

**EC1281 LABORATORIO DE MEDICIONES ELÉCTRICAS
PRELABORATORIO N° 5**

**PRÁCTICA N° 7
MEDICIONES EN CORRIENTE ALTERNA (AC)**

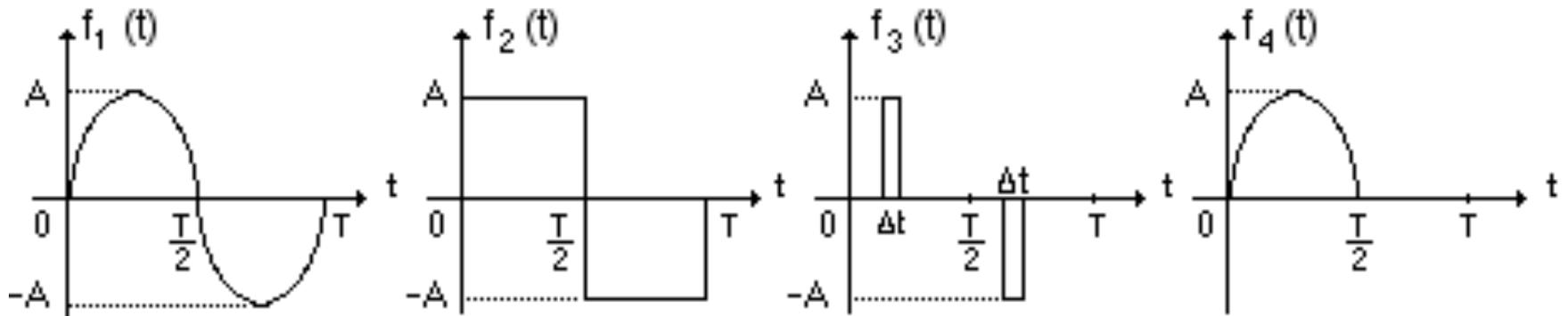
**CONCEPTO SOBRE EL VALOR EFICAZ
(RAIZ MEDIA CUADRÁTICA)
ROOT MEAN SQUARE (RMS)**

El valor eficaz o rms (por sus siglas en inglés) de una señal periódica es el valor equivalente al de una señal DC que produce la misma potencia media (o la misma disipación de calor) sobre una resistencia.

La expresión matemática para determinar el valor eficaz de una señal periódica es:

$$V_{rms} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T v^2(t) dt}$$

VALOR EFICAZ DE SEÑALES PERIÓDICAS



$$V_{rms_1} = \frac{A}{\sqrt{2}}$$

$$V_{rms_2} = A$$

$$V_{rms_3} = A \sqrt{\frac{2\Delta t}{T}}$$

$$V_{rms_4} = \frac{A}{2}$$

Para una señal triangular: $V_{rms_5} = \frac{A}{\sqrt{3}}$

Por lo tanto la relación $V_{rms_1} = \frac{A}{\sqrt{2}}$ es válida para señales sinusoidales.

AMPERÍMETROS Y VOLTÍMETROS AC

Están basados en el Galvanómetro de D'Arsonval, que es un instrumento que mide corrientes DC, por lo que es necesario convertir la señal AC en DC (rectificar la señal) antes de aplicarla al instrumento.

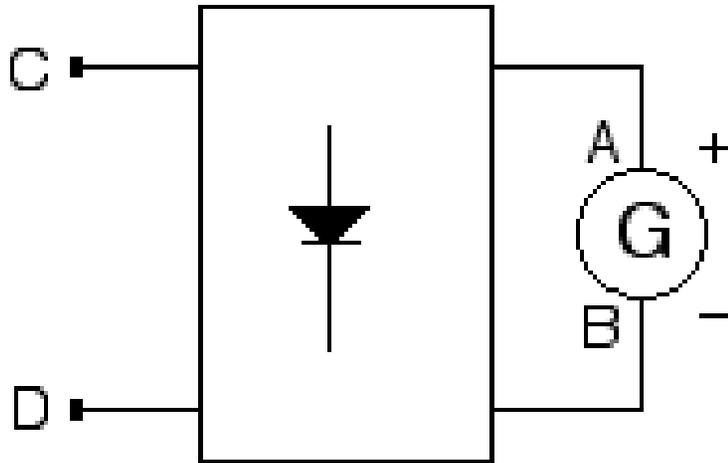
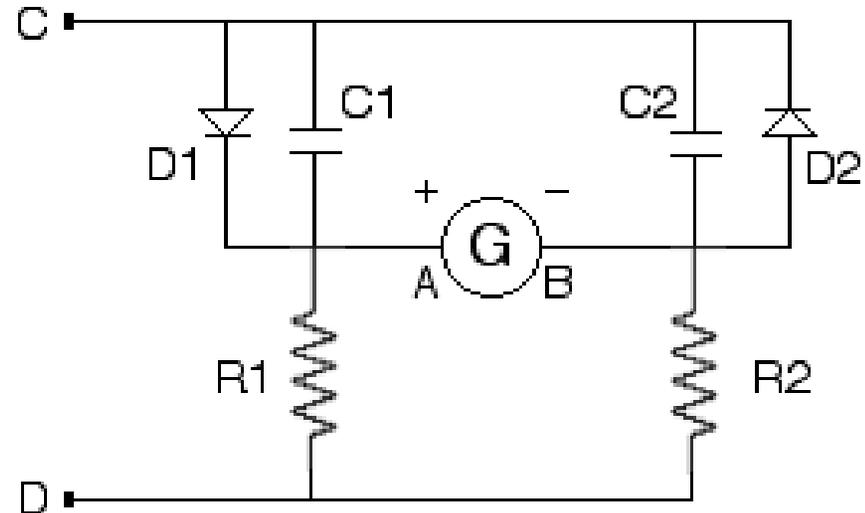


Diagrama general



Circuito de los instrumentos YEW
Configuración puente

ANÁLISIS DEL CIRCUITO DE LOS INSTRUMENTOS YEW

*En el semiciclo positivo C1 está cortocircuitado por el diodo D1. La corriente circula por el Galvanómetro y por el condensador C2, el cual va aumentando su voltaje.

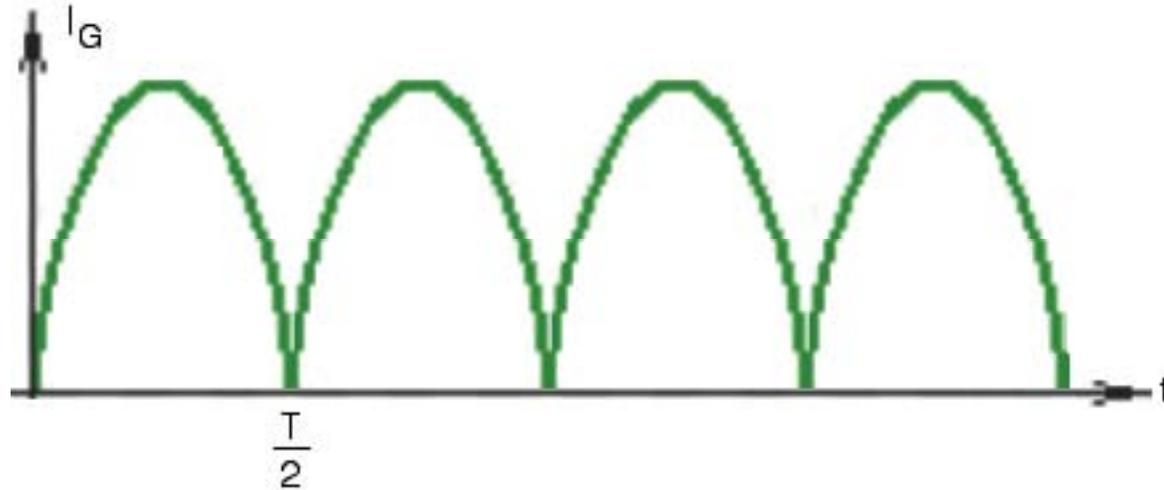
*En el semiciclo negativo C2 está cortocircuitado por el diodo D2. La corriente circula por el Galvanómetro y por el condensador C1, el cual va aumentando su voltaje.

*Debido a la configuración, la corriente por el Galvanómetro va variando a medida que el condensador correspondiente incrementa su voltaje, siguiendo una función de **la integral de la corriente de entrada**.

*Por el Galvanómetro la corriente circula siempre en la misma dirección, de A a B.

*El período para este fenómeno es un semiciclo, esto es, $T/2$.

ANÁLISIS DEL CIRCUITO DE LOS INSTRUMENTOS YEW (CONT)



Forma de onda de la corriente en el Galvanómetro

*Debido a la inercia, la aguja del Galvanómetro no puede seguir en forma instantánea las variaciones de la corriente que circula por el instrumento, por lo que presenta un valor promedio de la corriente en un período $T/2$, o ángulo π .

LECTURA DEL GALVANÓMETRO

$$I_{prom} = \frac{1}{T/2} \int_0^{T/2} A \sin \omega t dt$$

*Con este circuito de rectificación, el Galvanómetro presenta el valor promedio de un semiciclo de la señal periódica.

***Esto es cierto para cualquier tipo de onda periódica (sinusoidal, triangular, etc.)**

*El promedio de un semiciclo de una sinusoidal es:

$$I_{prom} = \frac{1}{\pi} \int_0^{\pi} A \sin \theta d\theta = \frac{2A}{\pi}$$

*Recordemos que el valor eficaz de una señal sinusoidal es: $I_{rms} = \frac{A}{\sqrt{2}}$

ANÁLISIS DEL CIRCUITO DE LOS INSTRUMENTOS YEW (CONT)

*El Factor de Forma FF de una señal periódica se define como: $FF = \frac{I_{rms}}{I_{prom}}$

*Para una señal sinusoidal: $I_{prom} = \frac{2A}{\pi}$ $I_{rms} = \frac{A}{\sqrt{2}}$

*Para una señal sinusoidal el FF es: $FF = \frac{A/\sqrt{2}}{2A/\pi} = 1,11$

$$I_{rms} = 1,11 I_{prom}$$

*Conclusión: El **valor rms de una señal sinusoidal** puede medirse con un Galvanómetro al que se le conecta un circuito rectificador, y se **calibra la escala** mediante el factor de forma $FF = 1,11$.

¿QUÉ PASA SI SE APLICAN SEÑALES PERIÓDICAS DIFERENTES A UNA SINUSOIDAL?

*El circuito va a determinar el valor promedio de la señal, el cual va a ser multiplicado por el factor 1,11 con el que está calibrada la escala, independientemente de la forma de onda introducida.

Señal cuadrada: $FF = \frac{A}{A} = 1 \rightarrow V_{rms} = V_{prom}$

Como el instrumento multiplica por 1,11 la lectura será un 11% superior al verdadero valor rms de la señal cuadrada.

Señal triangular: $FF = \frac{A/\sqrt{3}}{A/2} = \frac{2}{\sqrt{3}} = 1,155$

Como el instrumento multiplica por 1,11 la lectura será un 3,89% inferior al verdadero valor rms de la señal cuadrada.

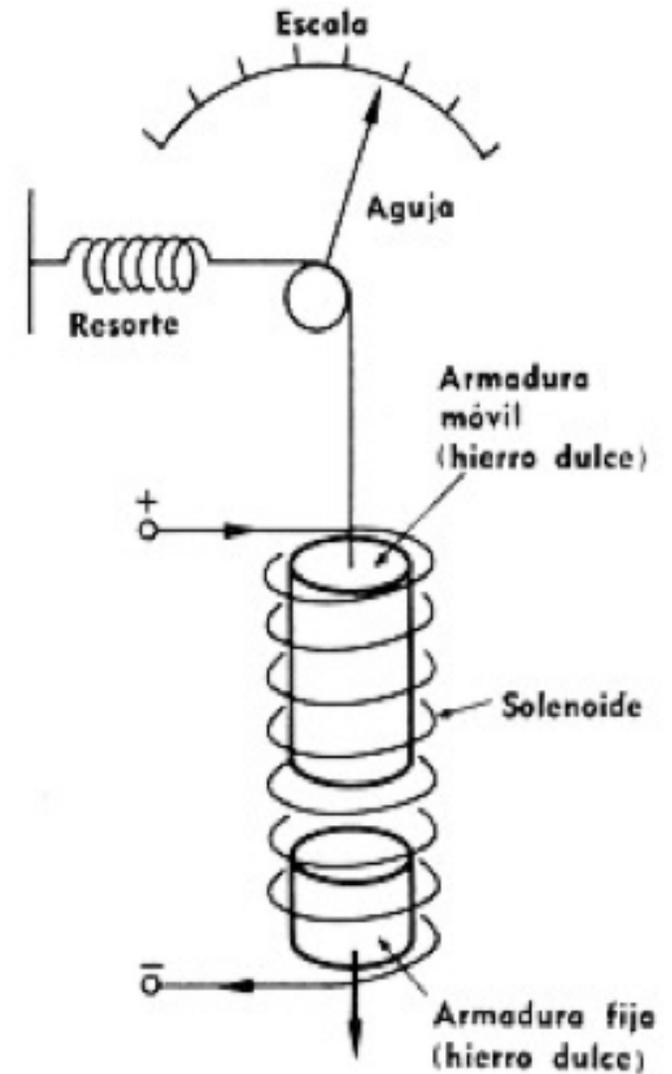
OTROS INSTRUMENTOS PARA MEDIR LA CORRIENTE: AMPERÍMETRO DE HIERRO MOVIL

***Bobina fija**, en cuyo interior va alojada y soldada una **lámina curvada** de hierro dulce.

***Segunda lámina** unida al eje de la aguja indicadora.

*Al circular corriente, ambas **láminas de hierro** se transforman en **imanes** y se **repelen** mutuamente, obteniéndose una fuerza **proporcional a la intensidad de la corriente**.

*La magnitud de la fuerza de repulsión y, por consiguiente la **amplitud del movimiento de la aguja**, dependen de la cantidad de corriente que circula por la bobina.



ESCALAS DE LOS AMPERIMETROS DE HIERRO MOVIL

*Estos aparatos tienen la ventaja de servir tanto para **corriente continua (CC) como alterna (CA)**.

*Las graduaciones o divisiones de la primera zona de la escala van a estar comprimidas de una forma que resulta ilegible, porque se tiene que vencer la inercia.

*La primera parte de la escala no suele dibujarse.



MULTÍMETROS DIGITALES DE MAYOR CALIDAD

*Los multímetros digitales convierten la señal analógica en una señal digital y posteriormente la procesan para presentar las diferentes mediciones.

*El multímetro de la gráfica permite medir voltajes DC y AC, corrientes DC y AC, valores de resistencias y continuidad



MEDICIÓN DE CORRIENTE SIN ABRIR EL CIRCUITO: PINZA AMPERIMÉTRICA

* Se basa en el principio de que la corriente que circula por un conductor crea un campo magnético que a su vez origina una corriente que circulará por la mandíbula y es la que se registrará en el instrumento de medición.

*Puede conectarse a multímetros digitales o a osciloscopios, dependiendo del terminal disponible.

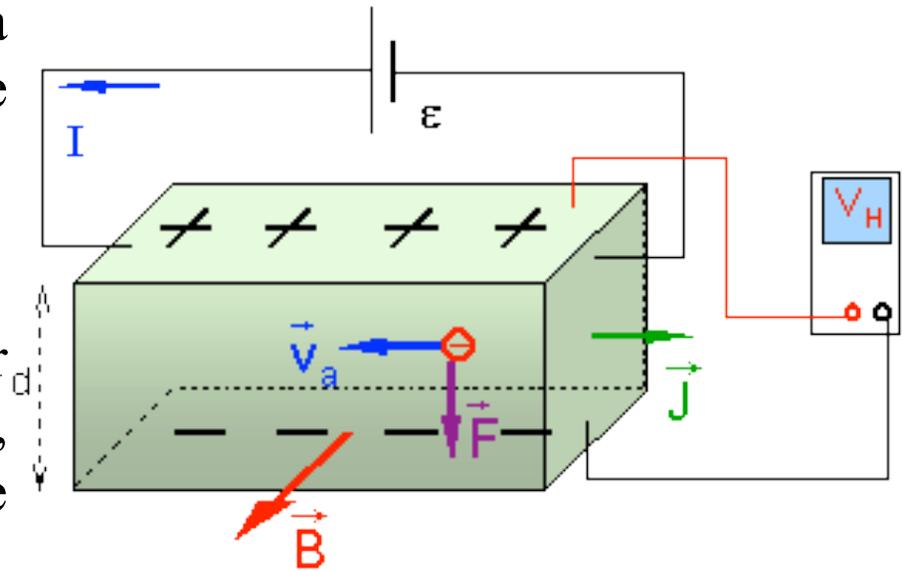


A621 2000 Amp AC Current Probe/BNC

EFEECTO HALL

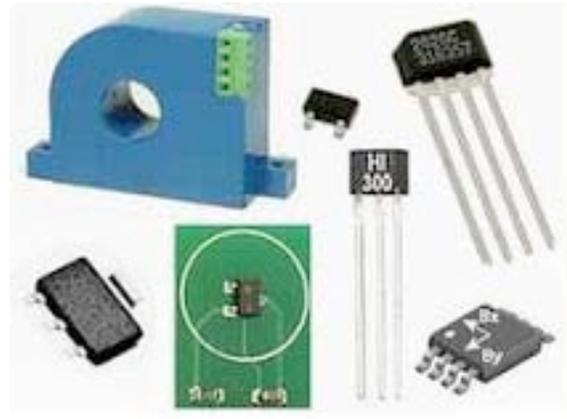
*Conductor por el que circula una corriente DC (requiere que se genere mediante un circuito activo).

*Campo magnético perpendicular al movimiento de las cargas, producido por la corriente que se quiere medir.



*Se produce una separación de cargas que da lugar a un campo eléctrico (**campo Hall**) en el interior del conductor, perpendicular al movimiento de las cargas y al campo magnético aplicado (medición proporcional a la corriente).

PRESENTACIONES DE MEDIDORES POR EFECTO HALL



A622 100 Amp AC/DC Current Probe/BNC

PINZA MULTIMÉTRICA

*Todas las versiones miden corriente y tensión en AC, tensión en CD, resistencia, continuidad, frecuencia y prueba de diodos.

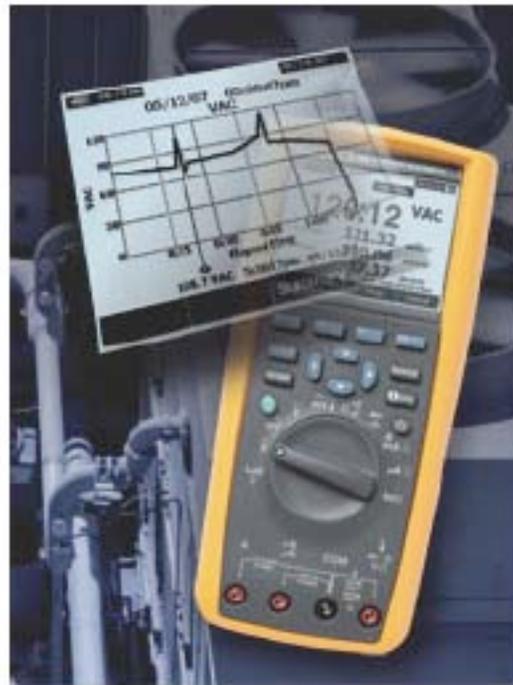
*El modelo 514 está basado en un sensor de Efecto Hall por lo que mide corriente en CA y CD hasta 1000 A.



MEDIDOR DE VERDADERO VALOR RMS

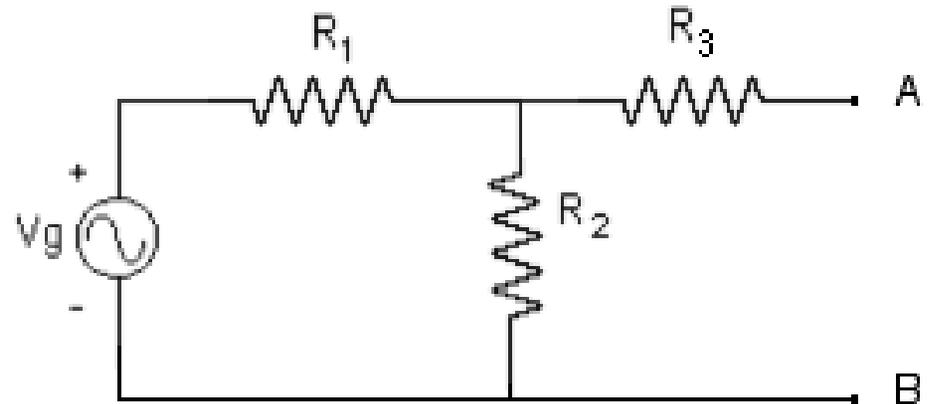
Hay instrumentos diseñados para medir el verdadero valor rms de una señal periódica con cualquier forma de onda, bien sea a través de la potencia o en el caso de los instrumentos digitales, realizando cálculos a partir de las formas de onda adquiridas por el instrumento. Por lo general son instrumentos costosos.

FLUKE 289



CIRCUITOS DE LA PRÁCTICA N° 7

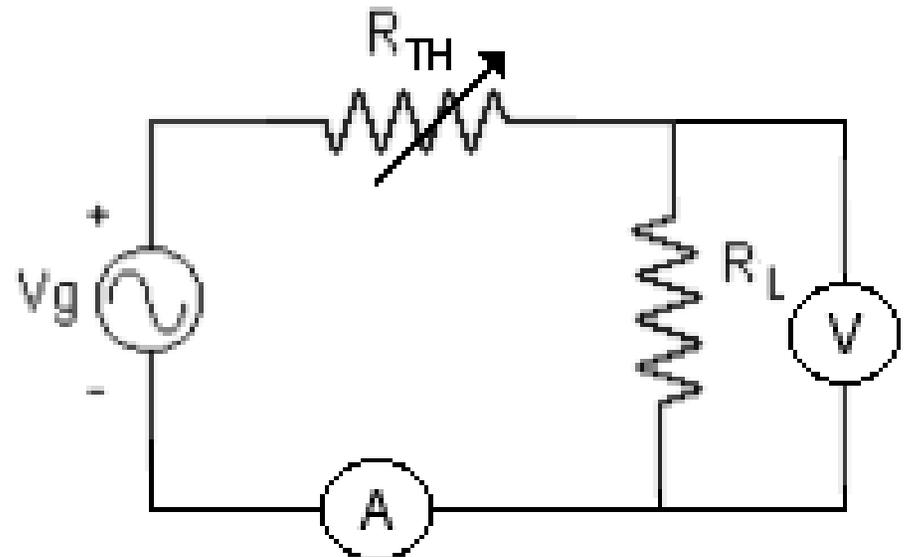
* Circuito para determinar el equivalente Thevenin y comprobar el Teorema de Máxima Transferencia de Potencia cuando R_L es variable:



V_g pico = 10 V; $f = 1$ kHz

$R_1 = 2$ k Ω , $R_2 = 2$ k Ω , $R_3 = 1$ k Ω

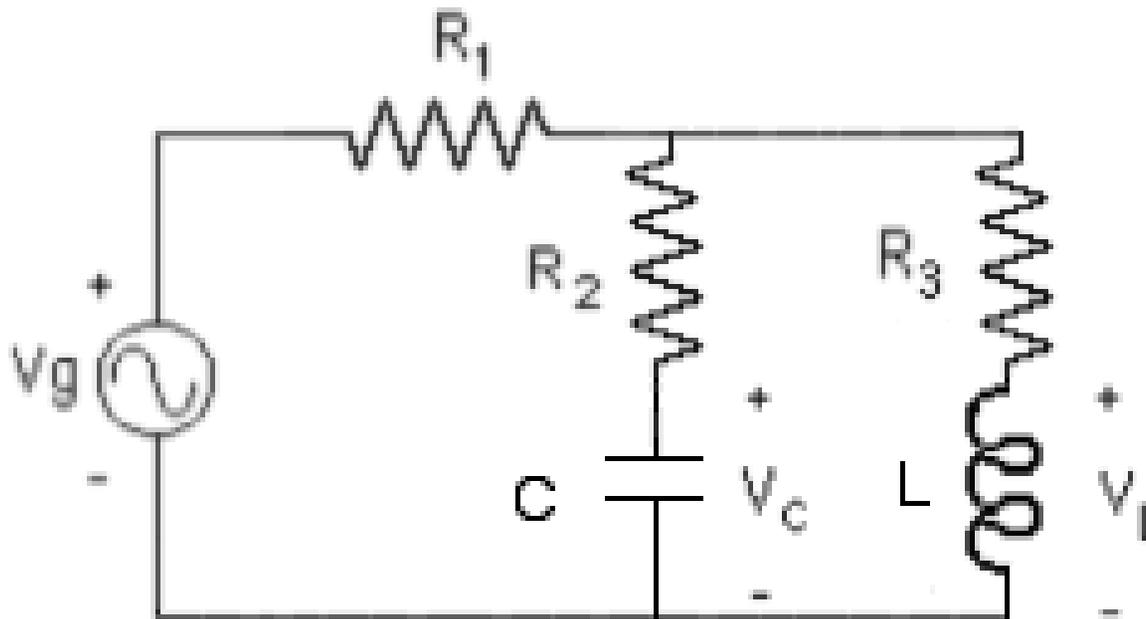
* Circuito para comprobar el Teorema de Máxima Transferencia de Potencia cuando R_{TH} es variable:



V_g pico = 6 V; $f = 1$ kHz; $R_L = 2$ k Ω

CIRCUITOS DE LA PRÁCTICA N° 7

Circuito para determinar experimentalmente las impedancias en régimen sinusoidal permanente.

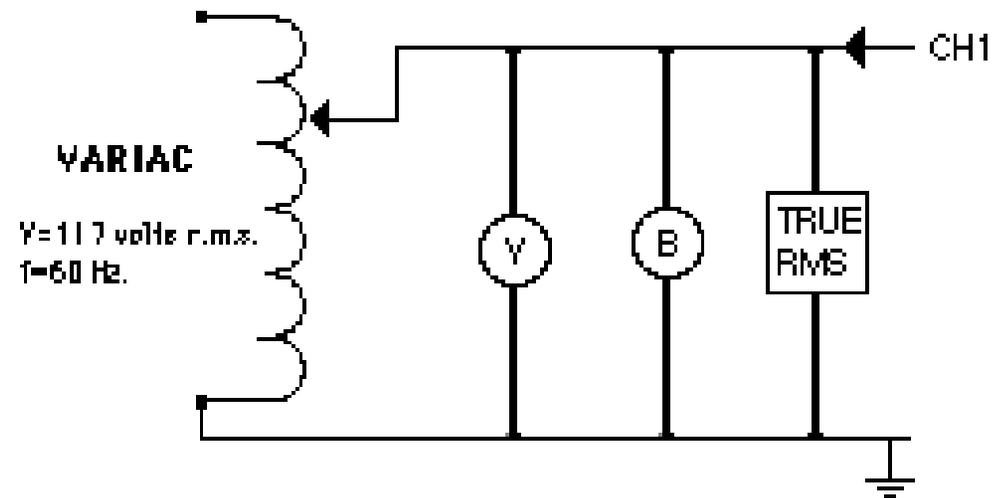
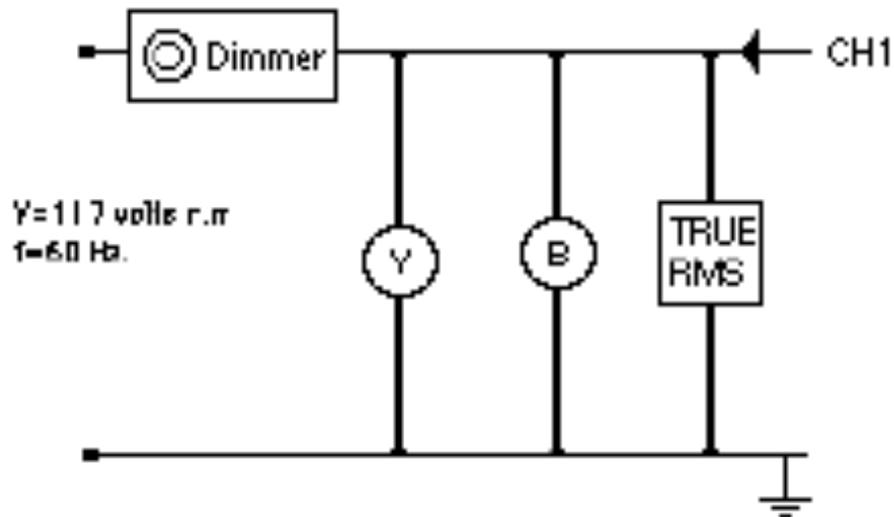


$V_g \text{ pico} = 10 \text{ V}; f = 1 \text{ kHz}; R_1 = 1 \text{ k}\Omega; R_2 = 1 \text{ k}\Omega; R_3 = 1 \text{ k}\Omega$

$C = 100 \text{ nF}; H = 100 \text{ mH}$

EXPERIMENTO DEMOSTRATIVO DE LA PRÁCTICA 7

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.



CRONOGRAMA DE TRABAJO PARA LA PRÁCTICA N° 7

Revisión de los instrumentos AC y medidas básicas con el generador y el voltímetro analógico	30 minutos
Determinación del ancho de banda del voltímetro analógico	20 minutos
Determinación experimental del equivalente Thevenin	20 minutos
Comprobación del Teorema de Máxima Transferencia de Potencia	45 minutos
Determinación experimental de las impedancias de un circuito en régimen sinusoidal permanente	50 minutos
Experimento demostrativo	15 minutos

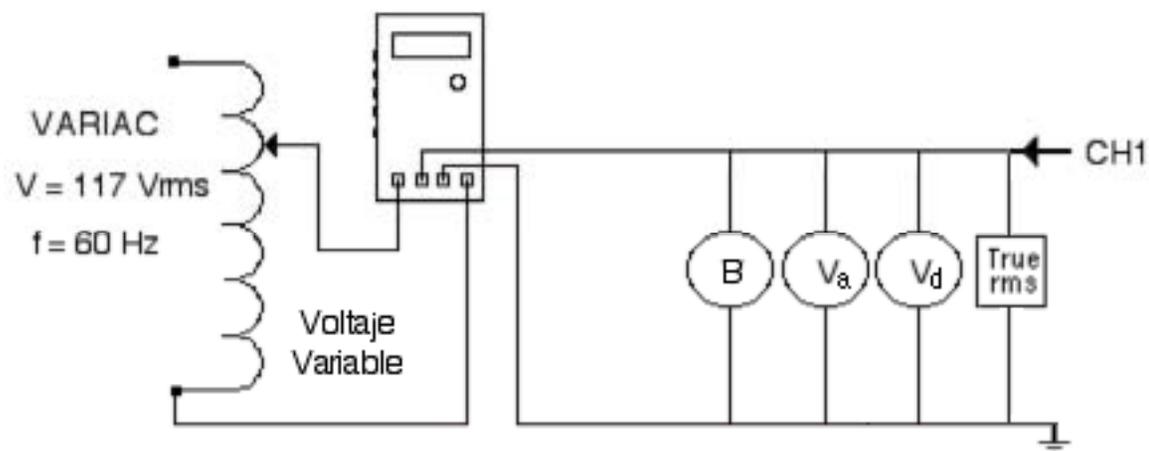
PRÁCTICA N° 8 : EL VATÍMETRO DIGITAL CARACTERISTICAS DEL TRANSFORMADOR MONOFASICO

VATIMETRO DIGITAL
SUNEQUIPLO DWM-03060

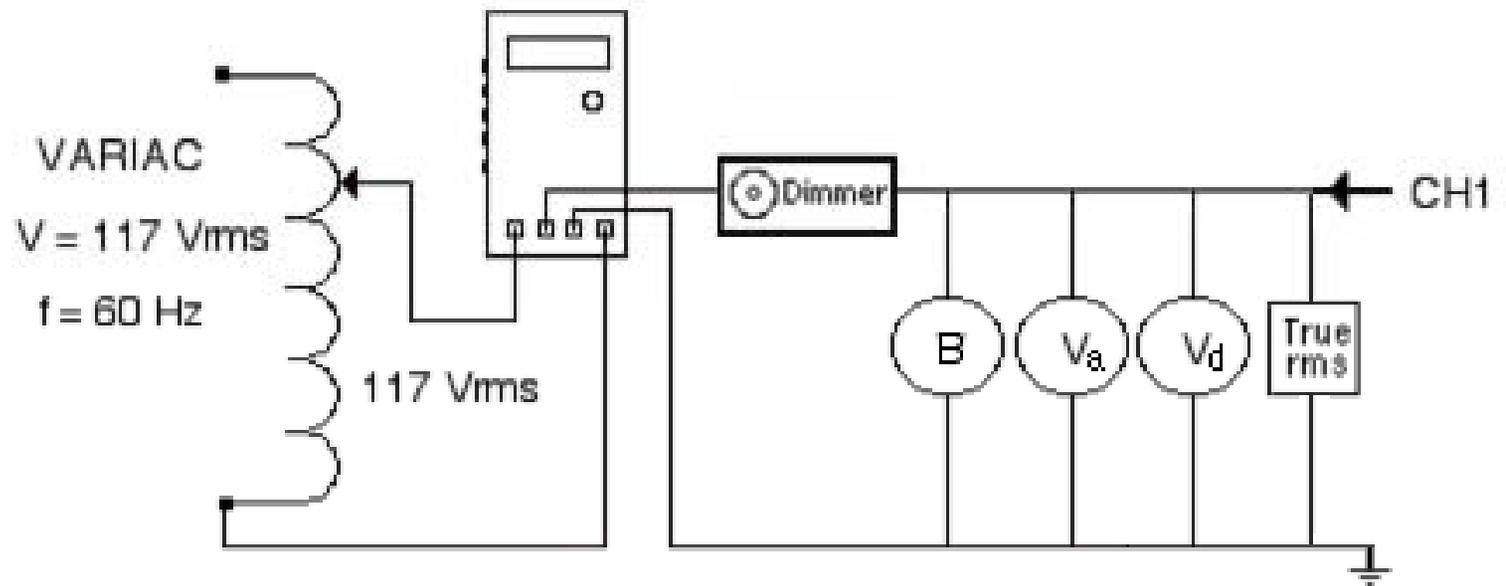


EXPERIMENTO DEMOSTRATIVO DE LA PRÁCTICA 7

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

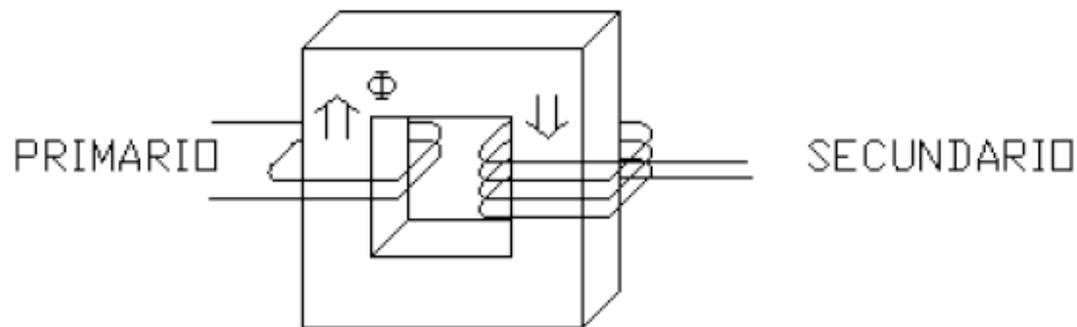


Circuito con Variac y dimmer

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

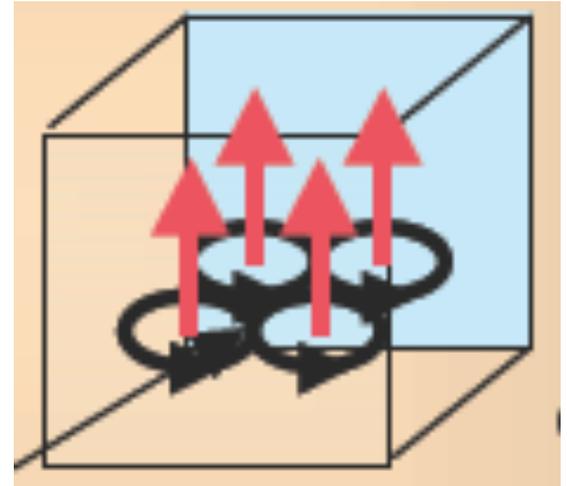
* Un **campo magnético** es la región del espacio donde se manifiestan acciones sobre las agujas magnéticas.

* 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).

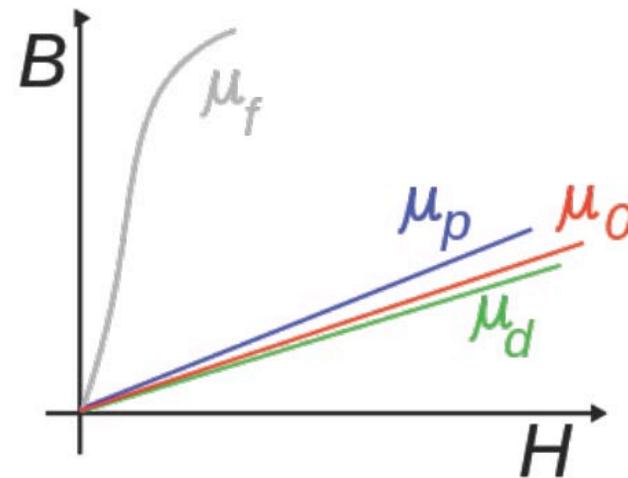
$$v(t) = N \frac{d\Phi(t)}{dt}$$



CONCEPTOS FUNDAMENTALES

* **La permeabilidad magnética μ** 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 μ , 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

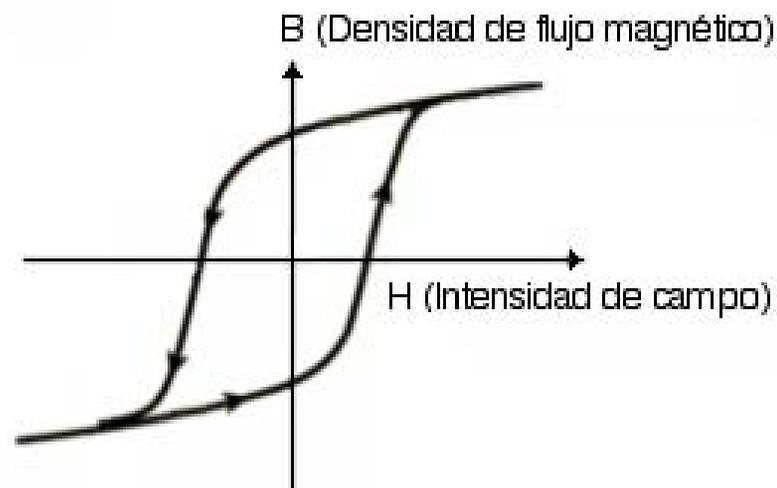
B: Densidad de flujo magnético

H: Intensidad de campo

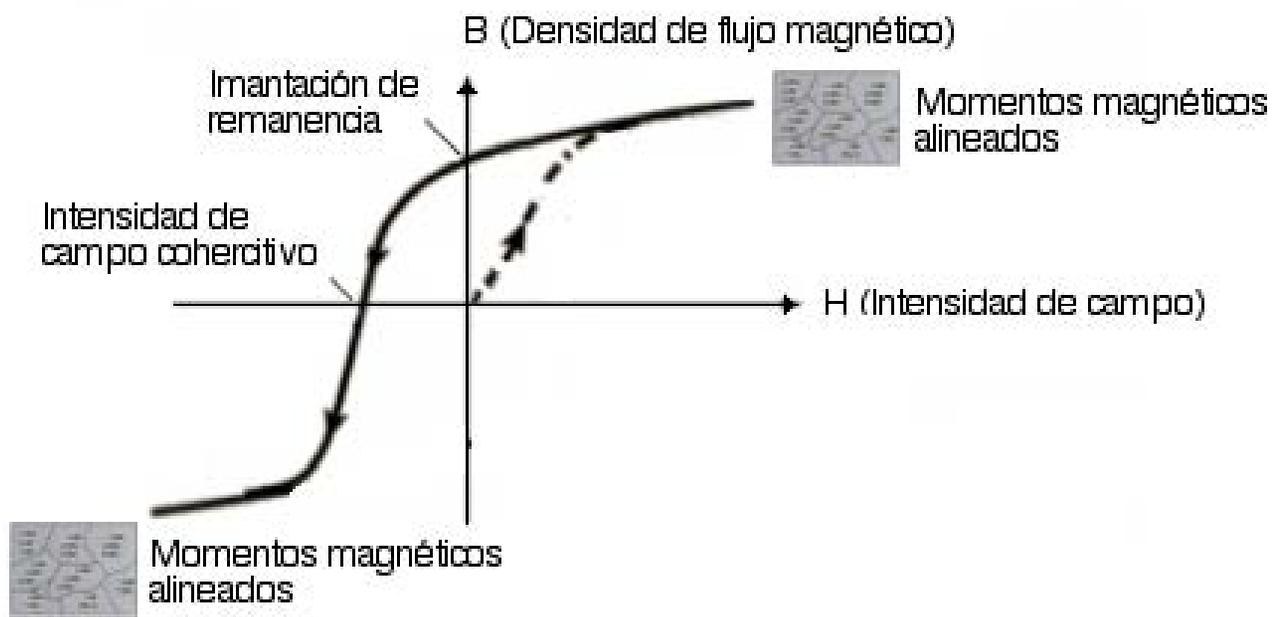
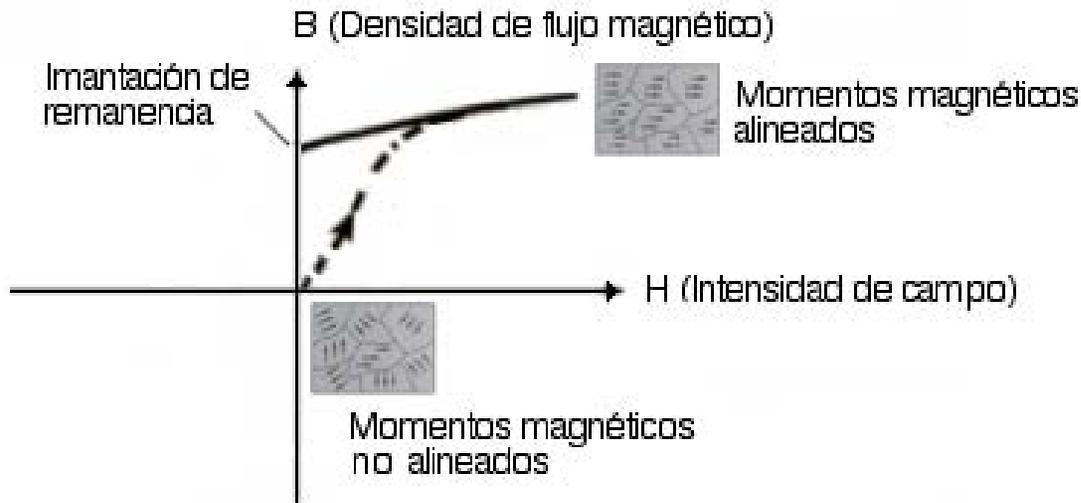
μ : Permeabilidad magnética

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

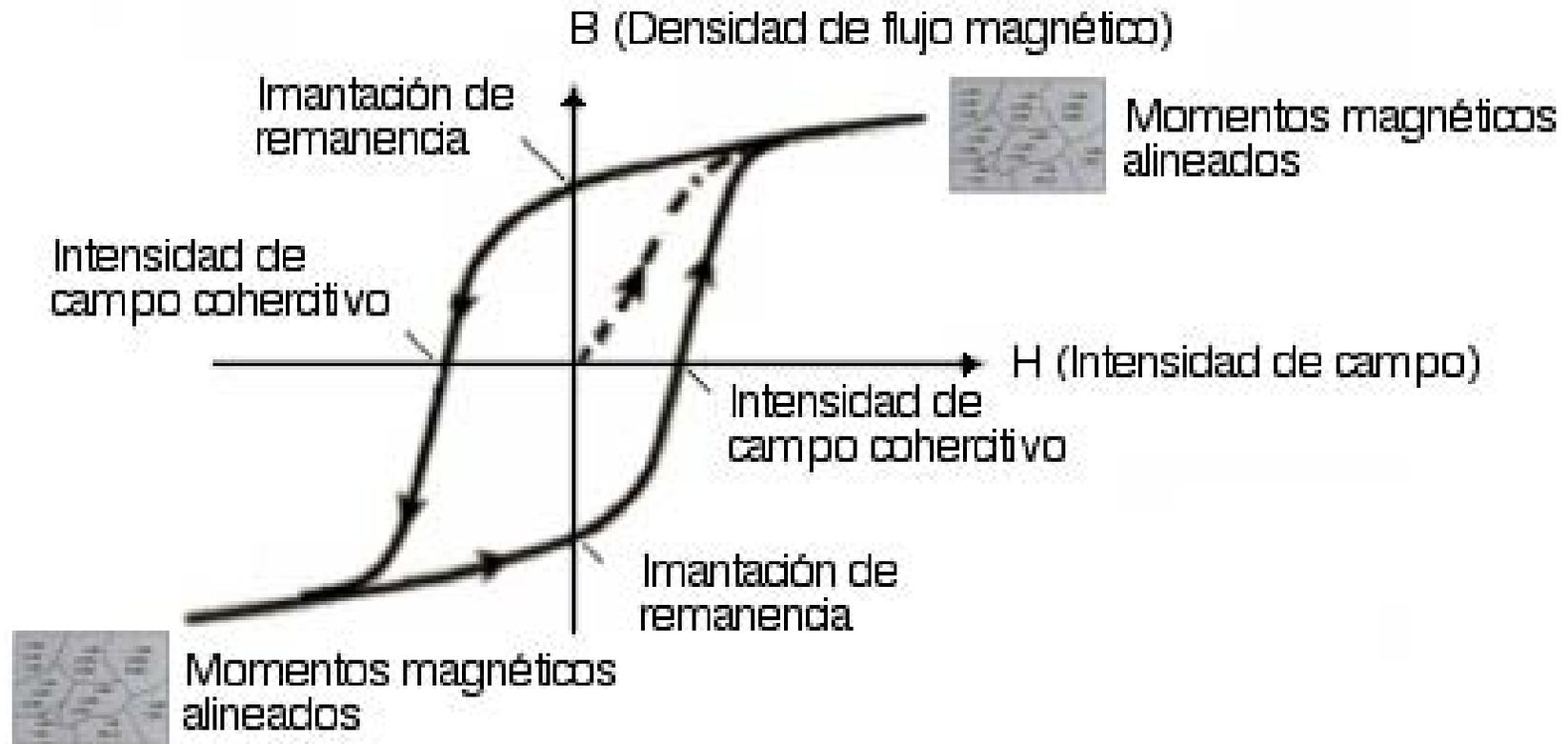
curva de magnetización o curva de histéresis del elemento ferromagnético.



ANÁLISIS DETALLADO DE LA CURVA DE MAGNETIZACIÓN

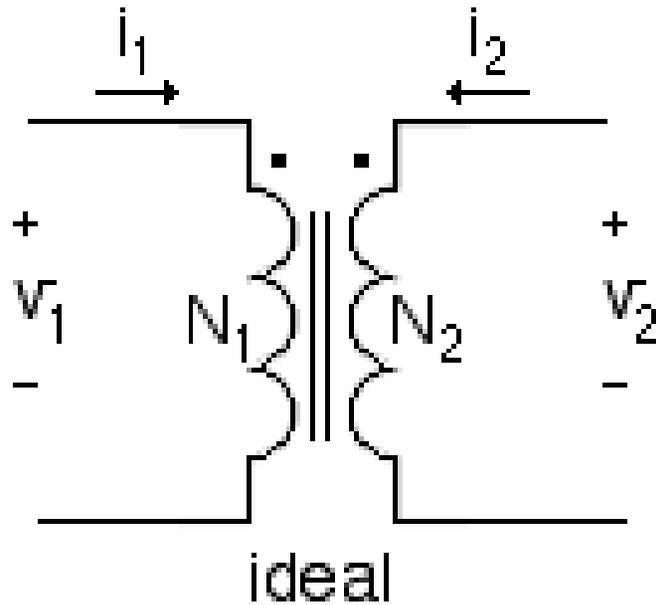


CURVA DE MAGNETIZACIÓN DETALLADA



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.

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

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

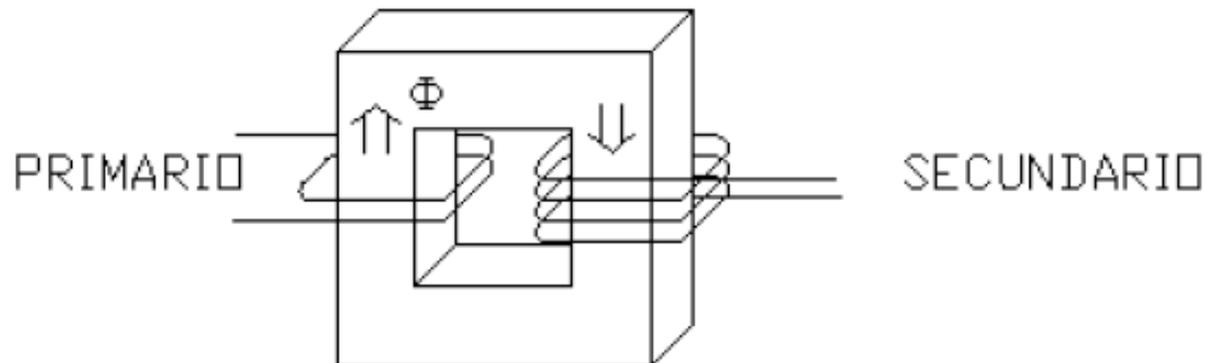
$$\frac{v_1}{v_2} = \frac{N_1}{N_2} = n$$



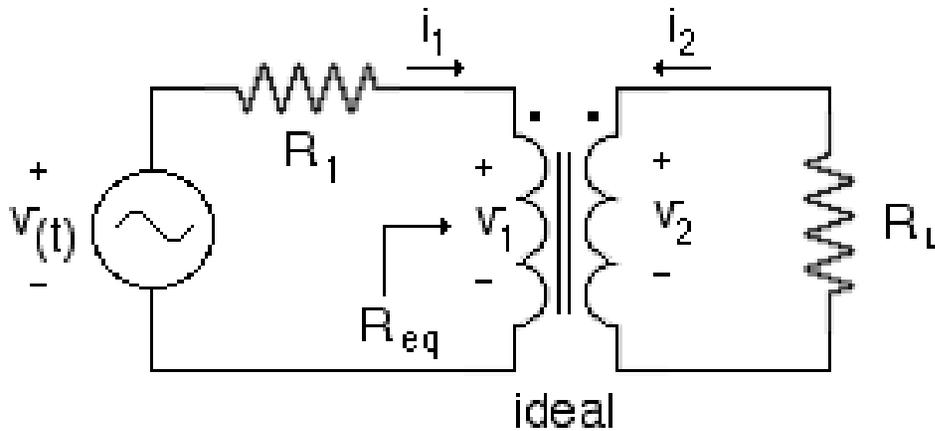
Si no hay pérdidas en el sistema:

$$v_1 i_1 + v_2 i_2 = 0$$

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



ACOPLAMIENTO DE RESISTENCIAS CON TRANSFORMADOR IDEAL



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

$$v_1 = nv_2$$

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

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

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

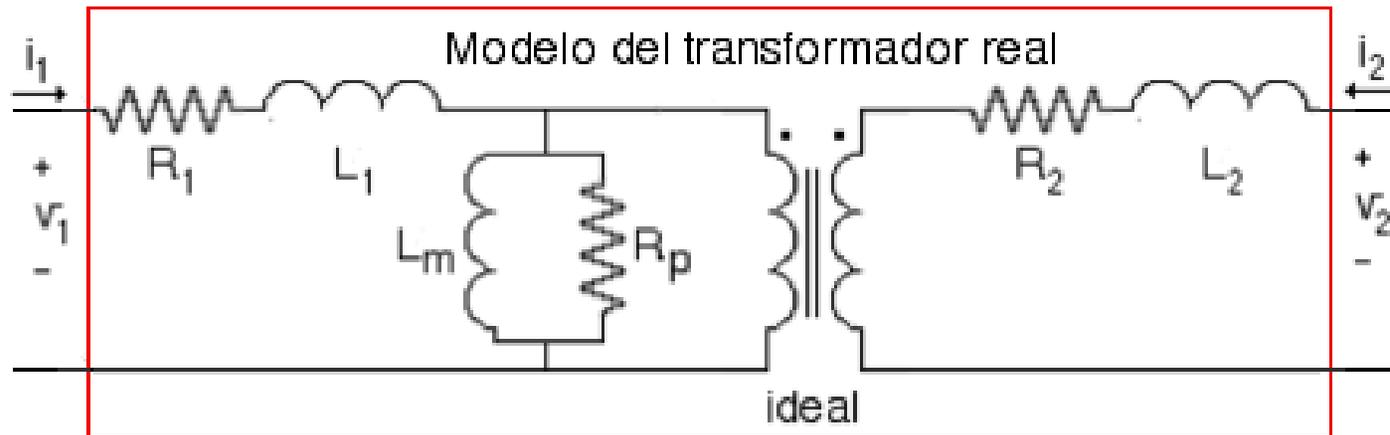
TRANSFORMADOR REAL

- *Los arrollamientos tienen **resistencia eléctrica** y **capacidades** parásitas.
- *En el interior del núcleo hay corrientes parásitas o **corrientes de Foucault**.
- *El ciclo de magnetización y desmagnetización del núcleo consume energía debido a la **histéresis** magnética.
- *El acoplamiento magnético de los devanados no es perfecto, que se traduce en una inductancia o flujo de dispersión.
- *La **permeabilidad magnética** del núcleo depende de la frecuencia.
- *La **saturación magnética** del núcleo provoca que la inductividad de los devanados no sea constante.

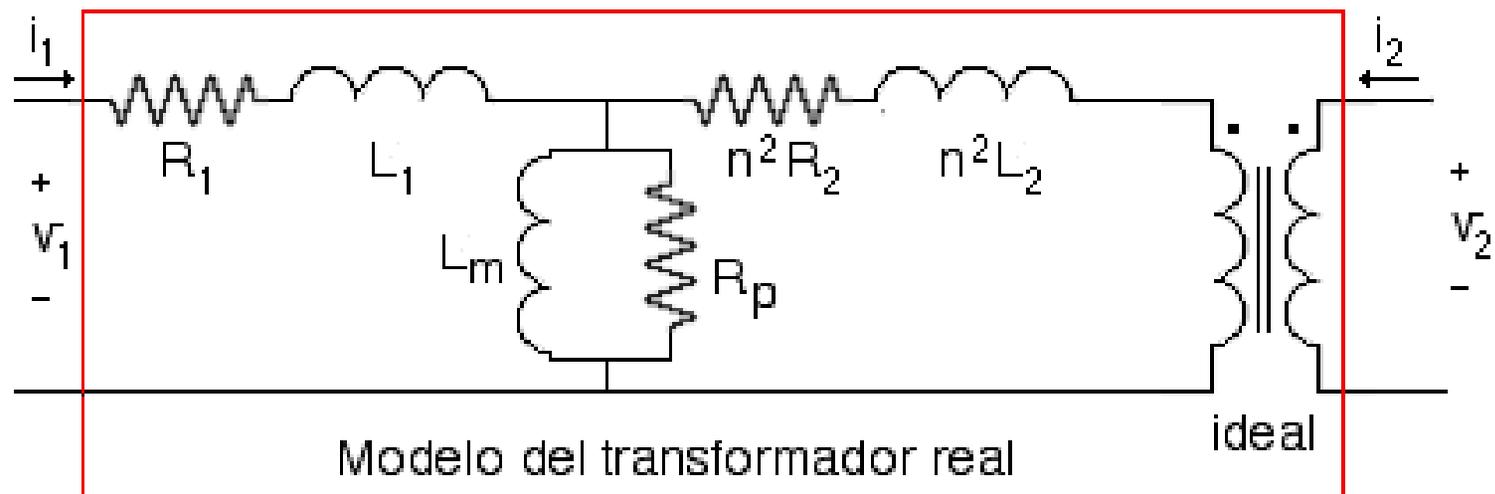
Las pérdidas de energía debidas a la resistencia eléctrica de los arrollamientos se denominan **pérdidas en el cobre**.

Las pérdidas por el efecto de la histéresis y por las corrientes parásitas se denominan **pérdidas en el hierro**.

MODELO DEL TRANSFORMADOR REAL



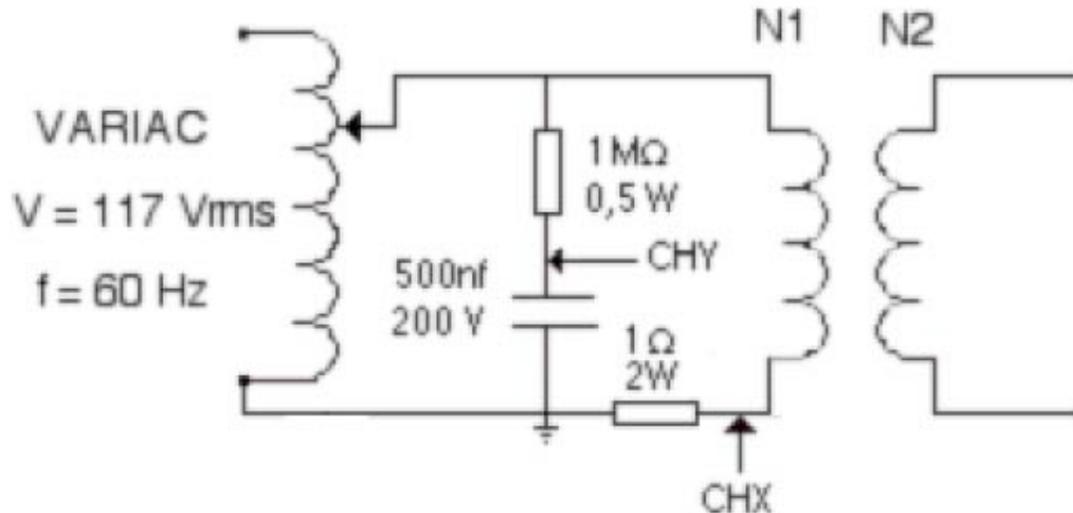
Reflejando la impedancia del secundario hacia el primario:



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

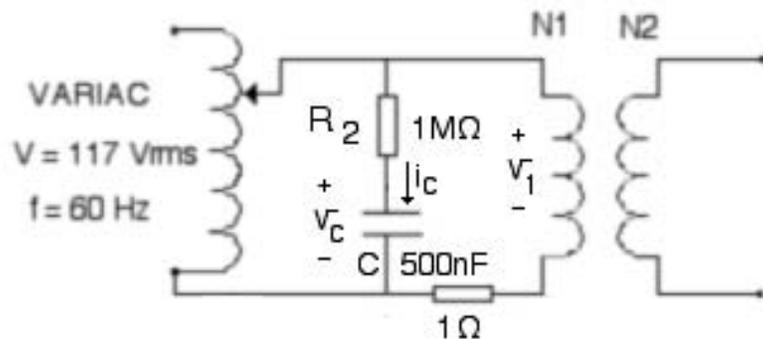


*El osciloscopio debe estar conectado flotando y en el modo XY.

*En el canal horizontal (CHX) se está aplicando el voltaje sobre la resistencia de 1Ω , 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 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



$$v_1 = i_c R_2 + v_c$$

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

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

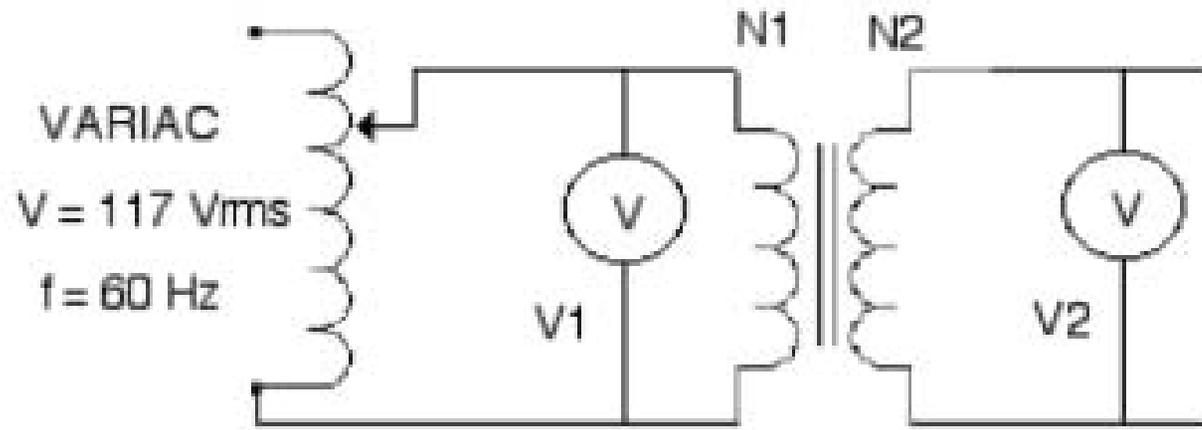
Impedancia del condensador: $|Z_c| = \frac{1}{\omega C} = \frac{1}{2\pi 60 \text{ Hz} 500 \text{ nF}} = 5.305 \Omega$

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

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

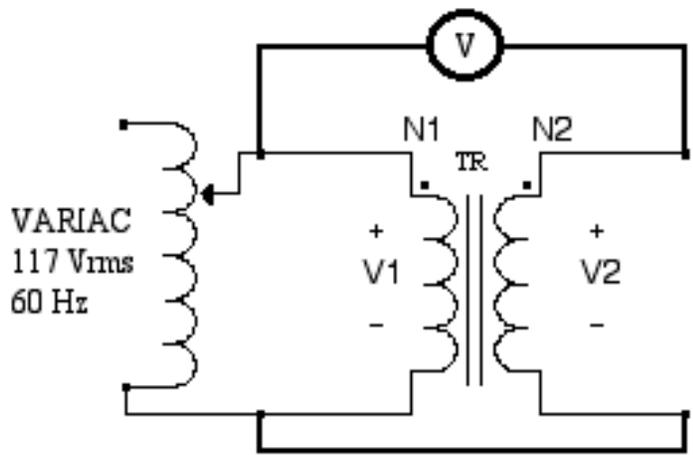
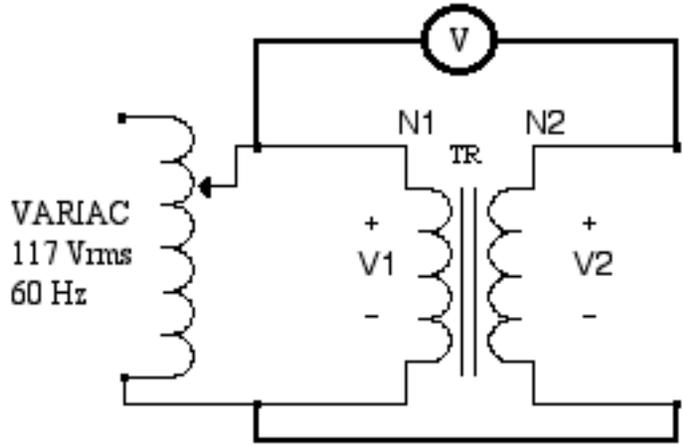
Nota: Es interesante observar las formas de onda de los dos canales en función del tiempo.

PROCEDIMIENTO PARA DETERMINAR LA RELACIÓN DE VUELTAS n

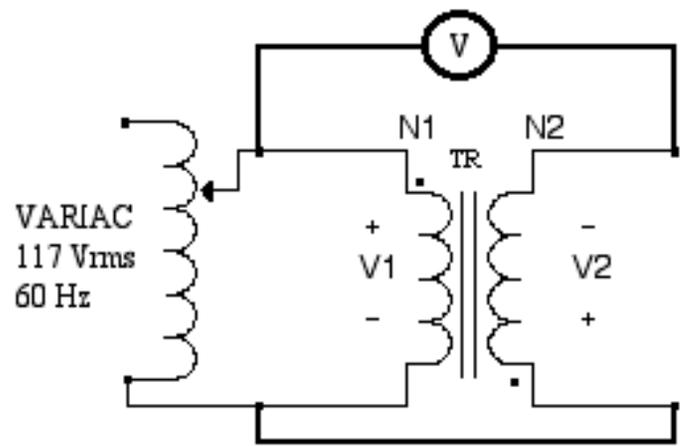


$$n = V_1/V_2$$

PROCEDIMIENTO PARA DETERMINAR LA UBICACIÓN DE LAS MARCAS DE POLARIDAD



$$V = V1 - V2$$

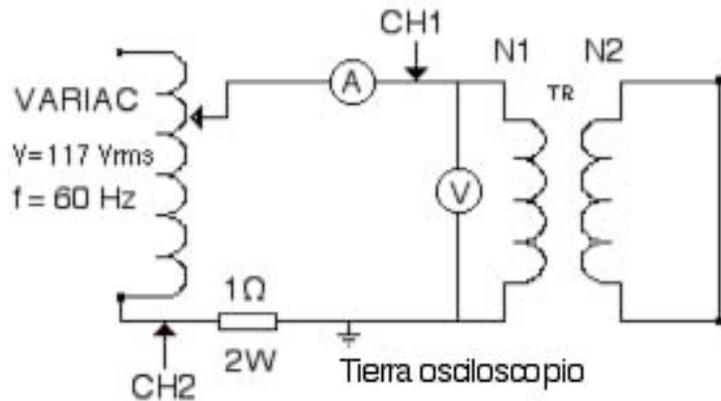


$$V = V1 + V2$$

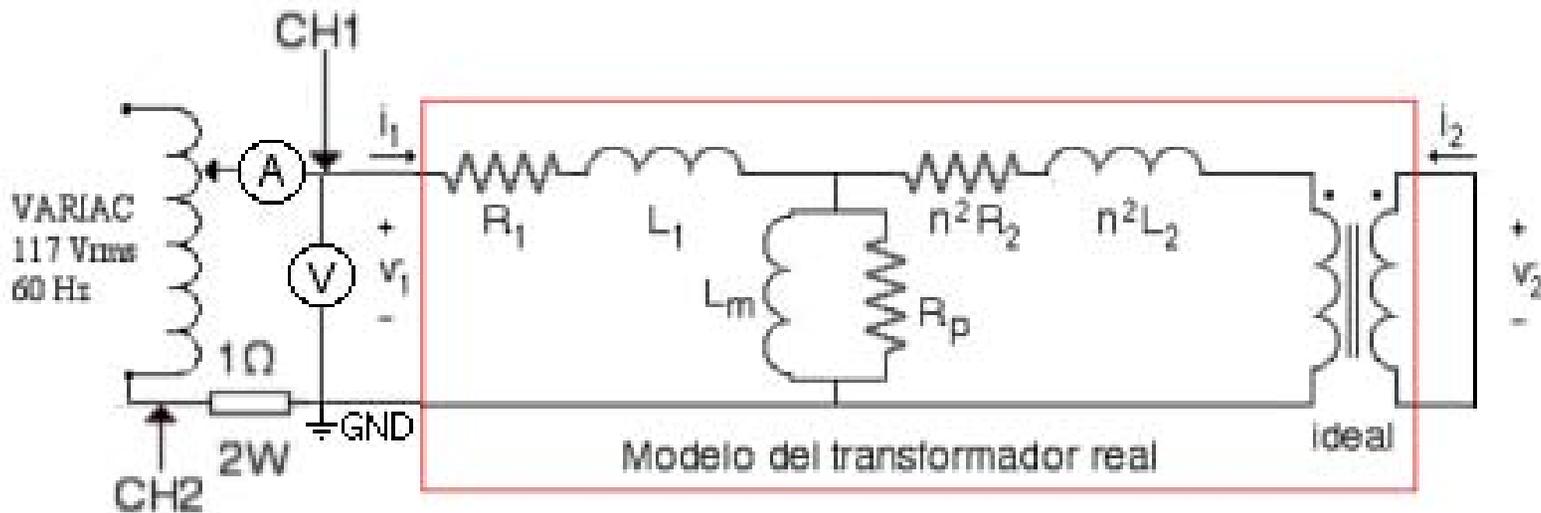
PROCEDIMIENTO PARA DETERMINAR LA RELACIÓN DE PROPORCIÓN $K = R_2/R_1$

- * 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 $K = R_2/R_1$

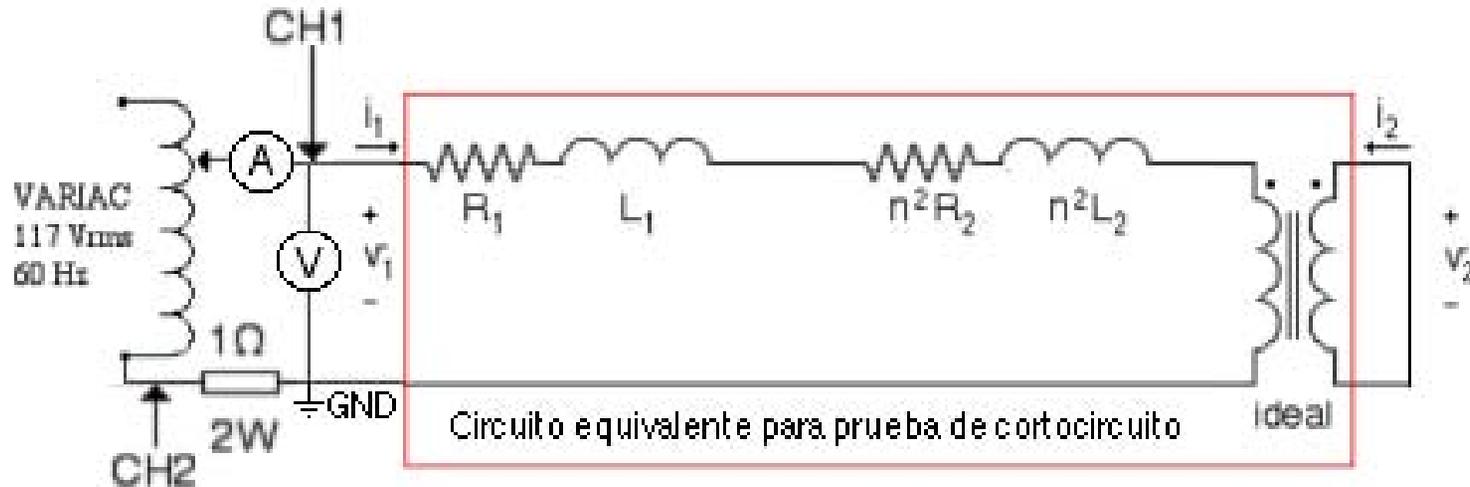
PROCEDIMIENTO PARA REALIZAR LAS PRUEBAS DE CORTOCIRCUITO



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 , θ .



CÁLCULOS PARA DETERMINAR LOS PARÁMETROS RELACIONADOS CON LAS PRUEBAS DE CORTOCIRCUITO



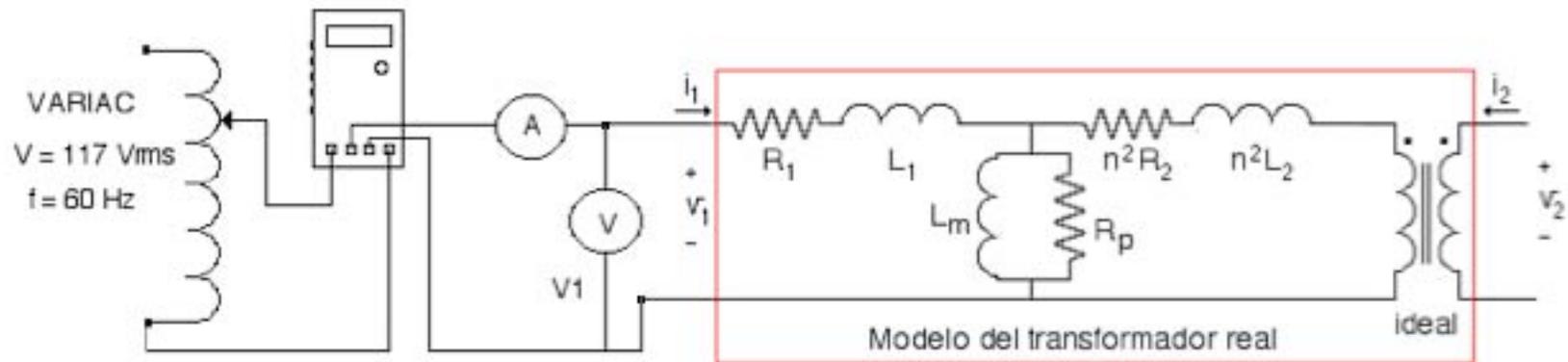
$$Z_1 = |Z_1| \cos \theta + j|Z_1| \sin \theta$$

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

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

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

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 CORTOCIRCUITO

* 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 .

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

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

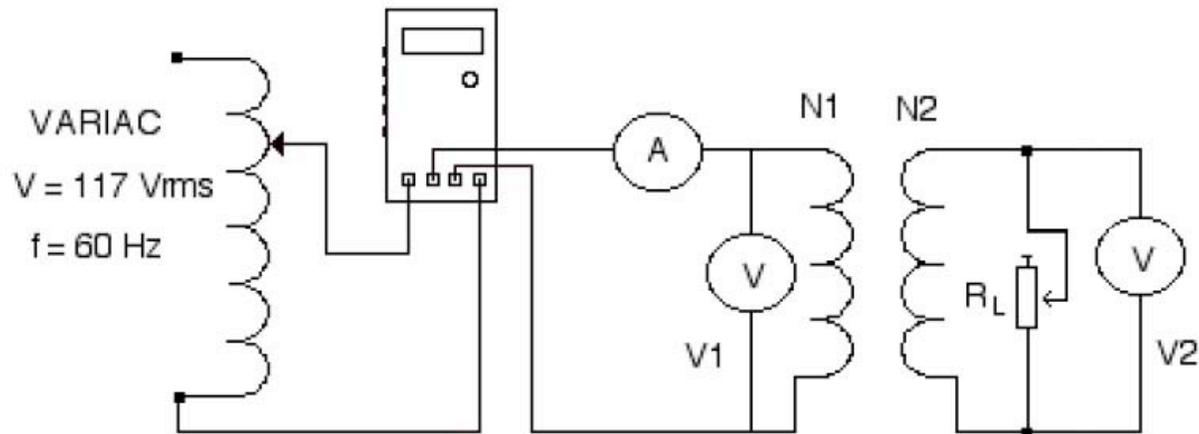
$$Ip = \frac{V_{10C}}{Rp}$$

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

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

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

PROCEDIMIENTO PARA REALIZAR LA PRUEBA 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 η 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° 8

Conocimiento del vatímetro digital 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	30 minutos
Realización de las pruebas de circuito abierto	30 minutos
Realización de las pruebas de carga	30 minutos