

TRANSFORMADORES

**FEDERICO
MILANO**

**DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA, AUTOMÁTICA Y COMUNICACIONES
ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS INDUSTRIALES
UNIVERSIDAD DE CASTILLA - LA MANCHA**

**CAMPUS UNIVERSITARIO S/N
E-13071 CIUDAD REAL
ESPAÑA**

CURSO 2008/09

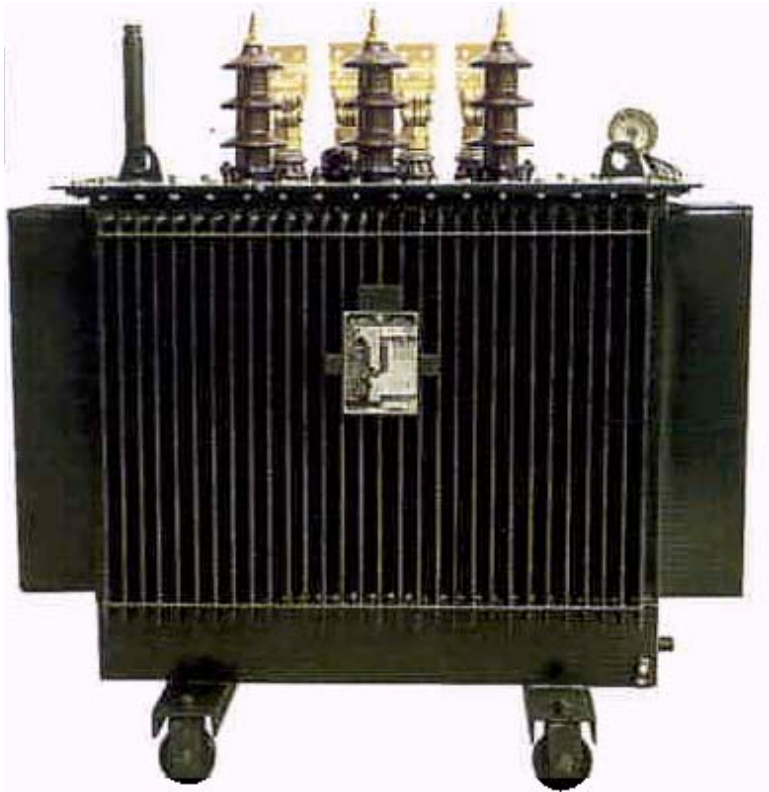
CONTENIDOS

1. INTRODUCCIÓN
2. CARACTERÍSTICAS CONSTRUCTIVAS
3. FUNCIONAMIENTO DE UN TRANSFORMADOR MONOFÁSICO REAL
4. TRANSFORMADORES TRIFÁSICOS EN RÉGIMEN EQUILIBRADO
5. TRANSFORMADORES EN PARALELO
6. AUTOTRANSFORMADOR
7. TRANSFORMADORES CON TOMAS
8. TRANSFORMADORES DE MEDIDA (TENSIÓN, INTENSIDAD)

INTRODUCCIÓN



INTRODUCCIÓN



INTRODUCCIÓN



INTRODUCCIÓN

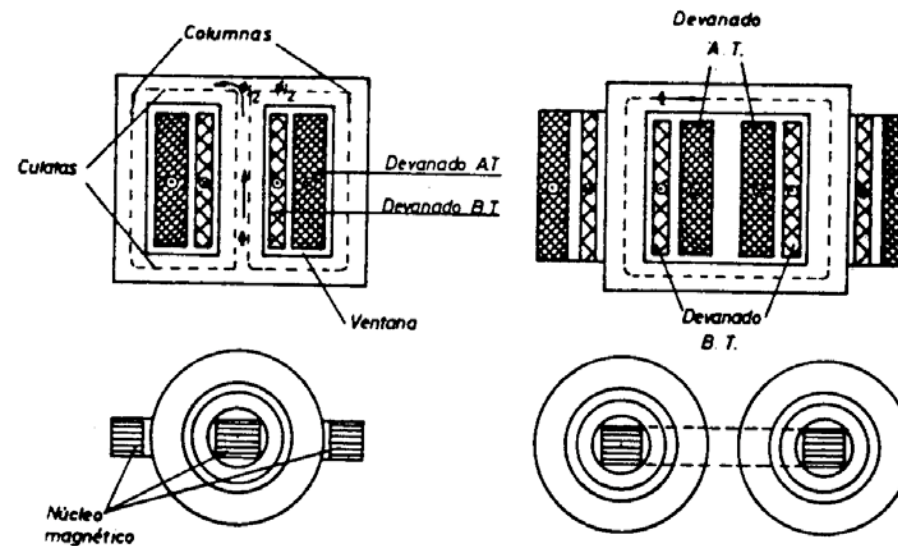


PRINCIPALES ASPECTOS CONSTRUCTIVOS

A) NÚCLEO

- . CHAPAS DE ACERO AL SILICIO
- . LAMINADAS EN FRÍO (GRANO ORIENTADO)
- . CAPA AISLANTE (0,01 mm) “CARLITE”
- . COLUMNAS, CULATAS, VENTANAS DEL NÚCLEO, JUNTAS
- . SEGÚN LA POSICIÓN RELATIVA NÚCLEO - DEVANADO
 - ACORAZADAS (NÚCLEO “ABRAZA” DEVANADO)
 - DE COLUMNAS (DEVANADO “ABRAZA” NÚCLEO)

PRINCIPALES ASPECTOS CONSTRUCTIVOS



- . SECCIÓN TRANSVERSAL
 - PEQUEÑA POTENCIA: SECCIÓN CUADRADA
 - GRAN POTENCIA: POLÍGONO ESCALONADO (CRUCIFORME)
- . CANALES DE VENTILACIÓN

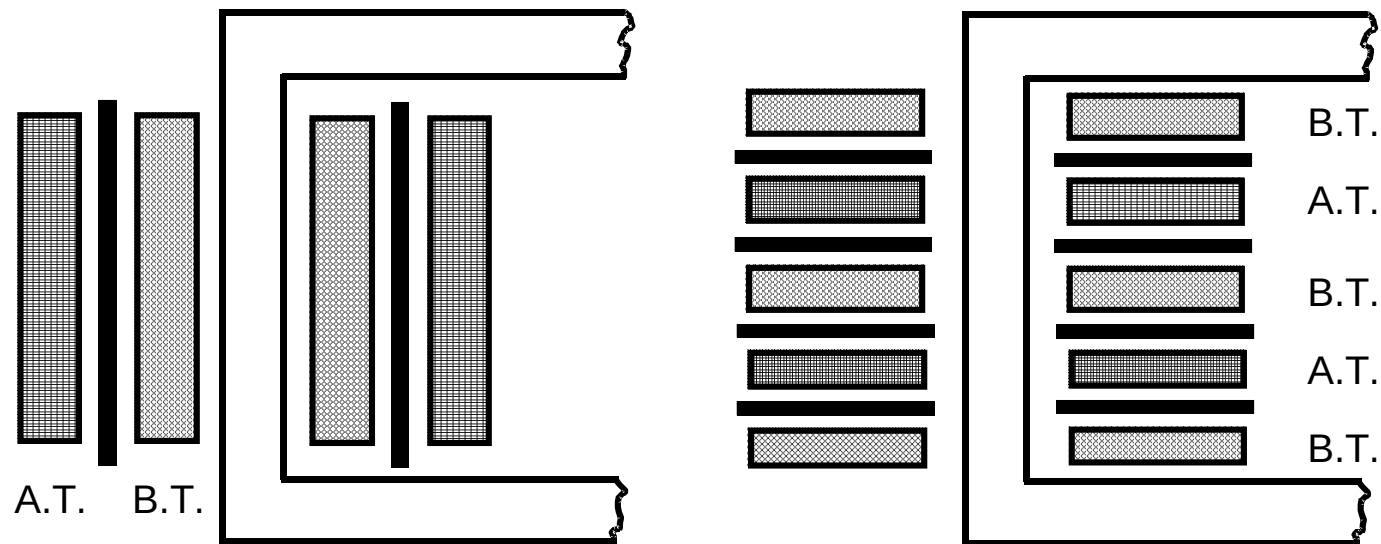
PRINCIPALES ASPECTOS CONSTRUCTIVOS

- FIJACIÓN MECÁNICA DE CHAPA (VIBRACIONES)

B) DEVANADOS

- HILOS DE COBRE (BARNIZ)
- PLETINA DE COBRE (FIBRA DE ALGODÓN O CINTA DE PAPEL)
- SEGÚN LA DISPOSICIÓN DE LOS ARROLLAMIENTOS:
 - CONCÉNTRICOS
 - ALTERNADOS (DISMINUCIÓN FLUJO DISPERSO)

PRINCIPALES ASPECTOS CONSTRUCTIVOS



C) SISTEMAS DE REFRIGERACIÓN

- PÉRDIDAS $\Rightarrow$ CALOR $\Rightarrow$ $\uparrow$ TEMPERATURA MÁQUINA
- PEQUEÑAS POTENCIAS: TRANSFORMADORES EN SECO

PRINCIPALES ASPECTOS CONSTRUCTIVOS

- . POTENCIAS ELEVADAS:

- * TRANSFORMADORES EN BAÑO DE ACEITE

- MAYOR CONDUCTIVIDAD TÉRMICA QUE EL AIRE
 - MAYOR RIGIDEZ DIELECTRICA QUE EL AIRE
 - ENVEJECIMIENTO
 - INHIBIDORES
 - DEPÓSITO DE EXPANSIÓN ($\approx 8\%$)
 - ACEITE MINERAL: INFLAMABLE Y VAPORES MEZCLAS EXPLOSIVAS

PRINCIPALES ASPECTOS CONSTRUCTIVOS

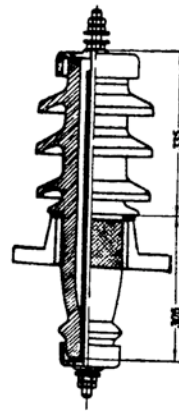
- ACEITE SINTÉTICO (“ASKAREL”) ⇒ IMPACTO ECOLÓGICO

- ACEITES DE SILICONA

- * ALETAS, VENTILADORES, INTERCAMBIADORES DE CALOR (MVA)

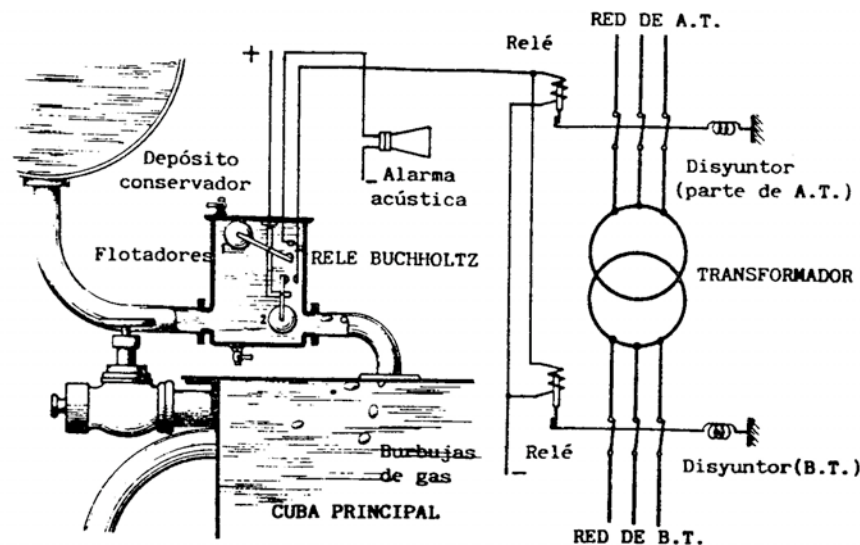
D) AISLADORES PASANTES Y OTROS ELEMENTOS

- . PASATAPAS



PRINCIPALES ASPECTOS CONSTRUCTIVOS

- RELÉ DE BUCHHOLTZ (GAS)
 - SOBRECARGAS, FALLOS DE AISLAMIENTO, ETC.
 - CALENTAMIENTO ANÓMALO $\Rightarrow$ VAPOR DE ACEITE
 - SISTEMA DE DOS FLOTADORES: ALARMA Y DESCONEXIÓN

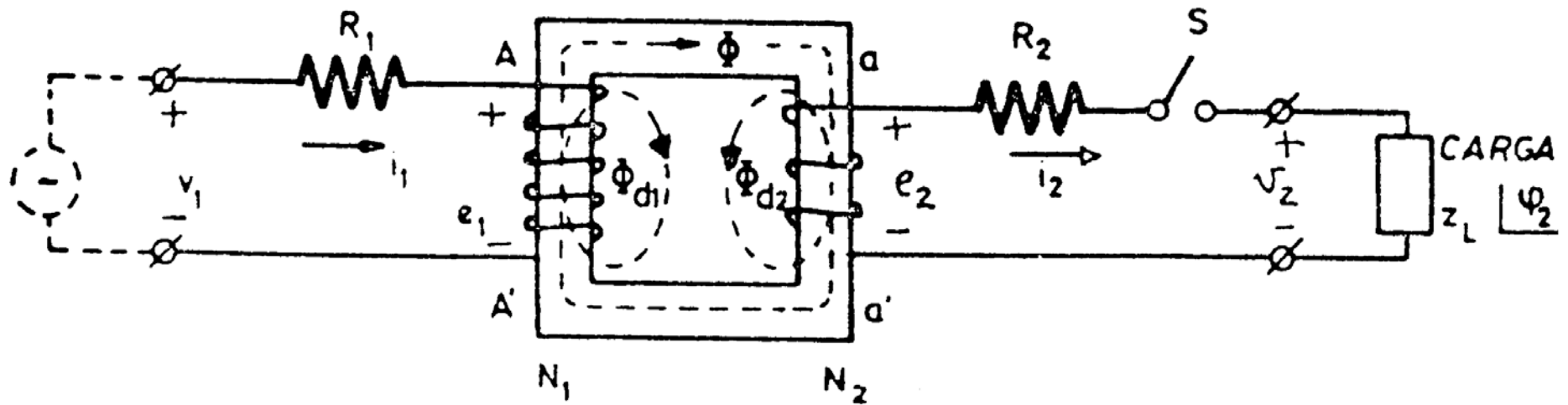


PRINCIPALES ASPECTOS CONSTRUCTIVOS

E) PLACA DE CARACTERÍSTICAS DEL TRANSFORMADOR

- . POTENCIA NOMINAL
- . TENSIONES NOMINALES
- . FRECUENCIA
- . IMPEDANCIA EQUIVALENTE (%)

FUNCIONAMIENTO DE UN TRANSFORMADOR REAL



SENTIDO HORARIO

$$\begin{cases} \phi_1 = \phi + \phi_{d1} \\ \phi_2 = \phi - \phi_{d2} \end{cases}$$

$$e_1 = N_1 \frac{d\phi_1}{dt} = N_1 \frac{d\phi}{dt} + N_1 \frac{d\phi_{d1}}{dt}$$

FUNCIONAMIENTO DE UN TRANSFORMADOR REAL

$$e_2 = N_2 \frac{d\phi_2}{dt} = N_2 \frac{d\phi}{dt} - N_2 \frac{d\phi_{d2}}{dt}$$

$$v_1 = R_1 i_1 + e_1 = R_1 i_1 + N_1 \frac{d\phi}{dt} + N_1 \frac{d\phi_{d1}}{dt}$$

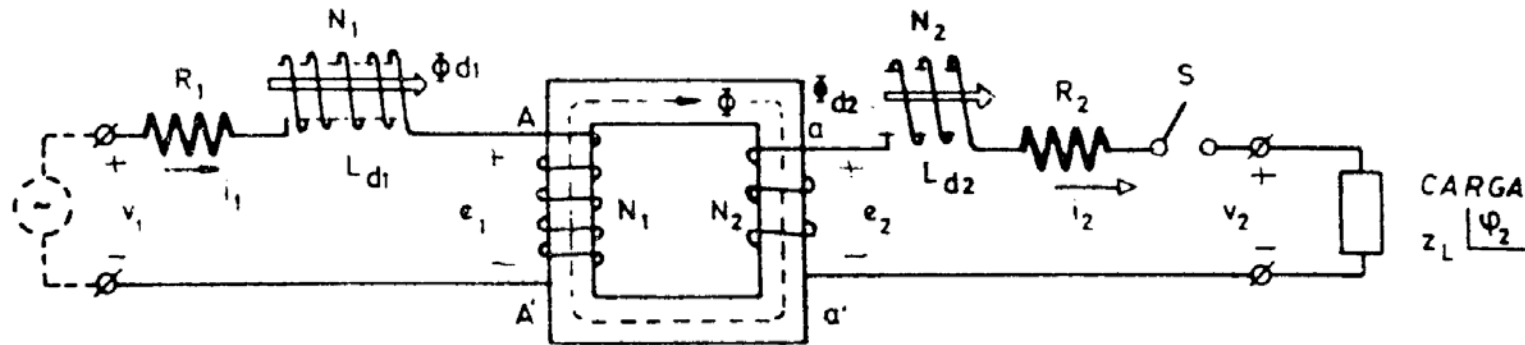
$$e_2 = R_2 i_2 + v_2 = N_2 \frac{d\phi}{dt} - N_2 \frac{d\phi_{d2}}{dt}$$

SI SE DEFINEN LAS INDUCTANCIAS DE DISPERSIÓN:

$$L_{d1} = N_1 \frac{d\phi_{d1}}{di_1} \quad X_1 = L_{d1} \omega$$

$$L_{d2} = N_2 \frac{d\phi_{d2}}{di_2} \quad X_2 = L_{d2} \omega$$

FUNCIONAMIENTO DE UN TRANSFORMADOR REAL



$$v_1 = e_1 + R_1 i_1 + L_{d1} \frac{di_1}{dt} \quad e_1 = N_1 \frac{d\phi}{dt}$$

$$e_2 = v_2 + R_2 i_2 + L_{d2} \frac{di_2}{dt} \quad e_2 = N_2 \frac{d\phi}{dt}$$

$$\left. \begin{aligned} E_1 &= 4,44fN_1\phi_m \\ E_2 &= 4,44fN_2\phi_m \end{aligned} \right\} \Rightarrow \frac{E_1}{E_2} = \frac{N_1}{N_2} = m$$

FUNCIONAMIENTO DE UN TRANSFORMADOR REAL

$$V_1 = E_1 + R_1 I_1 + jX_1 I_1$$

$$E_2 = V_2 + R_2 I_2 + jX_2 I_2$$

CAÍDA TENSIÓN TRAFO INDUSTRIAL A PLENA CARGA: 1 - 10% U_{NOM}

$$\left. \begin{array}{l} V_1 \approx E_1 \\ V_2 \approx E_2 \end{array} \right\} \Rightarrow \frac{V_1}{V_2} \cong m \quad (\text{APROXIMADAMENTE})$$

FUNCIONAMIENTO DE UN TRANSFORMADOR REAL

INTERRUPTOR S ABIERTO

$$V_1 = E_1 + R_1 I_0 + jX_1 I_0$$

$$E_2 = V_2$$

I_0 : CORRIENTE DEL PRIMARIO EN VACÍO

I_0 : 0.6 – 8 % I_1 NOMINAL $\Rightarrow$

$$\left. \begin{array}{l} V_1 = E_1 \\ V_2 = E_2 \end{array} \right\} \Rightarrow \frac{V_1}{V_2} = m$$

FUNCIONAMIENTO DE UN TRANSFORMADOR REAL

INTERRUPTOR S CERRADO (EN CARGA)

$$V_1 \text{ EN VACÍO} = V_1 \text{ EN CARGA}$$

COMO $V_1 \approx E_1$,

$$\Phi_m \text{ EN VACÍO} \approx \Phi_m \text{ EN CARGA}$$

$$\text{F.M.M. EN VACÍO} \approx \text{F.M.M. EN CARGA}$$

$$N_1 I_0 = N_1 I_1 - N_2 I_2$$

$$I_1 = I_0 + \frac{N_2}{N_1} I_2 = I_0 + \frac{I_2}{m}$$

CIRCUITO EQUIVALENTE

REDUCCIÓN AL PRIMARIO:

VALORES INSTANTÁNEOS: $N_1 i_1 - N_2 i_2 = \Re \phi$

RÉGIMEN SENOIDAL: $N_1 I_1 - N_2 I_2 = \Re \phi_{ef}$

$$V_1 = (R_1 + jX_1)I_1 + E_2 \frac{N_1}{N_2}$$

$$V_1 = (R_1 + jX_1)I_1 + R_2 I_2 \frac{N_1}{N_2} + V_2 \frac{N_1}{N_2} + jX_2 I_2 \frac{N_1}{N_2}$$

$$I_1 - \frac{N_2}{N_1} I_2 = \Re \frac{\phi_{ef}}{N_1}$$

CIRCUITO EQUIVALENTE

$$\frac{N_2}{N_1} I_2 = I'_2 \equiv I_2 \text{ REFERIDA AL PRIMARIO}$$

$$\Re \frac{\phi_{ef}}{N_1} = I_0 \equiv \text{CORRIENTE DE VACÍO O DE EXCITACIÓN}$$

POR LO TANTO:

$$V_1 = (R_1 + jX_1)I_1 + (R_2 + jX_2)I_2 \frac{N_1}{N_2} + V_2 \frac{N_1}{N_2}$$

$$V_1 = (R_1 + jX_1)I_1 + (R_2 + jX_2) \frac{N_1^2}{N_2^2} I_2 \frac{N_2}{N_1} + V_2 \frac{N_1}{N_2}$$

CIRCUITO EQUIVALENTE

$$V_1 = (R_1 + jX_1)I_1 + (R'_2 + jX'_2)I'_2 + V'_2$$

$$\frac{N_1}{N_2} V_2 = V'_2 \equiv V_2 \text{ REFERIDA AL PRIMARIO}$$

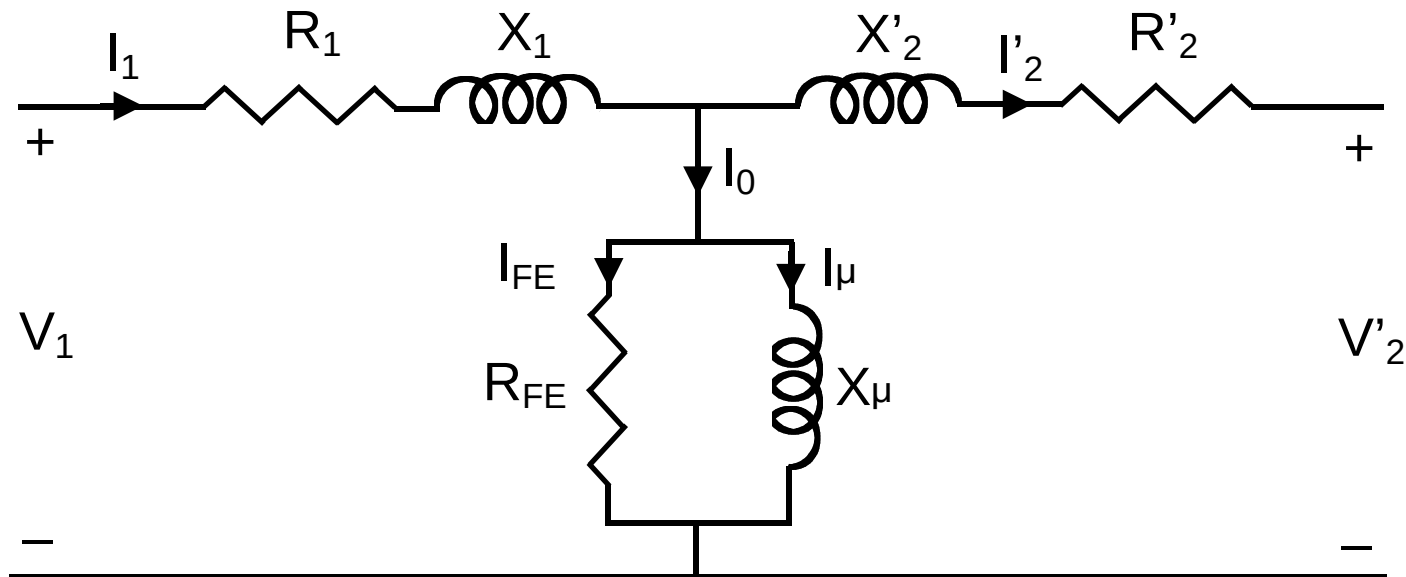
$$\left(\frac{N_1}{N_2}\right)^2 R_2 = R'_2 \equiv R_2 \text{ REFERIDA AL PRIMARIO}$$

$$\left(\frac{N_1}{N_2}\right)^2 X_2 = X'_2 \equiv X_2 \text{ REFERIDA AL PRIMARIO}$$

CIRCUITO EQUIVALENTE

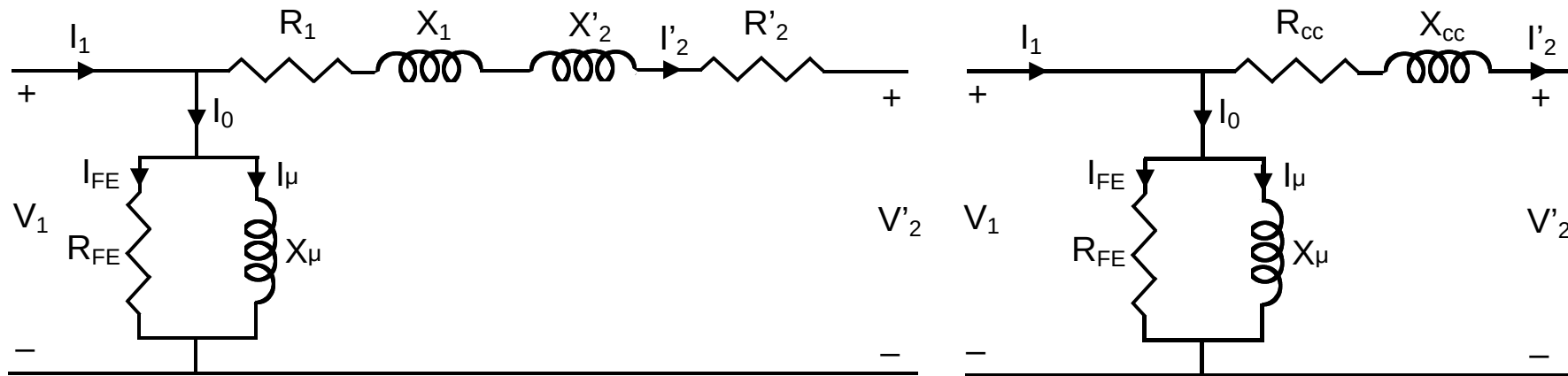
TRANSFORMADOR REAL $\Rightarrow$ PÉRDIDAS MAGNÉTICAS $\Rightarrow R_{FE}$

$$I_0 \begin{cases} I_{FE} \equiv \text{PÉRDIDAS EN EL HIERRO} \\ I_{\mu} \equiv \text{CORRIENTE DE MAGNETIZACIÓN} \end{cases}$$



CIRCUITO EQUIVALENTE

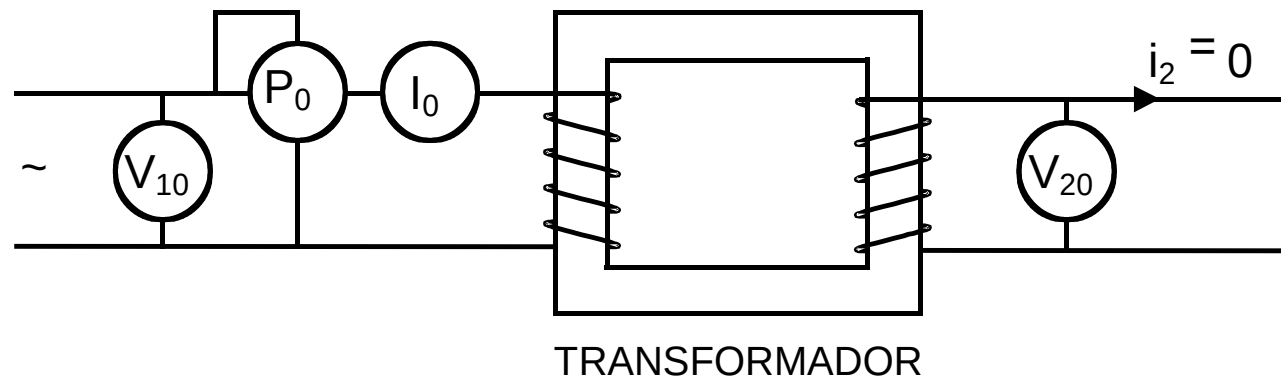
EN LA PRÁCTICA, DEBIDO A QUE $I_0 \ll I_1$, I'_2 SE SUELE TRABAJAR CON UN CIRCUITO APROXIMADO



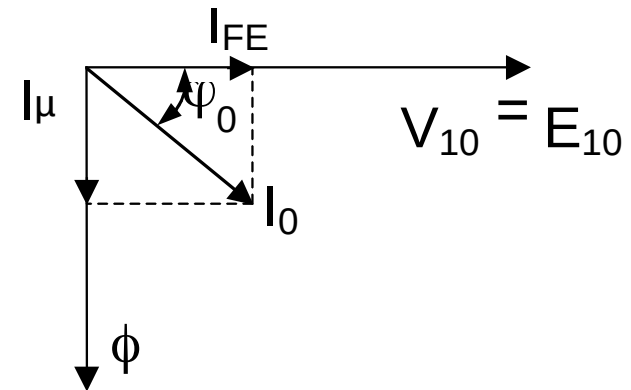
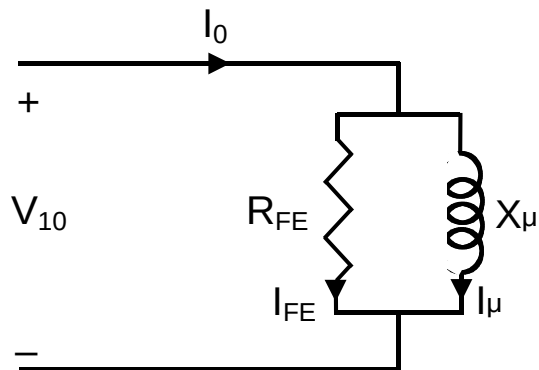
$R_{cc} = R_1 + R'_2 \equiv$ RESISTENCIA DE CORTOCIRCUITO

$X_{cc} = X_1 + X'_2 \equiv$ REACTANCIA DE CORTOCIRCUITO

ENSAYO DE VACÍO: TRANSFORMADOR MONOFÁSICO



MEDIDAS: V_{10} , V_{20} , P_0 , I_0



ENSAYO DE VACÍO: TRANSFORMADOR MONOFÁSICO

$$P_0 = \frac{V_{10}^2}{R_{FE}} \Rightarrow R_{FE}$$

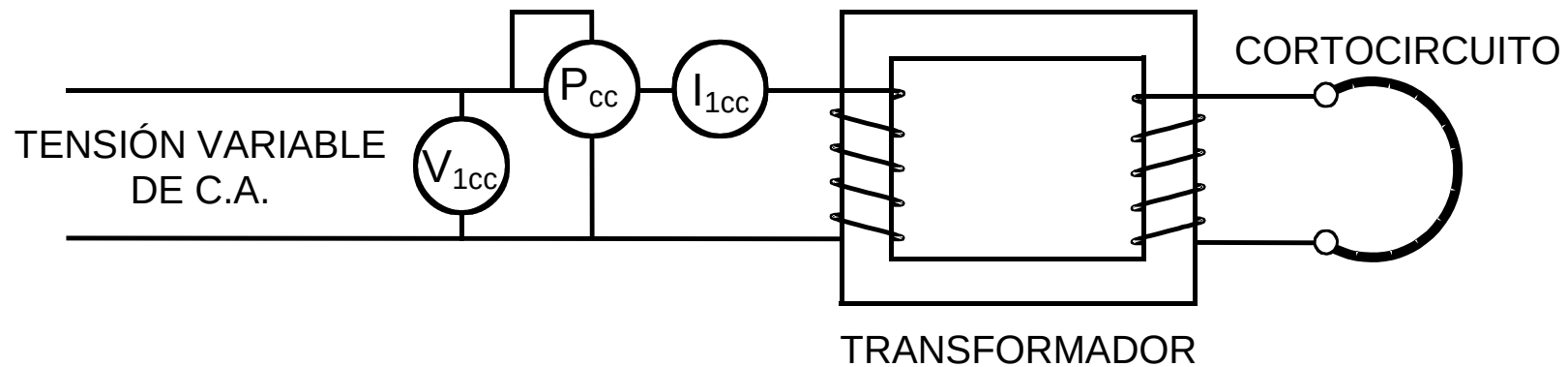
$$I_{FE} = \frac{V_{10}}{R_{FE}} \quad I_{\mu} = \sqrt{I_0^2 - I_{FE}^2}$$

$$X_{\mu} = \frac{V_{10}}{I_{\mu}}$$

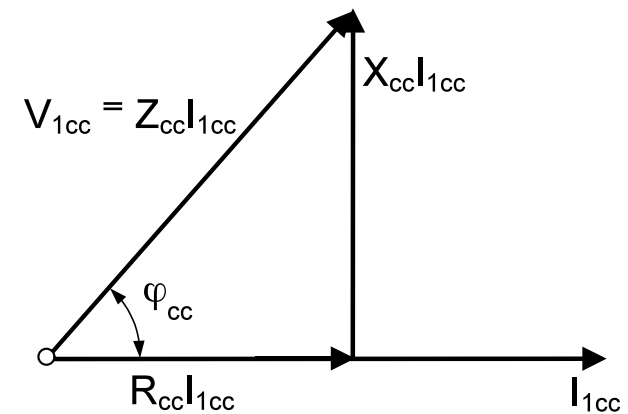
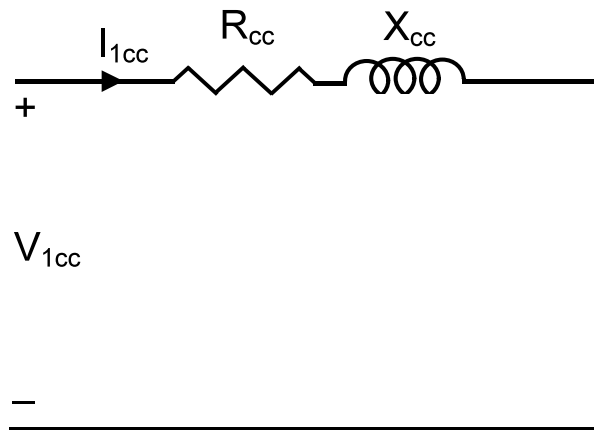
$$\cos \varphi_0 = \frac{P_0}{V_{10} I_0}$$

$$m = \frac{V_{10}}{V_{20}}$$

ENSAYO DE CORTOCIRCUITO



MEDIDAS: V_{1cc} , P_{cc} , I_{1cc}



ENSAYO DE CORTOCIRCUITO

$$P_{cc} = R_{cc} I_{1cc}^2 \Rightarrow R_{cc}$$

$$Z_{cc} = \frac{V_{1cc}}{I_{1cc}}$$

$$X_{cc} = \sqrt{Z_{cc}^2 - R_{cc}^2}$$

$$\cos \varphi_{cc} = \frac{P_{cc}}{V_{1cc} I_{1cc}}$$

$$R_{cc} = R_1 + R'_2$$

$$X_{cc} = X_1 + X'_2$$

TRANSFORMADOR MONOFÁSICO EN CARGA

$$I_2 \neq 0$$

$$\text{ÍNDICE DE CARGA} \equiv C = \frac{I_2}{I_{2N}} = \frac{I'_2}{I'_{2N}} \approx \frac{I_1}{I_{1N}}$$

$C = 1 \Rightarrow$ PLENA CARGA

$C > 1 \Rightarrow$ SOBRECALENTAMIENTO (ADMITIDO NORMA UNE POCO TIEMPO)

MAGNITUDES DE INTERÉS:

- CAÍDA DE TENSIÓN
- RENDIMIENTO

CAÍDA DE TENSIÓN

CAÍDA DE TENSIÓN INTERNA $\equiv \Delta V_2 = |V_{20}| - |V_2|$

CAÍDA DE TENSIÓN RELATIVA O REGULACIÓN $\equiv \varepsilon_c = \frac{|V_{20}| - |V_2|}{|V_{20}|} \cdot 100 \%$

REFERIDA AL PRIMARIO:

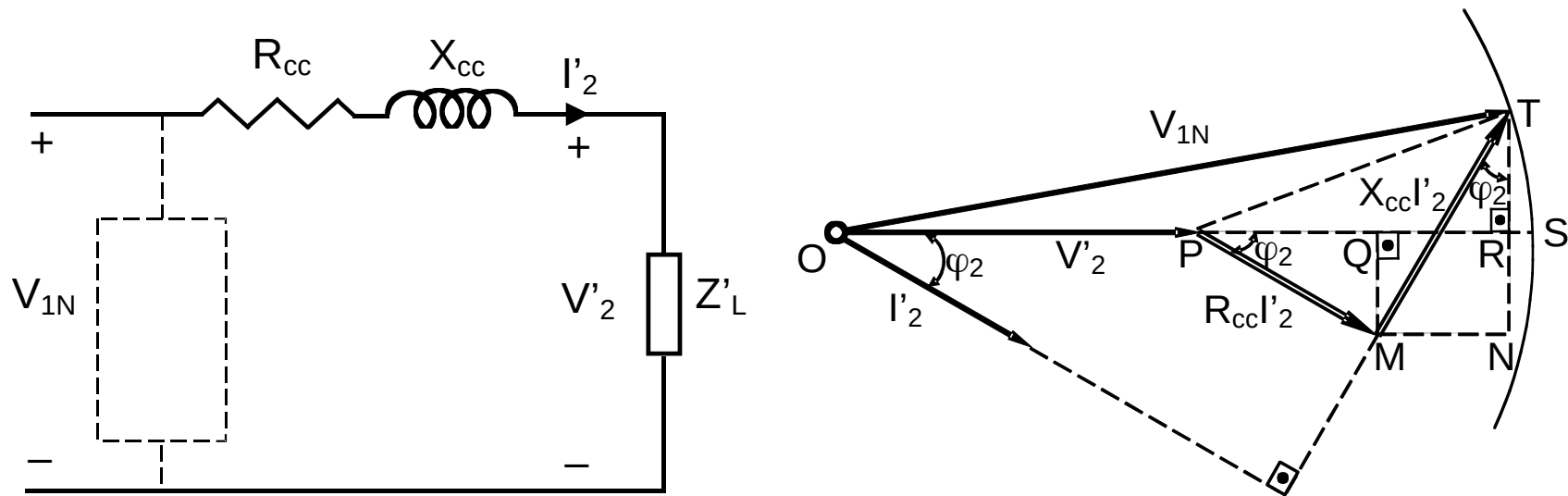
$$\varepsilon_c = \frac{|V_{1N}| - |V'_2|}{|V_{1N}|} \cdot 100 \%$$

EN CARGA:

$$\varepsilon_c = \frac{|V_1| - |V'_2|}{|V_1|} \cdot 100 \%$$

CAÍDA DE TENSIÓN. APROXIMACIÓN DE KAPP

CIRCUITO EQUIVALENTE APROXIMADO. FACTOR DE POTENCIA INDUCTIVO



$$V_{1N} = V'_2 + (R_{cc} + jX_{cc})I'_2$$

$$|V_{1N}| - |V'_2| = |OS| - |OP| = |PS|$$

$$|V_{1N}| - |V'_2| = |PS| \approx |PR|$$

CAÍDA DE TENSIÓN. APROXIMACIÓN DE KAPP

$$|PR| = |PQ| + |QR| = |PQ| + |MN|$$

$$|PR| = R_{cc} \cdot I'_2 \cdot \cos(\varphi_2) + X_{cc} \cdot I'_2 \cdot \sin(\varphi_2)$$

$$|V_{1N}| - |V'_2| = R_{cc} \cdot I'_2 \cdot \cos(\varphi_2) + X_{cc} \cdot I'_2 \cdot \sin(\varphi_2)$$

$$|V_{1N}| - |V'_2| = C \cdot R_{cc} \cdot I'_{2N} \cdot \cos(\varphi_2) + C \cdot X_{cc} \cdot I'_{2N} \cdot \sin(\varphi_2)$$

APROXIMACIÓN DE KAPP:

$$\varepsilon_c = C \cdot \varepsilon_{Rcc} \cos(\varphi_2) + C \cdot \varepsilon_{Xcc} \sin(\varphi_2)$$

CAÍDA DE Tensión

$$\varepsilon_{cc} = \frac{Z_{cc} I_{1N}}{V_{1N}} \cdot 100$$

$$\varepsilon_{Rcc} = \frac{R_{cc} I_{1N}}{V_{1N}} \cdot 100 \approx \frac{R_{cc} I'_{2N}}{V_{1N}} \cdot 100$$

$$\varepsilon_{Xcc} = \frac{X_{cc} I_{1N}}{V_{1N}} \cdot 100 \approx \frac{X_{cc} I'_{2N}}{V_{1N}} \cdot 100$$

EFFECTO FERRANTI:

CON F.D.P. CAPACITIVO $\Rightarrow \varepsilon_c$ PUEDE SER NEGATIVA

$$\varepsilon_c = C \cdot \varepsilon_{Rcc} \cos(\varphi_2) - C \cdot \varepsilon_{Xcc} \cdot \text{Sen}(\varphi_2)$$

PÉRDIDAS Y RENDIMIENTO

PÉRDIDAS

1) HIERRO: $P_{FE} = P_0$

2) COBRE: $P_{CU} = I_2^2 R_{cc} = C^2 I_{2N}^2 R_{cc} = C^2 P_{cc}$

RENDIMIENTO $\equiv \eta$

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} = 1 - \frac{P_{PERD}}{P_1} = 1 - \frac{P_{PERD}}{P_2 + P_{PERD}}$$

$$\eta = 1 - \frac{P_0 + C^2 P_{cc}}{P_2 + P_0 + C^2 P_{cc}}$$

PÉRDIDAS Y RENDIMIENTO

POTENCIA DEL SECUNDARIO ($\equiv P_2$)

$$P_2 = V_2 I_2 \cos(\varphi_2) = C V_{2N} I_{2N} \cos(\varphi_2)$$

POR LO TANTO:

$$\eta = 1 - \frac{P_0 + C^2 P_{cc}}{C V_{2N} I_{2N} \cos(\varphi_2) + P_0 + C^2 P_{cc}} = \frac{C V_{2N} I_{2N} \cos(\varphi_2)}{C V_{2N} I_{2N} \cos(\varphi_2) + P_0 + C^2 P_{cc}}$$

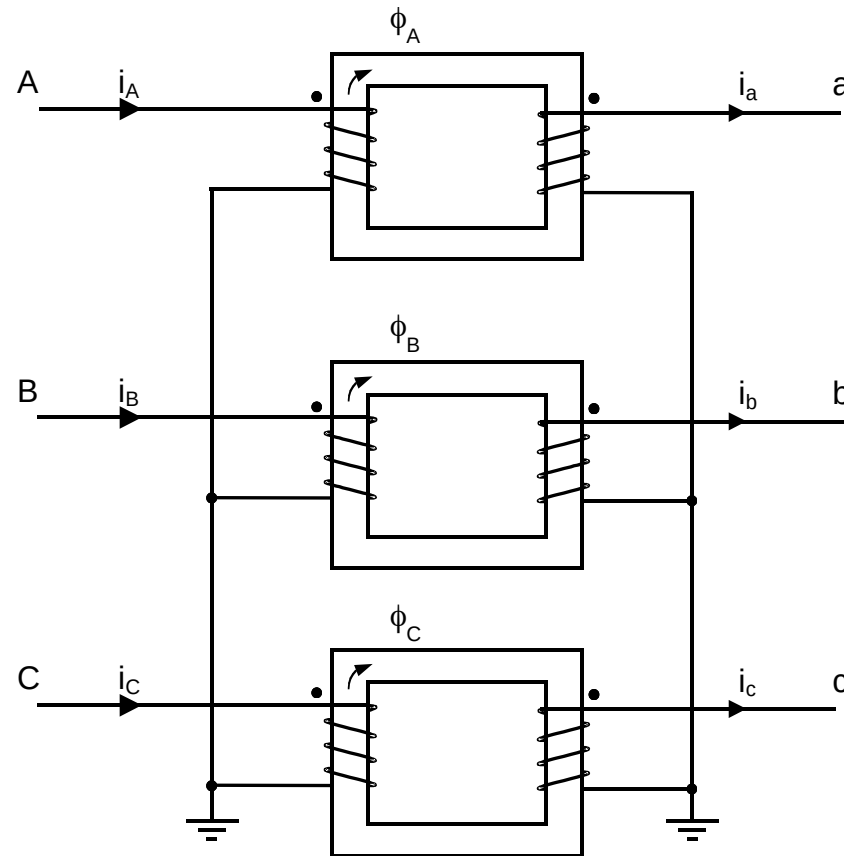
RENDIMIENTO MÁXIMO:

$$P_0 = C_{OPT}^2 P_{cc}$$

$$C_{OPT} = \sqrt{\frac{P_0}{P_{cc}}}$$

TRANSFORMADORES TRIFÁSICOS

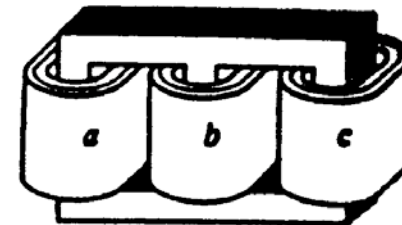
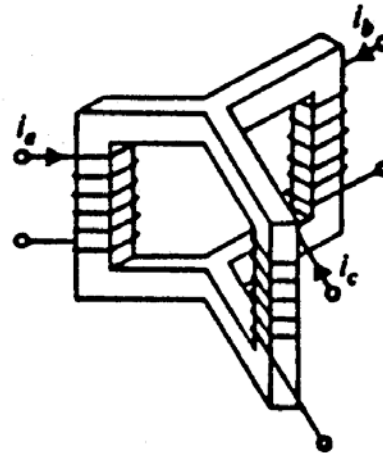
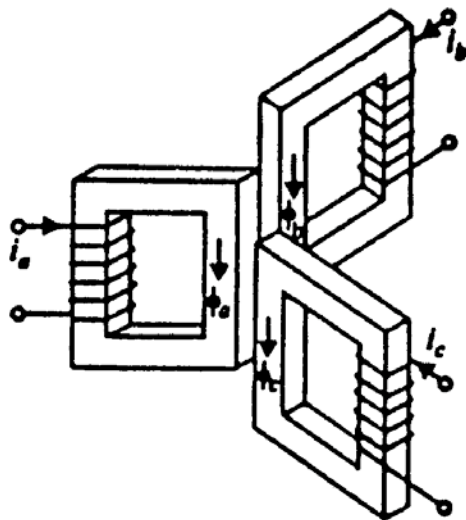
BANCOS TRIFÁSICOS



TRANSFORMADORES TRIFÁSICOS

CONDICIONES EQUILIBRADAS:

- LAS TRES MÁQUINAS IDÉNTICAS
- TRABAJANDO EN IDÉNTICAS CONDICIONES
- DESFASE ENTRE MAGNITUDES DE 120°



TRANSFORMADORES TRIFÁSICOS

PROPIEDADES EN RÉGIMEN EQUILIBRADO:

- 1) TRAFOS TRIFÁSICOS $\Rightarrow$ UNIÓN DE 3 MÁQUINAS
- 2) $\phi_A + \phi_B + \phi_C = 0 \Rightarrow$ AHORRO DE MATERIAL

TRANSFORMADOR DE 3 COLUMNAS (CORE - TYPE)

FASES LATERALES (a, c) MAYOR LONGITUD FASE CENTRAL (b)

DESEQUILIBRIOS INTENSIDADES MAGNETIZANTES

POCA IMPORTANCIA $\Rightarrow$ FORMA CONSTRUCTIVA MUY EXTENDIDA

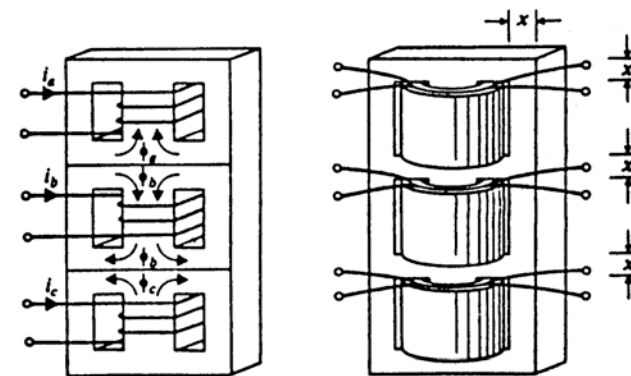
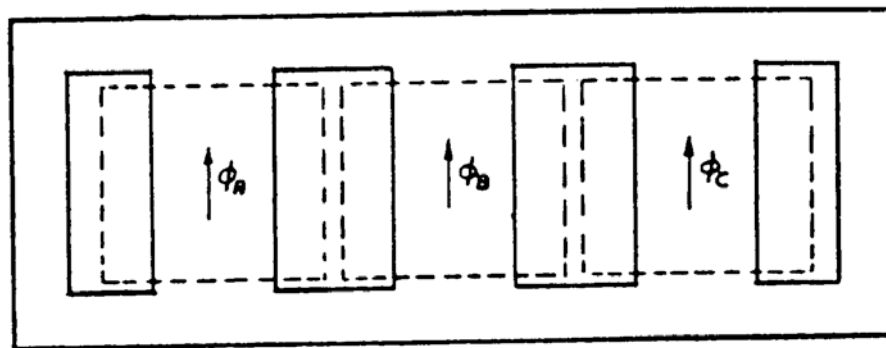
TRANSFORMADORES TRIFÁSICOS

OTRAS FORMAS CONSTRUCTIVAS:

1) TRANSFORMADORES DE 5 COLUMNAS

- ARROLLAMIENTOS EN LAS COLUMNAS CENTRALES
- EL FLUJO SE CIERRA POR LAS LATERALES $\Rightarrow$ MENOR SECCIÓN CULATA (MENOR ALTURA TOTAL)

2) TRANSFORMADORES ACORAZADOS (SHELL - TYPE)



TRANSFORMADORES TRIFÁSICOS

CLASIFICACIÓN SEGÚN EL TIPO DE CIRCUITO MAGNÉTICO

A) FLUJOS LIBRES

HAY MALLAS DONDE SÓLO ACTÚA $\frac{1}{3}$ DE UNA FASE

B) FLUJOS LIGADOS

EN CADA MALLA ACTÚAN $\frac{1}{3}$ DE VARIAS FASES

BANCO TRIFÁSICO

TRES COLUMNAS

CINCO COLUMNAS

ACORAZADOS

TRANSFORMADORES TRIFÁSICOS

COMPARACIÓN BANCOS TRIFÁSICOS VS. TRANSFORMADORES TRIFÁSICOS

- . COMPORTAMIENTO ELÉCTRICO IDÉNTICO
- . TRANSFORMADORES TRIFÁSICOS:
 - * MENOR PESO
 - * MENORES PÉRDIDAS
 - * MENOR VOLUMEN DE MÁQUINA Y PARQUE
 - * AVERÍA: OTRO TRANSFORMADOR TRIFÁSICO

TRANSFORMADORES TRIFÁSICOS

- . BANCOS TRIFÁSICOS:

- * AVERÍA: RESERVA DEL 33%

- * MEJORES CONDICIONES DE TRANSPORTE

- . UTILIZACIÓN TÍPICA:

TRANSFORMADORES TRIFÁSICOS SALVO CENTROS DE
TRANSFORMACIÓN DE GRANDES POTENCIAS

TRANSFORMADORES TRIFÁSICOS

MAGNITUDES NOMINALES Y PARÁMETROS

POTENCIA NOMINAL, S_N (kVA), TRIFÁSICA

TENSIÓN NOMINAL PRIMARIA (V_{N1}) (TENSIÓN COMPUESTA)

TENSIÓN NOMINAL SECUNDARIA (V_{N2}) (TENSIÓN COMPUESTA)

INTENSIDAD NOMINAL:

$$I_N = \frac{S_N}{\sqrt{3} \cdot U_N}$$

TRANSFORMADORES TRIFÁSICOS

RELACIÓN DE TRANSFORMACIÓN (k) $\neq$ RELACIÓN NÚMERO DE ESPIRAS

GRUPO DE CONEXIÓN	RELACIÓN DE TRANSFORMACIÓN (k)
Dd, Yy	$\frac{N_1}{N_2}$
Dy	$\frac{1}{\sqrt{3}} \cdot \frac{N_1}{N_2}$
Yd	$\sqrt{3} \cdot \frac{N_1}{N_2}$
Dz	$\frac{2}{3} \cdot \frac{N_1}{N_2}$
Yz	$\frac{2}{\sqrt{3}} \cdot \frac{N_1}{N_2}$

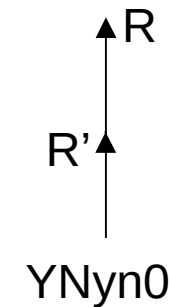
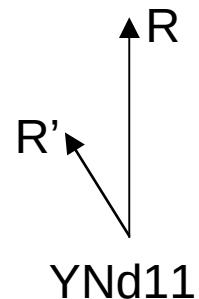
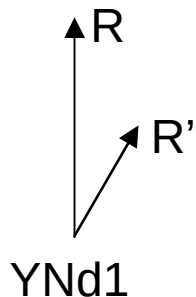
ÍNDICE HORARIO

DISTINTOS TIPOS DE CONEXIÓN ORIGINAN DIFERENCIAS DE FASE ENTRE TENSIONES COMPUESTAS DE PRIMARIO Y SECUNDARIO

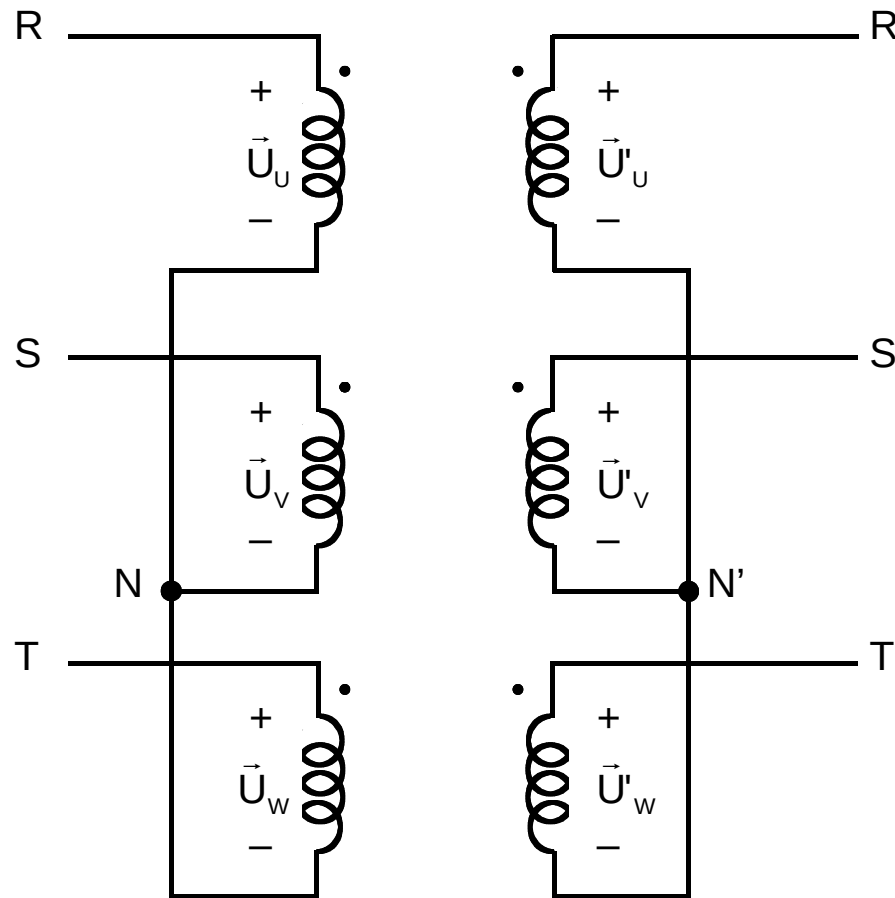
ÍNDICE HORARIO $\equiv$ RETRASO DEL LADO DE MENOR Tensión (R') RESPECTO AL DE Tensión MÁS ELEVADA (R) MEDIDO EN MÚLTIPLOS DE 30°

AGUJA GRANDE (ALTA Tensión) $\Leftrightarrow$ 12

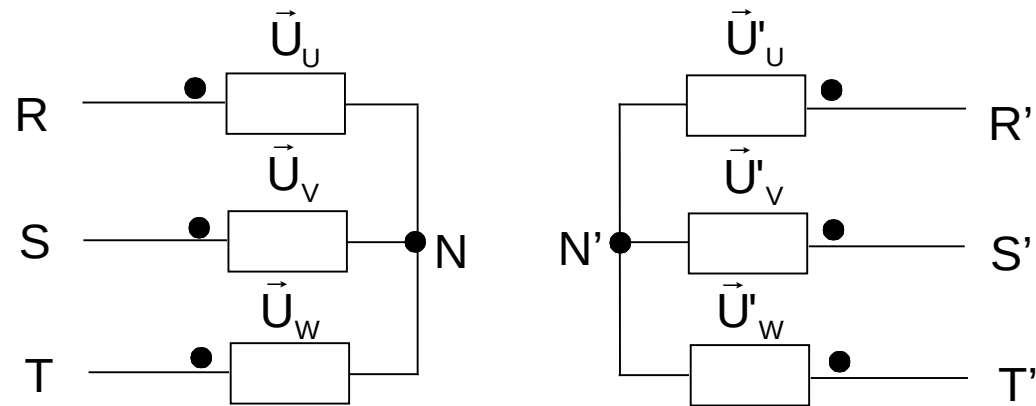
AGUJA PEQUEÑA (BAJA Tensión) $\Leftrightarrow$ HORA CORRESPONDIENTE



ÍNDICE HORARIO CONEXIÓN ESTRELLA-ESTRELLA



ÍNDICE HORARIO CONEXIÓN ESTRELLA-ESTRELLA



HIPÓTESIS: SISTEMA EQUILIBRADO, SECUENCIA DIRECTA

$$\vec{U}_u = U \angle 0 \quad \vec{U}_v = U \angle -120 \quad \vec{U}_w = U \angle 120$$

$$\vec{U}'_u = U' \angle 0 \quad \vec{U}'_v = U' \angle -120 \quad \vec{U}'_w = U' \angle 120$$

ÍNDICE HORARIO CONEXIÓN ESTRELLA-ESTRELLA

TRANSFORMADOR IDEAL:

$$\frac{U}{U'} = \frac{N}{N'}$$

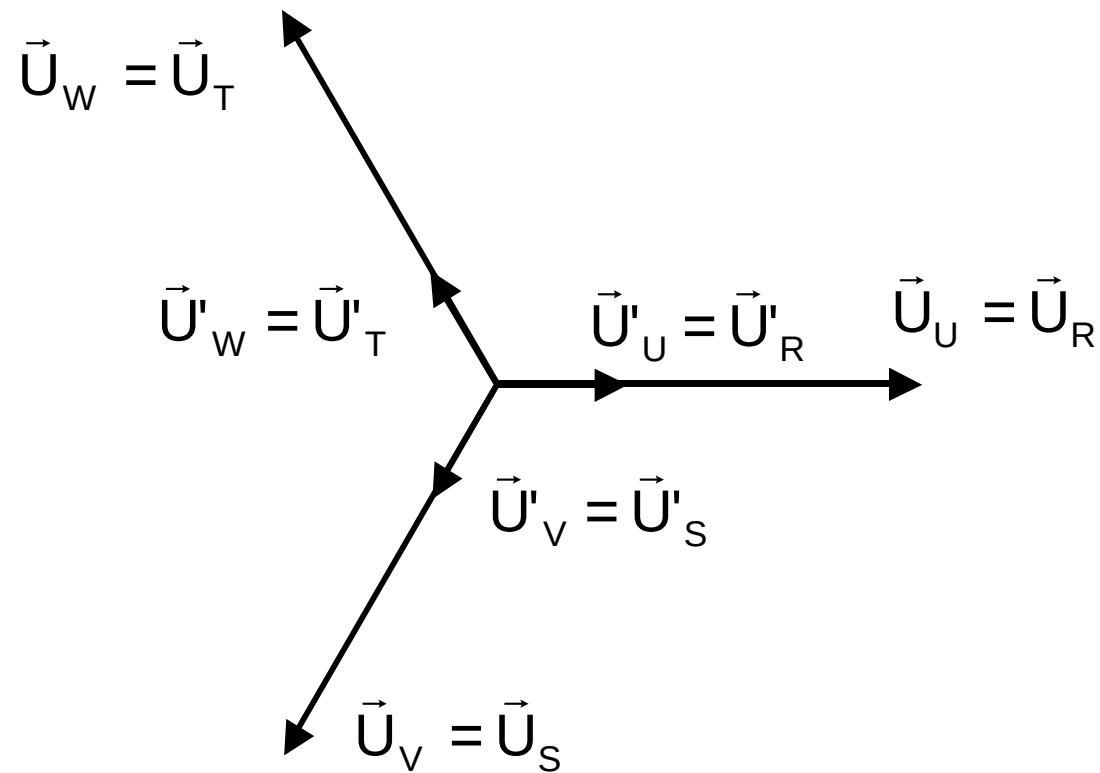
$$\vec{U}_{RS} = \vec{U}_u - \vec{U}_v$$

$$\vec{U}'_{RS} = \vec{U}'_u - \vec{U}'_v$$

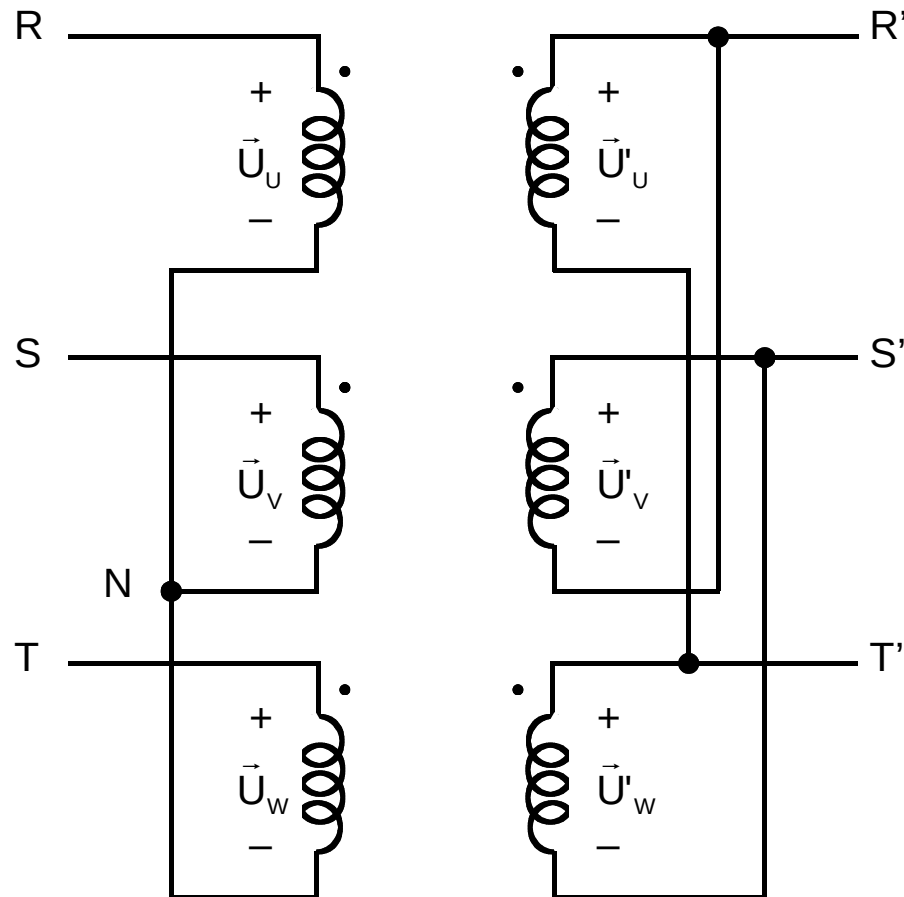
$$\frac{\vec{U}_{RS}}{\vec{U}'_{RS}} = \frac{U(1\angle 0 - 1\angle -120)}{U'(1\angle 0 - 1\angle -120)} = \frac{U}{U'} \angle 0 = \frac{N}{N'} \angle 0$$

ÍNDICE HORARIO CONEXIÓN ESTRELLA-ESTRELLA

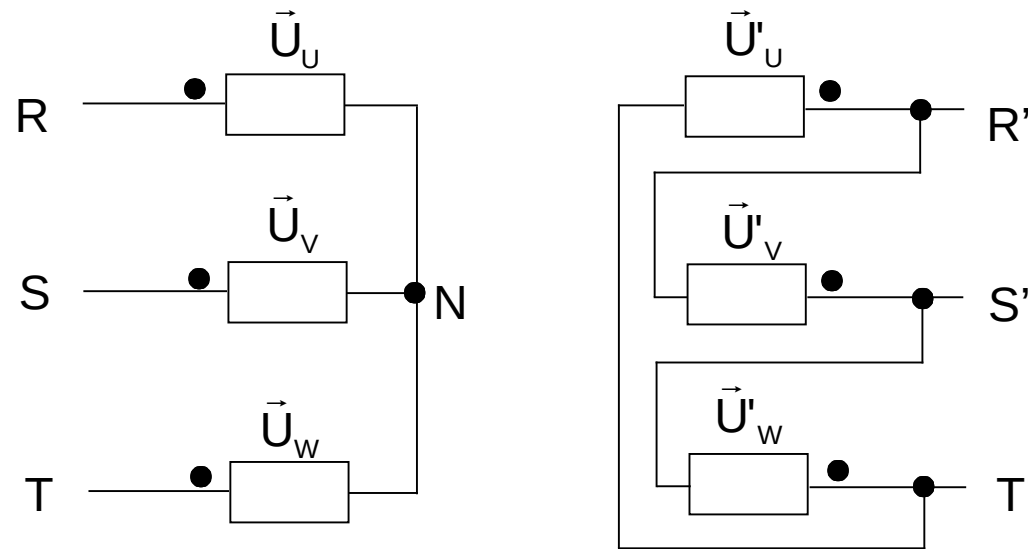
DESFASE $0^\circ \Rightarrow$ CONEXIÓN YNyn0



ÍNDICE HORARIO CONEXIÓN ESTRELLA-TRIÁNGULO



ÍNDICE HORARIO CONEXIÓN ESTRELLA-TRIÁNGULO



HIPÓTESIS: TRANSFORMADOR IDEAL, SISTEMA EQUILIBRADO, SECUENCIA DIRECTA

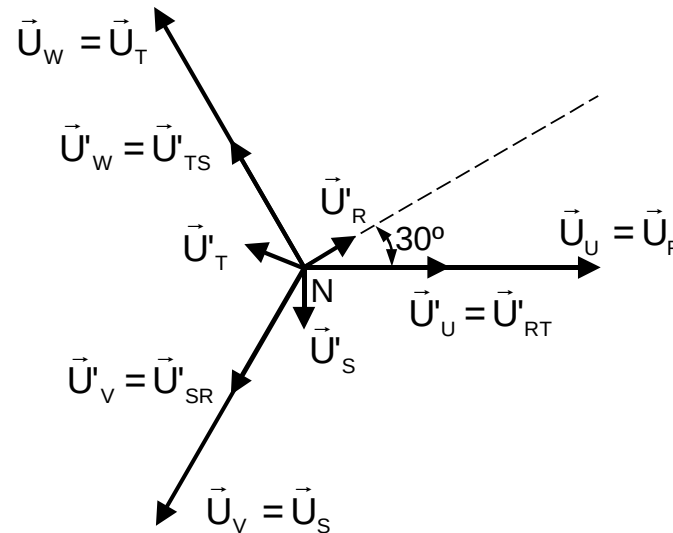
ÍNDICE HORARIO. CONEXIÓN ESTRELLA-TRIÁNGULO

$$\vec{U}_{RS} = \vec{U}_U - \vec{U}_V$$

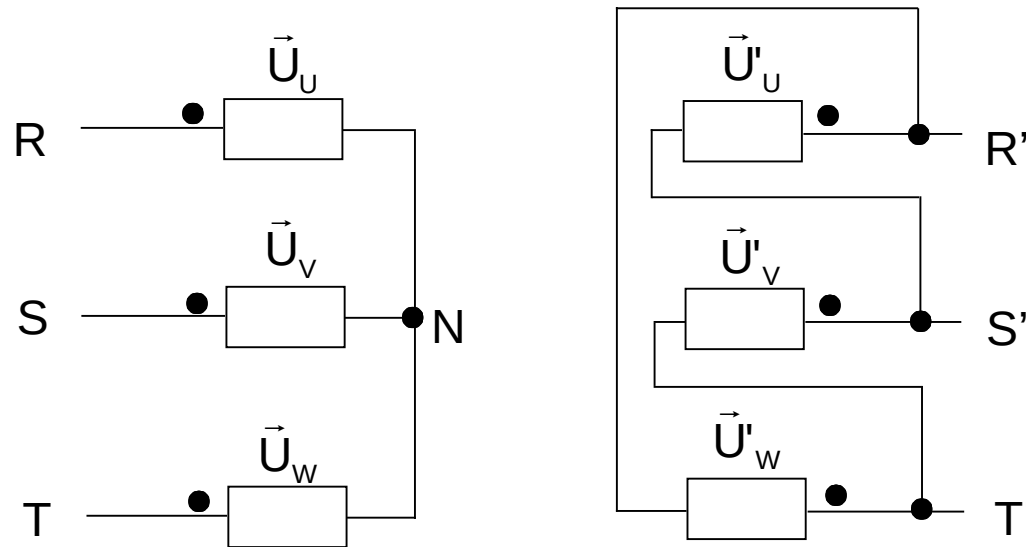
$$\vec{U}'_{RS} = -\vec{U}'_V$$

$$\frac{\vec{U}_{RS}}{\vec{U}'_{RS}} = \frac{U(1\angle 0 - 1\angle -120)}{U'(1\angle -120 + 180)} = \frac{\sqrt{3}U\angle 30}{U'\angle 60} = \sqrt{3} \frac{N}{N'} \angle -30$$

CONEXIÓN YNd11



ÍNDICE HORARIO CONEXIÓN ESTRELLA-TRIÁNGULO



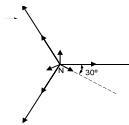
HIPÓTESIS: TRANSFORMADOR IDEAL, SISTEMA EQUILIBRADO, SECUENCIA DIRECTA

ÍNDICE HORARIO. CONEXIÓN ESTRELLA-TRIÁNGULO

$$\vec{U}_{RS} = \vec{U}_U - \vec{U}_V$$

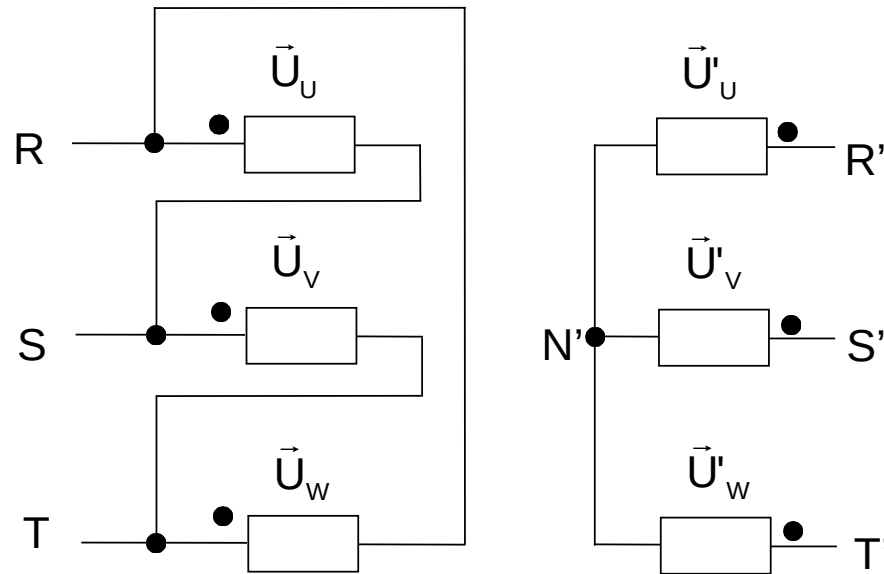
$$\vec{U}'_{RS} = \vec{U}'_U$$

$$\frac{\vec{U}_{RS}}{\vec{U}'_{RS}} = \frac{U(1\angle 0 - 1\angle -120)}{U'\angle 0} = \frac{\sqrt{3}U\angle 30}{U'\angle 0} = \sqrt{3} \frac{N}{N'} \angle 30$$



CONEXIÓN YNd1

ÍNDICE HORARIO CONEXIÓN TRIÁNGULO-ESTRELLA



HIPÓTESIS: TRANSFORMADOR IDEAL, SISTEMA EQUILIBRADO, SECUENCIA DIRECTA

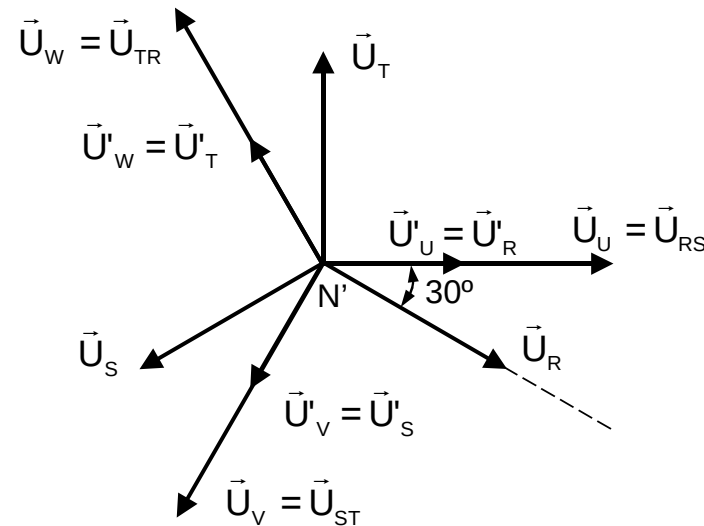
ÍNDICE HORARIO. CONEXIÓN TRIÁNGULO-ESTRELLA

$$\vec{U}_{RS} = \vec{U}_U$$

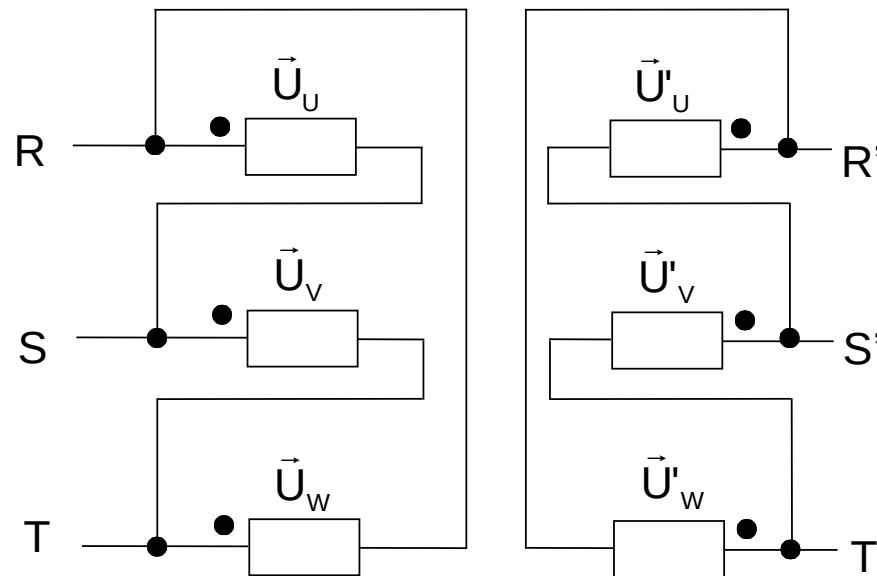
$$\vec{U}'_{RS} = \vec{U}'_U - \vec{U}'_V$$

$$\frac{\vec{U}_{RS}}{\vec{U}'_{RS}} = \frac{U \angle 0}{U' (1 \angle 0 - 1 \angle -120)} = \frac{U \angle 0}{\sqrt{3} U' \angle 30} = \frac{N}{\sqrt{3} N'} \angle -30$$

CONEXIÓN Dyn11



ÍNDICE HORARIO CONEXIÓN TRIÁNGULO-TRIÁNGULO



HIPÓTESIS: SECUENCIA DIRECTA, TRANSFORMADOR IDEAL, SISTEMA EQUILIBRADO

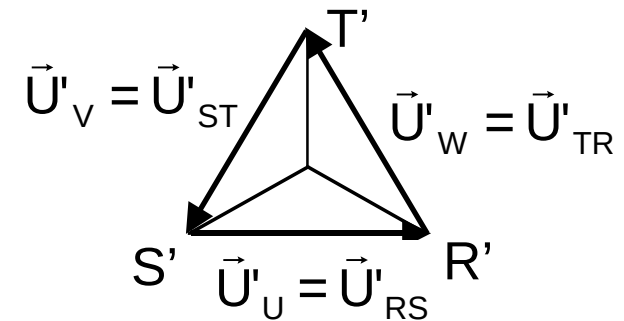
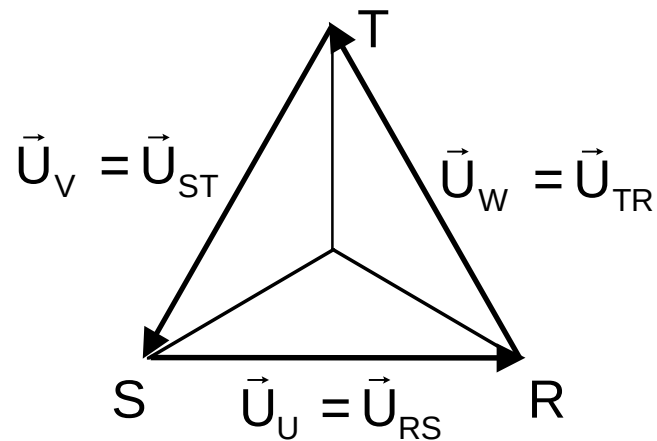
ÍNDICE HORARIO CONEXIÓN TRIÁNGULO-TRIÁNGULO

$$\vec{U}_{RS} = \vec{U}_U$$

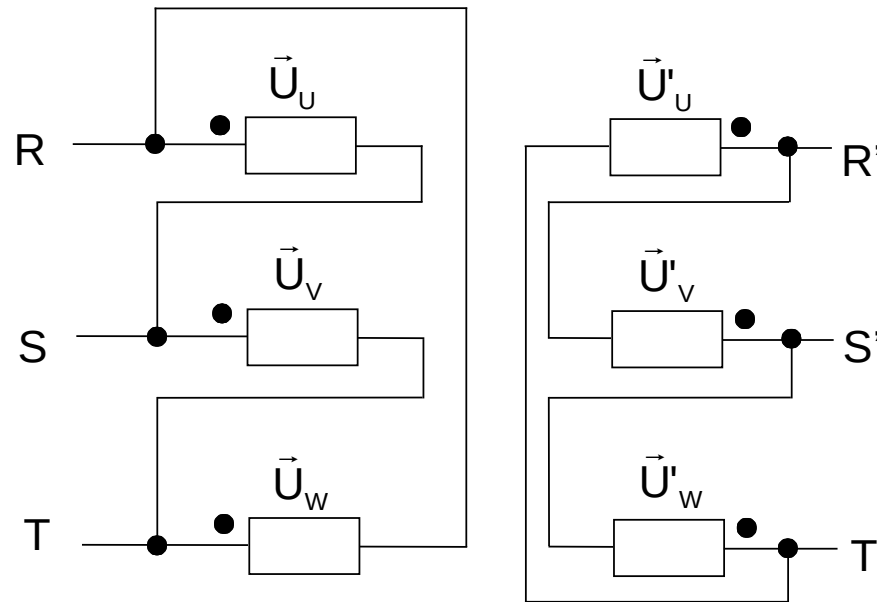
$$\vec{U}'_{RS} = \vec{U}'_U$$

$$\frac{\vec{U}_{RS}}{\vec{U}'_{RS}} = \frac{U \angle 0}{U' \angle 0} = \frac{N}{N'} \angle 0$$

CONEXIÓN Dd0



ÍNDICE HORARIO CONEXIÓN TRIÁNGULO-TRIÁNGULO



HIPÓTESIS: SECUENCIA DIRECTA, TRANSFORMADOR IDEAL, SISTEMA EQUILIBRADO

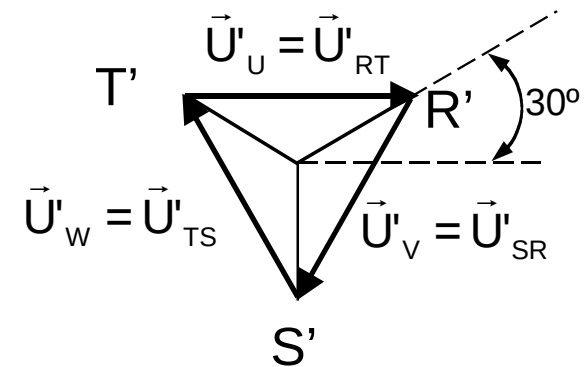
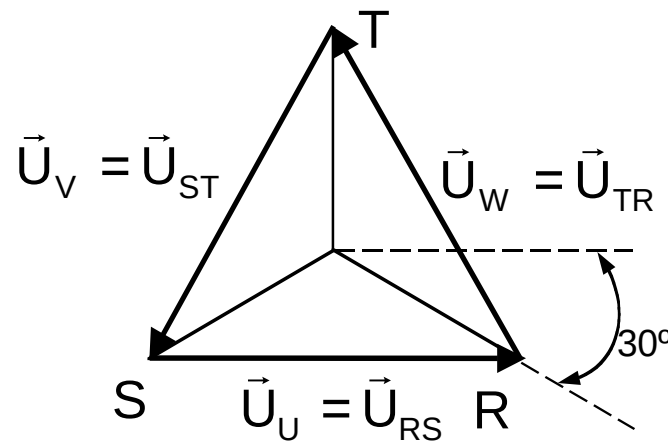
ÍNDICE HORARIO CONEXIÓN TRIÁNGULO-TRIÁNGULO

$$\vec{U}_{RS} = \vec{U}_U$$

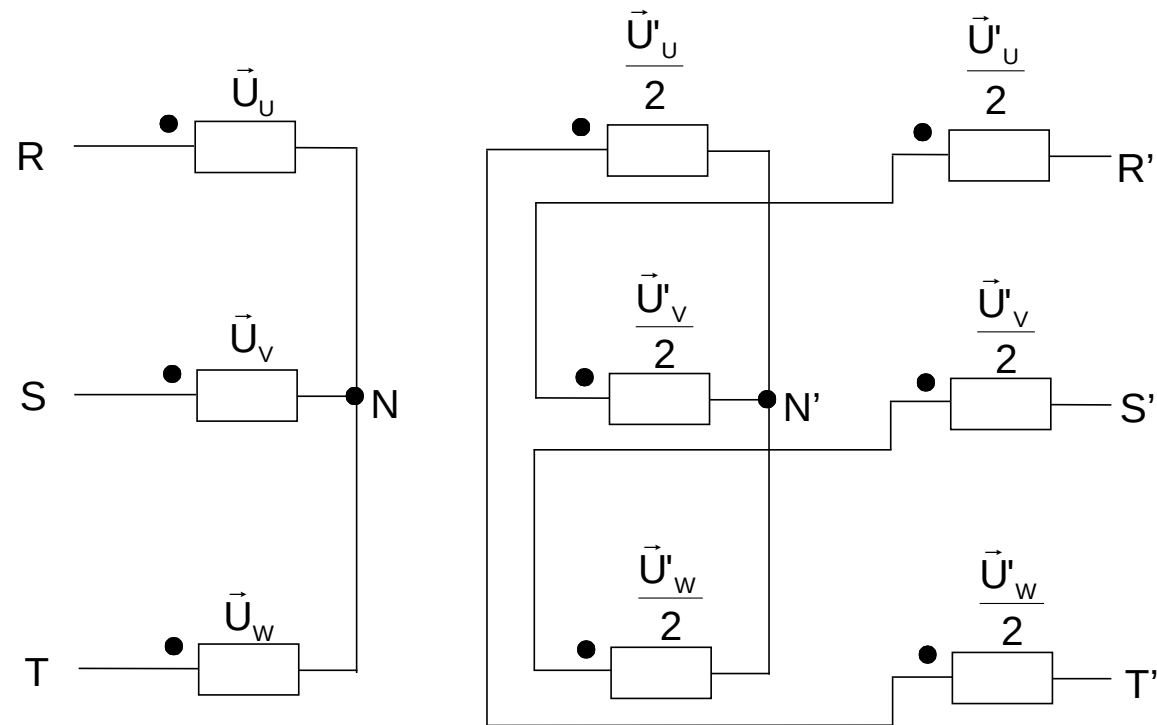
$$\vec{U}'_{RS} = -\vec{U}'_V$$

$$\frac{\vec{U}_{RS}}{\vec{U}'_{RS}} = \frac{U \angle 0}{U' \angle 180 - 120} = \frac{N}{N'} \angle -60$$

CONEXIÓN Dd10



ÍNDICE HORARIO CONEXIÓN ESTRELLA-ZIGZAG



HIPÓTESIS: SECUENCIA DIRECTA, TRANSFORMADOR IDEAL, SISTEMA EQUILIBRADO

ÍNDICE HORARIO CONEXIÓN ESTRELLA-ZIGZAG

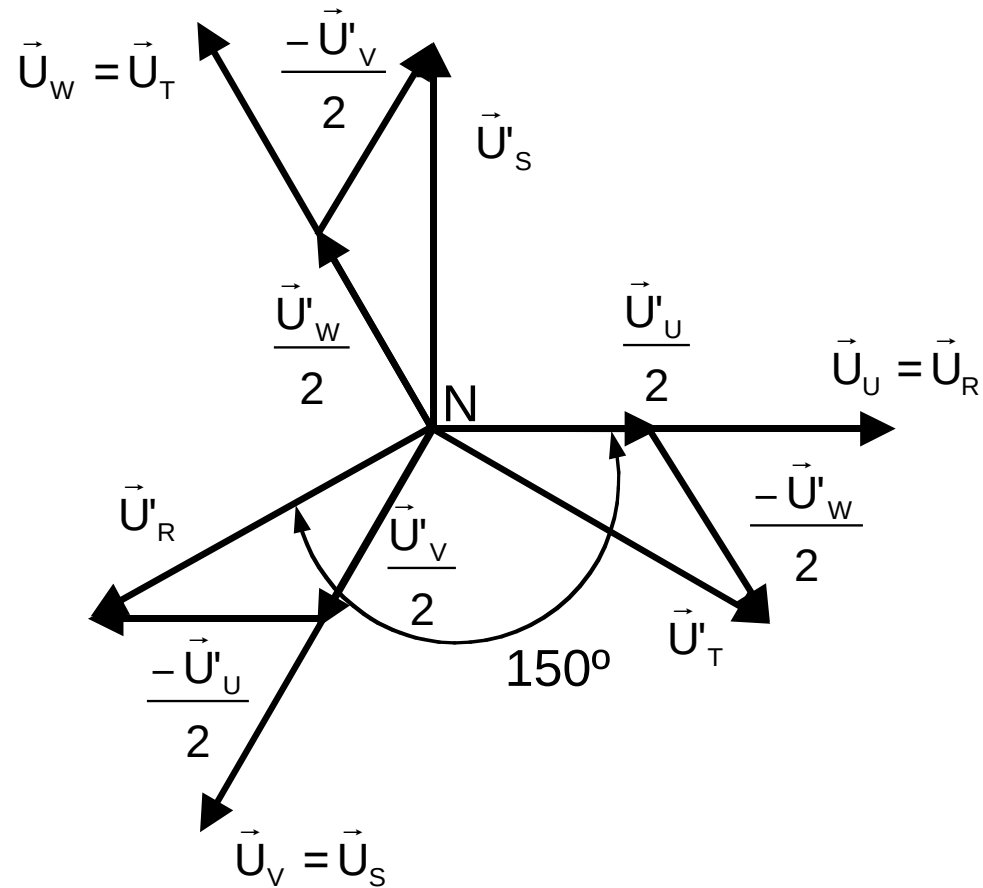
$$\vec{U}_{RS} = \vec{U}_U - \vec{U}_V$$

$$\vec{U}'_{RS} = \frac{-\vec{U}'_U}{2} + \frac{\vec{U}'_V}{2} - \frac{\vec{U}'_W}{2} + \frac{\vec{U}'_V}{2} = \frac{3}{2} \vec{U}'_V$$

$$\frac{\vec{U}_{RS}}{\vec{U}'_{RS}} = \frac{U(1\angle 0 - 1\angle -120)}{\frac{3}{2}U'\angle -120} = \frac{\sqrt{3}U\angle 30}{\frac{3}{2}U'\angle -120} = \frac{2}{\sqrt{3}} \frac{N}{N'} \angle 150$$

CONEXIÓN YNzn5

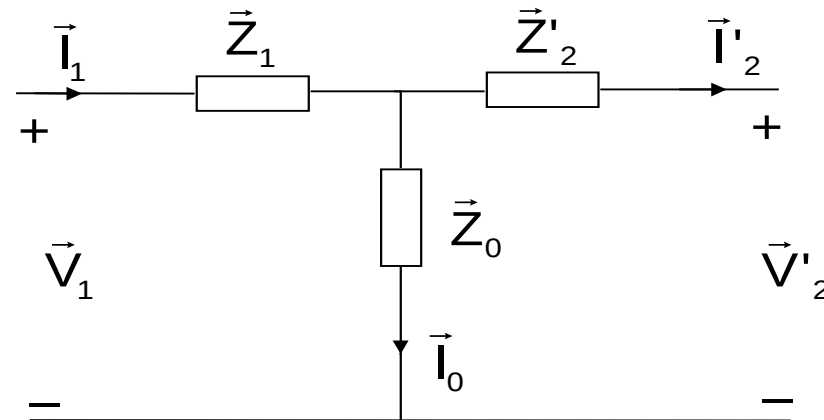
ÍNDICE HORARIO CONEXIÓN ESTRELLA-ZIGZAG



ESQUEMA EQUIVALENTE

ESQUEMA EQUIVALENTE POR FASE REFERIDO A UN LADO

TRANSFORMADOR TRIFÁSICO: ESTRELLA DE IMPEDANCIAS



$\vec{V}_1, \vec{V}'_2$ TENSIONES SIMPLES

$\vec{I}_1, \vec{I}'_2, \vec{I}_0$ INTENSIDADES SIMPLES

ENSAYO DE VACÍO

CONEXIÓN:

- . TENSIÓN NOMINAL $\Rightarrow$ DEVANADO DE MAYOR TENSIÓN
- . ABIERTO $\Rightarrow$ DEVANADO DE MENOR TENSIÓN

LECTURAS:

- . POTENCIA TOTAL ABSORBIDA (TRIFÁSICA) $\equiv P_0$
- . INTENSIDAD DE FASE $\equiv I_{0A}, I_{0B}, I_{0C}$

POR DESEQUILIBRIO EN EL CIRCUITO MAGNÉTICO:

$$I_0 = \frac{1}{3} (I_{0A} + I_{0B} + I_{0C})$$

ENSAYO DE VACÍO: TRANSFORMADOR TRIFÁSICO

$$P_0 = 3R_{FE}I_{FE}^2 = \frac{3V_{10}^2}{R_{FE}} \Rightarrow R_{FE}$$

$$V_{10} \equiv V_{SIMPLE} = \begin{cases} \frac{V_{LÍNEA}}{\sqrt{3}} & \text{CONEXIÓN EN ESTRELLA} \\ V_{LÍNEA} & \text{CONEXIÓN EN TRIÁNGULO} \end{cases}$$

$$I_{FE} = \frac{V_{10}}{R_{FE}} \Rightarrow I_{\mu} = \sqrt{I_0^2 - I_{FE}^2} \Rightarrow X_{\mu} = \frac{V_{10}}{I_{\mu}}$$

$$I_0 \equiv I_{SIMPLE} = \begin{cases} I_{LÍNEA} & \text{CONEXIÓN EN ESTRELLA} \\ \frac{I_{LÍNEA}}{\sqrt{3}} & \text{CONEXIÓN EN TRIÁNGULO} \end{cases}$$

ENSAYO DE CORTOCIRCUITO

CONEXIÓN:

- . INTENSIDADES NOMINALES
- . TENSIÓN REDUCIDA $\Rightarrow$ DEVANADO DE MAYOR TENSIÓN
- . CORTOCIRCUITO $\Rightarrow$ DEVANADO DE MENOR TENSIÓN

LECTURAS:

- . TENSIÓN DE CORTOCIRCUITO, V_{cc} , COMPUESTA
- . POTENCIA TOTAL ABSORBIDA, P_{cc} , TRIFÁSICA

ENSAYO DE CORTOCIRCUITO

$$P_{cc} = 3R_{cc}I_{1cc}^2 \Rightarrow R_{cc}$$

$$I_{cc} \equiv I_{SIMPLE} = \begin{cases} I_{LÍNEA} & \text{CONEXIÓN EN ESTRELLA} \\ \frac{I_{LÍNEA}}{\sqrt{3}} & \text{CONEXIÓN EN TRIÁNGULO} \end{cases}$$

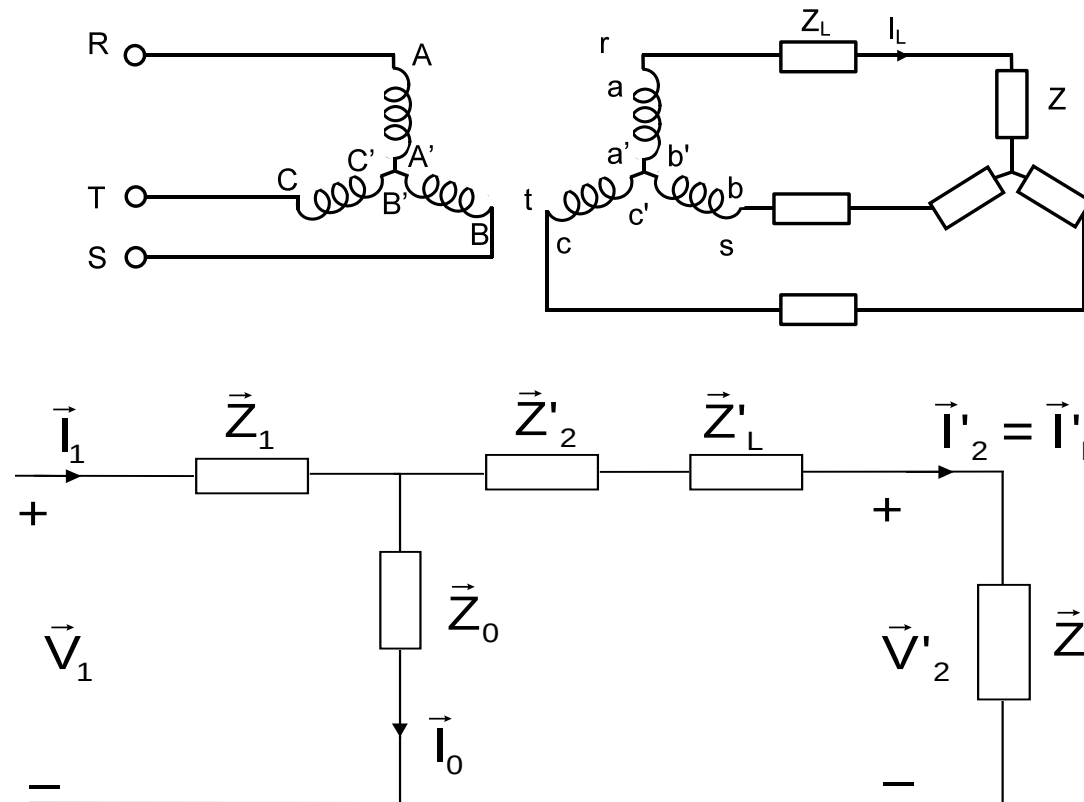
$$Z_{cc} = \frac{V_{1cc}}{I_{1N}} \Rightarrow X_{cc} = \sqrt{Z_{cc}^2 - R_{cc}^2}$$

$$V_{cc} \equiv V_{SIMPLE} = \begin{cases} \frac{V_{LÍNEA}}{\sqrt{3}} & \text{CONEXIÓN EN ESTRELLA} \\ V_{LÍNEA} & \text{CONEXIÓN EN TRIÁNGULO} \end{cases}$$

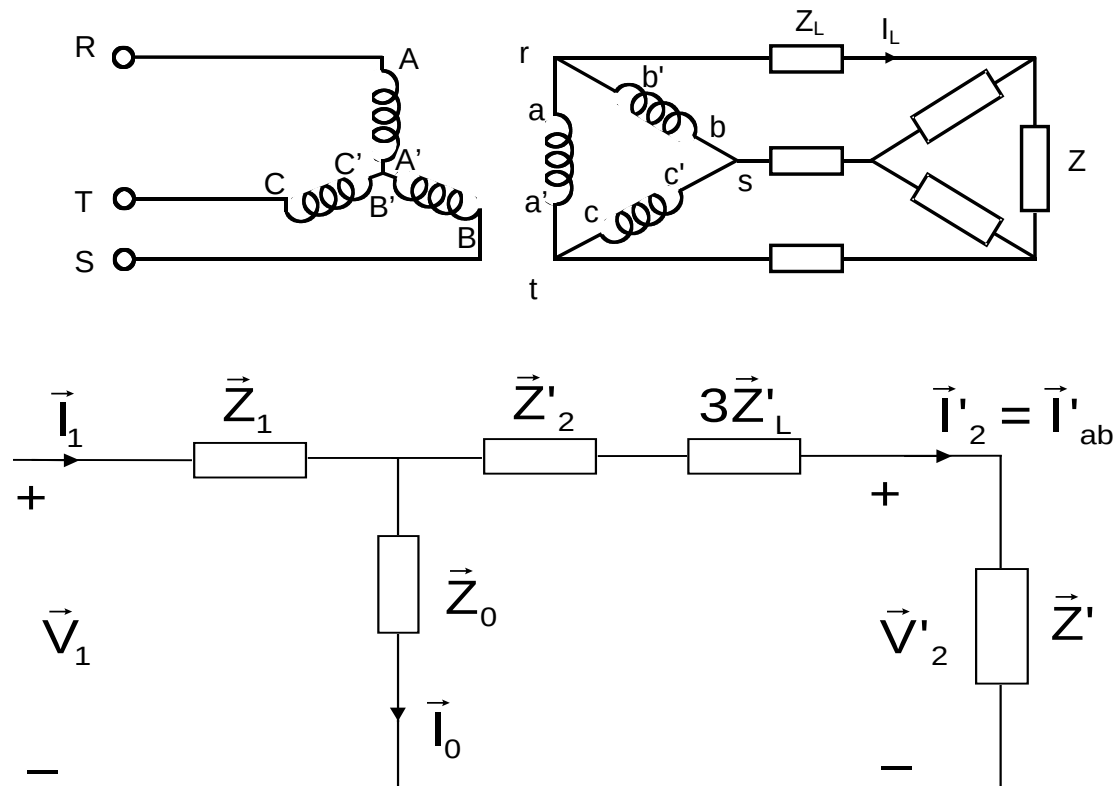
$$R_{cc} = R_1 + R'_2$$

$$X_{cc} = X_1 + X'_2$$

CIRCUITO MONOFÁSICO EQUIVALENTE ESTRELLA-ESTRELLA



CIRCUITO MONOFÁSICO EQUIVALENTE ESTRELLA-TRIÁNGULO



CIRCUITO MONOFÁSICO EQUIVALENTE TRIÁNGULO-ESTRELLA / ESTRELLA-TRIÁNGULO

RECOMENDACIÓN: CONVERTIR LA CARGA A LA CONEXIÓN DEL DEVANADO
DEL TRANSFORMADOR

DOS POSIBILIDADES:

- CONVERSIÓN DEL TRIÁNGULO A ESTRELLA
- CONVERSIÓN DE LA ESTRELLA A TRIÁNGULO

TRANSFORMADORES EN PARALELO

SITUACIONES PRÁCTICAS:

- 1) AMPLIACIÓN DE INSTALACIONES (SOLUCIÓN MÁS ECONÓMICA)
- 2) FLEXIBILIDAD DE OPERACIÓN
 - . 1 ÚNICO TRANSFORMADOR $\Rightarrow$ PÉRDIDA DE SUMINISTRO EN AVERÍA O REVISIÓN
 - . 2 TRANSFORMADORES $\Rightarrow$ LIMITACIÓN DE POTENCIA
- 3) POTENCIAS ELEVADAS
 - . FIABILIDAD (SALIDA DE GENERADORES)
 - . TAMAÑO (TRANSPORTE)

TRANSFORMADORES EN PARALELO CONDICIONES DE FUNCIONAMIENTO

· CONDICIONES CONVENIENTES:

- IGUAL RELACIÓN DE TRANSFORMACIÓN

CORRECTO FUNCIONAMIENTO EN VACÍO

- IGUAL TENSIÓN DE CORTOCIRCUITO EN p.u.

$$\frac{V_{cc}}{V_N} = \frac{Z_{cc} I_N}{V_N} = \varepsilon_{cc} \Rightarrow \text{EQUILIBRIO DE LA CARGA } (C_I = C_{II})$$

- IGUAL POTENCIA DE CORTOCIRCUITO EN p.u.

$$\frac{P_{cc}}{S_N} = \frac{R_{cc} I_N^2}{V_N I_N} = \frac{R_{cc} I_N}{V_N} = \varepsilon_{Rcc} \Rightarrow \text{SI } \varepsilon_{ccI} = \varepsilon_{ccII} \Rightarrow Z_{cc} \text{ CON IGUAL ARGUMENTO}$$

TRANSFORMADORES EN PARALELO

. CONDICIONES OBLIGATORIAS

- TRAFOS MONOFÁSICOS: CONEXIÓN BORNAS HOMÓLOGAS ENTRE SÍ
- TRAFOS TRIFÁSICOS:
 - * CONEXIÓN BORNAS HOMÓLOGAS ENTRE SÍ
 - * IGUAL ÍNDICE HORARIO
 - * IGUAL SECUENCIA DE FASES

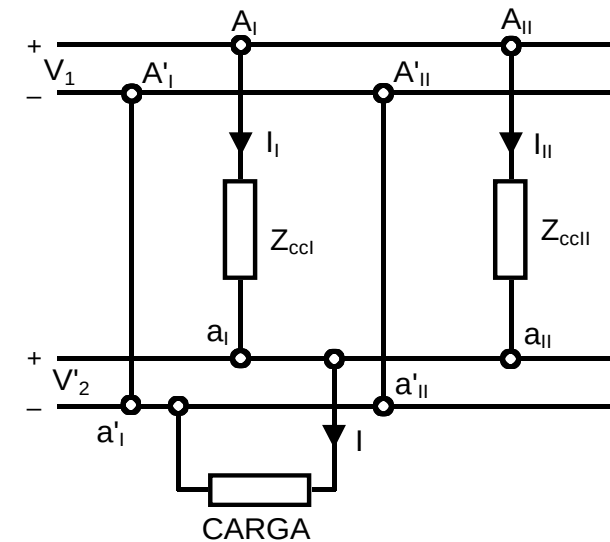
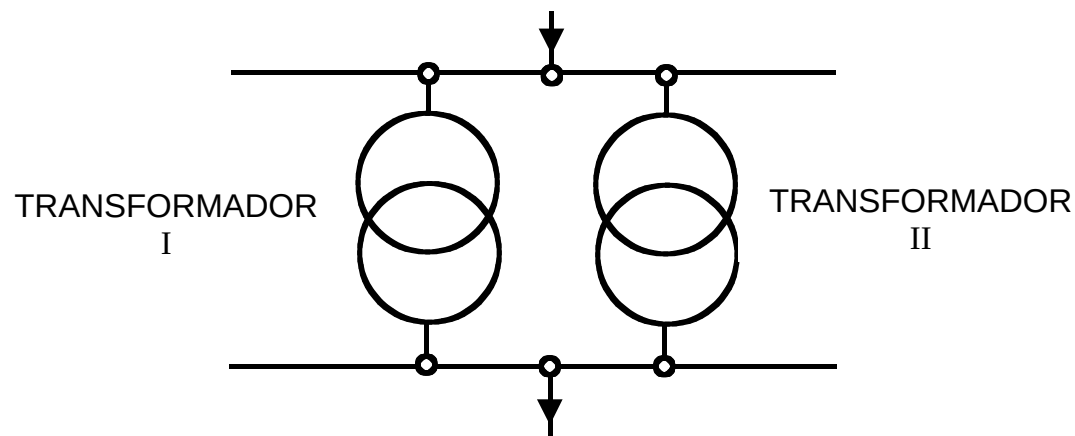
INCONVENIENTES:

- . AUMENTA LA INTENSIDAD DE CORTOCIRCUITO
- . AUMENTA COSTE DEL APARELLAJE ELÉCTRICO

TRANSFORMADORES EN PARALELO

INCUMPLIMIENTO DE CONDICIONES

- CONDICIONES CONVENIENTES: FUNCIONAMIENTO POSIBLE (NO ÓPTIMO)
- CONDICIONES OBLIGATORIAS: IMPOSIBILIDAD DE FUNCIONAMIENTO (CORTOCIRCUITO)



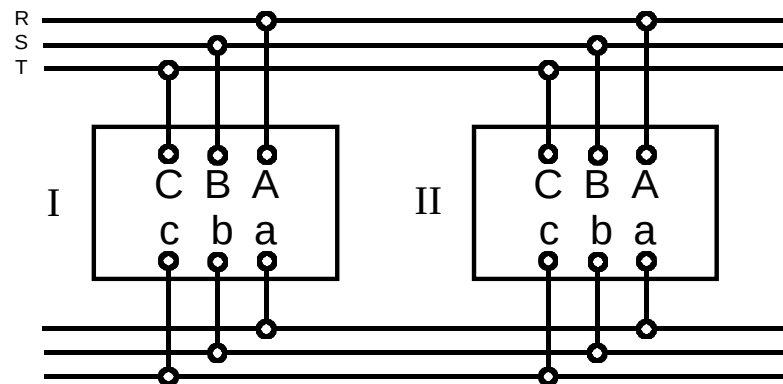
TRANSFORMADORES EN PARALELO

$$Z_{ccl} \cdot I_I = Z_{ccII} \cdot I_{II}$$

$$\frac{I_I}{I_{IN}} \cdot \frac{Z_{ccl} I_{IN}}{V_{1N}} \cdot 100 = \frac{I_{II}}{I_{IIN}} \cdot \frac{Z_{ccII} I_{IIN}}{V_{1N}} \cdot 100$$

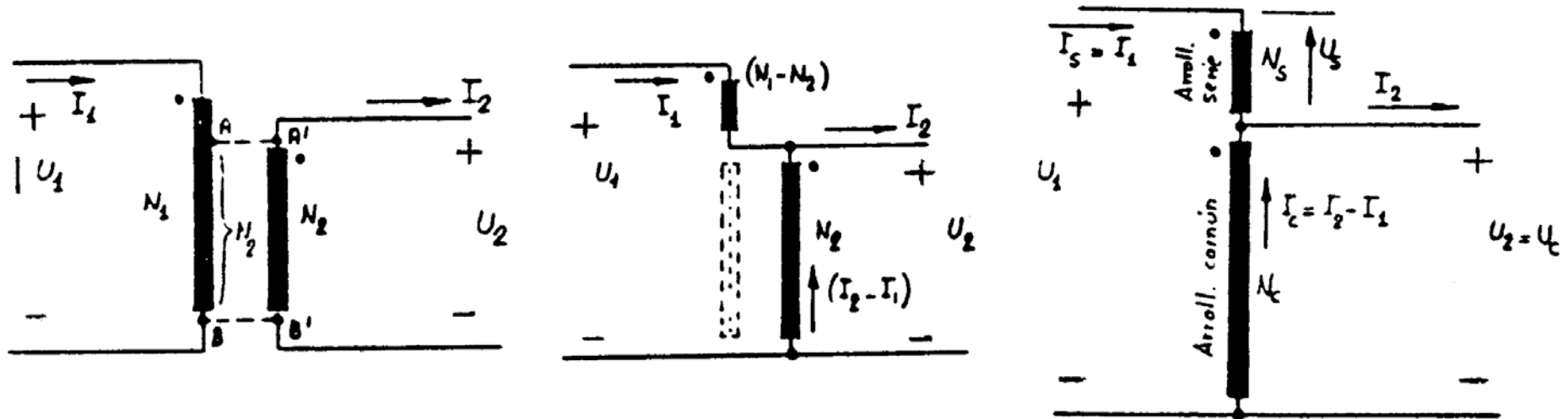
$$C_I \cdot \epsilon_{ccl} = C_{II} \cdot \epsilon_{ccII}$$

$$\frac{C_I}{C_{II}} = \frac{\epsilon_{ccII}}{\epsilon_{ccl}}$$



AUTOTRANSFORMADOR

- DIVISOR DE Tensión
- ÚNICO ARROLLAMIENTO
- PRIMARIO Y SECUNDARIO UNIDOS GALVÁNICAMENTE



AUTOTRANSFORMADOR

- ARROLLAMIENTO SERIE: CIRCULA I_1 (MENOS LONGITUD POR TRAFO)
- ARROLLAMIENTO COMÚN: CIRCULA $I_2 - I_1$ (MENOS SECCIÓN POR TRAFO)
- MENOR CANTIDAD DE COBRE

RELACIÓN DE TRANSFORMACIÓN:

$$k = \frac{N_1}{N_2} = \frac{N_s + N_c}{N_c} = \frac{U_1}{U_2}$$

↑
HIPÓTESIS
IDEAL

DESPRECIANDO $\Re_m$ LA ECUACIÓN MAGNÉTICA:

$$N_s I_1 - N_c (I_2 - I_1) = 0$$

AUTOTRANSFORMADOR

$$\frac{I_2}{I_1} = \frac{N_s + N_c}{N_c} = \frac{N_1}{N_2}$$

COMPORTAMIENTO COMO EL DEL TRANSFORMADOR

ARROLLAMIENTOS DE FORMA INDIVIDUALIZADA:

$$\frac{U_s}{U_c} = \frac{N_s}{N_c} \quad \frac{I_s}{I_c} = \frac{N_c}{N_s}$$

EL AUTOTRANSFORMADOR PUEDE ENTENDERSE COMO UNA FORMA ESPECIAL DE CONECTAR UN TRANSFORMADOR

COINCIDE CON SUS CARACTERÍSTICAS CONSTRUCTIVAS

AUTOTRANSFORMADOR

COMPARACIÓN ENTRE TRANSFORMADOR Y AUTOTRANSFORMADOR

BASES: DOS MÁQUINAS CON:

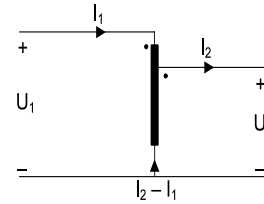
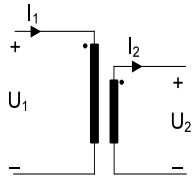
- 1) IGUALES CARACTERÍSTICAS NOMINALES (TENSIÓN, POTENCIA)
- 2) IGUALES PÉRDIDAS POR UNIDAD DE PESO ($B_{\max}$)
- 3) IGUAL DENSIDAD DE CORRIENTE

PARÁMETROS DE CORTOCIRCUITO:

$$\text{TRAFO} \Rightarrow P_{cc_T} = I_1^2 R_1 + I_2^2 R_2 = I_1^2 R_{cc}$$

$$\text{AUTOTRAFO} \Rightarrow P_{cc_A} = I_1^2 R_s + (I_2 - I_1)^2 R_c$$

AUTOTRANSFORMADOR



$$R_s = R_1 \frac{N_s}{N_1} = R_1 \frac{N_1 - N_2}{N_1} = R_1 \left(1 - \frac{1}{k} \right)$$

$$I_2 - I_1 = I_2 \left(1 - \frac{I_1}{I_2} \right) = I_2 \left(1 - \frac{1}{k} \right)$$

AUTOTRANSFORMADOR

$$R_c = R_2 \frac{I_2}{I_2 - I_1} = R_2 \left(1 - \frac{1}{k}\right)^{-1} \quad (\text{BASE 3})$$

$$P_{ccA} = I_1^2 R_1 \left(1 - \frac{1}{k}\right) + I_2^2 \left(1 - \frac{1}{k}\right)^2 R_2 \left(1 - \frac{1}{k}\right)^{-1} = P_{ccT} \left(1 - \frac{1}{k}\right)$$

BASE 1 $\Rightarrow$ MISMA POTENCIA NOMINAL

$$p_{cc \% A} = p_{cc \% T} \left(1 - \frac{1}{k}\right) \quad \Leftrightarrow \quad \varepsilon_{RccA} = \varepsilon_{RccT} \left(1 - \frac{1}{k}\right)$$

AUTOTRANSFORMADOR

MENOR NECESIDAD DE COBRE $\Rightarrow$ $\left\{ \begin{array}{l} \text{MENORES VENTANAS} \\ \text{MENORES BOBINAS (DIMENSIÓN)} \end{array} \right. \Rightarrow$

$\downarrow \downarrow$ REACTANCIA DE DISPERSIÓN

EN GENERAL:

$$X_{ccA} \leq X_{ccT} \left(1 - \frac{1}{k} \right)$$

$$u_{cc \% A} = u_{cc \% T} \left(1 - \frac{1}{k} \right) \quad \Leftrightarrow \quad \varepsilon_{ccA} = \varepsilon_{ccT} \left(1 - \frac{1}{k} \right)$$

AUTOTRANSFORMADOR

PARÁMETROS DE VACÍO

{ VACÍO
 { IGUAL TENSIÓN
 MAGNÉTICO

$\Rightarrow$ MISMO FLUJO $\Rightarrow$ MISMA SECCIÓN CIRCUITO

IGUAL B (BASE 2)
 ↓

AUNQUE TRABAJEN CON { LA MISMA H
 { LAS MISMAS PÉRDIDAS ESPECÍFICAS AL SER
 MENOR SECCIÓN LA VENTANA:

AUTOTRANSFORMADOR

MENOR LONGITUD MAGNÉTICA $\Rightarrow \downarrow\downarrow$ INTENSIDAD MAGNETIZANTE

MENOR PESO $\Rightarrow \downarrow\downarrow$ PÉRDIDAS TOTALES

NECESARIO CONOCER LAS DIMENSIONES DEL CIRCUITO

EN GENERAL:

$$i_0 \%_A < i_0 \%_T$$

$$p_0 \%_A < p_0 \%_T$$

PESO DE COBRE

IGUAL DENSIDAD CORRIENTE (BASE 3) $\Rightarrow$ IGUALES PÉRDIDAS POR UNIDAD DE PESO

AUTOTRANSFORMADOR

FACTOR DE REDUCCIÓN DE PÉRDIDAS EN EL COBRE

$$1 - \frac{1}{k}$$

SE PUEDE APLICAR AL PESO DE COBRE

$$\text{PESO}_{\text{CU,A}} = \text{PESO}_{\text{CU,T}} \left(1 - \frac{1}{k} \right)$$

VENTAJAS DE LOS AUTOTRANSFORMADORES

- MENORES PÉRDIDAS (COBRE, HIERRO)
- MEJOR RENDIMIENTO

AUTOTRANSFORMADOR

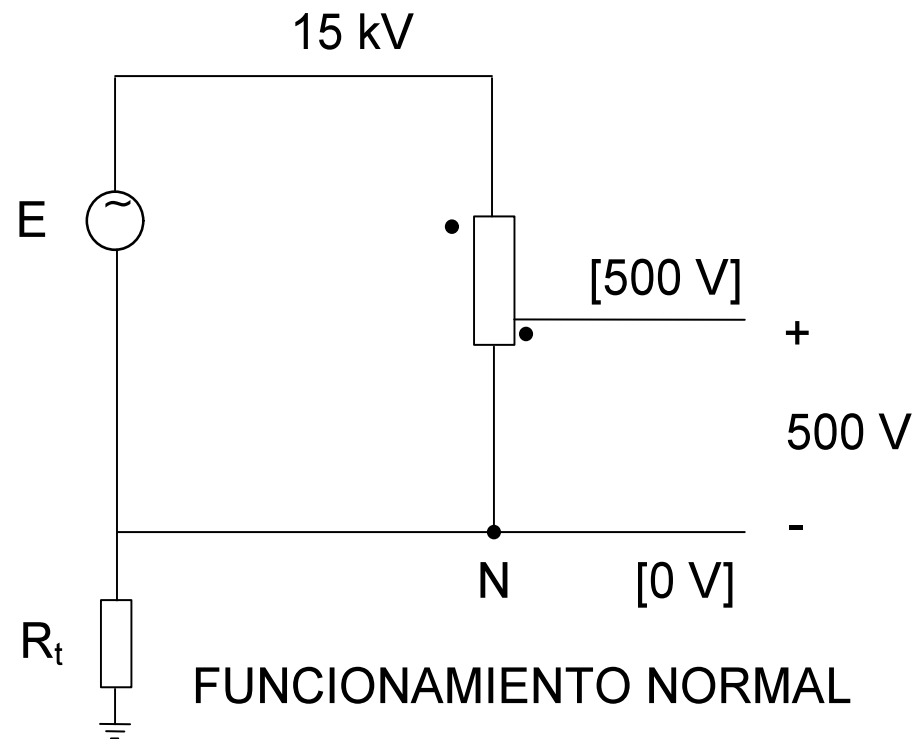
- MENORES CAÍDAS DE TENSIÓN
- MENOR INTENSIDAD DE VACÍO
- MENOR COSTE: ↓ COBRE, ↓ HIERRO
- MENOR TAMAÑO (ESPACIO EN SUBESTACIONES)

INCONVENIENTES DE LOS AUTOTRANSFORMADORES

- MAYOR INTENSIDAD DE CORTOCIRCUITO $\Rightarrow$ ↑ COSTE APARELLAJE
- NO EXISTE AISLAMIENTO GALVÁNICO ENTRE PRIMARIO Y SECUNDARIO
 $\Rightarrow$ APARICIÓN DE TENSIONES PRIMARIAS EN EL SECUNDARIO

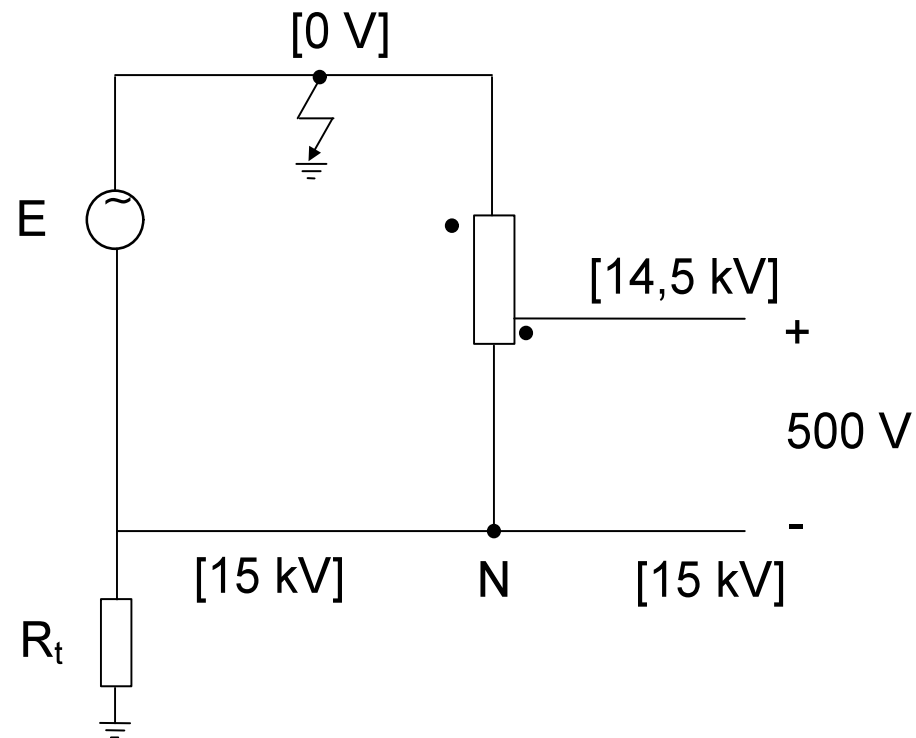
AUTOTRANSFORMADOR

AVERÍA:



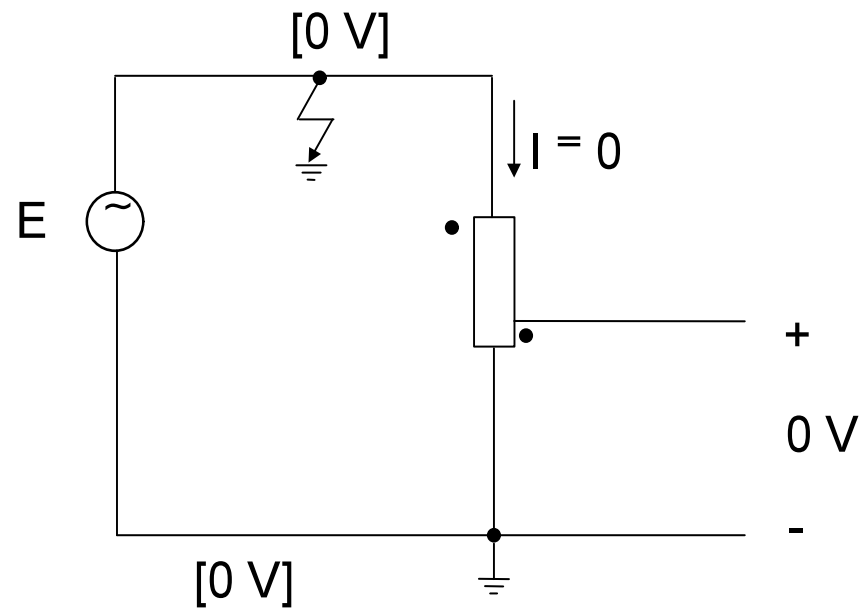
AUTOTRANSFORMADOR

CORTOCIRCUITO A TIERRA EN ALTA TENSION:



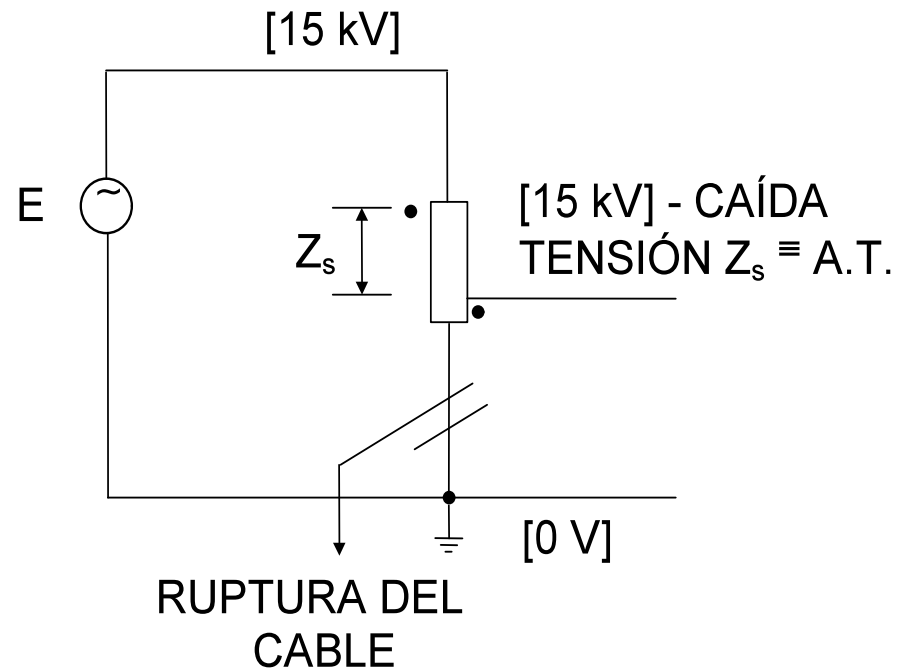
AUTOTRANSFORMADOR

AVERÍA:



BORNA COMÚN: CONEXIÓN RÍGIDA A TIERRA

AUTOTRANSFORMADOR



REGLAMENTACIÓN: $k < 1,25$

CON POTENCIALES POR DEBAJO DE 250 V, NO REGULADO

ACONSEJABLE (GENERAL) $1 < k < 2$

AUTOTRANSFORMADOR

POTENCIA EN LOS AUTOTRANSFORMADORES

POTENCIA NOMINAL: POTENCIA MÁXIMA QUE PUEDE TRANSFERIR DEL PRIMARIO AL SECUNDARIO

POTENCIA CEDIDA AL SECUNDARIO:

$$S_2 = V_2 I_2 = \underbrace{V_2 I_1}_{S_c} + \underbrace{V_2 (I_2 - I_1)}_{S_i}$$

$S_c \equiv$ POTENCIA DE CIRCULACIÓN

$S_i \equiv$ POTENCIA INTERNA (TRANSFERENCIA ELECTROMAGNÉTICA)

AUTOTRANSFORMADOR

$$S_i = V_2(I_2 - I_1) = V_2 I_2 \left(1 - \frac{1}{k}\right) = S_p \left(1 - \frac{1}{k}\right)$$

$S_p \equiv$ POTENCIA DE PASO

AUTOTRAFO SOLO “TRANSFORMA” EL $\left(1 - \frac{1}{k}\right) \cdot 100\%$ DE LA POTENCIA TOTAL
TRANSFERIDA AL SECUNDARIO

EJEMPLO:

TRAFO 100 kVA, $k = 2$, TRANSF. ELECTROMAGNÉTICA = 100 kVA

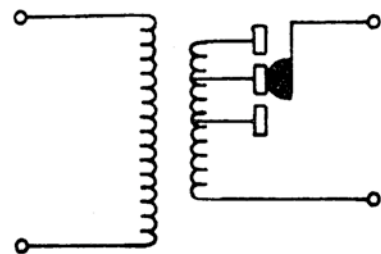
AUTOTRAFO 100 kVA, $k = 2$, TRANSF. ELECTROMAGNÉTICA = 50 kVA

TRANSFORMADORES CON TOMAS

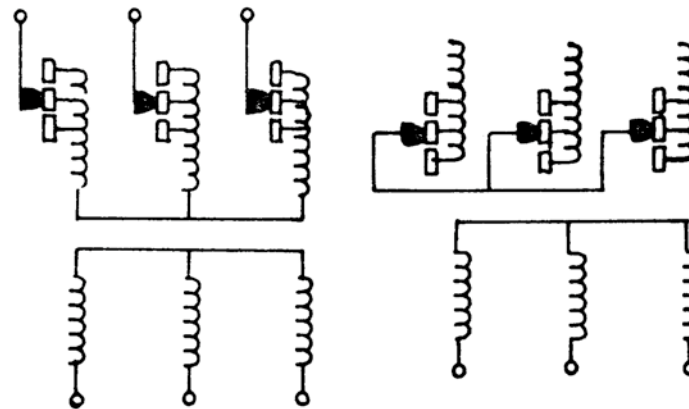
CONTROL DE LA TENSIÓN

- REGULAR TENSIÓN SERVIDA DENTRO LÍMITES LEGALES
- CONTROLAR FLUJOS DE P Y Q EN LA RED
- AJUSTE TENSIÓN FRENTE A INCREMENTO EN LA CARGA

MONOFÁSICO



TRIFÁSICO



TRANSFORMADORES CON TOMAS

CONMUTACIÓN A ALTA Tensión

- . ECONÓMICO: EN BAJA Tensión CONMUTADORES DE ALTA INTENSIDAD
- . TÉCNICO: EN ALTA Tensión MAYOR NÚMERO DE ESPIRAS $\Rightarrow$ MAYOR CAPACIDAD DE REGULACIÓN
- . SI AMBOS ARROLLAMIENTOS ESTÁN A ALTA Tensión LA REGULACIÓN EN EL ARROLLAMIENTO QUE VAYA A TENER Tensión VARIABLE (B CTE.)

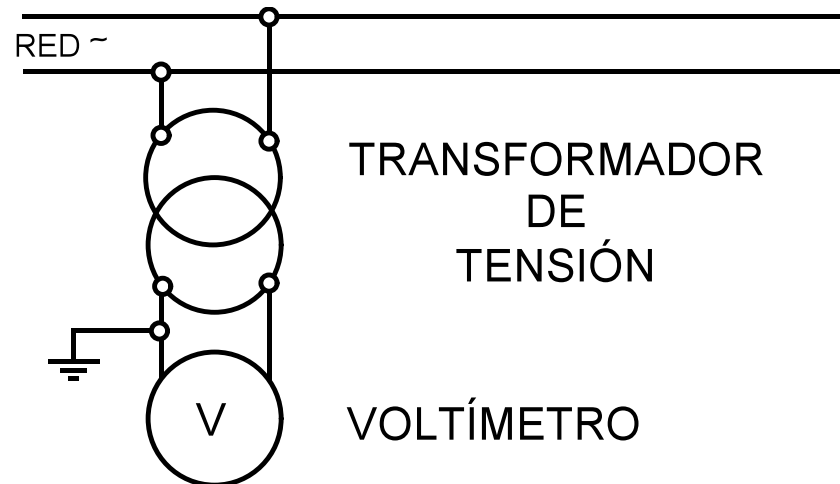
TRANSFORMACIÓN A I CTE. VERSUS TRANSFORMACIÓN A P CTE.

CONMUTACIÓN EN VACÍO VERSUS CONMUTACIÓN EN CARGA

TRANSFORMADORES DE MEDIDA

TRANSFORMADOR DE TENSIÓN

- FUNCIONA CASI EN VACÍO
- CAÍDA DE TENSIÓN INTERNA MUY PEQUEÑA
- BORNE DE SECUNDARIO A TIERRA $\Rightarrow$ PELIGRO CONTACTO PRIMARIO Y SECUNDARIO



TRANSFORMADORES DE MEDIDA

$$V_1 - V'_2 = R_{cc}I'_2 \cos(\varphi_{cc}) + X_{cc}I'_2 \sin(\varphi_{cc})$$

IDEALMENTE:

$$V_1 = V'_2 \Rightarrow V_2 = \frac{V_1}{K_V}$$

ERROR DE RELACIÓN O DE TENSIÓN

$$\varepsilon_V = \frac{V_2 - \frac{V_1}{K_V}}{\frac{V_1}{K_V}} \cdot 100$$

TRANSFORMADORES DE MEDIDA

ERROR DE FASE O DE ÁNGULO $\equiv$ DIFERENCIA DE FASE ENTRE V_1 Y V_2 (MIN)

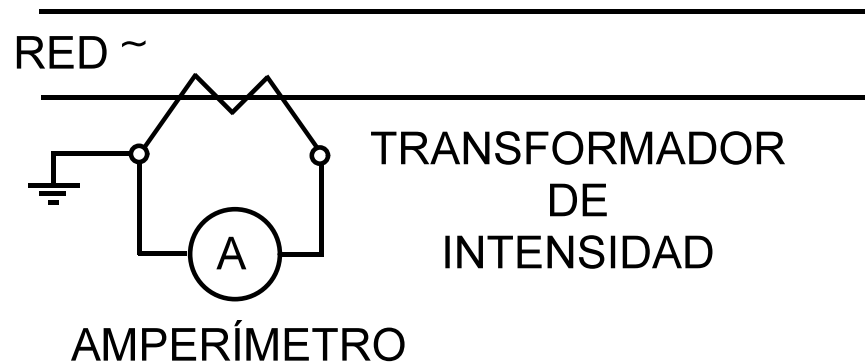
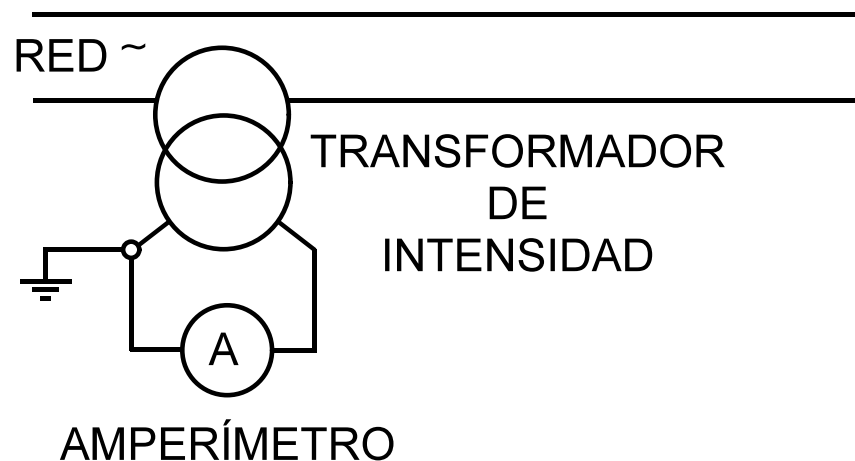
CLASES DE PRECISIÓN: 0,1, 0,2, 0,5, 1, 3 $\Rightarrow$ VALOR MÁXIMO DE ε_V A
POTENCIA NOMINAL Y
F.D.P. 0,8 INDUCTIVO

APARATO	CONSUMO (VA)
VOLTÍMETROS	2-8
BOBINA VOLTIMÉTRICA VATÍMETRO	1-8
BOBINA VOLTIMÉTRICA CONTADOR	2-6
FASÍMETROS	2-12
SINCRONOSCOPIOS	5-15
RELÉS	5-50

TRANSFORMADORES DE MEDIDA

TRANSFORMADOR DE CORRIENTE

- FUNCIONA CASI EN CORTOCIRCUITO
- EN A.T. BORNE DE SECUNDARIO A TIERRA $\Rightarrow$ PELIGRO CONTACTO
PRIMARIO Y
SECUNDARIO



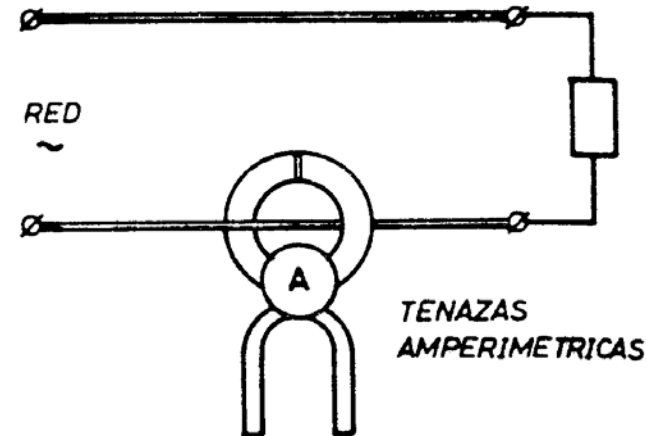
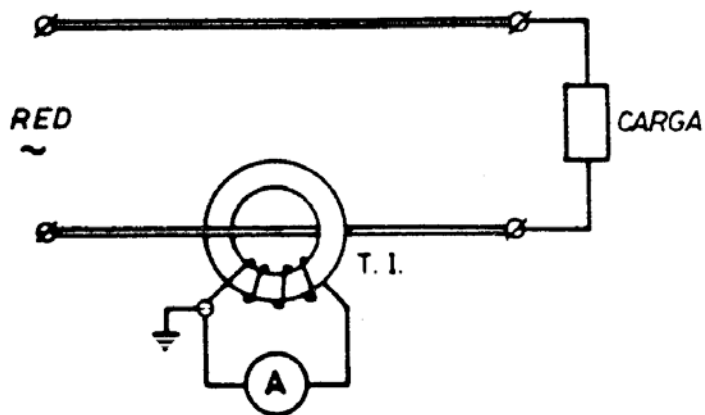
TRANSFORMADORES DE MEDIDA

$$I_1 = I'_2 + I_0 \Rightarrow I'_2 = \frac{I_2}{m}$$

IDEALMENTE:

$$I_1 = I'_2 = K_i I_2$$

B.T. $\Rightarrow$ TRANSFORMADOR DE TENAZA O PINZAS (NO SE CORTA LA LÍNEA)



TRANSFORMADORES DE MEDIDA

SI SE DEJA EN CIRCUITO ABIERTO EL SECUNDARIO $\Rightarrow I_1 = I_0$

I_1 ES CTE. (RED) Y MUY ELEVADA $\Rightarrow$ FLUJO CRECE PELIGROSAMENTE $\Rightarrow$
 $\uparrow\uparrow P_{FE}$ Y $V_2 \Rightarrow$ PELIGRO EN LA VIDA DE LOS AISLANTES Y LA **SEGURIDAD DEL PERSONAL**

SOLUCIONES:

- . INTERRUMPIR EL SERVICIO DE LA LÍNEA
- . CORTOCIRCUITAR PREVIAMENTE EL SECUNDARIO

TRANSFORMADORES DE MEDIDA

ERROR DE RELACIÓN O DE INTENSIDAD

$$\varepsilon_i = \frac{I_2 - \frac{I_1}{K_i}}{\frac{I_1}{K_i}} \cdot 100$$

ERROR DE FASE $\equiv$ DIFERENCIA DE FASE ENTRE I_1 E I_2 (MIN)

CLASES DE PRECISIÓN: IGUAL QUE LOS TRANSFORMADORES DE TENSIÓN

APARATO	CONSUMO (VA)
AMPERÍMETRO	1-4
BOBINA AMPERIMÉTRICA VATÍMETRO	1-8
BOBINA AMPERIMÉTRICA CONTADOR	1-2
FASÍMETROS	2-12
RELÉS	5-20