

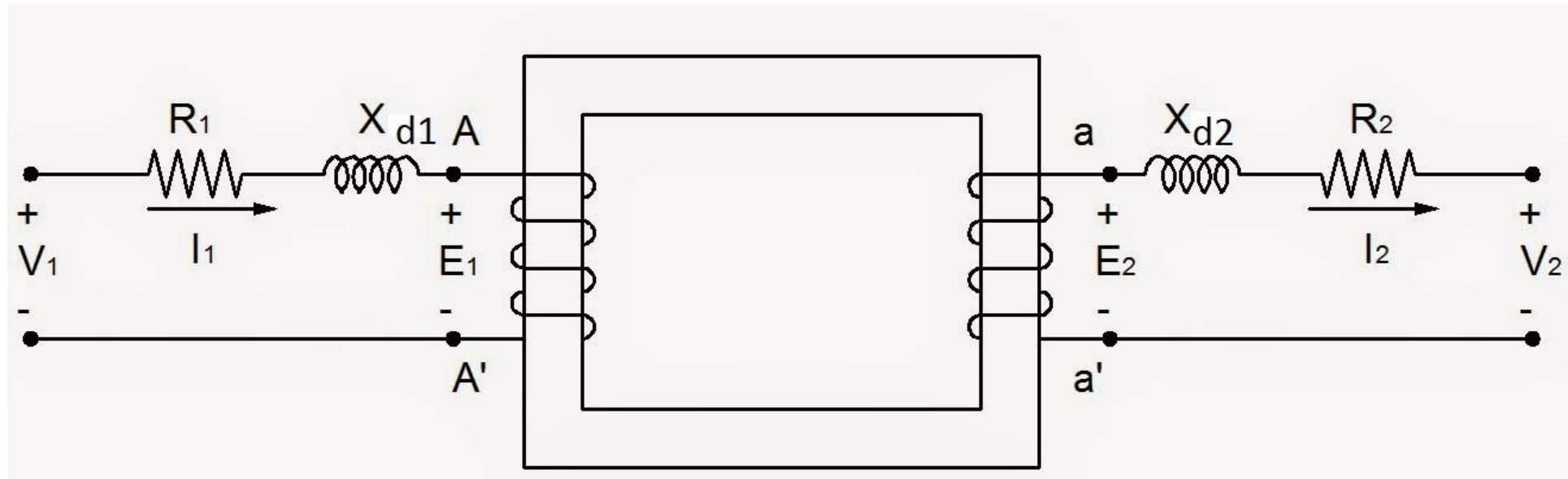
MÁQUINAS ELÉCTRICAS

T.U.M.I. 2020

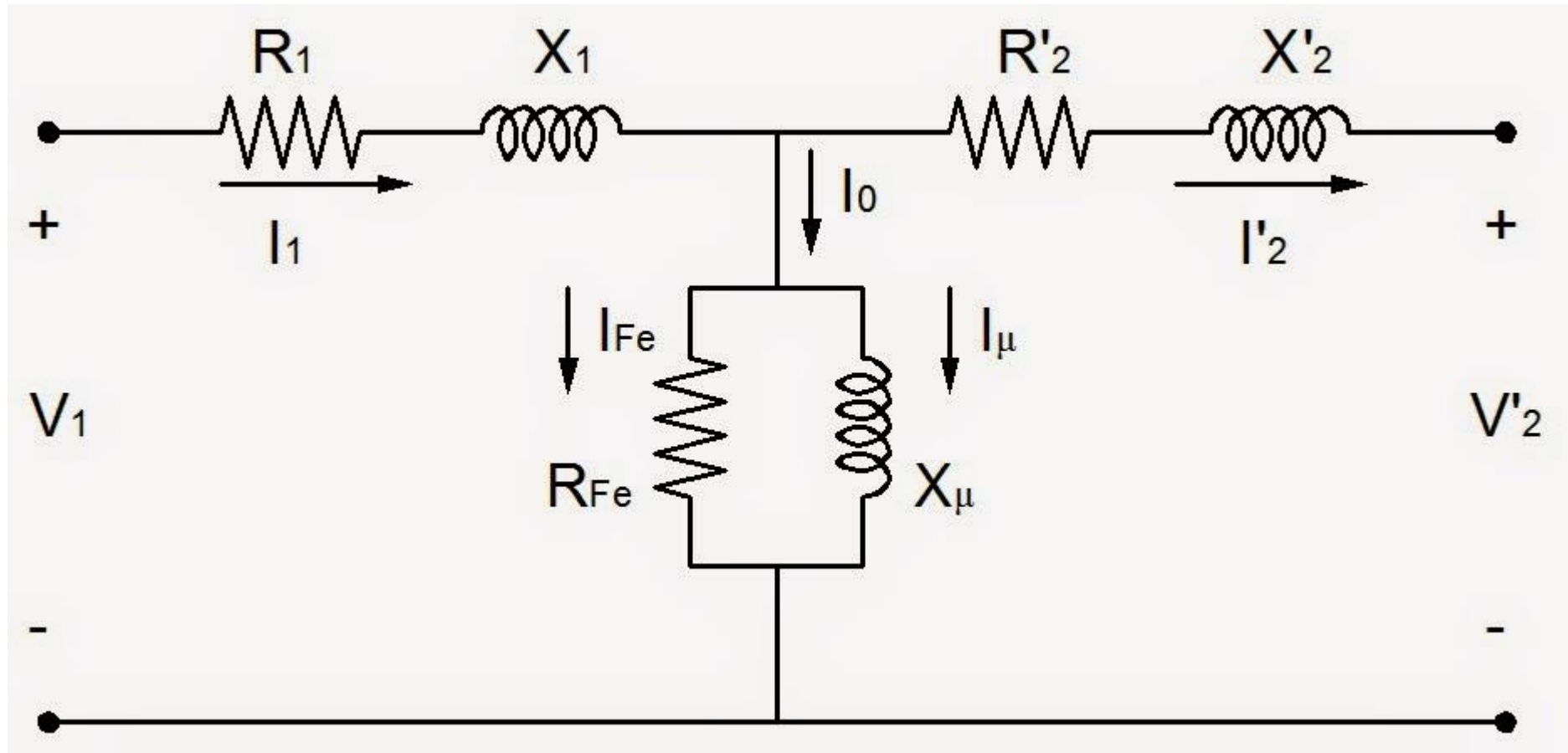
CRISTALDO JAVIER



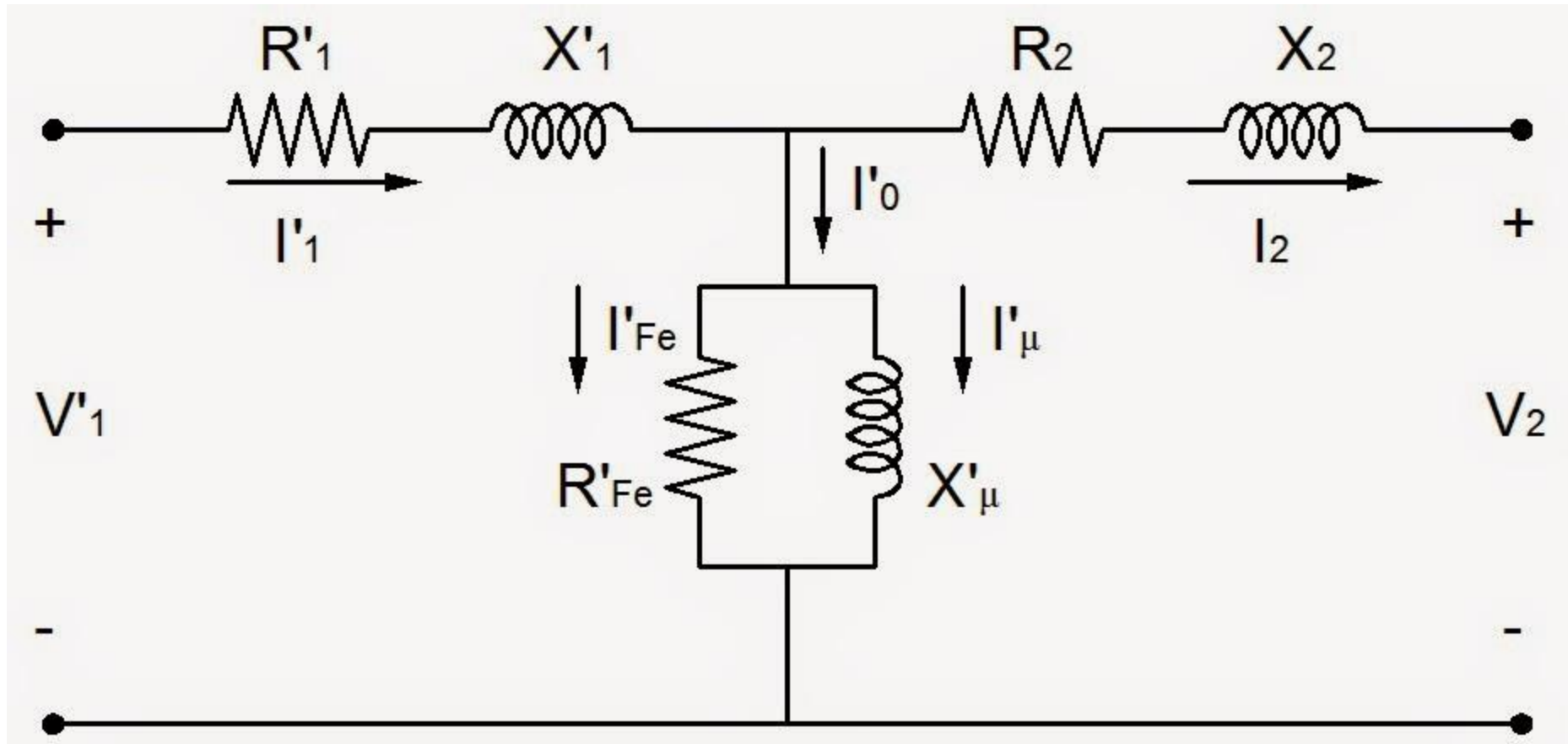
Circuito real transformador



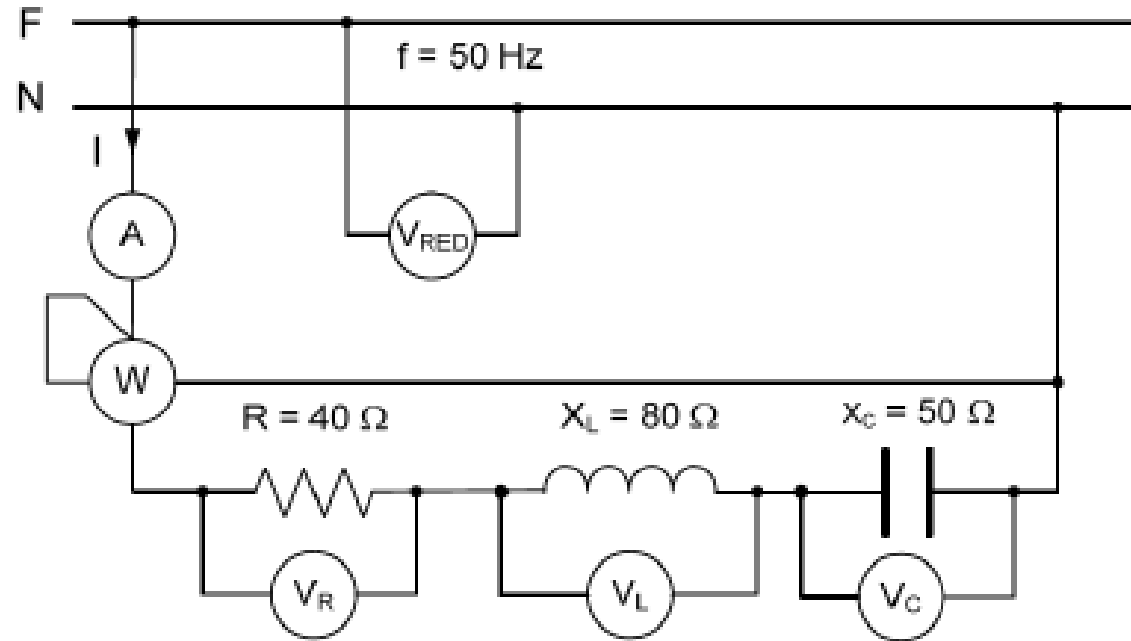
Circuito equivalente reducido al primario



Circuito equivalente reducido al secundario



EJEMPLO 1



En el circuito anterior, la lectura del voltímetro $V_{RED} = 230 \text{ V}$.

Determinar:

- Valor de la lectura del amperímetro.
- Valor de la lectura de cada uno de los voltímetros: $V_R - V_L - V_C$.
- Obtener la tensión de red como suma fasorial de las tensiones: $V_R - V_L - V_C$. Y posteriormente el ángulo formado por los fasores ($V_{RED} - I$).
- Valor de la lectura del vatímetro.

EJEMPLO 1

a) Valor de la lectura del amperímetro

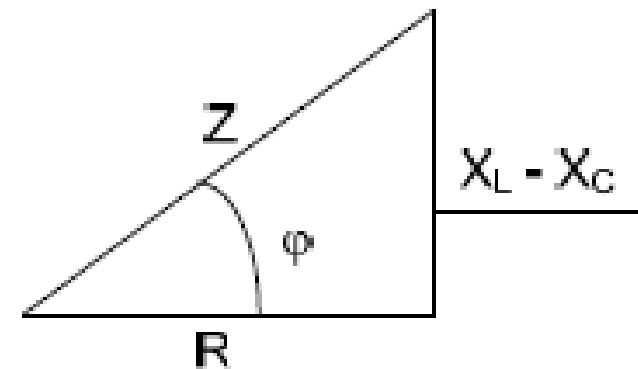
La lectura del amperímetro es el valor de la intensidad (I) en el circuito. La cual se obtiene al dividir el valor de tensión de red (V_{RED}) entre el valor (Z) de la impedancia del circuito.

El valor de la impedancia del circuito (Z), se obtiene al extraer la raíz cuadrada de la suma de los cuadrados de la resistencia (R) y de la diferencia de las reactancias ($X_L - X_C$).

$$Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2} = \sqrt{40^2 + (80 - 50)^2} = 50 \Omega$$

Por lo tanto la lectura del amperímetro tiene un valor de:

$$I = \frac{V}{Z} = \frac{230}{50} = 4,6 \text{ A}$$



EJEMPLO 1

Las lecturas de los voltímetros ($V_R - V_L - V_C$) nos determinan el valor de la tensión en bornes de cada elemento respectivo (resistencia, inductancia y condensador). Y se obtiene el multiplicar los valores respectivos ($R; X_L; X_C$), por el valor de la lectura del amperímetro, intensidad (I).

Lectura de V_R :

$$V_R = R \cdot I = 40 \cdot 4,6 = 184 \text{ V}$$

Lectura de V_L :

$$V_L = X_L \cdot I = 80 \cdot 4,6 = 368 \text{ V}$$

NOTA: Obsérvese que el valor de la tensión en bornes de la inductancia (368 V) es superior al valor de la tensión aplicada a los extremos de todo el circuito ($V_{RED} = 230 \text{ V}$).

Lectura de V_C :

$$V_C = X_C \cdot I = 50 \cdot 4,6 = 230 \text{ V}$$

EJEMPLO 1

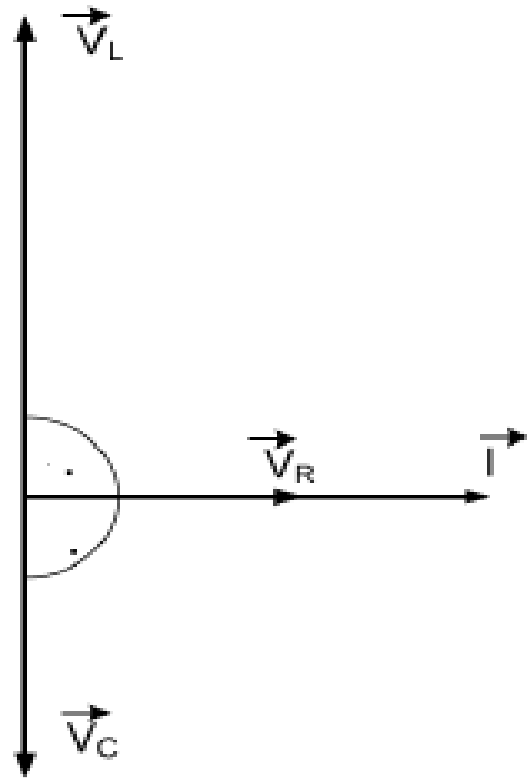
c) Obtener la tensión de red como suma de las tensiones: $V_R - V_L - V_C$ y posteriormente el ángulo formado por los fasores ($V_{RED} - I$)

Para proceder a la suma, primeramente representaremos los fasores que determinan las tensiones ($V_R - V_L - V_C$), en bornes de cada elemento respectivo (resistencia, inductancia y condensador).

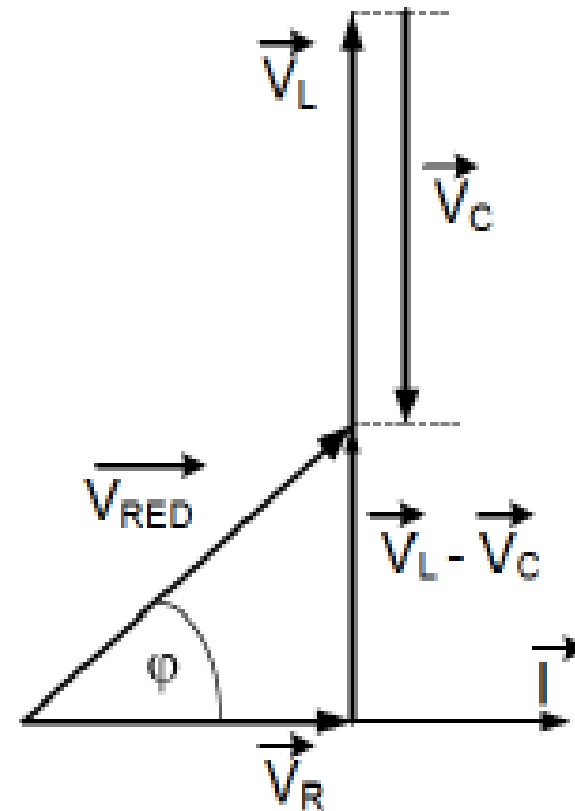
Dado que es un circuito serie, tomaremos como origen de fasores el fador intensidad (I), ya que esta magnitud tiene el mismo valor para todos los elementos que integran un circuito serie. El fador que representa la tensión (V_R) en bornes de la resistencia (R) va en fase con el fador intensidad, el fador que representa la tensión (V_L) en bornes de la inductancia (L) va en adelanto 90 grados respecto al fador intensidad, el fador que representa la tensión (V_C) en bornes del condensador (C) va en retraso 90 grados respecto al fador intensidad. Con lo cual obtenemos el siguiente diagrama fasorial (vectorial).

EJEMPLO 1

Dado que es un circuito serie el fasor, que representa la tensión de red (V_{RED}), se obtiene como suma vectorial de los fasores (V_R ; V_L ; V_C).



$$\vec{V}_{RED} = \vec{V}_R + (\vec{V}_L - \vec{V}_C)$$



EJEMPLO 1

El valor de la tensión de red, viene dado por la expresión:

$$V_{\text{RED}} = \sqrt{V_{\text{R}}^2 + (V_{\text{L}} - V_{\text{C}})^2} = \sqrt{184^2 + (368 - 230)^2} = \sqrt{184^2 + 138^2} = 230 \text{ V}$$

El ángulo formado por los fasores tensión de red e intensidad es (φ). De la figura anterior obtenemos:

$$\text{tg } \varphi = \frac{V_{\text{L}} - V_{\text{C}}}{V_{\text{R}}} = \frac{368 - 230}{184} = \frac{138}{184} = 0,75 \Rightarrow \varphi = 36,8699^\circ$$

EJEMPLO 1

d) Valor de la lectura del vatímetro

La lectura del vatímetro representa la potencia activa (P) consumida por el circuito. La cual se obtiene como producto de la resistencia (R) por el cuadrado de la intensidad (I).

$$P = R \cdot I^2 = 40 \cdot 4,6^2 = 846,4 \text{ W}$$

La potencia activa también se obtiene como producto de la tensión de red (V_{RED}) por la intensidad (I) y por el $\cos \varphi$ ($\varphi = 36,8699^\circ$, por lo tanto $\cos \varphi = 0,8$). Por lo tanto:

$$P = V_{\text{RED}} \cdot I \cdot \cos \varphi = 230 \cdot 4,6 \cdot 0,80 = 846,4 \text{ W}$$

NOTA: Como observamos idéntico valor al calculado anteriormente.

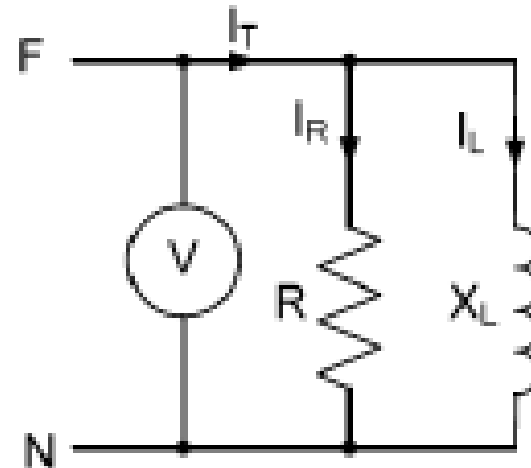
EJEMPLO 2

En un circuito paralelo (RL), el valor de la resistencia es (R) y el valor de la reactancia inductiva es (X_L). Siendo (V) la tensión, desconocida, aplicada a los extremos del mismo. Determinar:

- Esquema de conexión del circuito.
- Diagrama fasorial (V - I) de tensión e intensidades.

Resolución

- Esquema de conexión del circuito



EJEMPLO 2

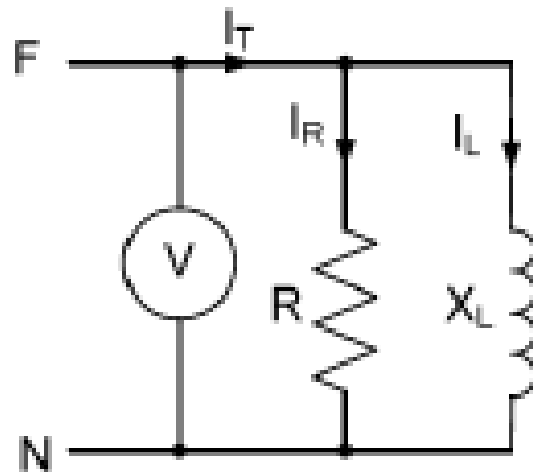
b) Diagrama fasorial (V-I) de tensión e intensidades

Al ser un circuito en paralelo, tomaremos sobre el origen de fasores, el fasor tensión (V) que representa la tensión. Ya que todos los receptores están sometidos a la misma tensión.

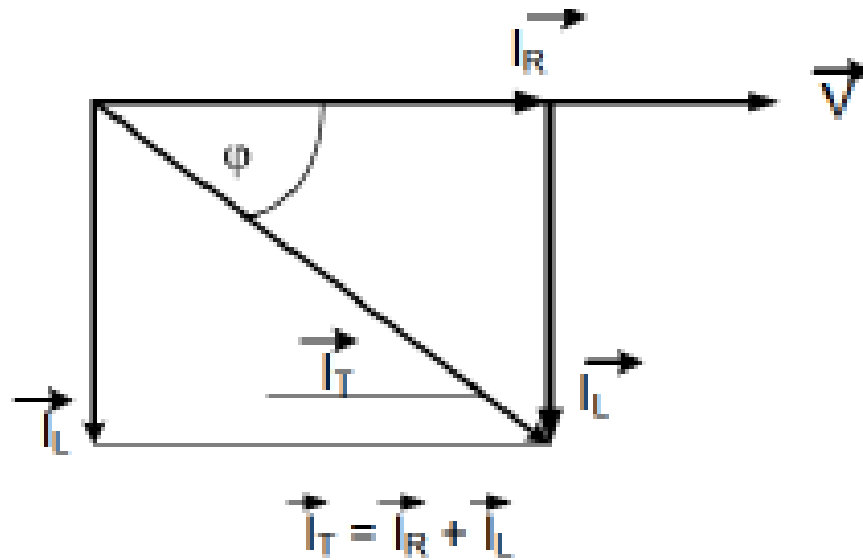
El fasor que representa la intensidad (I_R) en la resistencia (R), va en fase con el fasor tensión.

El fasor que representa la intensidad (I_L) en la inductancia forma un ángulo de 90° , en retraso, con respecto al fasor tensión (V).

El fasor que representa la intensidad total (I_T) consumida por el circuito, se obtiene como suma vectorial de los fasores (vectores) que representan las intensidades consumidas por la resistencia y por la reactancia. Dicha intensidad total forma un ángulo (φ) con el fasor tensión.



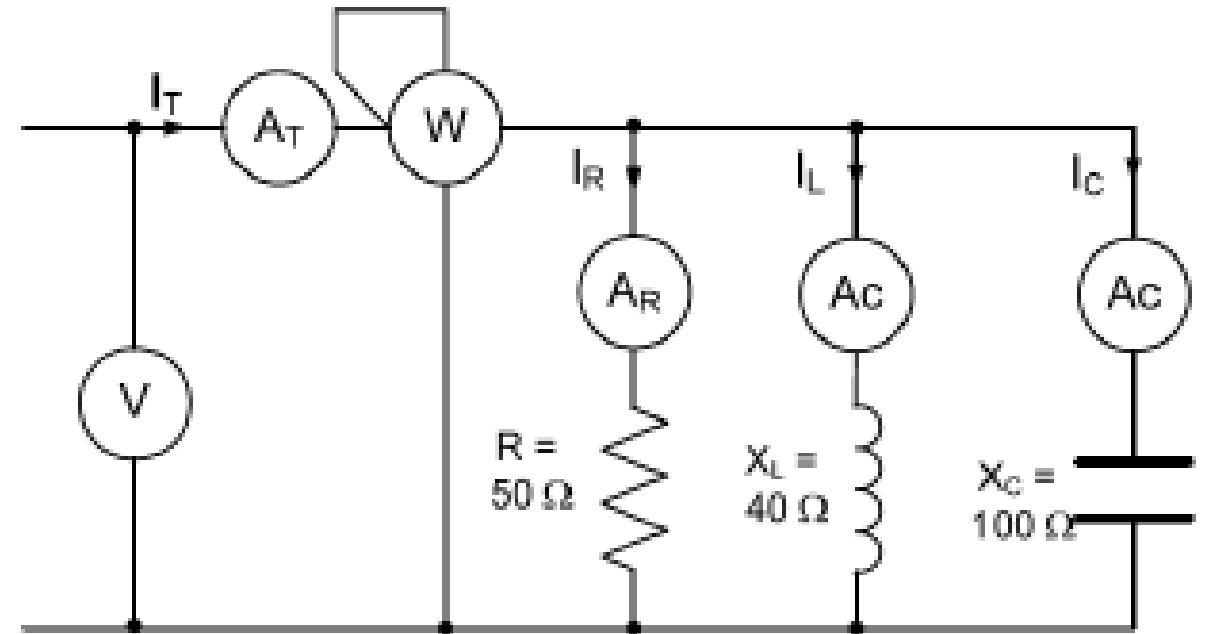
EJEMPLO 2



El valor de la intensidad total (I_T), se obtiene al extraer la raíz cuadrada de la suma de los cuadrados de las intensidades (I_R) e (I_L).

$$I_T = \sqrt{I_R^2 + I_L^2}$$

EJEMPLO 3



La lectura del voltímetro es 200 V. Determinar:

- Valor de la intensidad en cada rama del circuito.
- Diagrama fasorial (V-I), tensión e intensidades del circuito.
- Valor de la lectura de los cuatro amperímetros.
- Valor de la lectura del vatímetro.
- Valor de las potencias reactiva y aparente del circuito.
- Transformar el circuito dado en su equivalente serie (RL) o (RC), según corresponda.

EJEMPLO 3

a) Valor de la intensidad en cada rama del circuito

El valor de la intensidad (I_R), en la resistencia (R), se obtiene al dividir el valor de la tensión (V) entre el valor de la resistencia (R).

$$I_R = \frac{V}{R} = \frac{200}{50} = 4 \text{ A}$$

El valor de la intensidad (I_L), en la reactancia (X_L), se obtiene al dividir el valor de la tensión (V) entre el valor de la reactancia (X_L).

$$I_L = \frac{V}{X_L} = \frac{200}{40} = 5 \text{ A}$$

El valor de la intensidad (I_C), en la reactancia (X_C) se obtiene al dividir el valor de la tensión (V) entre el valor de la reactancia (X_C).

$$I_C = \frac{V}{X_C} = \frac{200}{100} = 2 \text{ A}$$

NOTA: Dado que (I_L) es mayor que (I_C) el circuito es inductivo. Lo que ya sabemos por los datos del enunciado, dado que (X_L) es menor que (X_C).

EJEMPLO 3

b) Diagrama fasorial (V-I), tensión e intensidades del circuito

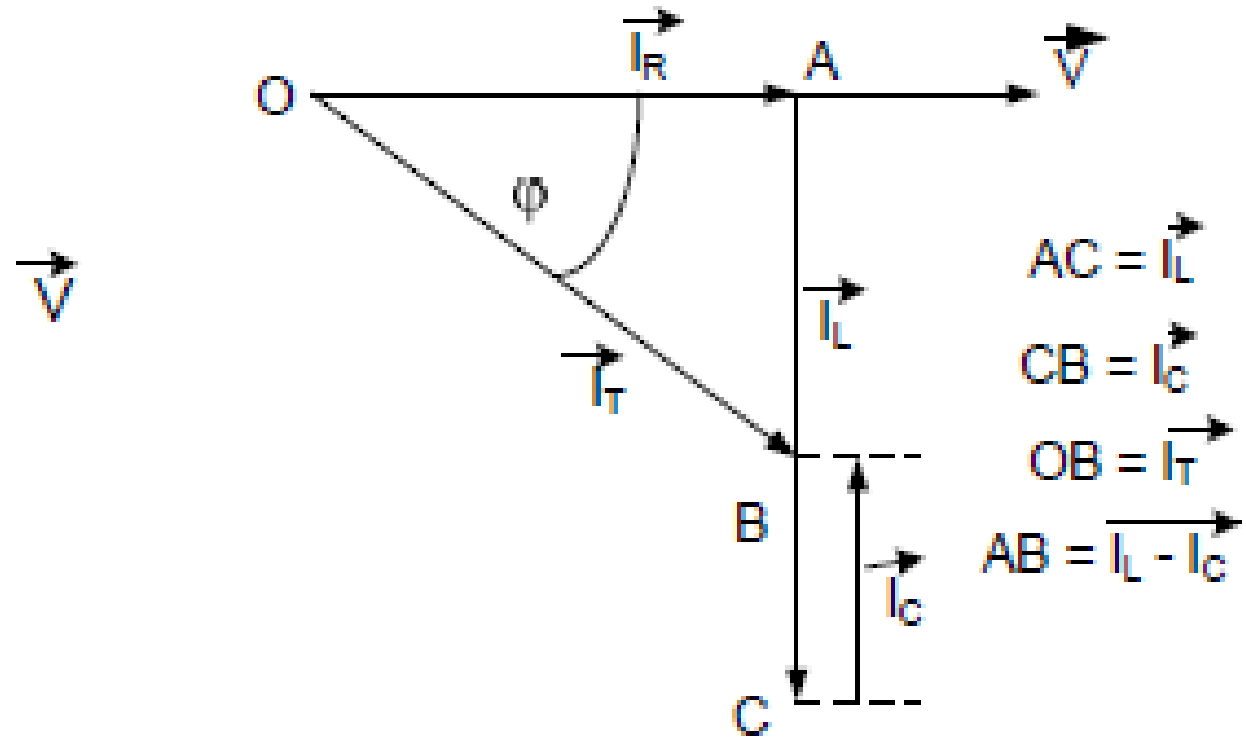
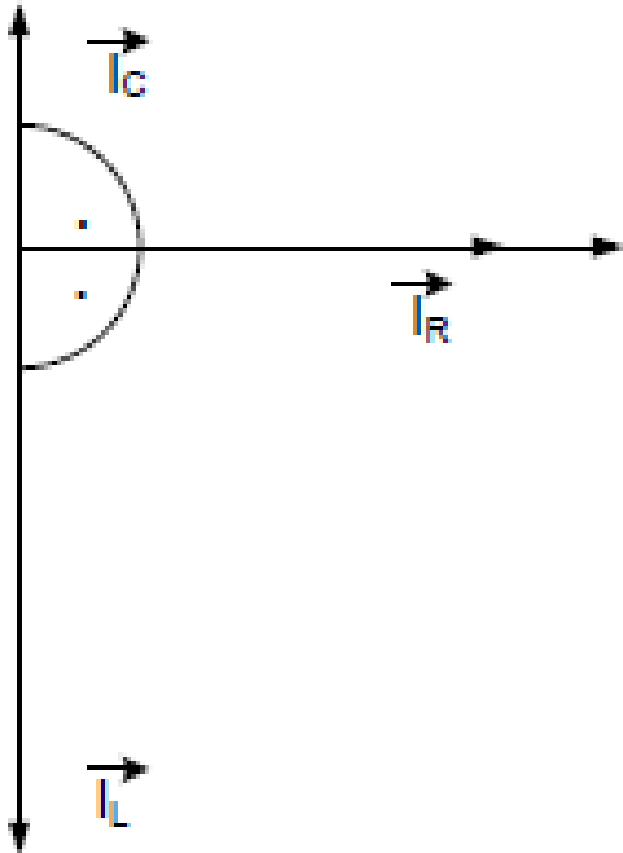
Al ser un circuito en paralelo tomaremos sobre el origen de fasores, el fasor tensión (V) que representa la tensión, ya que todos los receptores están sometidos a la misma tensión.

El fasor que representa la intensidad (I_R) en la resistencia (R), va en fase con el fasor tensión. El fasor que representa la intensidad (I_L), en la reactancia inductiva, forma un ángulo de 90° en retraso, respecto al fasor tensión (V). El fasor que representa la intensidad (I_C), en la reactancia capacitiva, forma un ángulo de 90° en adelanto, con respecto al fasor tensión (V).

La suma de los fasores (I_R) más (I_L) más (I_C), nos el fasor (I_T) intensidad total en el circuito. El cual forma un ángulo (ϕ) con respecto al fasor tensión (V).

EJEMPLO 3

$$\vec{I}_T = \vec{I}_R + \vec{I}_L + \vec{I}_C$$



EJEMPLO 3

c) Valor de la lectura de los cuatro amperímetros

La lectura del amperímetro (A_R) es la intensidad (I_R) = 4 A.

La lectura del amperímetro (A_L) es la intensidad (I_L) = 5 A.

La lectura del amperímetro (A_C) es la intensidad (I_C) = 2 A.

La lectura del amperímetro (A_T) es la intensidad total (I_T), consumida por el circuito. Del triángulo OAB, anterior, obtenemos el valor de la intensidad total (I_T).

$$I_T = \sqrt{I_R^2 + (I_L - I_C)^2} = \sqrt{4^2 + (5 - 2)^2} = 5 \text{ A} \Rightarrow \text{Lectura de } A_T = 5 \text{ A}$$

d) Valor de la lectura del vatímetro

La lectura del vatímetro (W) es la potencia activa (P) consumida por el circuito. Y dado que hay una sola resistencia pura (R), el valor de la potencia activa se obtiene como producto del valor de (R), por el cuadrado del valor de (I_R).

$$P = R \cdot I_R^2 = 50 \cdot 4^2 = 800 \text{ W}$$

EJEMPLO 3

e) Valor de las potencias reactiva y aparente del circuito

El valor de la potencia reactiva (Q) se obtiene como diferencia entre la potencia reactiva (Q_L) de la reactancia inductiva, y la potencia reactiva (Q_C) de la reactancia capacitiva.

$$Q = Q_L - Q_C = (X_L \cdot I_L^2) - (X_C \cdot I_C^2) = (40 \cdot 5^2) - (100 \cdot 2^2) = 600 \text{ VAR}$$

NOTA: Si la potencia reactiva del condensador se pone con signo menos, ya que es debida a elementos capacitivos, $Q_C = - (X_C \cdot I_C^2)$. Entonces será suma algebraica ($Q = Q_L + Q_C$).

También la potencia reactiva (Q) se obtiene como producto del valor de la tensión (V) por el valor de la intensidad reactiva (I_r), siendo: $I_r = I_L - I_C$. Por lo tanto:

$$Q = V \cdot I_r = V \cdot (I_L - I_C) = 200 \cdot (5 - 2) = 200 \cdot 3 = 600 \text{ VAR}$$

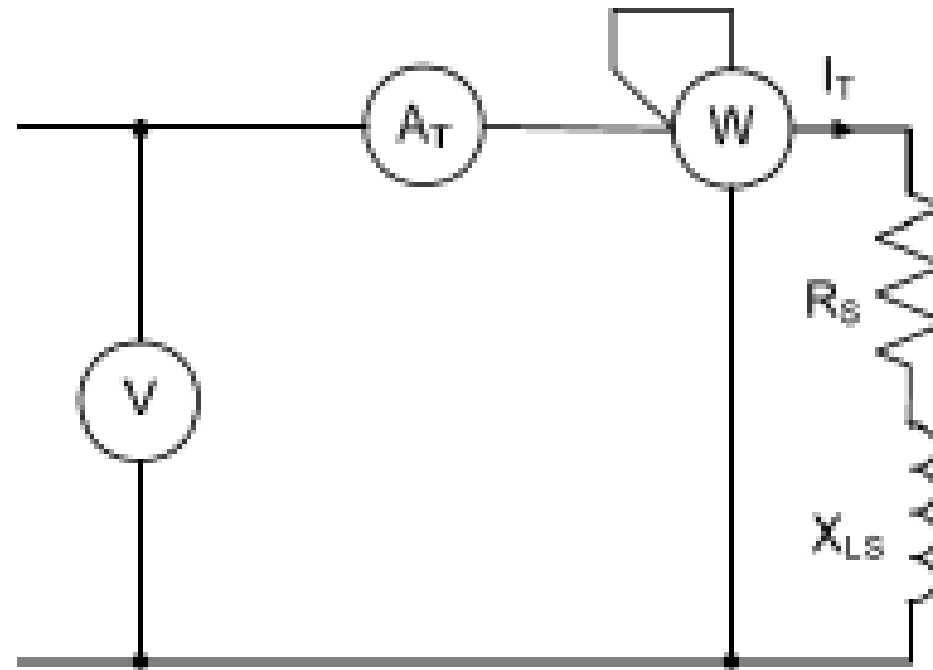
El valor de la potencia aparente (S) se obtiene como producto del valor de la tensión (V) por el valor de la intensidad total (I_T).

$$S = V \cdot I_T = 200 \cdot 5 = 1.000 \text{ VA}$$

EJEMPLO 3

f) Transformar el circuito dado en su equivalente serie (RL) o (RC), según corresponda

Como hemos comprobado, en el apartado (a), el circuito del enunciado se trata de un circuito inductivo. Por lo que el circuito serie, equivalente al dado, será un circuito (RL). Llamaremos (R_s) al valor de la resistencia y (X_{Ls}) al valor de la reactancia.



EJEMPLO 3

Al ser equivalente al circuito dado, el nuevo circuito consumirá el mismo valor de intensidad (I_T), que el circuito en paralelo.

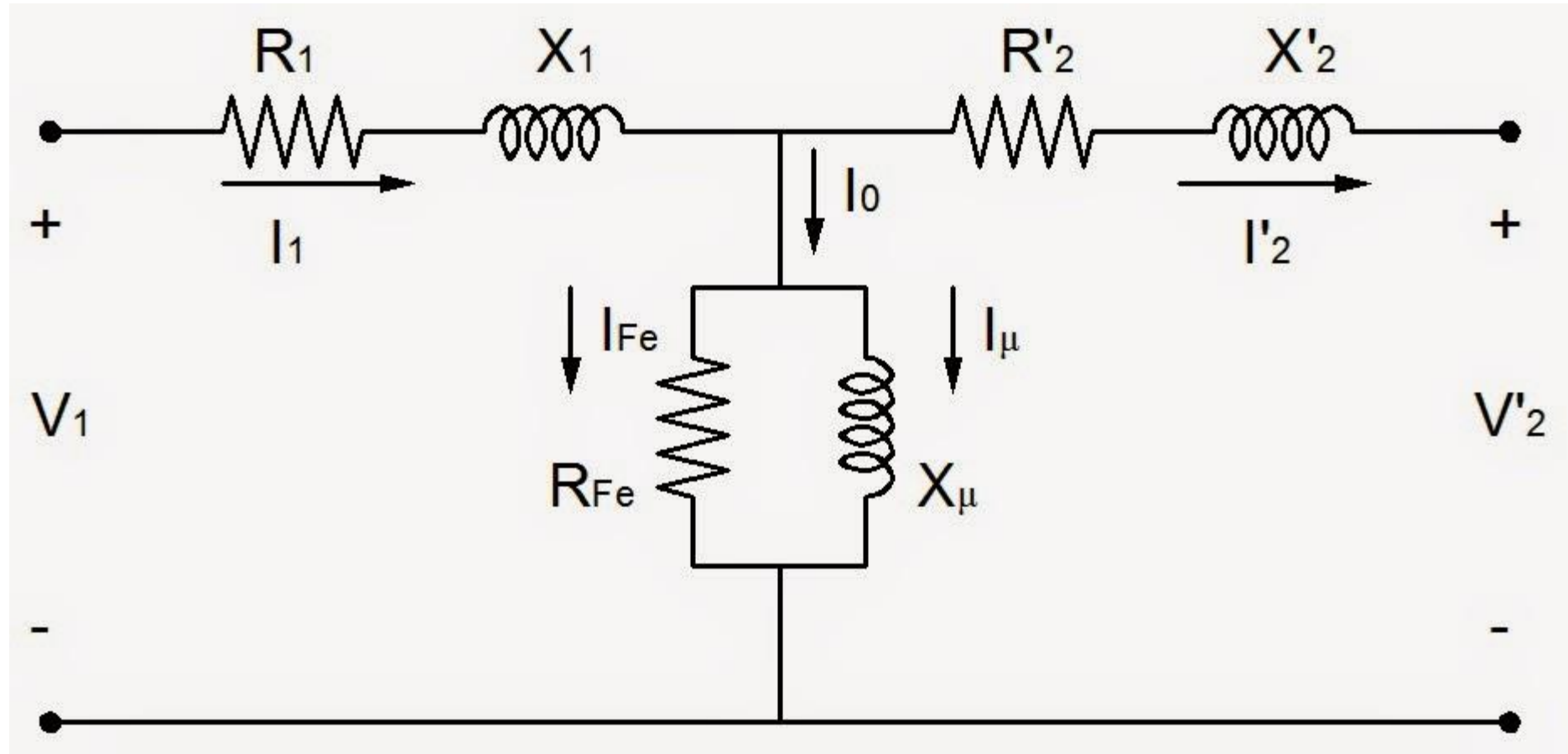
El valor de la resistencia (R_s) se obtiene al dividir el valor de la potencia activa (P) entre el cuadrado de la intensidad total (I_T).

$$R_s = \frac{P}{I_T^2} = \frac{800}{5^2} = 32 \Omega$$

El valor de la reactancia (X_{LS}) se obtiene al dividir el valor de la potencia reactiva (Q) entre el cuadrado de la intensidad total (I_T).

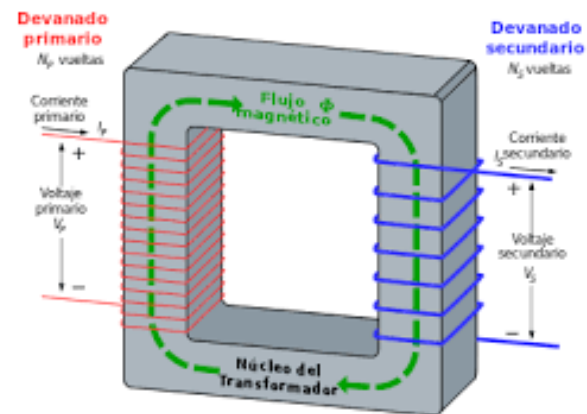
$$X_{LS} = \frac{Q}{I_T^2} = \frac{600}{5^2} = 24 \Omega$$

ENSAYOS DE TRANSFORMADORES



ENSAYOS DE TRANSFORMADORES

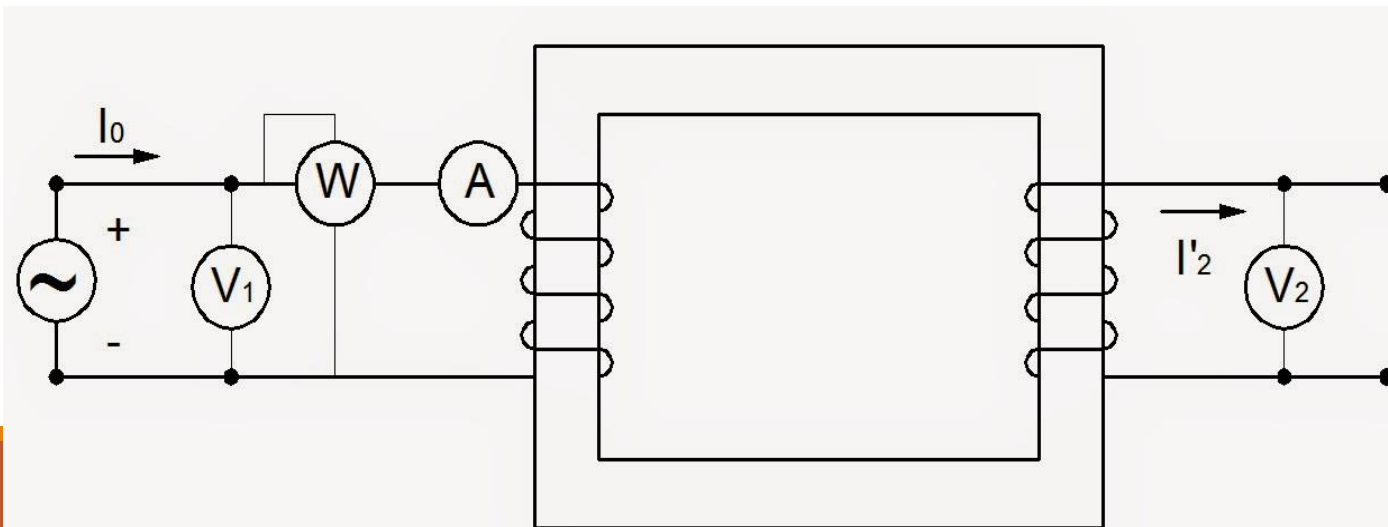
- La **determinación de los parámetros del circuito equivalente del transformador** se obtienen con unos ensayos bastante simples que requieren un consumo de energía relativamente bajo ya que se realizan sin carga real.
- Los ensayos fundamentales que se utilizan en la práctica para determinar los parámetros del circuito equivalente del transformador son dos: **el ensayo de vacío y el ensayo de cortocircuito**.



Ensayo de vacío

En el ensayo de vacío se aplica la tensión nominal en el lado de baja tensión del transformador mientras que el lado de alta tensión queda en circuito abierto

El ensayo de vacío del transformador permite obtener las pérdidas en el hierro, P_{Fe} , los parámetros de la rama paralelo del circuito equivalente, R_{Fe} y X_{μ} , y la relación de transformación, m .



Ensayo de vacío

Las **medidas que se deben realizar** son la tensión aplicada al primario, $V10$, que deberá coincidir con la tensión nominal del devanado de baja tensión, la potencia activa absorbida por el transformador en vacío, P_0 , la corriente de vacío, I_0 y la tensión del secundario en vacío $V20$.

En el ensayo de vacío, la potencia de pérdidas

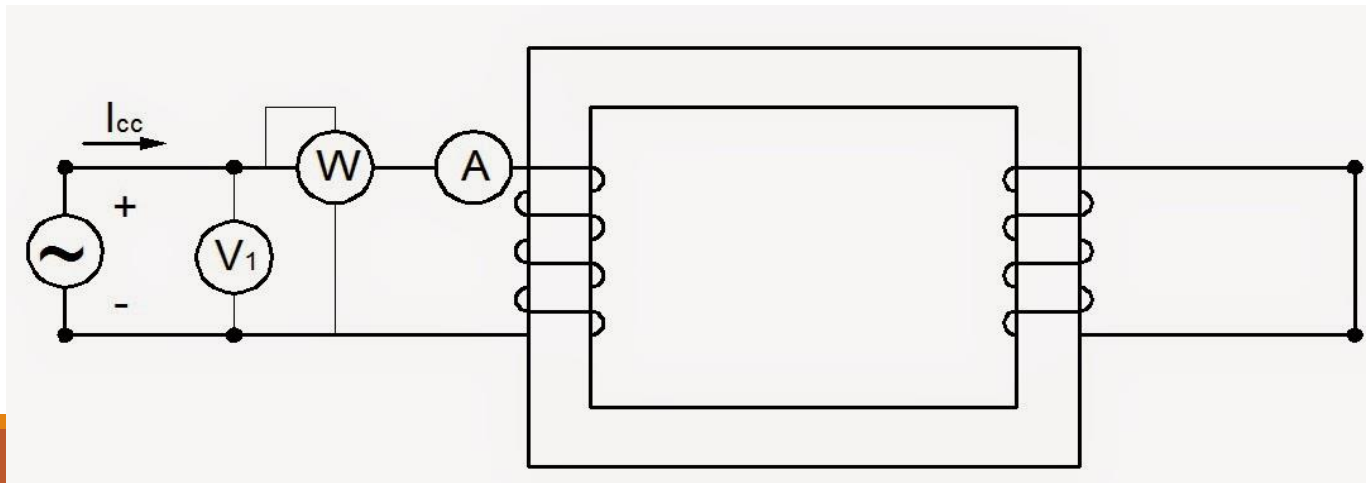
$$P_p = R_1 \cdot I_0$$

es despreciable ya que el valor de la resistencia del devanado, R_1 y la corriente de vacío, I_0 , son muy pequeños.

Ensayo de cortocircuito

El ensayo de cortocircuito se realiza a **tensión reducida alimentando el transformador por el lado de alta tensión hasta que circule la corriente nominal por ellos. Los devanados de baja tensión se cortocircuitan en este ensayo.**

El **ensayo de cortocircuito del transformador** permite obtener los parámetros de la rama serie del circuito equivalente del transformador, R_1 , R_2 , X_1 y X_2



Determinación de la polaridad de los terminales secundarios respecto a los terminales de primario

