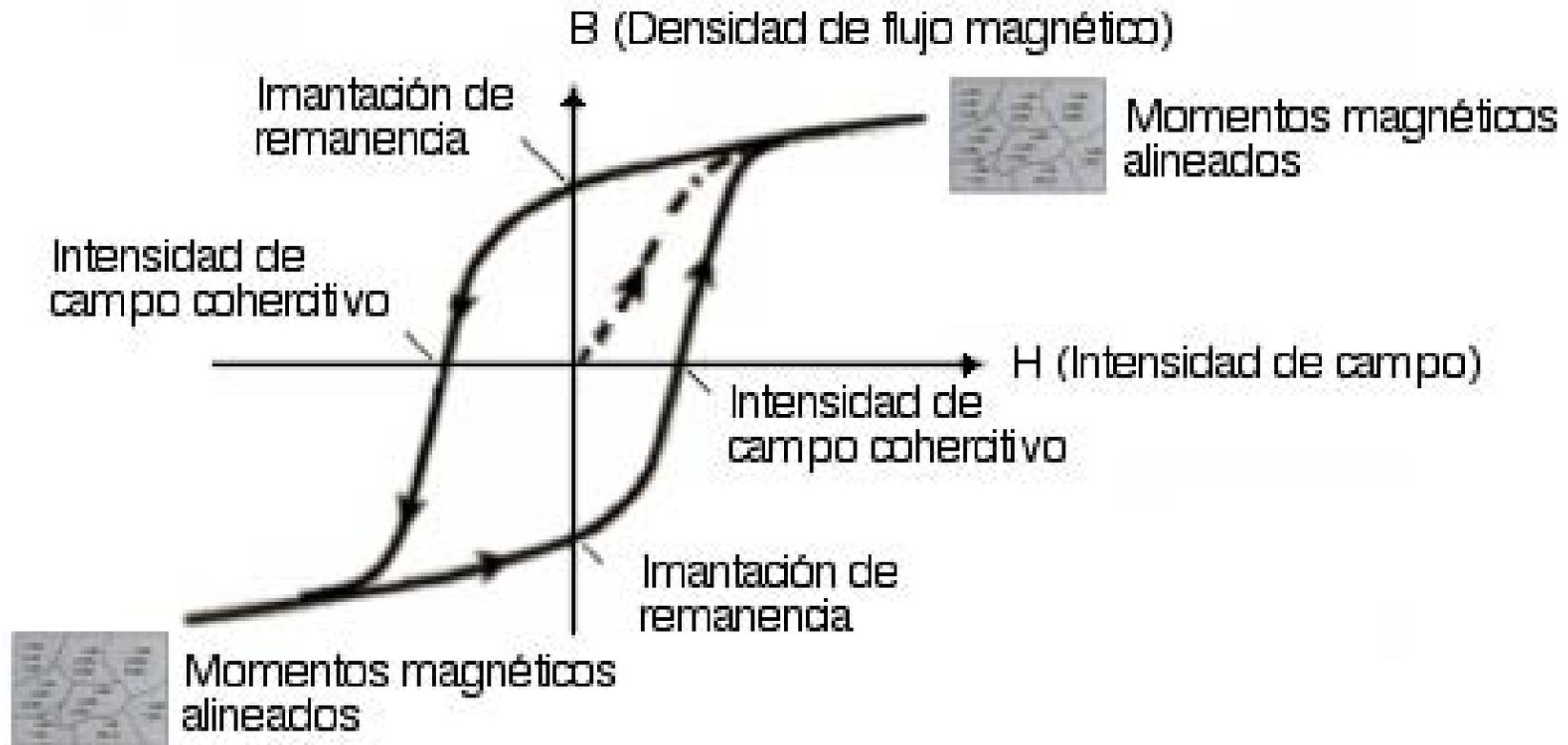
**curva de magnetización** o curva de histéresis del elemento ferromagnético.



# ANÁLISIS DETALLADO DE LA CURVA DE MAGNETIZACIÓN

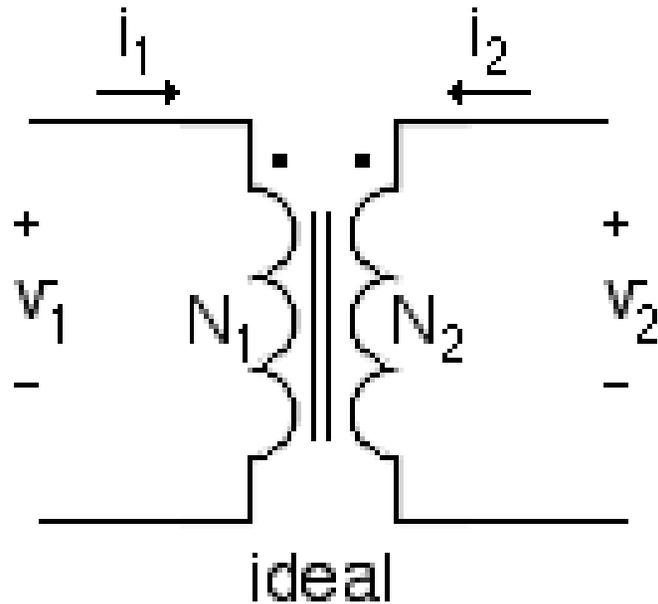


## CURVA DE MAGNETIZACIÓN DETALLADA



El área dentro de la curva es la energía disipada por el material ferromagnético en forma de calor durante el proceso cíclico.

## TRANSFORMADOR IDEAL



Bobinas perfectamente acopladas.  
El flujo es  $\Phi(t)$  en ambas.

$$v_1 = N_1 \frac{d\Phi(t)}{dt}$$

$$v_2 = N_2 \frac{d\Phi(t)}{dt}$$

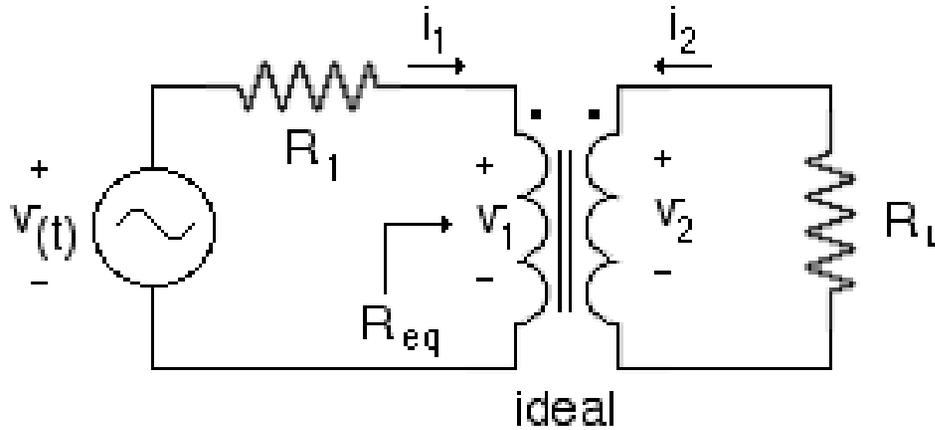
$$\frac{v_1}{v_2} = \frac{N_1}{N_2} = n$$

Si no hay pérdidas en el sistema:

$$v_1 i_1 + v_2 i_2 = 0$$

$$\frac{i_2}{i_1} = -\frac{v_1}{v_2} = -n$$

## ACOPLAMIENTO DE RESISTENCIAS CON TRANSFORMADOR IDEAL



$$\frac{i_2}{i_1} = -\frac{v_1}{v_2} = -n$$

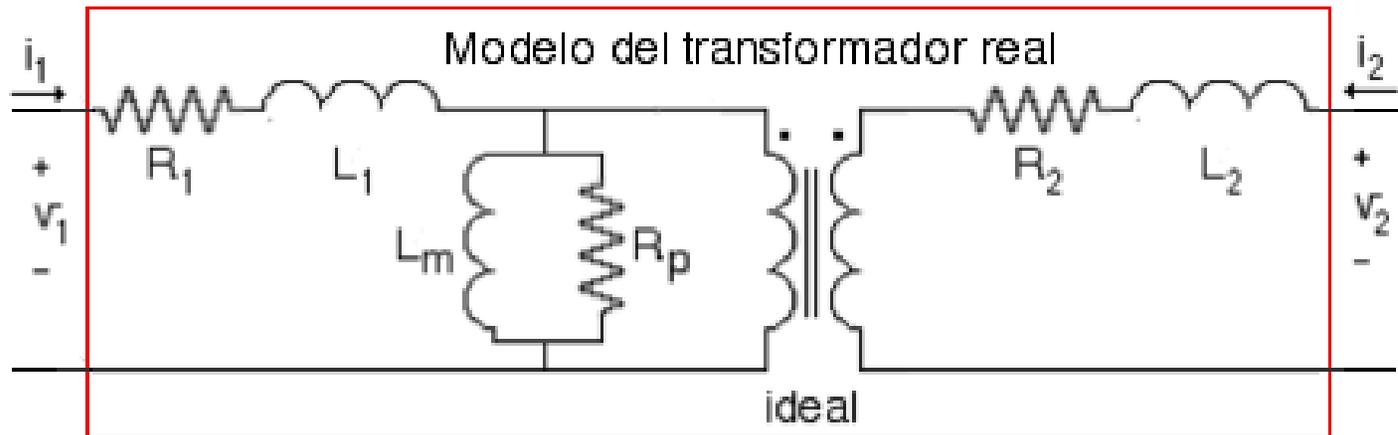
$$v_1 = nv_2$$

$$i_1 = -\frac{i_2}{n}$$

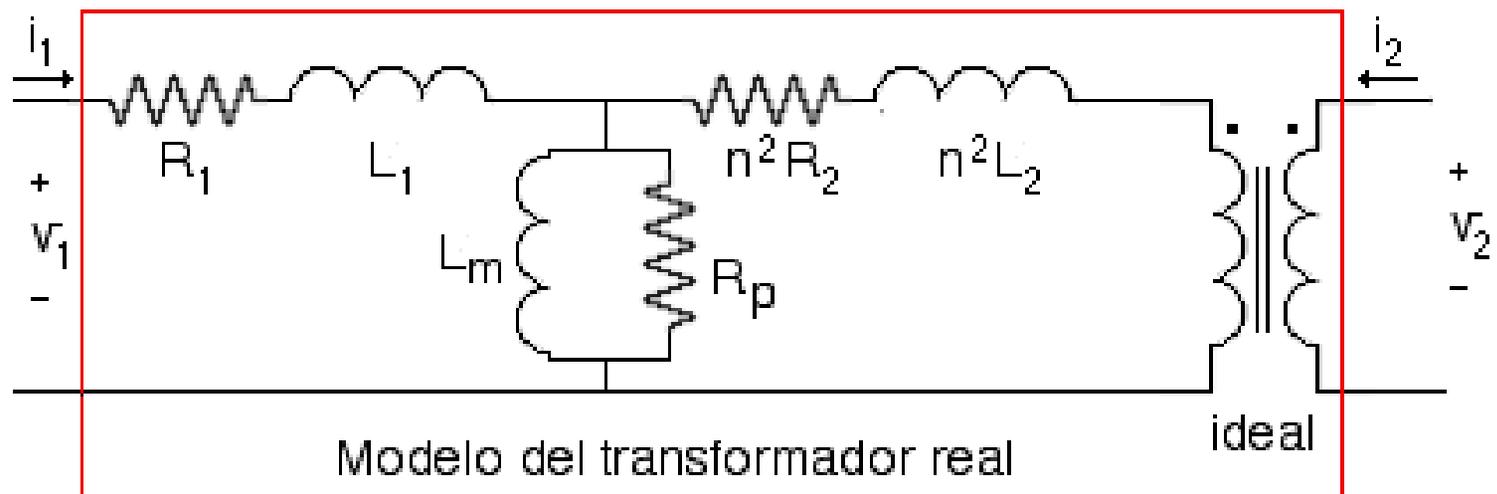
$$R_L = -\frac{v_2}{i_2}$$

$$R_{eq} = \frac{v_1}{i_1} = -\frac{nv_2}{-\frac{i_2}{n}} = n^2 \left( -\frac{v_2}{i_2} \right) = n^2 R_L$$

## MODELO DEL TRANSFORMADOR REAL



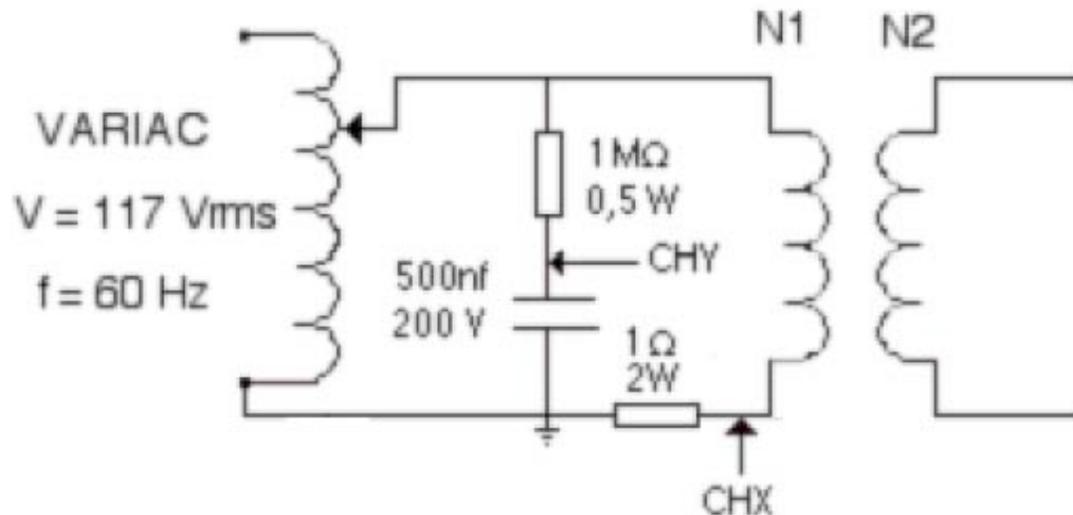
Reflejando la impedancia del secundario hacia el primario:



# PRUEBAS BÁSICAS SOBRE UN TRANSFORMADOR MONOFÁSICO

- \* Observación de la curva de histéresis
- \* Determinación de la relación de vueltas  $n = N_1/N_2$
- \* Determinación de la ubicación de las marcas de polaridad
- \* Relación de proporción entre la resistencia del primario  $R_1$  y la del secundario  $R_2$ , expresada como  $K = R_2/R_1$
- \* Prueba de corto-circuito
- \* Prueba de circuito abierto
- \* Prueba de carga

## CIRCUITO PARA OBSERVAR LA CURVA DE MAGNETIZACIÓN

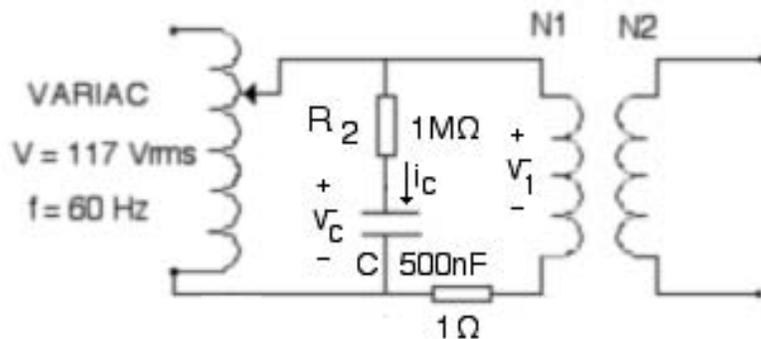


\*El osciloscopio debe estar conectado flotando y en el modo XY.

\*En el canal horizontal (CHX) se está aplicando el voltaje sobre la resistencia de  $1 \Omega$ , el cual es proporcional a la corriente que circula por el transformador, que es proporcional a la intensidad de campo eléctrico  $H$ , y tiene polaridad positiva.

\*En el canal vertical (CHY) se está aplicando el voltaje en el condensador de  $500 \text{ nF}$  y tiene polaridad positiva. ¿Cuál es la relación de este voltaje con la densidad de flujo magnético  $B$ ?

# RELACIÓN ENTRE EL VOLTAJE EN EL CONDENSADOR DEL CIRCUITO PARA OBSERVAR LA CURVA DE MAGNETIZACIÓN Y LA DENSIDAD DE FLUJO MAGNÉTICO B



$$v_1 = i_c R_2 + v_c$$

$$i_c = C \frac{dv_c}{dt}$$

$$v_1 = N_1 \frac{d\Phi}{dt} = N_1 A \frac{dB}{dt}$$

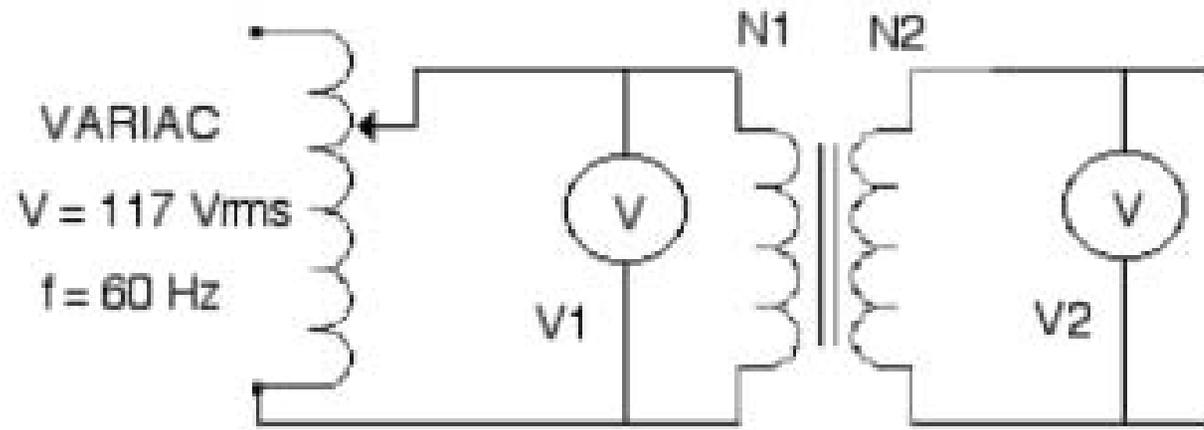
Impedancia del condensador:  $|Z_c| = \frac{1}{\omega C} = \frac{1}{2\pi 60 \text{ Hz} 500 \text{ nF}} = 5.305 \Omega$

La resistencia en serie con el condensador es de  $1 \text{ M}\Omega$ , por lo tanto  $|Z_c| \ll R_2$ , lo cual significa que la magnitud del voltaje sobre  $v_c$  es mucho menor que sobre  $R_2$

$$v_1 = i_c R_2 = CR_2 \frac{dv_c}{dt} = N_1 A \frac{dB}{dt} \Rightarrow CR_2 v_c = N_1 AB \Rightarrow B = \frac{CR_2}{N_1 A} v_c$$

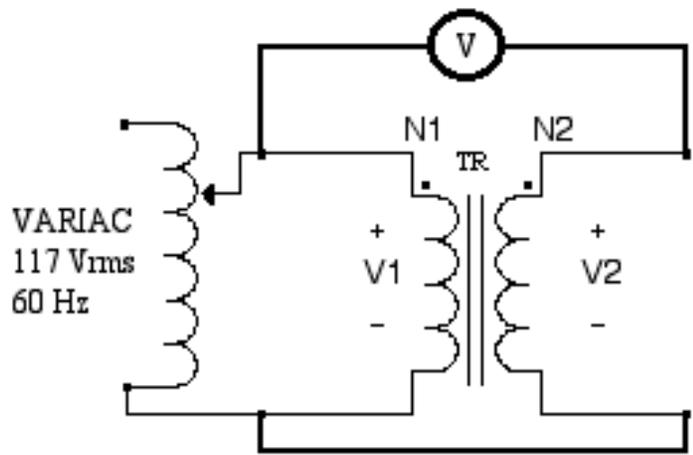
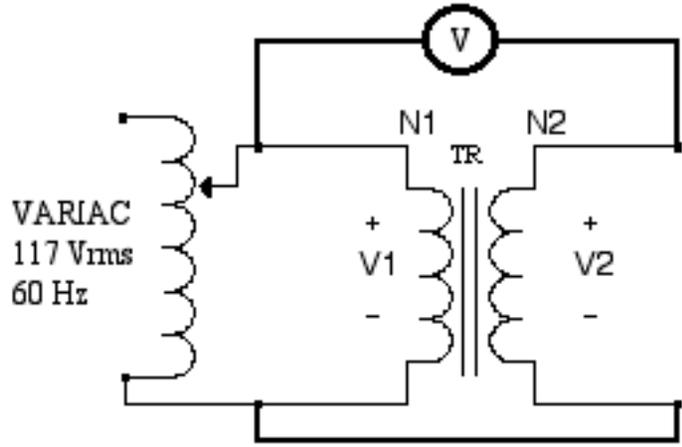
**Nota:** Es interesante observar las formas de onda de los dos canales en función del tiempo.

## PROCEDIMIENTO PARA DETERMINAR LA RELACIÓN DE VUELTAS $n$

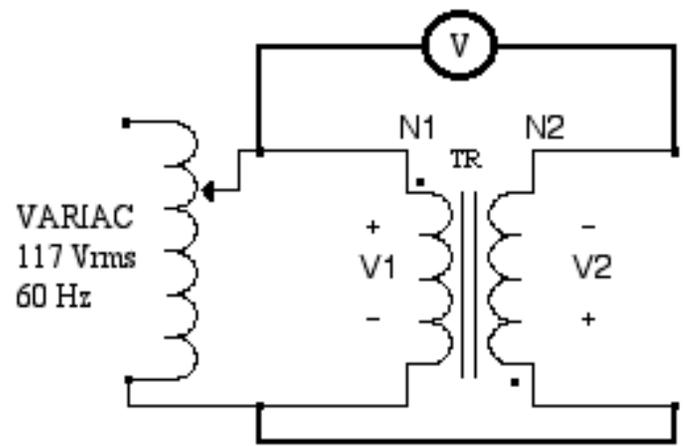


$$n = V_1/V_2$$

# PROCEDIMIENTO PARA DETERMINAR LA UBICACIÓN DE LAS MARCAS DE POLARIDAD



$$V = V1 - V2$$

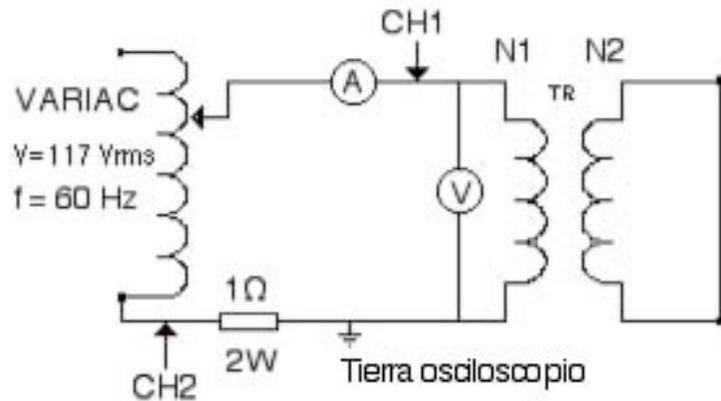


$$V = V1 + V2$$

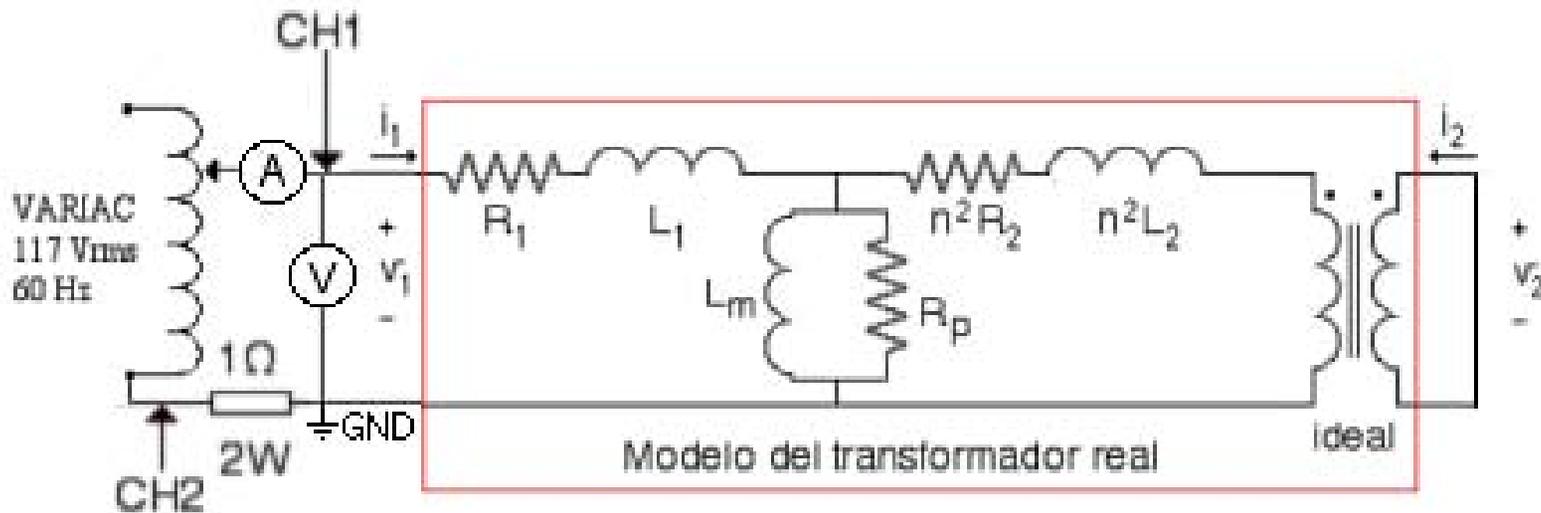
## **PROCEDIMIENTO PARA DETERMINAR LA RELACIÓN DE PROPORCIÓN $K = R_2/R_1$**

- \* Mida con el ohmetro digital la resistencia del arrollado del primario  $R_1$
- \* Mida con el ohmetro digital la resistencia del arrollado del secundario  $R_2$
- \* Determine la relación  $K = R_2/R_1$

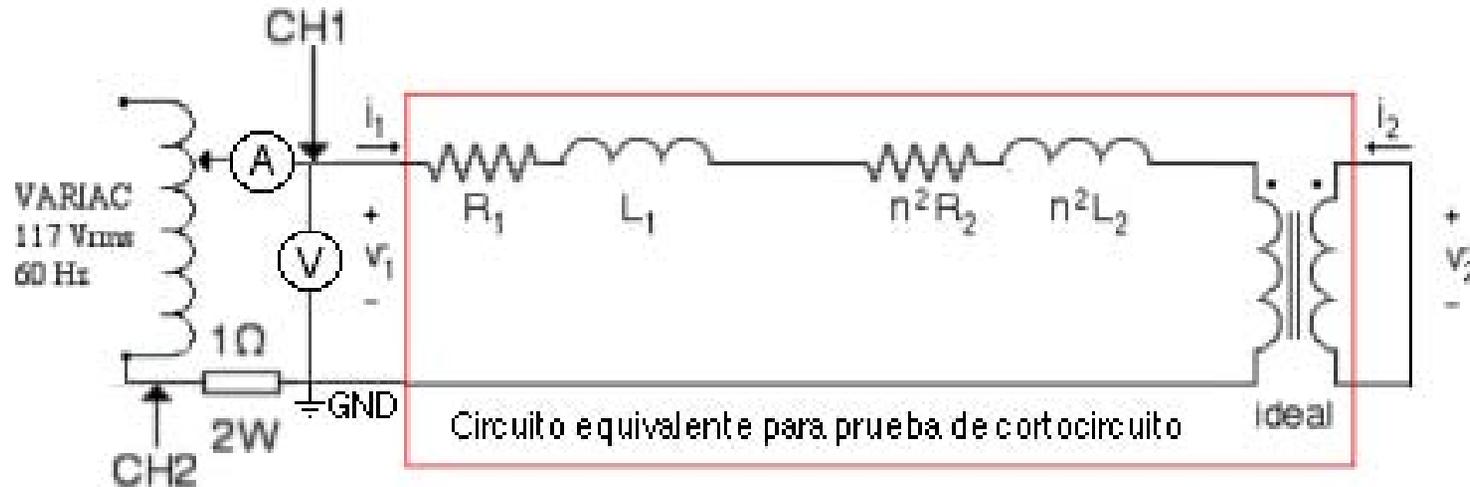
## PROCEDIMIENTO PARA REALIZAR LAS PRUEBAS DE CORTOCIRCUITO



Sabiendo que  $I_1 = I_2 / n$  y conociendo el valor nominal de  $I_2$ , se aumenta el voltaje de entrada lentamente hasta que  $I_1$  alcanza el valor nominal.  $V_1$  está alrededor de pocos voltios. Se miden  $V_1 = V_{1sc}$ ,  $I_1 = I_{1sc}$  y el ángulo de desfase entre  $V_1$  e  $I_1$ ,  $\theta$ .



# CÁLCULOS PARA DETERMINAR LOS PARÁMETROS RELACIONADOS CON LAS PRUEBAS DE CORTOCIRCUITO



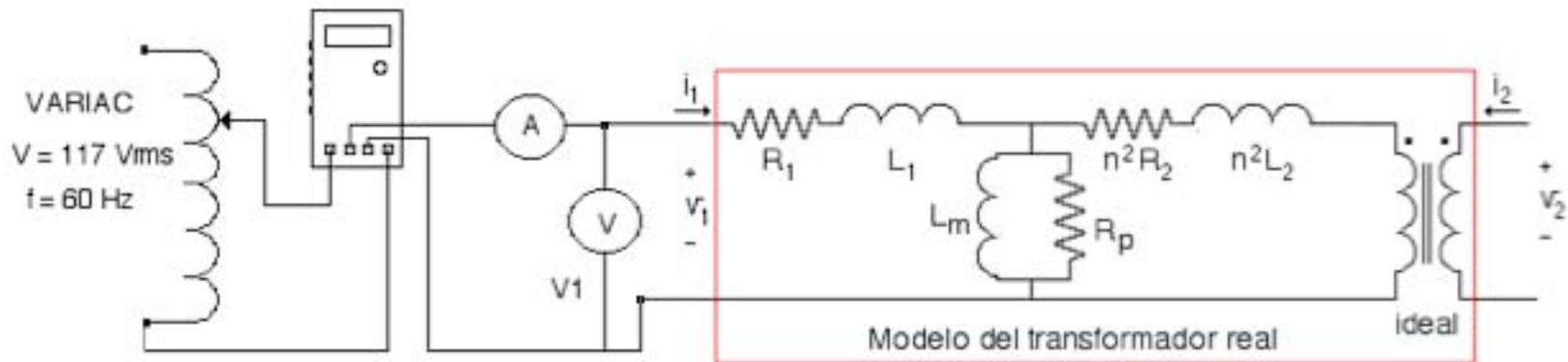
$$Z_1 = |Z_1| \cos \theta + j|Z_1| \sin \theta$$

$$|Z_1| = \frac{V_{1SC}}{I_{1SC}} \quad K = \frac{R_2}{R_1} \Rightarrow R_2 = KR_1, \text{ y consideramos que } L_2 = KL_1$$

$$|Z_1| \cos \theta = R_1 + n^2 R_2 = R_1 (1 + Kn^2) \Rightarrow R_1 = \frac{|Z_1| \cos \theta}{(1 + Kn^2)}$$

$$|Z_1| \sin \theta = \omega L_1 + \omega n^2 L_2 = \omega L_1 (1 + Kn^2) \Rightarrow L_1 = \frac{|Z_1| \sin \theta}{\omega (1 + Kn^2)}$$

## PROCEDIMIENTO PARA REALIZAR LAS PRUEBAS DE CIRCUITO ABIERTO



\* Se aplica el voltaje nominal a la entrada

\* Se miden  $V_1 = V_{1oc}$ ,  $I_1 = I_{1oc}$ , potencia en la entrada  $W_{1oc}$  y  $V_2$ .

## CÁLCULOS PARA DETERMINAR LOS PARÁMETROS RELACIONADOS CON LAS PRUEBAS DE CIRCUITO ABIERTO

\* Se considera que la impedancia formada por  $R_1$  y  $L_1$  es despreciable frente a la impedancia en paralelo, por lo tanto las mediciones permiten determinar los parámetros  $L_m$  y  $R_p$ .

$$fp = \frac{W_{10C}}{V_{10C} I_{10C}}$$

$$Rp = \frac{V_{10C}^2}{W_{10C}}$$

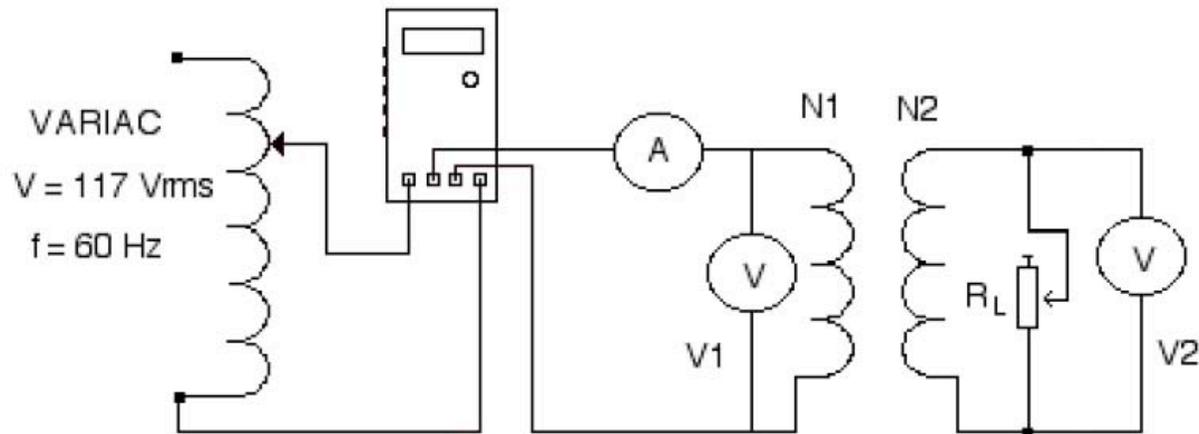
$$Ip = \frac{V_{10C}}{Rp}$$

$$Im = \sqrt{I_{10C}^2 - Ip^2}$$

$$Xm = \frac{V_{10C}}{Im}$$

$$Lm = \frac{Xm}{2\pi f}$$

## PROCEDIMIENTO PARA REALIZAR LAS PRUEBAS DE CARGA



- \* Para diferentes valores de la resistencia de carga  $R$  se van a medir el voltaje de entrada  $V_{1L}$ , la corriente de entrada  $I_{1L}$ , la potencia de entrada  $W_{1L}$  usando el vatímetro digital y el voltaje sobre la carga  $V_{2L}$ .
- \* Con las mediciones realizadas se elaborarán tres gráficas.
- \* Se calcula la regulación  $\eta$  en el secundario mediante la siguiente fórmula:

$$\eta = \frac{V_{\text{sec}(\text{vacío})} - V_{\text{sec}(\text{plena carga})}}{V_{\text{sec}(\text{vacío})}} 100\%$$

## **CRONOGRAMA DE TRABAJO PARA LA PRÁCTICA N° 9**

Conocimiento del vatímetro analógico y del transformador bajo estudio	30 minutos
Medición de la relación de vueltas, la polaridad de los arrollados y la relación K	30 minutos
Obtención del ciclo de histéresis	30 minutos
Realización de las pruebas de cortocircuito	25 minutos
Realización de las pruebas de circuito abierto	25 minutos
Realización de las pruebas de carga	25 minutos