

# Introducción a Electrotecnia

## UNCuyo 2019

### Unidad 5

Profesor Adjunto: Ing Marcos Saromé



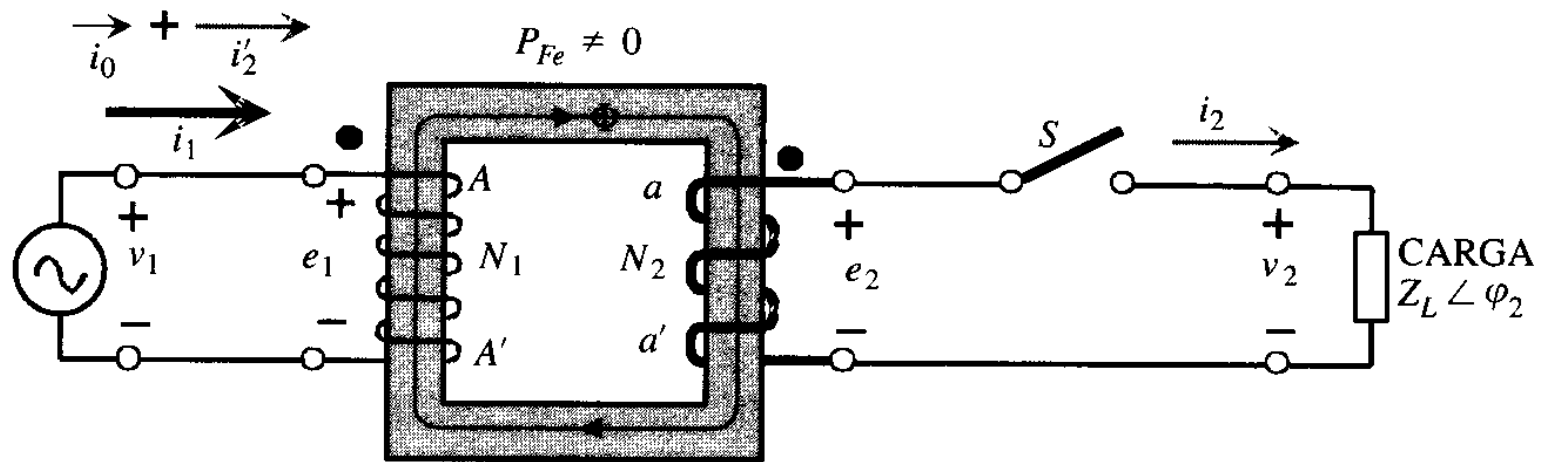
**UNCUYO**  
UNIVERSIDAD  
NACIONAL DE CUYO

# Temas

## Unidad Temática 5: Transformadores y Líneas de Transmisión

**Principio de Funcionamiento.** Transformador ideal. Ecuaciones de tensiones, relación de transformación. Reducción de magnitudes. Transformador real. Flujos dispersos y mutuos. Ecuaciones de tensiones y corrientes. Circuito equivalente exacto y aproximaciones. Diagramas fasoriales. Rendimiento. Descripción de transformadores trifásicos. **Ensayos directos e indirectos. Líneas de Transmisión.**

# Bornes Homólogos



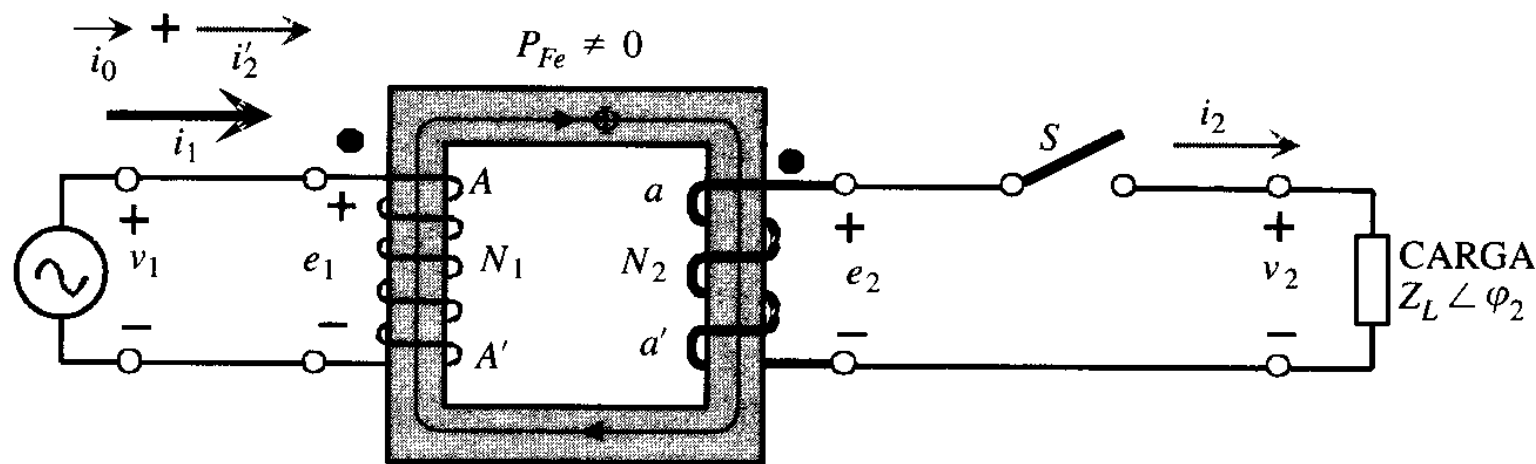
# Transformador Ideal

- Los devanados primarios y secundarios tienen resistencias óhmicas despreciables
- No existen flujos de Dispersión
- Nota: Estas definiciones, surgen del planto del libro Máquinas Eléctricas de Fraile Mora, en Máquinas eléctricas de chapman no considera tampoco las pérdidas en el núcleo y desprecia la corriente magnetizante por ser la reluctancia muy pequeña.

# Principio de Funcionamiento de Un transformador Ideal

- Ley de Ampere
- Ley de Faraday Lenz

$$e_1 = N_1 \frac{d\Phi}{dt} \quad ; \quad e_2 = N_2 \frac{d\Phi}{dt}$$

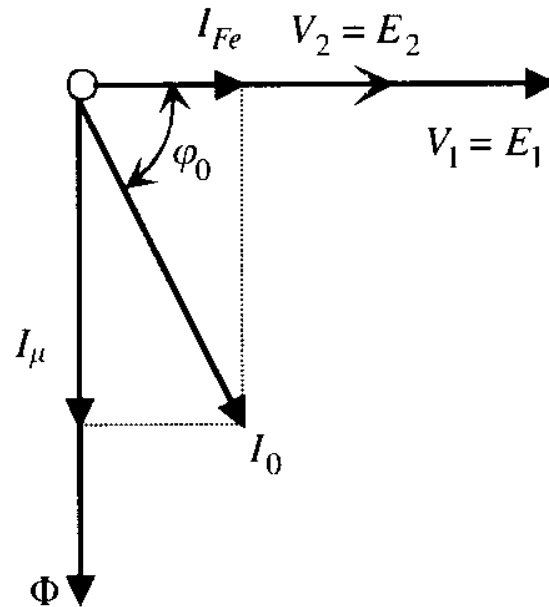


$$\Phi = \Phi_m \sin \omega t = \Phi_m \cos (\omega t - 90^\circ)$$

$$v_1 = e_1 = N_1 \omega \Phi_m \cos \omega t \quad ; \quad e_2 = v_2 = N_2 \omega \Phi_m \cos \omega t$$

# Principio de Funcionamiento de Un transformador Ideal

- Con el transformador en vacío. Aparece una corriente de magnetización  $I_0$ , que a su vez tiene dos componentes una activa  $I_{fe}$  y una reactiva  $I_\mu$



# Ppío de funcionamiento: Transformador en carga

- Al cerrar el Interruptor, el transformador funciona en carga
- La corriente  $i_2$  que circula por el bobinado secundario produce una fmm desmagnetizante.
- Para mantener el equilibrio de :  $v_1 = e_1 = N_1 \frac{d\Phi}{dt}$  ;  $e_2 = v_2 = N_2 \frac{d\Phi}{dt}$
- Debe aparecer una corriente adicional  $i_2'$  con una fmm equivalente.

$$\mathbf{I}_2 = \frac{\mathbf{E}_2}{\mathbf{Z}_L} = \frac{E_2 \angle 0^\circ}{Z_L \angle \varphi_2} = \frac{E_2}{Z_L} \angle -\varphi_2$$

$$N_1 i_2' = N_2 i_2$$

$$i_2' = \frac{N_2}{N_1} i_2 = \frac{i_2}{m} \quad ; \quad m = \frac{N_1}{N_2}$$

# Ppío de Funcionamiento

La corriente primaria tiene dos componentes

- Una corriente de excitación o de vacío cuya misión es producir el flujo magnético y vencer las pérdidas en el entre hierro a través de sus componentes  $I_f$  e  $I_{fe}$  respectivamente.

$$I_1 = I_0 + I_2' = I_0 + \frac{I_2}{m}$$



# Ppío de funcionamiento: Transformador en carga

- Al cerrar el Interruptor, el transformador funciona en carga
- La corriente  $i_2$  que circula por el bobinado secundario produce una fmm desmagnetizante.
- Para mantener el equilibrio de :  $v_1 = e_1 = N_1 \frac{d\Phi}{dt}$  ;  $e_2 = v_2 = N_2 \frac{d\Phi}{dt}$
- Debe aparecer una corriente adicional  $i_2'$  con una fmm equivalente.

$$\mathbf{I}_2 = \frac{\mathbf{E}_2}{\mathbf{Z}_L} = \frac{E_2 \angle 0^\circ}{Z_L \angle \varphi_2} = \frac{E_2}{Z_L} \angle -\varphi_2$$

$$N_1 i_2' = N_2 i_2$$

$$i_2' = \frac{N_2}{N_1} i_2 = \frac{i_2}{m} \quad ; \quad m = \frac{N_1}{N_2}$$

# Otro enfoque

$$\mathcal{F} = N_1 \mathbf{I}_0$$

$$\mathcal{F} = N_1 \mathbf{I}_1 - N_2 \mathbf{I}_2$$

$$N_1 \mathbf{I}_0 = N_1 \mathbf{I}_1 - N_2 \mathbf{I}_2$$

$$\mathbf{I}_1 = \mathbf{I}_0 + \frac{N_2}{N_1} \mathbf{I}_2 = \mathbf{I}_0 + \frac{\mathbf{I}_2}{m} = \mathbf{I}_0 +$$

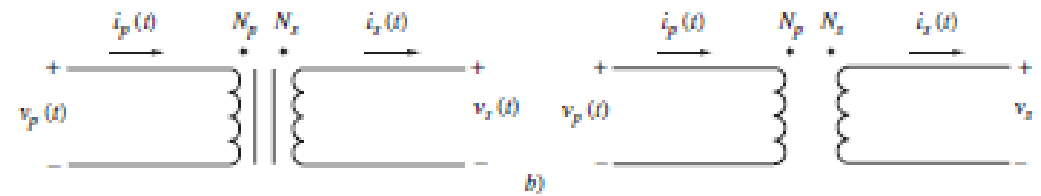
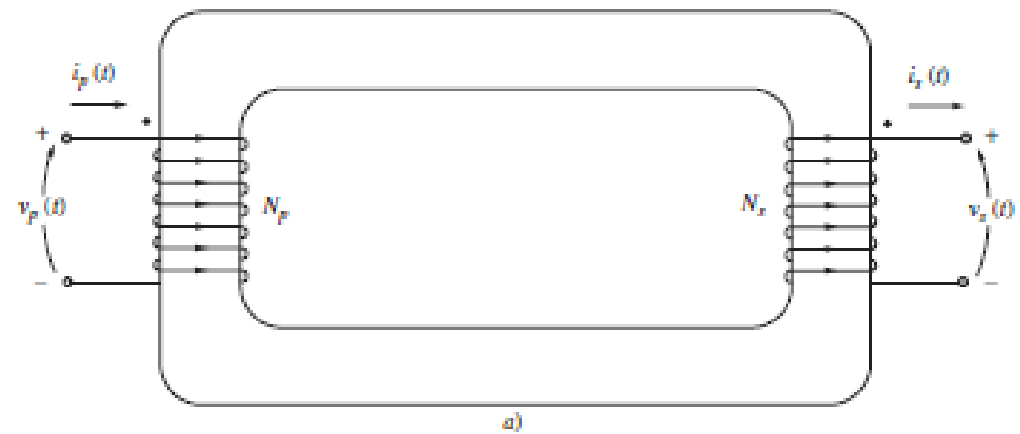
# Transformador Ideal según Chapman

- Un transformador ideal es un dispositivo sin pérdidas que tiene un devanado de entrada y un devanado
- de salida. Las relaciones entre el voltaje de entrada y el de salida, y entre la corriente de entrada y
- la de salida, se describen en dos sencillas ecuaciones.

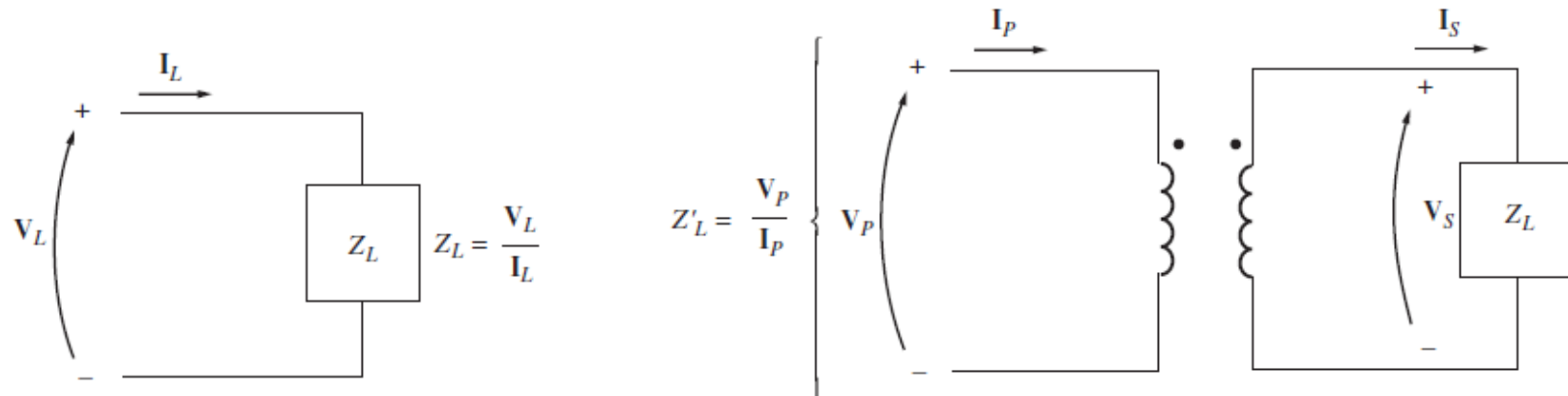
$$\frac{v_P(t)}{v_S(t)} = \frac{N_P}{N_S} = a$$

$$a = \frac{N_P}{N_S}$$

# Transformador Ideal



# Transformación de Impedancia de un transformador Ideal



# Ejemplo 1

- Se tiene un transformador de relación 220/24V. Alimentado por una tensión de 220V 50 hz
- Considerándolo como un transformador ideal, cual es la corriente del primario si se conecta una carga resistiva de 5 ohm en el secundario.
- ¿Que valor toma la impedancia si se refiere al circuito primario?

# Fenomenos no Considerados en un Transformador Ideal

# Circuito Equivalente Exacto de un Transformador



# Circuito Equivalente Aproximado

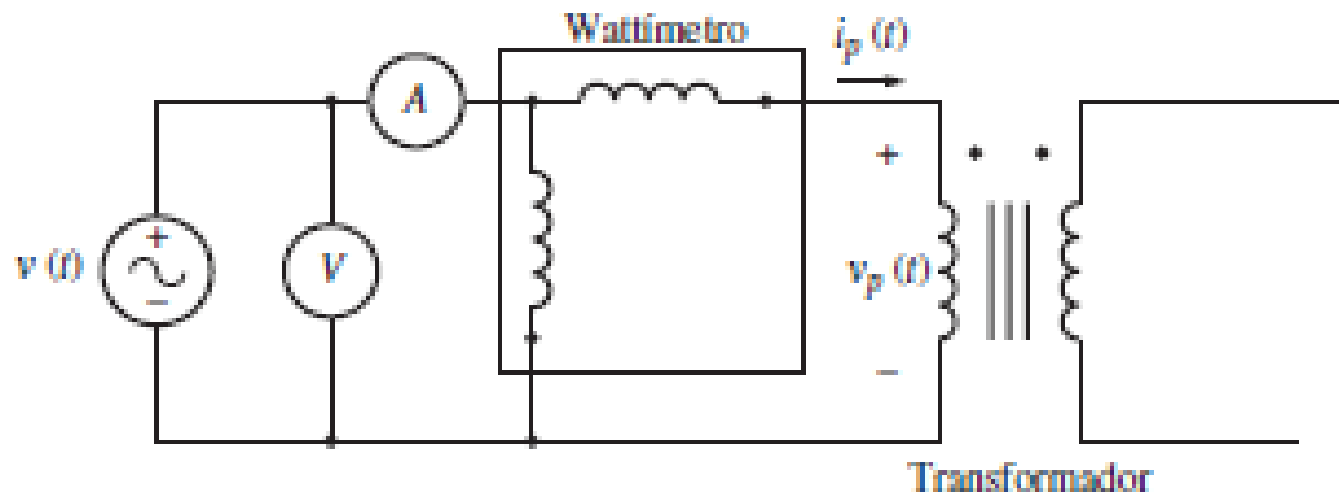
# Ensayos de Transformadores

- Ensayo de Cortocircuito
- Ensayo de Vacío

# Ensayo de Vacío

- En este ensayo es despreciable la caída de tensión en  $R_p$  y  $X_p$ , por ser mucho menor que  $R_N$  y  $X_N$
- Permite determinar  $R_N$  y  $X_N$

$$|Y_E| = \frac{I_{CAb}}{V_{CAb}}$$



$$FP = \cos \theta = \frac{P_{CAb}}{V_{CAb} I_{CAb}}$$

$$\theta = \cos^{-1} \frac{P_{CAb}}{V_{CAb} I_{CAb}}$$

$$Y_E = \frac{I_{CAb}}{V_{CAb}} \angle -\theta$$

$$Y_E = \frac{I_{CAb}}{V_{CAb}} \angle -\cos^{-1} FP$$

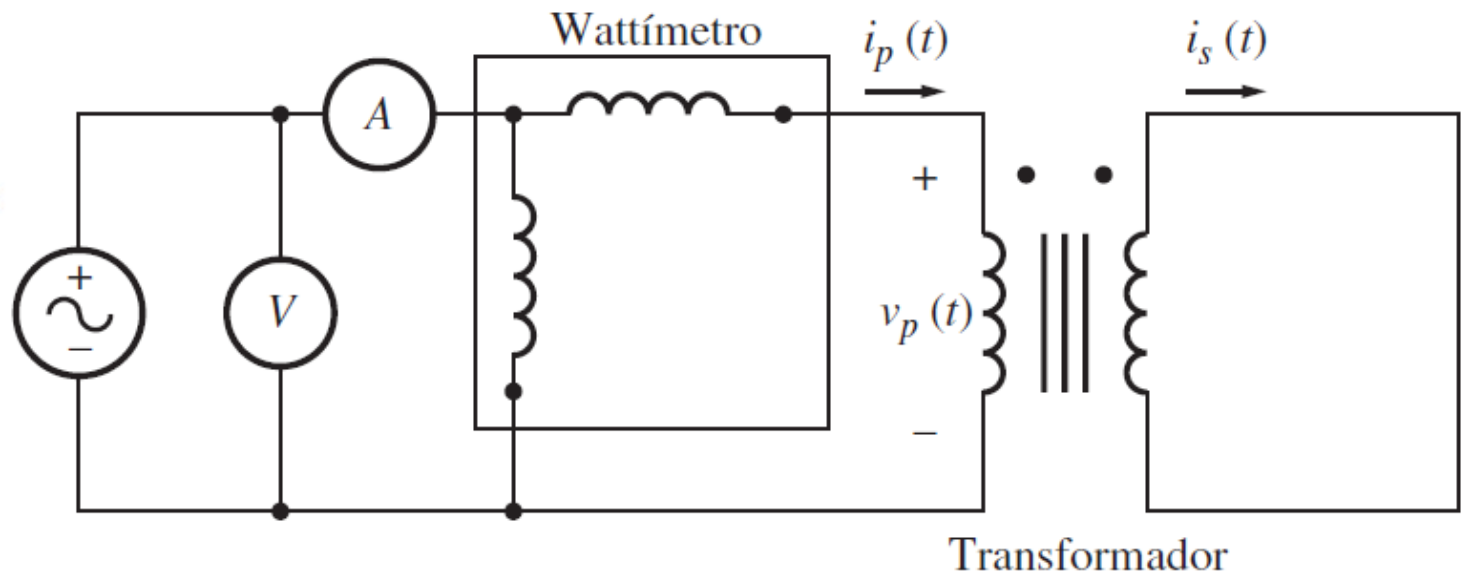
# Ensayo de Corto Circuito

- En este ensayo es despreciable se puede despreciar el efecto de la rama  $R_N$  y  $X_N$ , pues su corriente es mucho menor que  $I_p$
- Permite obtener  $R_{eqp}$  y  $X_{eqp}$

$$|Z_{SE}| = \frac{V_{CC}}{I_{CC}}$$

$$FP = \cos \theta = \frac{P_{CC}}{V_{CC} I_{CC}}$$

$$\theta = \cos^{-1} \frac{P_{CC}}{V_{CC} I_{CC}}$$



$$Z_{SE} = \frac{V_{CC} \angle 0^\circ}{I_{CC} \angle -\theta^\circ} = \frac{V_{CC}}{I_{CC}} \angle \theta^\circ$$

$$Z_{SE} = R_{eq} + jX_{eq}$$

$$Z_{SE} = (R_p + a^2 R_s) + j(X_p + a^2 X_s)$$

# Regulación de Voltaje en un Transformador

Se denomina así a la caída de tensión interna, respecto a la tensión secundaria en vacío, expresada en %

$$\varepsilon_c = \frac{V_{20} - V_2}{V_{20}} \cdot 100 \% *$$

- Si se trabaja referido al primario

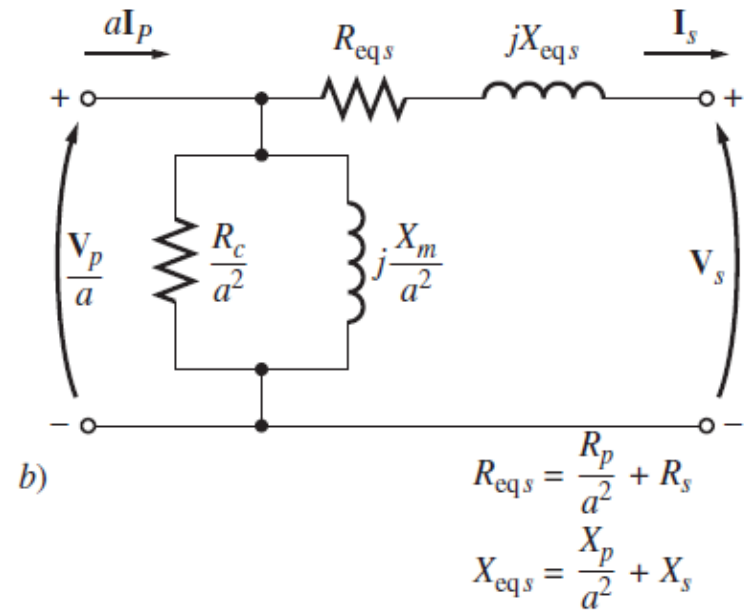
$$\varepsilon = \frac{V_{1n} - k V_2}{V_{1n}} * 100 \%$$

# Regulación del Voltaje en un Transformador

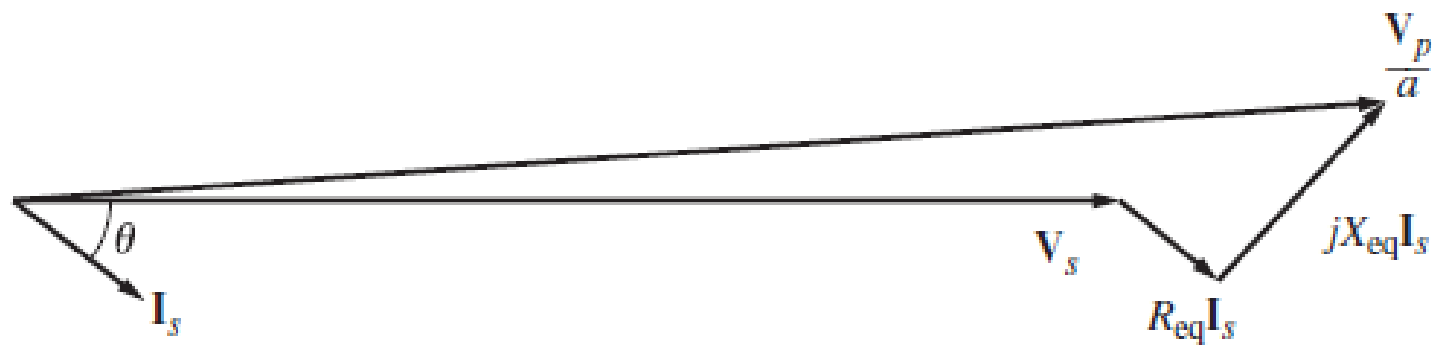
- Normalmente es deseable tener una regulación de voltaje tan pequeña como sea posible.
- Pero a veces los transformadores de alta impedancia y alta regulación de voltaje se utilizan deliberadamente para reducir las fallas de corriente en un circuito.

# Diagrama Fasorial

$$\frac{V_P}{a} = V_S + R_{eq} I_S + jX_{eq} I_S$$

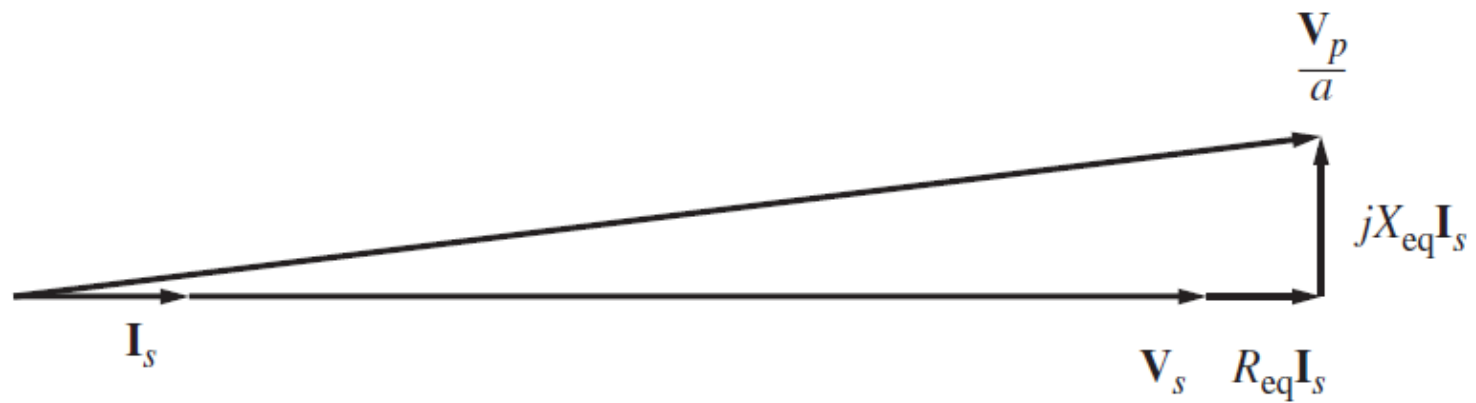


# Carga Inductiva

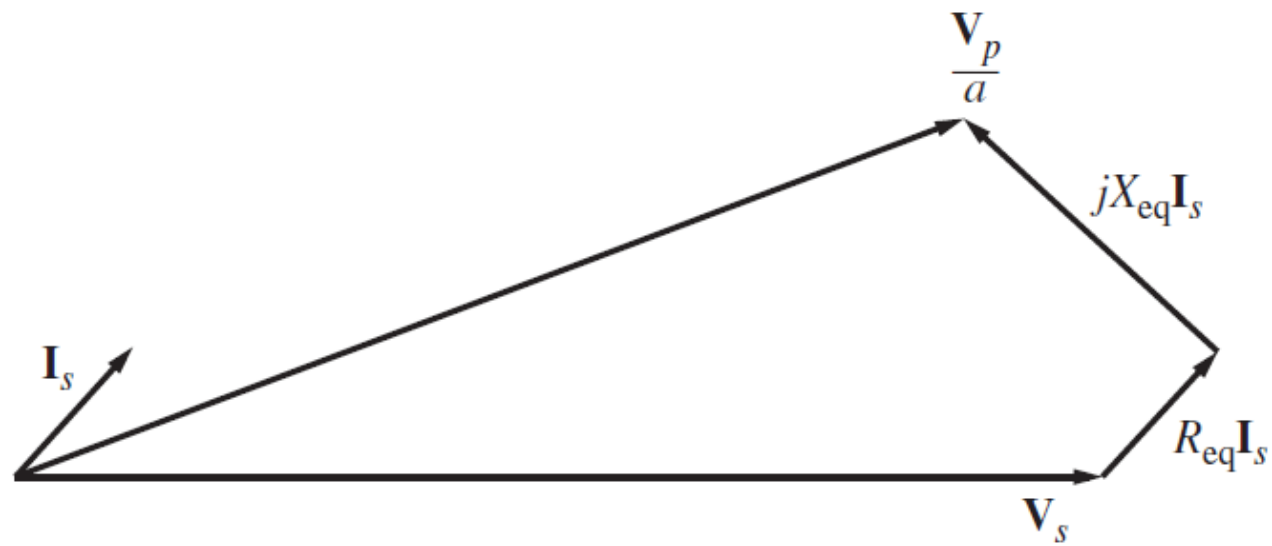




# Carga Resistiva



# Carga Capacitiva



# Rendimiento

- Perdidas en el cobre ( $I^2R$ )
- Perdidas por histéresis  $R_N$
- Pérdidas por corrientes parásitas  $R_N$

$$\eta = \frac{P_{\text{sal}}}{P_{\text{ent}}} \times 100\%$$

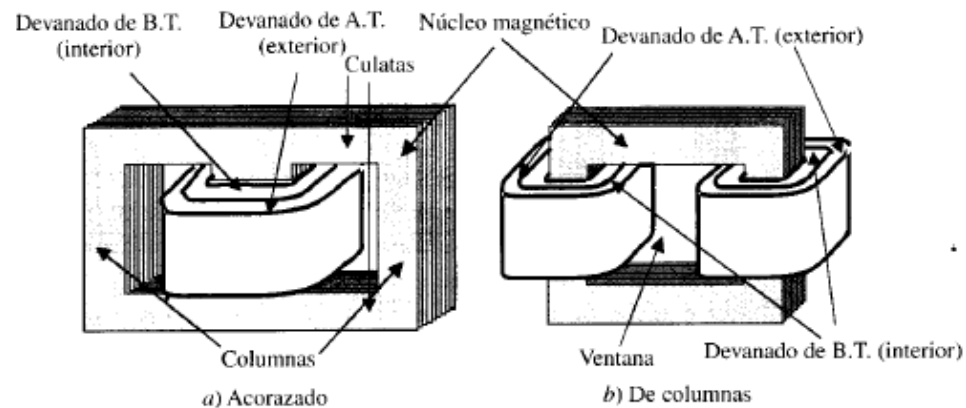
$$\eta = \frac{P_{\text{sal}}}{P_{\text{sal}} + P_{\text{pérd}}} \times 100\%$$

$$P_{\text{sal}} = V_S I_S \cos \theta_S$$

$$\eta = \frac{V_S I_S \cos \theta}{P_{\text{Cu}} + P_{\text{núcleo}} + V_S I_S \cos \theta} \times 100\%$$

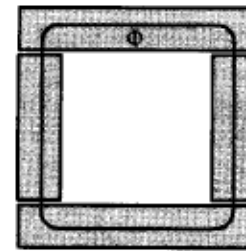
# Transformadores Aspectos Constructivos

- Nucleo Acorazado
- De Columnas o Ventana

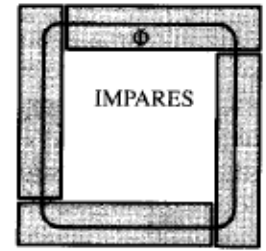
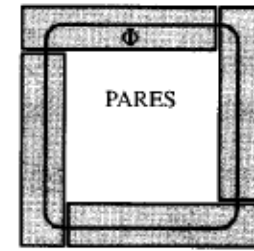


# Uniones y Núcleos

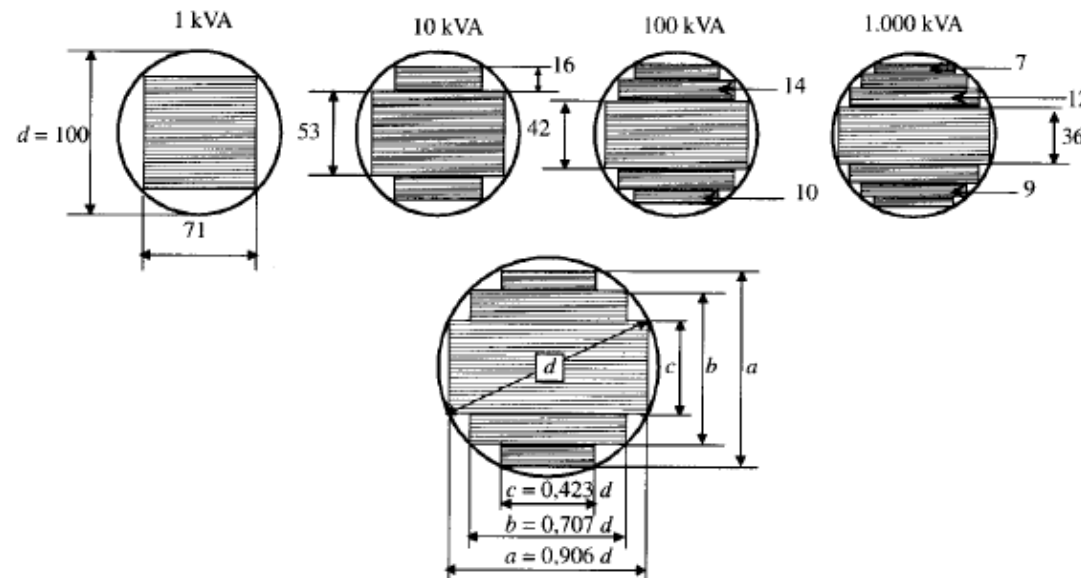
- Uniones a Tope
- Uniones a Solape



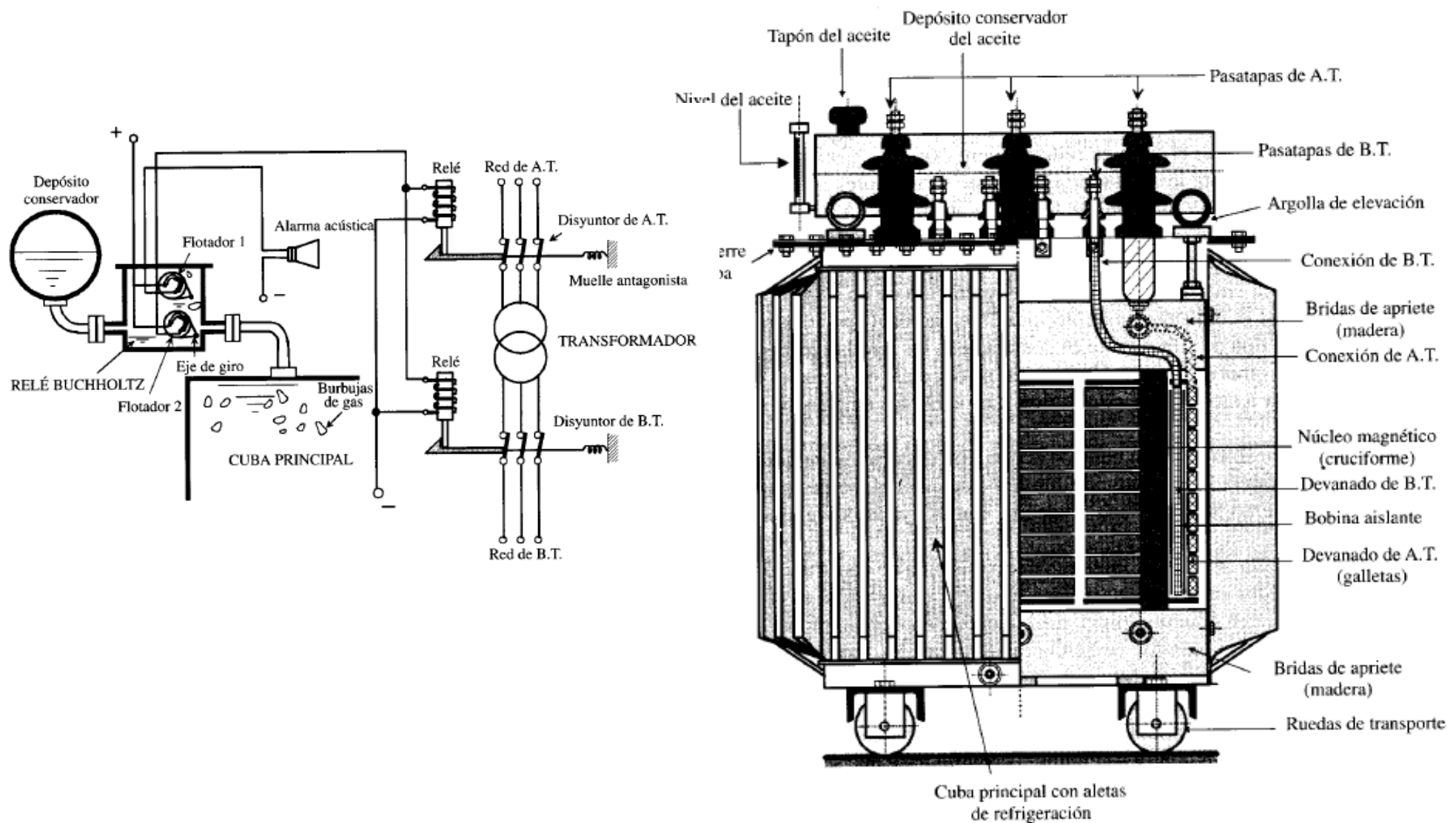
a) Uniones a tope



b) Uniones al solape



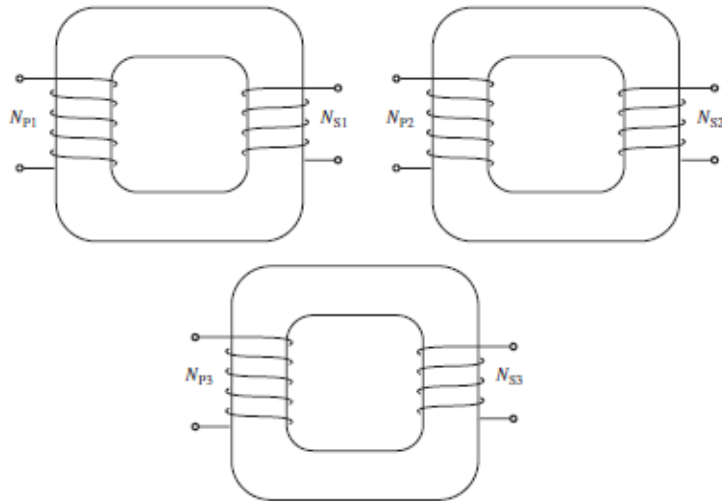
# Transformador Aspecto Constructivos



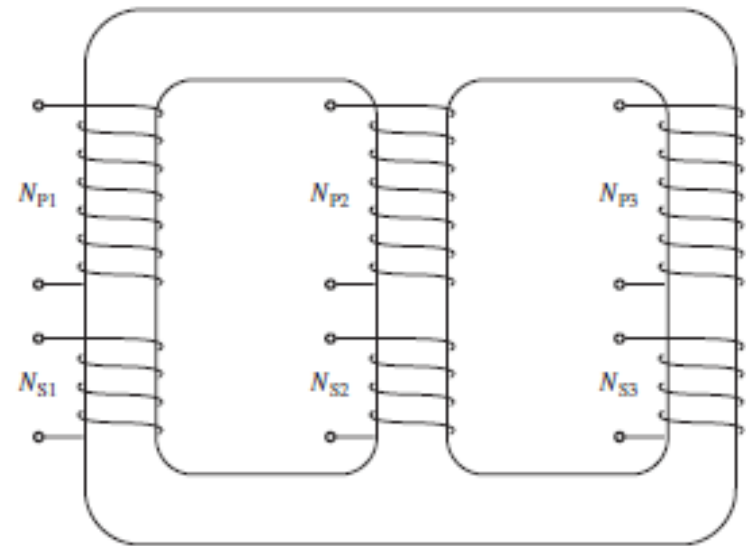
# Sistema de Refrigeración

- En Seco
- En aceite, convección natural
- En aceite, con ventilación forzada en el exterior
- En aceite con circulación forzada e intercambiadores de calor aceite/agua

# Transformadores Trifásicos



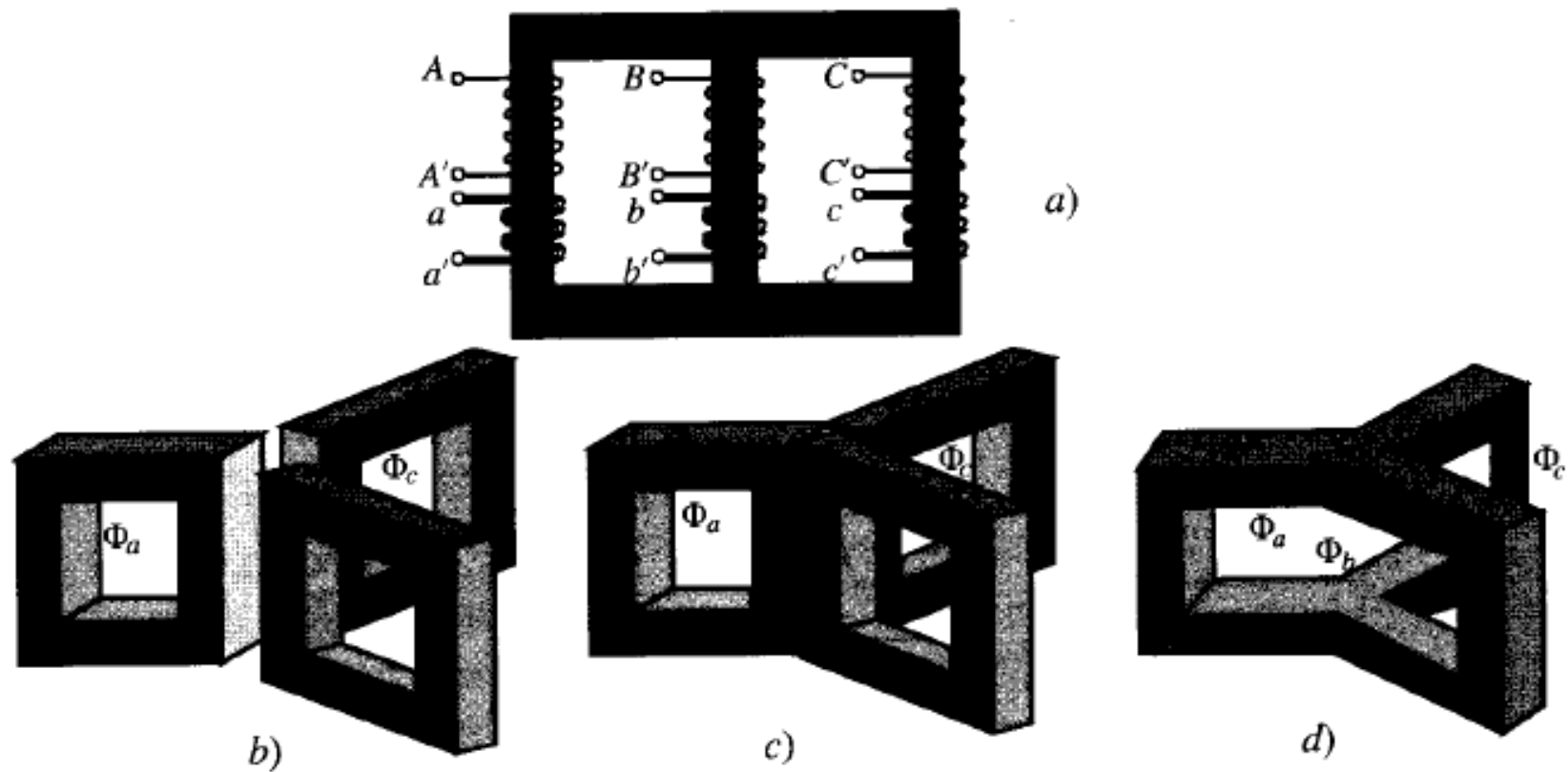
**FIGURA 2-35** Banco trifásico de transformador compuesto por tres transformadores independientes.



**FIGURA 2-36** Transformador trifásico construido sobre un núcleo de tres columnas.



# Transformadores Trifásicos



# Bibliografía

- Máquinas Eléctricas 5Ed- Stephen Chapman , capítulo 2
- Máquinas Eléctricas 5 Ed– Fraile Mora – Capitulo 3