

# LABORATORIO DE MÁQUINAS ELÉCTRICAS I

BIENVENIDOS AL CURSO

Docente: Juan Rafael Camacho Martínez



**TRANSFORMADORES** (Cambiar los niveles de tensión y corriente – Aislar eléctricamente dos circuitos)

- Monofásicos
- Trifásicos

**LAS MÁQUINAS ELÉCTRICAS ROTATIVAS DE D.C.** (Convertir Energía Eléctrica de D.C. en Energía Mecánica – Convertir Energía Mecánica en Energía Eléctrica de D.C.)

- Motores de D.C.
- Generadores D.C.

**LAS MÁQUINAS ELÉCTRICAS ROTATIVAS DE A.C.** (Convertir Energía Eléctrica de A.C. en Energía Mecánica – Convertir Energía Mecánica en Energía Eléctrica de A.C.)

- Motores de A.C.
- Generadores A.C.

Máquinas Eléctricas I

Máquinas Eléctricas II

**Primario:** entrada de potencia

**Secundario:** salida de potencia

# TRANSFORMADOR

$$V_P$$

$$I_P$$

$$P_P = |V_P| |I_P| F.P.P$$

$$V_S$$

$$I_S$$

$$P_S = |V_S| |I_S| F.P.S$$

Si se considera un comportamiento ideal:

$$P_P = P_S$$

$$F.P.P = F.P.S$$

$$|V_P| |I_P| F.P.P = |V_S| |I_S| F.P.S$$

$$|V_P| |I_P| = |V_S| |I_S|$$

$$\frac{|V_P|}{|V_S|} = \frac{|I_S|}{|I_P|}$$

**ELEVADOR:**

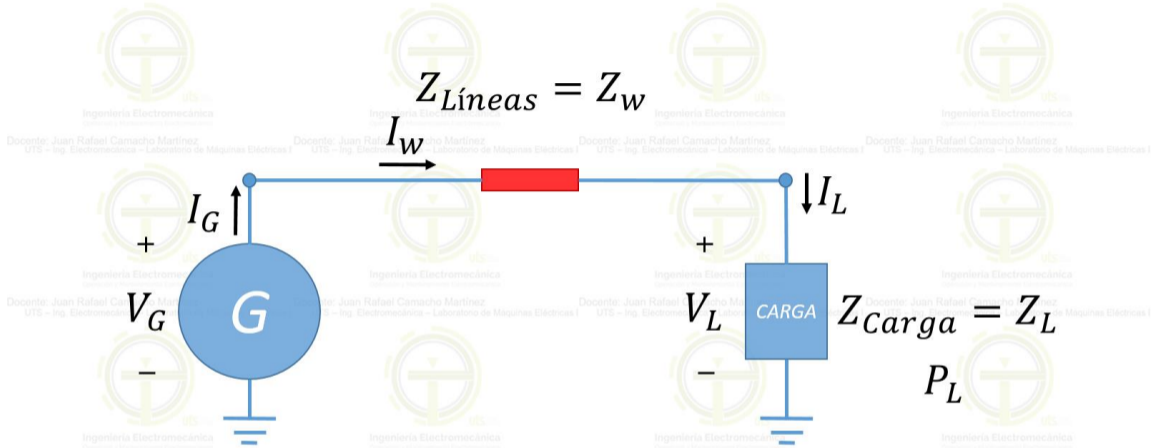
$$|V_P| < |V_S|$$

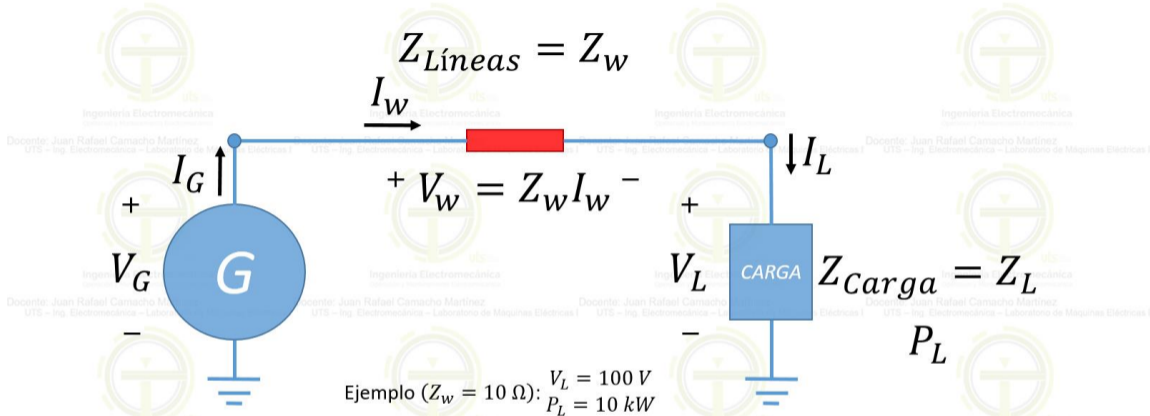
$$|I_P| > |I_S|$$

**REDUCTOR:**

$$|V_P| > |V_S|$$

$$|I_P| < |I_S|$$



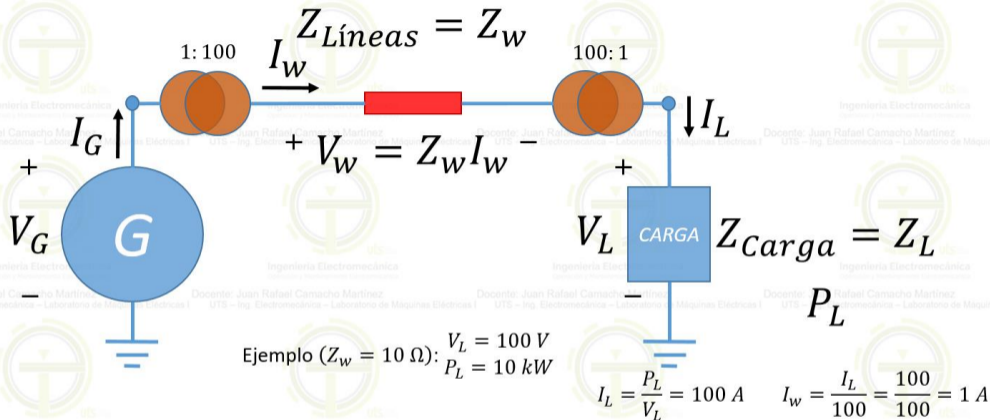


- ¿Cuál es la tensión en el generador?
- ¿Cuánta potencia entrega el generador?

$$I_L = \frac{P_L}{V_L} = \frac{10(10^3)}{100} = 100 A$$

$$V_G = V_L + V_W = 100 + (10)(100) = 1100 V$$

$$P_G = V_G I_G = 1100(100) = 110 kW$$

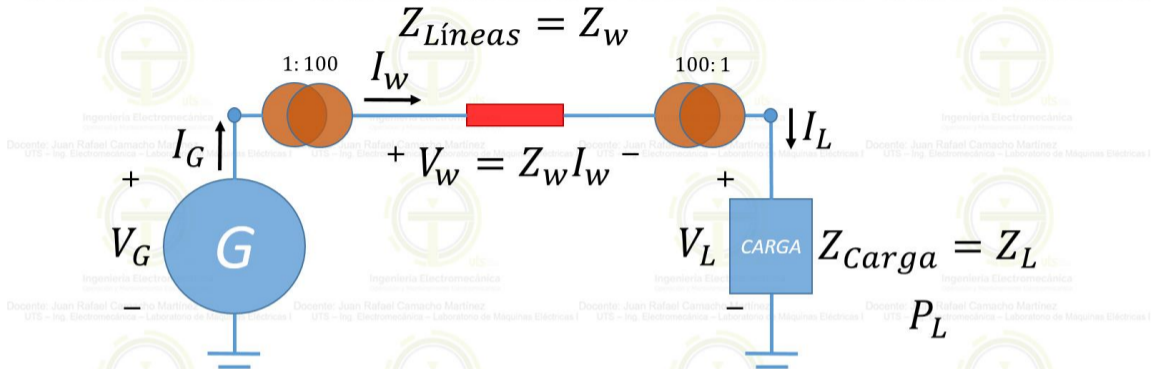


- ¿Cuál es la tensión en el generador?
- ¿Cuánta potencia entrega el generador?

$$V_G' = V_L' + V_w = 10000 + (10)(1) = 10010 \text{ V}$$

$$V_G = \frac{V_G'}{100} = \frac{10010}{100} = 100,1 \text{ V}$$

$$P_G = V_G I_G = 100,1(100 I_w) = 100,1(100(1)) = 10,01 \text{ kW}$$



Debido a que los transformadores solo operan en alterna, los generadores y, por lo tanto, los sistemas eléctricos de potencia típicos son de A.C.

# TEMAS PARA REPASAR

## Análisis de circuitos de alterna en estado estable.

Monofásicos

Trifásicos

Potencia Aparente

Potencia Activa

Potencia Reactiva

Potencia Compleja

Factor de Potencia

## Representación fasorial

Polar

Rectangular

## Modelos de Carga

Impedancia

Potencia

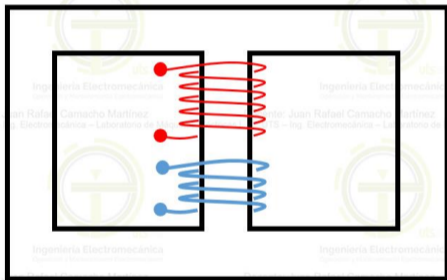


# LABORATORIO DE MÁQUINAS ELÉCTRICAS I

**PRINCIPIO DE OPERACIÓN Y PRUEBAS PRELIMINARES DE LOS  
TRANSFORMADORES MONOFÁSICOS**

Docente: Juan Rafael Camacho Martínez

# PARTES PRINCIPALES DE TRANSFORMADORES

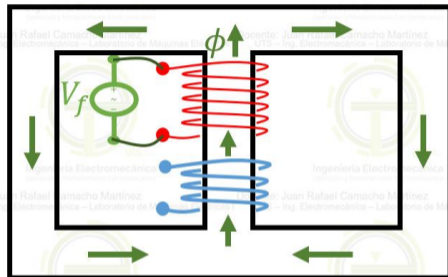
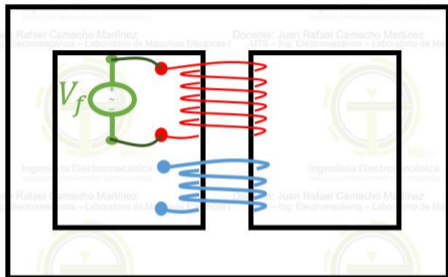


Los transformadores tienen dos partes constructivas fundamentales:

**El Núcleo (Hierro):** su función es conducir el flujo magnético.

**Las Bobinas (Cobre):** reciben y entregan la potencia eléctrica, acoplándose mediante sus flujos magnéticos.

# PRODUCCIÓN DE FLUJO MAGNÉTICO E INDUCCIÓN



$$e_{ind.} = k \frac{d\phi}{dt}$$

Relación de transformación ( $a$ ):

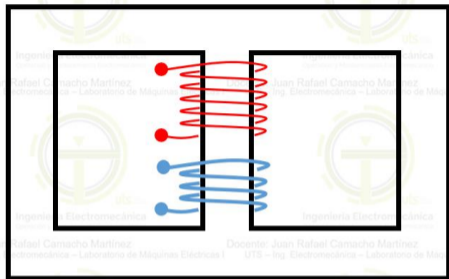
$$a = \frac{N_P}{N_S} = \frac{|V_P|}{|V_S|} = \frac{|I_S|}{|I_P|}$$

Elevador:  $0 < a < 1$

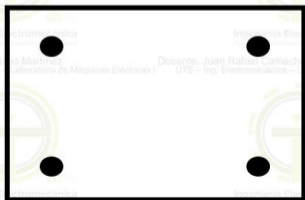
Reductor:  $a > 1$

Aislamiento:  $a = 1$

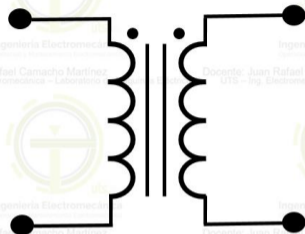
# REPRESENTACIÓN CONSTRUCTIVA



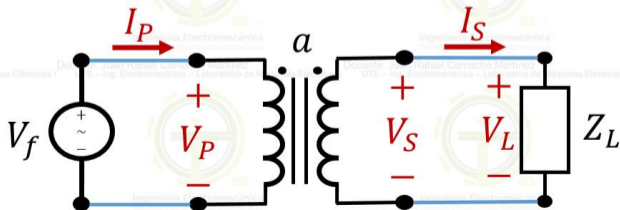
# BORNERA



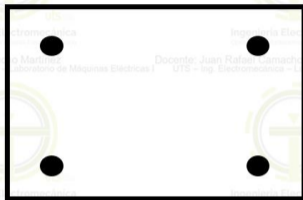
# SÍMBOLO



# CON CARGA Y FUENTE



# PRUEBAS PRELIMINARES



**Medición de continuidad:** identificar los pares de bornes de cada bobina.

**Medición de las resistencias de las bobinas:** identificar el lado de Alta Tensión (A.T.) y el lado de Baja Tensión (B.T.).

$$\downarrow\downarrow R_{B.T.} = \frac{\downarrow V_{B.T.}}{\uparrow I_{B.T.}} \quad \uparrow\uparrow R_{A.T.} = \frac{\uparrow V_{A.T.}}{\downarrow I_{A.T.}}$$

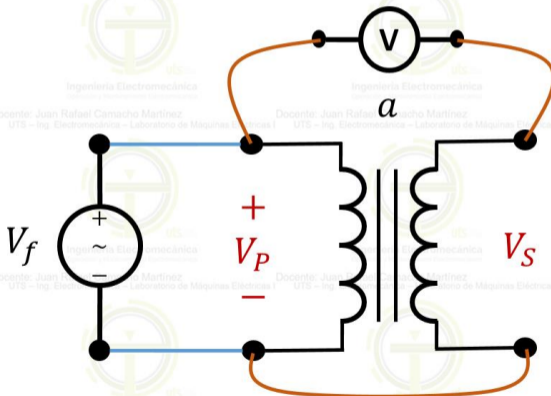
**Medición de las resistencias de aislamiento:** asegurar el buen estado de las separaciones eléctricas correspondientes.

**Medición de la relación de transformación:** determinar la manera en que se relacionan los voltajes y corrientes del lado de alta y de baja del transformador.

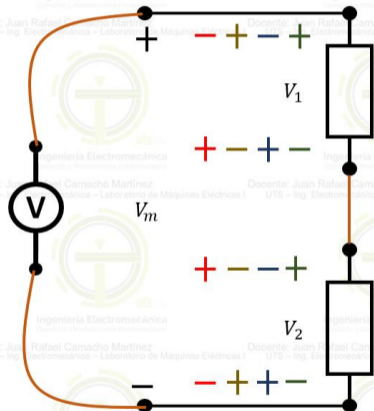
**Prueba de polaridad:** identificar la polaridad relativa entre los voltajes de las bobinas del transformador.

# PRUEBA DE POLARIDAD

Se conectan dos terminales de bobinas diferentes, se alimenta uno de los dos devanados, se miden los voltajes de las bobinas y el voltaje entre los dos terminales que **NO** se unieron, finalmente, se asigna la polaridad según la relación de los voltajes medidos.



# PRUEBA DE POLARIDAD



$$-V_m + V_1 + V_2 = 0 \rightarrow V_m = V_1 + V_2$$

$$-V_m - V_1 - V_2 = 0 \rightarrow V_m = -V_1 - V_2$$

$$-V_m + V_1 - V_2 = 0 \rightarrow V_m = V_1 - V_2$$

$$-V_m - V_1 + V_2 = 0 \rightarrow V_m = -V_1 + V_2$$

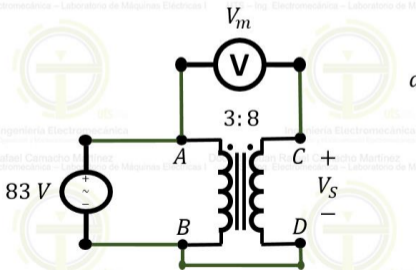
El voltaje medido entre los dos puntos que NO se unieron corresponde a:

- La suma de los voltajes de los dos elementos, si la unión se ha realizado entre dos puntos con polaridades contrarias.
- La diferencia de los voltajes de los dos elementos, si la unión se ha realizado entre dos puntos con polaridades iguales.

Los dos terminales de una de las bobinas de un transformador monofásico están identificados con las letras "A" y "B", por otra parte, las letras "C" y "D" identifican los dos terminales de la otra bobina, los bornes marcados con punto de polaridad son el "A" y el "C" y se sabe que la bobina entre los bornes "A" y "B" tiene tres vueltas por cada ocho vueltas del otro devanado. Determine el voltaje medido por un voltímetro instalado entre los puntos "A" y "C", si se han unido los bornes "B" y "D" y se aplica un voltaje  $V_2$  entre los terminales "A" y "B".

### ANEXO C. DATOS PARA CADA ESTUDIANTE – PUNTOS 2, 3, 4 Y 5

APELLIDO	PUNTO 2	PUNTO 3		PUNTOS 4 Y 5					PUNTO 4		PUNTO 5	
	$V_2$ [V]	$V_{m1}$ [V]	$V_{m2}$ [V]	$N_1$	$N_2$	$R_w$ [ $\Omega$ ]	$X_w$ [ $\Omega$ ]	$V_L$ [V]	$S_L$ [VA]	$R_L$ [ $\Omega$ ]	$X_L$ [ $\Omega$ ]	
	83	1466,66667	533,333333	7	56	14	63	2300	480000	12	5	



$$a = \frac{3}{8} = \frac{|V_P|}{|V_S|} \rightarrow |V_S| = \frac{|V_P|}{a} = \frac{83}{3/8} = \frac{664}{3} = 221,3333333 \text{ V}$$

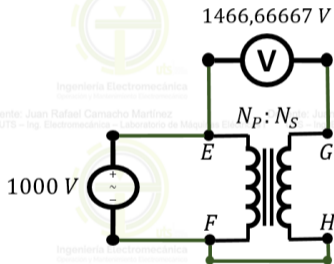
$$V_m = |83 - 221,3333333| = 138,3333333 \text{ V}$$

$$V_m = 138,3333333 \text{ V}$$



Los dos terminales de la bobina primaria de un transformador monofásico están identificados con las letras “E” y “F”, por otra parte, las letras “G” y “H” identifican los dos terminales de la bobina secundaria. Determine la relación de transformación del transformador, si se conoce lo siguiente:

- Un voltímetro instalado entre los puntos “E” y “G” mide  $V_{m1}$  cuando se han unido los bornes “F” y “H” y se han aplicado 1000 V entre los terminales “E” y “F”.
- Un voltímetro instalado entre los puntos “E” y “H” mide  $V_{m2}$  cuando se han unido los bornes “F” y “G” y se han aplicado 1000 V entre los terminales “E” y “F”.

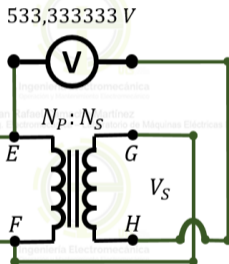


Si F y H son de igual polaridad:

$$|V_S| = |1000 + 1466,66667| = 2466,66667 V$$

Si F y H son de diferente polaridad:

$$|V_S| = |1466,66667 - 1000| = 466,66667 V$$



Si F y G son de igual polaridad:

$$|V_S| = |1000 + 533,33333| = 1533,33333 V$$

$$|V_S| = |1000 - 533,33333| = 466,66667 V$$

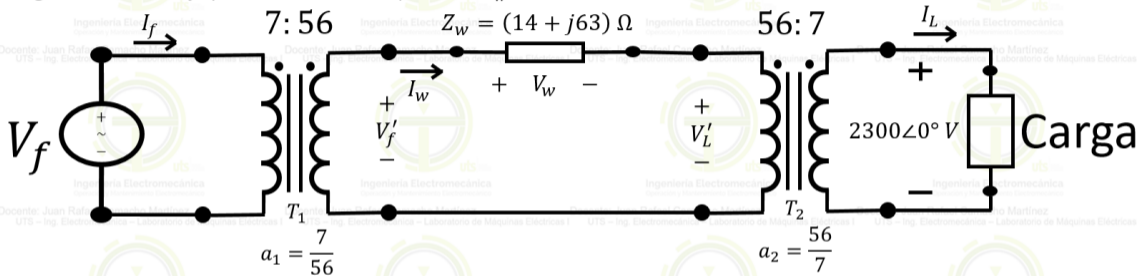
Si F y G son de diferente polaridad:

Debido a que  $533,33333 (V_m) < 1000 (V_p)$  esta opción NO es factible.

$$a = \frac{|V_P|}{|V_S|} = \frac{1000}{466,66667}$$

$$a = 2,142857141$$

Si en el sistema eléctrico mostrado en la Figura la tensión de la fuente se ajusta para mantener constante el voltaje de la carga en el valor  $V_L$  y la carga consume una potencia  $S_L$  a un factor de potencia de 0,85 *en Atraso*, determine la magnitud del voltaje de la fuente, la magnitud de la corriente de la fuente, la potencia activa y la potencia reactiva suministradas por la fuente y las magnitudes del voltaje y la corriente en la impedancia  $Z_w$ .



$$S_L = 480 \text{ kVA} \quad F.P._L = 0,85 \text{ en Atraso} \quad V_f' = 19613,21548 \angle 3,521096679^\circ \text{ V} \quad P_f = P_L + P_w = 480000(0,85) + |I_w|^2 R_w$$

$$I_L = \frac{480(10^3)}{2300} \angle [0^\circ - \cos^{-1}(0,85)] \quad |V_f| = a_1 |V_f'| = \frac{7}{56} (19613,21548) \quad \boxed{P_f = 417527,4102 \text{ W}}$$

$$I_L = 208,6956522 \angle -31,78833062^\circ \text{ A} \quad Q_f = Q_L + Q_w = \sqrt{S_L^2 - (0,85S_L)^2} + |I_w|^2 X_w$$

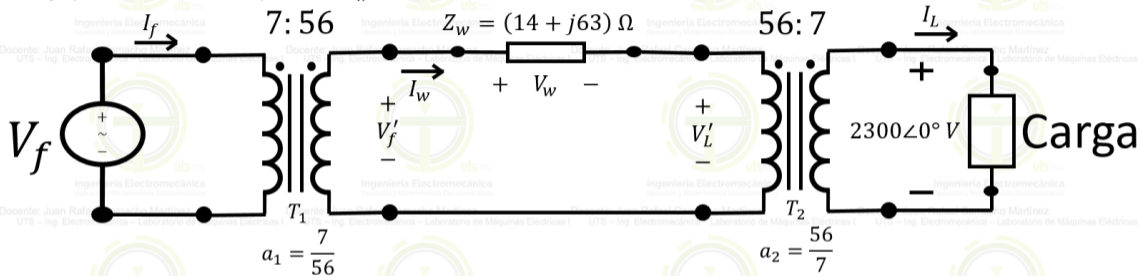
$$\boxed{|V_f| = 2451,651935 \text{ V}} \quad \boxed{Q_f = 295729,036 \text{ VAr}}$$

$$I_w = \frac{I_L}{a_2} = 26,08695653 \angle -31,78833062^\circ \text{ A} \quad |I_f| = \frac{|I_w|}{a_1} = \frac{26,08695653}{7/56} \quad V_w = I_w Z_w = 1683,568988 \angle 45,68286167^\circ \text{ V}$$

$$V_f' = V_L' + Z_w I_w = \frac{56}{7} (2300 \angle 0^\circ) + Z_w I_w \quad \boxed{|V_w| = 1683,568988 \text{ V}}$$

$$\boxed{|I_f| = 208,6956522 \text{ A}} \quad \boxed{|I_w| = 26,08695653 \text{ A}}$$

Si en el sistema eléctrico mostrado en la Figura la tensión de la fuente se ajusta para mantener constante el voltaje de la carga en el valor  $V_L$  y la impedancia de la carga ( $Z_L = R_L + jX_L$ ), determine la magnitud del voltaje de la fuente, la magnitud de la corriente de la fuente, la potencia activa y la potencia reactiva suministradas por la fuente y las magnitudes del voltaje y la corriente en la impedancia  $Z_w$ .



$$Z_L = (12 + j5) \Omega$$

$$I_L = \frac{2300 \angle 0^\circ}{12 + j5}$$

$$I_L = 176,9230769 \angle -22,61986495^\circ \text{ A}$$

$$I_w = \frac{I_L}{a_2} = 22,11538461 \angle -22,61986495^\circ \text{ A}$$

$$V_f' = V_L' + Z_w I_w = \frac{56}{7} (2300 \angle 0^\circ) + Z_w I_w$$

$$a_1 = \frac{7}{56}$$

$$V_f' = 19257,0656 \angle 3,474353235^\circ \text{ V} \quad P_f = P_L + P_w = |I_L|^2 (R_L) + |I_w|^2 R_w$$

$$|V_f| = a_1 |V_f'| = \frac{7}{56} (19257,0656)$$

$$\boxed{|V_f| = 2407,1332 \text{ V}}$$

$$|I_f| = \frac{|I_w|}{a_1} = \frac{22,11538461}{7/56}$$

$$\boxed{|I_f| = 176,9230769 \text{ A}}$$

$$a_2 = \frac{56}{7}$$

$$Q_f = Q_L + Q_w = |I_L|^2 X_L + |I_w|^2 X_w$$

$$\boxed{P_f = 382468,565 \text{ W}}$$

$$\boxed{Q_f = 187321,5606 \text{ VAr}}$$

$$V_w = I_w Z_w = 1427,256401 \angle 54,85132734^\circ \text{ V}$$

$$\boxed{|V_w| = 1427,256401 \text{ V}}$$

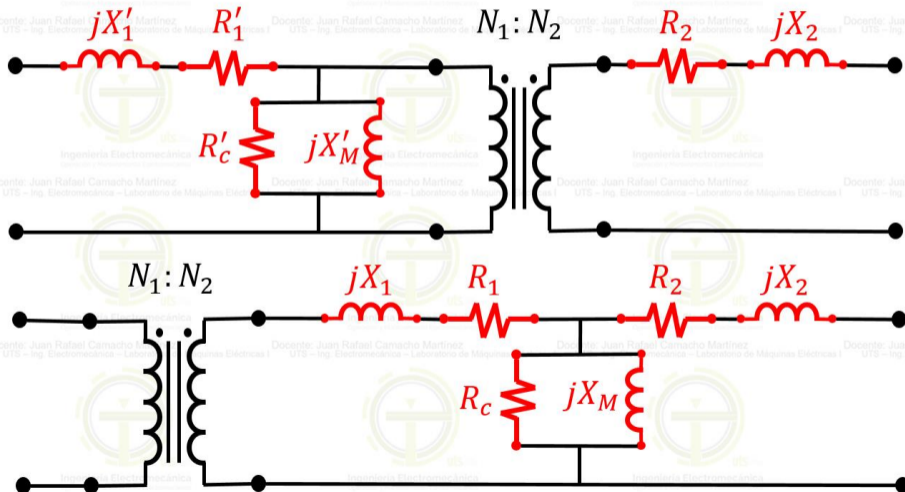
$$\boxed{|I_w| = 22,11538461 \text{ A}}$$

# LABORATORIO DE MÁQUINAS ELÉCTRICAS I

**CIRCUITO EQUIVALENTE DEL TRANSFORMADOR MONOFÁSICO –  
PRUEBAS DE VACÍO Y CORTO**

Docente: Juan Rafael Camacho Martínez

# CIRCUITO EQUIVALENTE DEL TRANSFORMADOR MONOFÁSICO

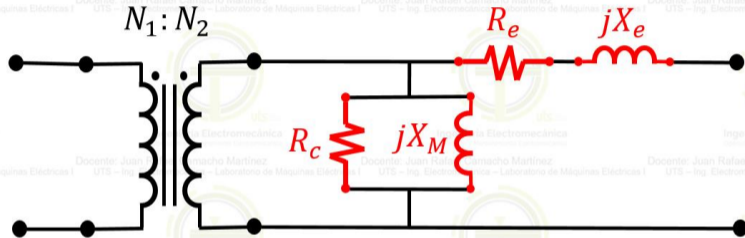


Relación de transformación ( $a$ ):

$$a = \frac{N_P}{N_S} = \frac{|V_P|}{|V_S|} = \frac{|I_S|}{|I_P|}$$

$$a^2 = \frac{Z_P}{Z_S}$$

# CIRCUITO EQUIVALENTE APROXIMADO DEL TRANSFORMADOR MONOFÁSICO



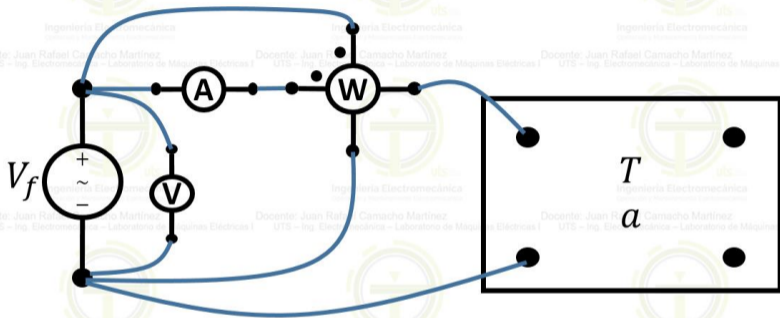
Para obtener los valores de los parámetros del transformador ( $R_e$ ,  $X_e$ ,  $R_c$  y  $X_M$ ) se realizan las pruebas de corto y vacío.

# PRUEBAS DE VACÍO Y CORTO DEL TRANSFORMADOR MONOFÁSICO

**Prueba de vacío:** se deja el transformador sin carga, se le aplica tensión nominal y se mide el voltaje, la corriente y la potencia activa a la entrada del transformador. Los resultados de esta prueba permiten calcular los parámetros del núcleo ( $R_C$  y  $X_M$ ). En esta prueba se prefiere alimentar el transformador por el lado de baja tensión.

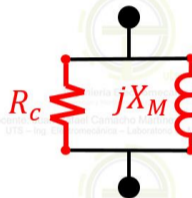
**Prueba de corto:** se alimenta el transformador con tensión reducida, haciendo circular la corriente nominal, colocando en cortocircuito los bornes del secundario y se mide el voltaje, la corriente y la potencia activa a la entrada del transformador. Los resultados de esta prueba permiten calcular los parámetros de los devanados ( $R_e$  y  $X_e$ ). En esta prueba se prefiere alimentar el transformador por el lado de alta tensión.

# PRUEBA DE VACÍO



## PRUEBA DE VACÍO

$|V_{oc}|$   $|I_{oc}|$   $P_{oc}$

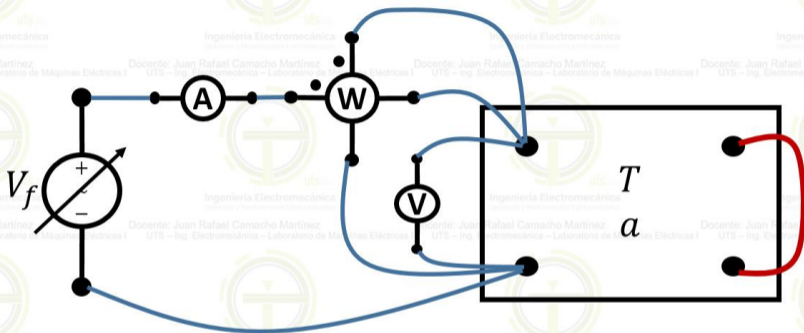


$$P_{oc} = \frac{|V_{oc}|^2}{R_c} \rightarrow R_c = \frac{|V_{oc}|^2}{P_{oc}}$$

$$Q_{oc} = \frac{|V_{oc}|^2}{X_M} \rightarrow X_M = \frac{|V_{oc}|^2}{\sqrt{(|V_{oc}||I_{oc}|)^2 - P_{oc}^2}}$$



# PRUEBA DE CORTO



$$P_{sc} = |I_{sc}|^2 R_e \rightarrow R_e = \frac{P_{sc}}{|I_{sc}|^2}$$

$$Q_{sc} = |I_{sc}|^2 X_e \rightarrow X_e = \frac{\sqrt{(|V_{sc}| |I_{sc}|)^2 - P_{sc}^2}}{|I_{sc}|^2}$$

PRUEBA DE CORTO

$|V_{sc}|$   $|I_{sc}|$   $P_{sc}$



# PRUEBAS DE VACÍO Y CORTO DEL TRANSFORMADOR MONOFÁSICO

$S_{Nom.} [kVA]$	$N_1$	$N_2$	$V_{Nom.} [V]$	$V_{oc} [V]$	$I_{oc} [A]$	$P_{oc} [W]$	$V_{sc} [V]$	$I_{sc} [A]$	$P_{sc} [W]$
9	1	73	270	270	1,71	304	12,98	33,33	107,2

## Prueba de vacío:

Fue realizada por el lado de baja tensión.

$$R_{C-B.T.} = \frac{270^2}{304} = 239,8026316 \Omega$$

$$X_{M-B.T.} = \frac{270^2}{\sqrt{[(270)(1,71)]^2 - 304^2}} = 209,7888287 \Omega$$

## Parámetros en A.T.

$$R_{C-A.T.} = \frac{73^2}{1^2} R_{C-B.T.} = 1277908,224 \Omega$$

$$X_{M-A.T.} = \frac{73^2}{1^2} X_{M-B.T.} = 1117964,668 \Omega$$

$$S_{Nom.} = |V_{Nom.}| |I_{Nom.}| \rightarrow |I_{Nom.}| = \frac{S_{Nom.}}{|V_{Nom.}|}$$

## Prueba de corto:

$$|I_{Nom.-A.T.}| = \frac{9(10^3)}{270(73/1)} = \frac{100}{219} = 0,4566210046 A$$

$$|I_{Nom.-B.T.}| = \frac{9(10^3)}{270} = \frac{100}{3} = 33,33333333 A$$

Fue realizada por el lado de baja tensión.

$$R_{e-B.T.} = \frac{107,2}{33,33^2} = 0,09649929889 \Omega$$

$$X_{e-B.T.} = \frac{\sqrt{[(12,98)(33,33)]^2 - 107,2^2}}{33,33^2} = 0,3772937534 \Omega$$

## Parámetros en A.T.

$$R_{e-A.T.} = \frac{73^2}{1^2} R_{e-B.T.} = 514,2447638 \Omega$$

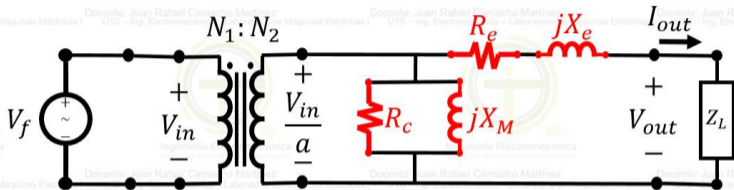
$$X_{e-A.T.} = 2010,598412 \Omega$$

# LABORATORIO DE MÁQUINAS ELÉCTRICAS I

**CAÍDAS DE VOLTAJE EN LA IMPEDANCIA SERIE DEL TRANSFORMADOR  
– DIAGRAMAS FASORIALES**

Docente: Juan Rafael Camacho Martínez

# REGULACIÓN DE VOLTAJE (%R. V.) Y EFICIENCIA ( $\eta$ )



$$-\frac{V_{in}}{a} + I_{out}(R_e + jX_e) + V_{out} = 0$$

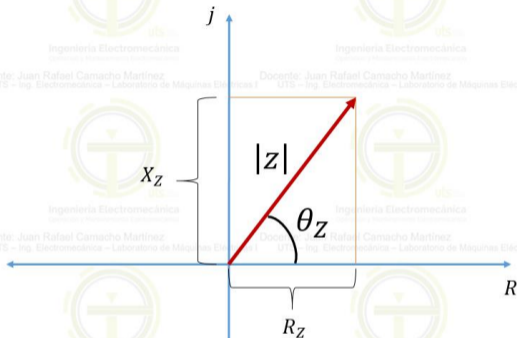
$$V_{out} = \frac{V_{in}}{a} - I_{out}(R_e + jX_e)$$

$$\frac{V_{in}}{a} = V_{out} + I_{out}(R_e + jX_e)$$

$$\%R. V. = \frac{|V_{in}/a| - |V_{out}|}{|V_{Nom.}|} 100\%$$

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} 100\%$$

# REPRESENTACIÓN DE IMPEDANCIA



POLAR:  
 $Z = |Z| \angle \theta_Z$

RECTANGULAR:  
 $Z = R_Z + jX_Z$

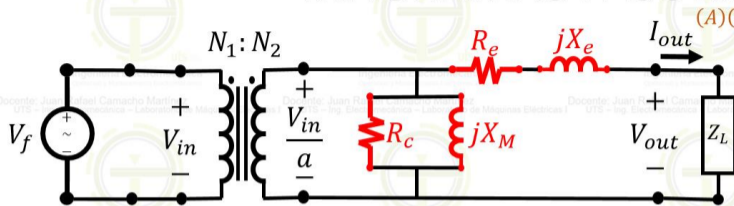
$$R_Z = |Z| \cos(\theta_Z)$$
$$X_Z = |Z| \sen(\theta_Z)$$

$$\text{Parte reactiva} = \begin{cases} j2\pi fL \\ \frac{1}{j2\pi fC} = -\frac{j}{2\pi fC} \end{cases}$$

$$Z = \frac{V_Z}{I_Z} = \frac{|V_Z|}{|I_Z|} \angle (\theta_{V_Z} - \theta_{I_Z}) = |Z| \angle \theta_Z$$

$$\theta_{I_Z} = \theta_{V_Z} - \theta_Z$$

# DIAGRAMAS FASORIALES

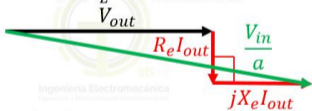


$$(A)(B) = (|A|\angle\theta_A)(|B|\angle\theta_B) = |A||B|\angle(\theta_A + \theta_B)$$

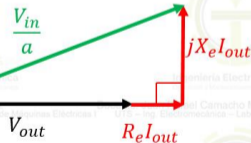
$$\frac{A}{B} = \frac{|A|\angle\theta_A}{|B|\angle\theta_B} = \frac{|A|}{|B|}\angle(\theta_A - \theta_B)$$

$$\frac{V_{in}}{a} = V_{out} + I_{out}(R_e + jX_e)$$

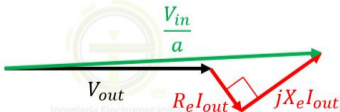
$F.P.L = 0$  en Atraso



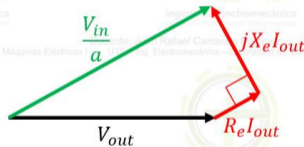
$F.P.L = 1$



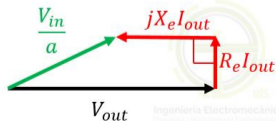
$0 < F.P.L < 1$ ; en Atraso



$0 < F.P.L < 1$ ; en Adelanto



$F.P.L = 0$  en Adelanto



Para contestar las preguntas que se presentan abajo, tenga en cuenta los datos proporcionados, para cada estudiante, en la tabla del ANEXO B (en donde corresponda, se tienen valores r.m.s). Para todos los cálculos utilice la mayor cantidad de cifras decimales posibles. Por favor, en donde corresponda, entregue sus respuestas en valores r.m.s.

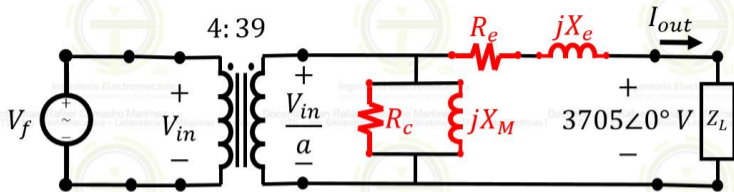
Se tiene un transformador monofásico cuya capacidad ( $S_{Nom.}$ ), relación de vueltas de sus bobinas ( $N_1$  y  $N_2$ ), voltaje nominal de la bobina de baja tensión ( $V_{Nom.}$ ) y parámetros ( $R_e, X_e, R_c$  y  $X_m$ ), referidos al lado de alta tensión, se proporcionan en la tabla del ANEXO B. Para el transformador descrito previamente, determine el porcentaje de regulación de voltaje y la eficiencia cuando la carga demanda 30%, 70% y 100% de la capacidad del transformador (debe realizarse el análisis para cada una de las tres condiciones de carga), el voltaje de la fuente se ajusta para mantener la tensión de salida del transformador en su valor nominal y el factor de potencia de la carga es:

1. 0 en Atraso.
2. 0,5 en Atraso.
3. Unitario.
4. 0,5 en Adelanto.
5. 0 en Adelanto.

#### ANEXO B. DATOS PARA CADA ESTUDIANTE

APELLIDO	$S_{Nom.}$ [kVA]	$N_1$	$N_2$	$V_{Nom.}$ [V]	$R_e$ [mΩ]	$X_e$ [mΩ]	$R_c$ [Ω]	$X_m$ [Ω]
	3	4	39	380	51613,61	211670,72	135439	124915

Con el transformador operando como elevador:



$$S_{Nom} = 3 \text{ kVA}$$

$$R_e = 51,61361 \Omega \quad R_c = 135439 \Omega$$

$$X_e = 211,67072 \Omega \quad X_m = 124915 \Omega$$

$$|V_{out}| = \frac{39}{4}(380) = 3705 \text{ V}$$

**F.P.L = 0 en Atraso 30% de S<sub>Nom</sub>**

$$S_{out} = 0,3[3(10^3)] = 900 \text{ VA}$$

$$P_{out} = S_{out}F.P.L = 900(0) = 0 \text{ W}$$

$$I_{out} = \frac{900}{3705} \angle [0^\circ - \cos^{-1}(0)] = 0,2429149798 \angle -90^\circ$$

$$P_{in} = P_{out} + P_{Cu} + P_{Fe} = P_{out} + R_e |I_{out}|^2 + \frac{|V_{in}/a|^2}{R_c}$$

$$\frac{V_{in}}{a} = V_{out} + I_{out}(R_e + jX_e)$$

$$P_{in} = 0 + 51,61361(0,2429149798)^2 + \frac{3756,438912^2}{135439}$$

$$\frac{V_{in}}{a} = 3705 \angle 0^\circ + I_{out}(51,61361 + j211,67072)$$

$$P_{in} = 107,2314938 \text{ W}$$

$$\frac{V_{in}}{a} = 3756,438912 \angle -0,1912342343^\circ \text{ V}$$

$$\%R.V. = \frac{3756,438912 - 3705}{3705} 100\% \quad \eta = \frac{0}{107,2314938} 100\%$$

$$\%R.V. = 1,388364696 \%$$

$$\eta = 0 \%$$



**F.P.L = 0 en Atraso 70% de S<sub>Nom</sub>**

$$S_{out} = 0,7[3(10^3)] = 2100 \text{ VA}$$

$$I_{out} = \frac{2100}{3705} \angle [0^\circ - \cos^{-1}(0)] = 0,5668016194 \angle -90^\circ$$

$$\frac{V_{in}}{a} = V_{out} + I_{out}(R_e + jX_e)$$

$$\frac{V_{in}}{a} = 3705 \angle 0^\circ + I_{out}(51,61361 + j211,67072)$$

$$\frac{V_{in}}{a} = 3825,08718 \angle -0,4382085499^\circ \text{ V}$$

$$P_{out} = S_{out} F.P.L = 2100(0) = 0 \text{ W}$$

$$P_{in} = P_{out} + P_{Cu} + P_{Fe} = P_{out} + R_e |I_{out}|^2 + \frac{|V_{in}/a|^2}{R_c}$$

$$P_{in} = 0 + 51,61361(0,5668016194)^2 + \frac{3825,08718^2}{135439}$$

$$P_{in} = 124,6102458 \text{ W}$$

$$\%R.V. = \frac{3825,08718 - 3705}{3705} 100\%$$

$$\%R.V. = 3,241219433 \%$$

$$\eta = \frac{0}{124,6102458} 100\%$$

$$\eta = 0 \%$$

**F.P.L = 0 en Atraso 100% de S<sub>Nom</sub>**

$$S_{out} = 1[3(10^3)] = 3000 \text{ VA}$$

$$I_{out} = \frac{3000}{3705} \angle [0^\circ - \cos^{-1}(0)] = 0,8097165992 \angle -90^\circ$$

$$\frac{V_{in}}{a} = V_{out} + I_{out}(R_e + jX_e)$$

$$\frac{V_{in}}{a} = 3705 \angle 0^\circ + I_{out}(51,61361 + j211,67072)$$

$$\frac{V_{in}}{a} = 3876,618576 \angle -0,6176966571^\circ \text{ V}$$

$$P_{out} = S_{out} F.P.L = 3000(0) = 0 \text{ W}$$

$$P_{in} = P_{out} + P_{Cu} + P_{Fe} = P_{out} + R_e |I_{out}|^2 + \frac{|V_{in}/a|^2}{R_c}$$

$$P_{in} = 0 + 51,61361(0,8097165992)^2 + \frac{3876,618576^2}{135439}$$

$$P_{in} = 144,7989648 \text{ W}$$

$$\%R.V. = \frac{3876,618576 - 3705}{3705} 100\%$$

$$\%R.V. = 4,632080324 \%$$

$$\eta = \frac{0}{144,7989648} 100\%$$

$$\eta = 0 \%$$

**F.P.L = 0,5 en Atraso 30% de S<sub>Nom</sub>**

$$S_{out} = 0,3[3(10^3)] = 900 \text{ VA}$$

$$I_{out} = \frac{900}{3705} \angle [0^\circ - \cos^{-1}(0,5)] = 0,2429149798 \angle -60^\circ \text{ A}$$

$$\frac{V_{in}}{a} = V_{out} + I_{out}(R_e + jX_e)$$

$$\frac{V_{in}}{a} = 3705 \angle 0^\circ + I_{out}(51,61361 + j211,67072)$$

$$\frac{V_{in}}{a} = 3755,827505 \angle 0,2265552602^\circ \text{ V}$$

$$P_{out} = S_{out} F.P.L = 900(0,5) = 450 \text{ W}$$

$$P_{in} = P_{out} + P_{Cu} + P_{Fe} = P_{out} + R_e |I_{out}|^2 + \frac{|V_{in}/a|^2}{R_c}$$

$$P_{in} = 450 + 51,61361(0,2429149798)^2 + \frac{3755,827505^2}{135439}$$

$$P_{in} = 557,1975814 \text{ W}$$

$$\%R.V. = \frac{3755,827505 - 3705}{3705} 100\%$$

$$\%R.V. = \mathbf{1,371862483 \%}$$

$$\eta = \frac{450}{557,1975814} 100\%$$

$$\eta = \mathbf{80,76129815 \%}$$

**F.P.L = 0,5 en Atraso 70% de S<sub>Nom</sub>**

$$S_{out} = 0,7[3(10^3)] = 2100 \text{ VA}$$

$$I_{out} = \frac{2100}{3705} \angle [0^\circ - \cos^{-1}(0,5)] = 0,5668016194 \angle -60^\circ \text{ A}$$

$$\frac{V_{in}}{a} = V_{out} + I_{out}(R_e + jX_e)$$

$$\frac{V_{in}}{a} = 3705 \angle 0^\circ + I_{out}(51,61361 + j211,67072)$$

$$\frac{V_{in}}{a} = 3823,686025 \angle 0,5192531776^\circ \text{ V}$$

$$P_{out} = S_{out} F.P.L = 2100(0,5) = 1050 \text{ W}$$

$$P_{in} = P_{out} + P_{Cu} + P_{Fe} = P_{out} + R_e |I_{out}|^2 + \frac{|V_{in}/a|^2}{R_c}$$

$$P_{in} = 1050 + 51,61361(0,5668016194)^2 + \frac{3823,686025^2}{135439}$$

$$P_{in} = 1174,531117 \text{ W}$$

$$\%R.V. = \frac{3823,686025 - 3705}{3705} 100\%$$

$$\%R.V. = \mathbf{3,203401484 \%}$$

$$\eta = \frac{1050}{1174,531117} 100\%$$

$$\eta = \mathbf{89,39737609 \%}$$

$$F.P.L = 0,5 \text{ en Atraso } \quad 100\% \text{ de } S_{Nom}$$

$$S_{out} = 1[3(10^3)] = 3000 \text{ VA}$$

$$I_{out} = \frac{3000}{3705} \angle [0^\circ - \cos^{-1}(0,5)] = 0,8097165992 \angle -60^\circ \text{ A}$$

$$\frac{V_{in}}{a} = V_{out} + I_{out}(R_e + jX_e)$$

$$\frac{V_{in}}{a} = 3705 \angle 0^\circ + I_{out}(51,61361 + j211,67072)$$

$$\frac{V_{in}}{a} = 3874,643393 \angle 0,7320444961^\circ \text{ V}$$

$$P_{out} = S_{out} F.P.L = 3000(0,5) = 1500 \text{ W}$$

$$P_{in} = P_{out} + P_{Cu} + P_{Fe} = P_{out} + R_e |I_{out}|^2 + \frac{|V_{in}/a|^2}{R_c}$$

$$P_{in} = 1500 + 51,61361(0,8097165992)^2 + \frac{3874,643393^2}{135439}$$

$$P_{in} = 1644,685924 \text{ W}$$

$$\%R.V. = \frac{3874,643393 - 3705}{3705} 100\%$$

$$\eta = \frac{1500}{1644,685924} 100\%$$

$$\boxed{\%R.V. = 4,578769042 \%}$$

$$\boxed{\eta = 91,20282348 \%}$$

$$F.P.L = 1 \quad 30\% \text{ de } S_{Nom}$$

$$S_{out} = 0,3[3(10^3)] = 900 \text{ VA}$$

$$I_{out} = \frac{900}{3705} \angle [0^\circ + \cos^{-1}(1)] = 0,2429149798 \angle 0^\circ$$

$$\frac{V_{in}}{a} = V_{out} + I_{out}(R_e + jX_e)$$

$$\frac{V_{in}}{a} = 3705 \angle 0^\circ + I_{out}(51,61361 + j211,67072)$$

$$\frac{V_{in}}{a} = 3717,893288 \angle 0,7924185645^\circ \text{ V}$$

$$P_{out} = S_{out} F.P.L = 900(1) = 900 \text{ W}$$

$$P_{in} = P_{out} + P_{Cu} + P_{Fe} = P_{out} + R_e |I_{out}|^2 + \frac{|V_{in}/a|^2}{R_c}$$

$$P_{in} = 900 + 51,61361(0,2429149798)^2 + \frac{3717,893288^2}{135439}$$

$$P_{in} = 1005,104316 \text{ W}$$

$$\%R.V. = \frac{3717,893288 - 3705}{3705} 100\% \quad \eta = \frac{900}{1005,104316} 100\%$$

$$\%R.V. = 0,3479969771 \%$$

$$\eta = 89,54294452 \%$$

$$F.P.L = 1 \quad 70\% \text{ de } S_{Nom}$$

$$S_{out} = 0,7[3(10^3)] = 2100 \text{ VA}$$

$$I_{out} = \frac{2100}{3705} \angle [0^\circ + \cos^{-1}(1)] = 0,5668016194 \angle 0^\circ$$

$$\frac{V_{in}}{a} = V_{out} + I_{out}(R_e + jX_e)$$

$$\frac{V_{in}}{a} = 3705 \angle 0^\circ + I_{out}(51,61361 + j211,67072)$$

$$\frac{V_{in}}{a} = 3736,181483 \angle 1,840183806^\circ \text{ V}$$

$$P_{out} = S_{out} F.P.L = 2100(1) = 2100 \text{ W}$$

$$P_{in} = P_{out} + P_{Cu} + P_{Fe} = P_{out} + R_e |I_{out}|^2 + \frac{|V_{in}/a|^2}{R_c}$$

$$P_{in} = 2100 + 51,61361(0,5668016194)^2 + \frac{3736,181483^2}{135439}$$

$$P_{in} = 2219,646832 \text{ W}$$

$$\%R.V. = \frac{3736,181483 - 3705}{3705} 100\% \quad \eta = \frac{2100}{2219,646832} 100\%$$

$$\%R.V. = 0,8416054791 \%$$

$$\eta = 94,60964554 \%$$

$$F.P.L = 1 \quad 100\% \text{ de } S_{Nom}$$

$$S_{out} = 1[3(10^3)] = 3000 \text{ VA}$$

$$I_{out} = \frac{3000}{3705} \angle [0^\circ + \cos^{-1}(1)] = 0,8097165992 \angle 0^\circ$$

$$\frac{V_{in}}{a} = V_{out} + I_{out}(R_e + jX_e)$$

$$\frac{V_{in}}{a} = 3705 \angle 0^\circ + I_{out}(51,61361 + j211,67072)$$

$$\frac{V_{in}}{a} = 3750,710456 \angle 2,619112682^\circ \text{ V}$$

$$P_{out} = S_{out} F.P.L = 3000(1) = 3000 \text{ W}$$

$$P_{in} = P_{out} + P_{Cu} + P_{Fe} = P_{out} + R_e |I_{out}|^2 + \frac{|V_{in}/a|^2}{R_c}$$

$$P_{in} = 3000 + 51,61361(0,8097165992)^2 + \frac{3750,710456^2}{135439}$$

$$P_{in} = 3137,708373 \text{ W}$$

$$\%R.V. = \frac{3750,710456 - 3705}{3705} 100\%$$

$$\eta = \frac{3000}{3137,708373} 100\%$$

$$\%R.V. = 1,233750499 \%$$

$$\eta = 95,61117999 \%$$

**$F.P.L = 0,5$  en Adelanto 30% de  $S_{Nom}$**

$$S_{out} = 0,3[3(10^3)] = 900 \text{ VA}$$

$$I_{out} = \frac{900}{3705} \angle [0^\circ + \cos^{-1}(0,5)] = 0,2429149798 \angle 60^\circ$$

$$\frac{V_{in}}{a} = V_{out} + I_{out}(R_e + jX_e)$$

$$\frac{V_{in}}{a} = 3705 \angle 0^\circ + I_{out}(51,61361 + j211,67072)$$

$$\frac{V_{in}}{a} = 3666,921905 \angle 0,5713697379^\circ \text{ V}$$

$$P_{out} = S_{out} F.P.L = 900(0,5) = 450 \text{ W}$$

$$P_{in} = P_{out} + P_{Cu} + P_{Fe} = P_{out} + R_e |I_{out}|^2 + \frac{|V_{in}/a|^2}{R_c}$$

$$P_{in} = 450 + 51,61361(0,2429149798)^2 + \frac{3666,921905^2}{135439}$$

$$P_{in} = 552,3251002 \text{ W}$$

$$\%R.V. = \frac{3666,921905 - 3705}{3705} 100\%$$

$$\boxed{\%R.V. = -1,027748853 \%}$$

$$\eta = \frac{450}{552,3251002} 100\%$$

$$\boxed{\eta = 81,47375519 \%}$$

**$F.P.L = 0,5$  en Adelanto 70% de  $S_{Nom}$**

$$S_{out} = 0,7[3(10^3)] = 2100 \text{ VA}$$

$$I_{out} = \frac{2100}{3705} \angle [0^\circ + \cos^{-1}(0,5)] = 0,5668016194 \angle 60^\circ$$

$$\frac{V_{in}}{a} = V_{out} + I_{out}(R_e + jX_e)$$

$$\frac{V_{in}}{a} = 3705 \angle 0^\circ + I_{out}(51,61361 + j211,67072)$$

$$\frac{V_{in}}{a} = 3616,732249 \angle 1,351799918^\circ \text{ V}$$

$$P_{out} = S_{out} F.P.L = 2100(0,5) = 1050 \text{ W}$$

$$P_{in} = P_{out} + P_{Cu} + P_{Fe} = P_{out} + R_e |I_{out}|^2 + \frac{|V_{in}/a|^2}{R_c}$$

$$P_{in} = 1050 + 51,61361(0,5668016194)^2 + \frac{3616,732249^2}{135439}$$

$$P_{in} = 1163,161994 \text{ W}$$

$$\%R.V. = \frac{3616,732249 - 3705}{3705} 100\%$$

$$\boxed{\%R.V. = -2,382395439 \%}$$

$$\eta = \frac{1050}{1163,161994} 100\%$$

$$\boxed{\eta = 90,27117507 \%}$$

$$F.P.L = 0,5 \text{ en Adelanto } 100\% \text{ de } S_{Nom}$$

$$S_{out} = 1[3(10^3)] = 3000 \text{ VA}$$

$$I_{out} = \frac{3000}{3705} \angle [0^\circ + \cos^{-1}(0,5)] = 0,8097165992 \angle 60^\circ$$

$$\frac{V_{in}}{a} = V_{out} + I_{out}(R_e + jX_e)$$

$$\frac{V_{in}}{a} = 3705 \angle 0^\circ + I_{out}(51,61361 + j211,67072)$$

$$\frac{V_{in}}{a} = 3579,54114 \angle 1,951403364^\circ \text{ V}$$

$$P_{out} = S_{out} F.P.L = 3000(0,5) = 1500 \text{ W}$$

$$P_{in} = P_{out} + P_{Cu} + P_{Fe} = P_{out} + R_e |I_{out}|^2 + \frac{|V_{in}/a|^2}{R_c}$$

$$P_{in} = 1500 + 51,61361(0,8097165992)^2 + \frac{3579,54114^2}{135439}$$

$$P_{in} = 1628,444319 \text{ W}$$

$$\%R.V. = \frac{3579,54114 - 3705}{3705} 100\%$$

$$\eta = \frac{1500}{1628,444319} 100\%$$

$$\%R.V. = -3,386204049 \%$$

$$\eta = 92,11245251 \%$$

**F.P.L = 0 en Adelanto 30% de S<sub>Nom</sub>**

$$S_{out} = 0,3[3(10^3)] = 900 \text{ VA}$$

$$I_{out} = \frac{900}{3705} \angle [0^\circ + \cos^{-1}(0)] = 0,2429149798 \angle 90^\circ \text{ A}$$

$$\frac{V_{in}}{a} = V_{out} + I_{out}(R_e + jX_e)$$

$$\frac{V_{in}}{a} = 3705 \angle 0^\circ + I_{out}(51,61361 + j211,67072)$$

$$\frac{V_{in}}{a} = 3653,603524 \angle 0,1966167895^\circ \text{ V}$$

$$P_{out} = S_{out} F.P.L = 900(0) = 0 \text{ W}$$

$$P_{in} = P_{out} + P_{Cu} + P_{Fe} = P_{out} + R_e |I_{out}|^2 + \frac{|V_{in}/a|^2}{R_c}$$

$$P_{in} = 0 + 51,61361(0,2429149798)^2 + \frac{3653,603524^2}{135439}$$

$$P_{in} = 101,605237 \text{ W}$$

$$\%R.V. = \frac{3653,603524 - 3705}{3705} 100\%$$

$$\boxed{\%R.V. = -1,387219325 \%}$$

$$\eta = \frac{0}{101,605237} 100\%$$

$$\boxed{\eta = 0 \%}$$

**F.P.L = 0 en Adelanto 70% de S<sub>Nom</sub>**

$$S_{out} = 0,7[3(10^3)] = 2100 \text{ VA}$$

$$I_{out} = \frac{2100}{3705} \angle [0^\circ + \cos^{-1}(0)] = 0,5668016194 \angle 90^\circ \text{ A}$$

$$\frac{V_{in}}{a} = V_{out} + I_{out}(R_e + jX_e)$$

$$\frac{V_{in}}{a} = 3705 \angle 0^\circ + I_{out}(51,61361 + j211,67072)$$

$$\frac{V_{in}}{a} = 3585,144054 \angle 0,4675371873^\circ \text{ V}$$

$$P_{out} = S_{out} F.P.L = 2100(0) = 0 \text{ W}$$

$$P_{in} = P_{out} + P_{Cu} + P_{Fe} = P_{out} + R_e |I_{out}|^2 + \frac{|V_{in}/a|^2}{R_c}$$

$$P_{in} = 0 + 51,61361(0,5668016194)^2 + \frac{3585,144054^2}{135439}$$

$$P_{in} = 111,4823133 \text{ W}$$

$$\%R.V. = \frac{3585,144054 - 3705}{3705} 100\%$$

$$\boxed{\%R.V. = -3,2349783 \%}$$

$$\eta = \frac{0}{111,4823133} 100\%$$

$$\boxed{\eta = 0 \%}$$



**$F.P.L = 0$  en Adelanto 100% de  $S_{Nom}$**

$$S_{out} = 1[3(10^3)] = 3000 \text{ VA}$$

$$I_{out} = \frac{3000}{3705} \angle[0^\circ + \cos^{-1}(0)] = 0,8097165992 \angle 90^\circ \text{ A}$$

$$\frac{V_{in}}{a} = V_{out} + I_{out}(R_e + jX_e)$$

$$\frac{V_{in}}{a} = 3705 \angle 0^\circ + I_{out}(51,61361 + j211,67072)$$

$$\frac{V_{in}}{a} = 3533,853838 \angle 0,6776125671^\circ \text{ V}$$

$$P_{out} = S_{out} F.P.L = 3000(0) = 0 \text{ W}$$

$$P_{in} = P_{out} + P_{Cu} + P_{Fe} = P_{out} + R_e |I_{out}|^2 + \frac{|V_{in}/a|^2}{R_c}$$

$$P_{in} = 0 + 51,61361(0,8097165992)^2 + \frac{3533,853838^2}{135439}$$

$$P_{in} = 126,0447755 \text{ W}$$

$$\%R.V. = \frac{3533,853838 - 3705}{3705} 100\%$$

$$\eta = \frac{0}{126,0447755} 100\%$$

$$\boxed{\%R.V. = -4,619329609 \%}$$

$$\boxed{\eta = 0 \%}$$

PUNTO	VARIABLE		VALOR OBTENIDO
	PRIMERO (1) <i>F.P. = 0 en Atraso</i>	Carga del 30%	%R.V. [%]
$\eta$ [%]			0
Carga del 70%		%R.V. [%]	3.241219433
		$\eta$ [%]	0
Carga del 100%		%R.V. [%]	4.632080324
		$\eta$ [%]	0
SEGUNDO (2) <i>F.P. = 0,5 en Atraso</i>	Carga del 30%	%R.V. [%]	1.371862483
		$\eta$ [%]	80.76129815
	Carga del 70%	%R.V. [%]	3.203401484
		$\eta$ [%]	89.39737609
	Carga del 100%	%R.V. [%]	4.578769042
		$\eta$ [%]	91.20282348
TERCERO (3) <i>F.P. = 1</i>	Carga del 30%	%R.V. [%]	0.3479969771
		$\eta$ [%]	89.54294452
	Carga del 70%	%R.V. [%]	0.8416054791
		$\eta$ [%]	94.60964554
	Carga del 100%	%R.V. [%]	1.233750499
		$\eta$ [%]	95.61117999
SEGUNDO (4) <i>F.P. = 0,5 en Adelanto</i>	Carga del 30%	%R.V. [%]	-1.027748853
		$\eta$ [%]	81.47375519
	Carga del 70%	%R.V. [%]	-2.382395439
		$\eta$ [%]	90.27117507
	Carga del 100%	%R.V. [%]	-3.386204049
		$\eta$ [%]	92.11245251
SEGUNDO (5) <i>F.P. = 0 en Adelanto</i>	Carga del 30%	%R.V. [%]	-1.387219325
		$\eta$ [%]	0
	Carga del 70%	%R.V. [%]	-3.2349783
		$\eta$ [%]	0
	Carga del 100%	%R.V. [%]	-4.619329609
		$\eta$ [%]	0

# LABORATORIO DE MÁQUINAS ELÉCTRICAS I

**CONEXIÓN Y OPERACIÓN DE TRANSFORMADORES MONOFÁSICOS EN  
PARALELO**

Docente: Juan Rafael Camacho Martínez

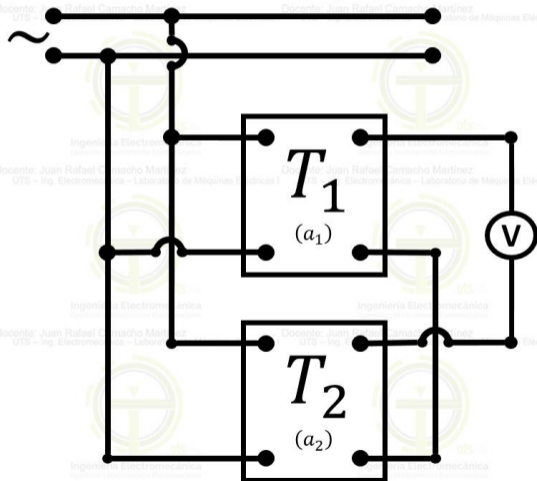
# ¿Por qué o para qué conectar transformadores en paralelo?

- Porque la carga demanda mucha potencia.
- Porque la demanda de potencia varía en un rango bastante amplio.
- Para lograr satisfacer la demanda con una mayor eficiencia.
- Para mejorar la gestión de los recursos, por ejemplo, en labores de mantenimiento.

# CONDICIONES PARA LA CONEXIÓN

- Tener la misma relación de transformación.
- Mantener la misma polaridad.
- Tener las mismas impedancias serie en por unidad.

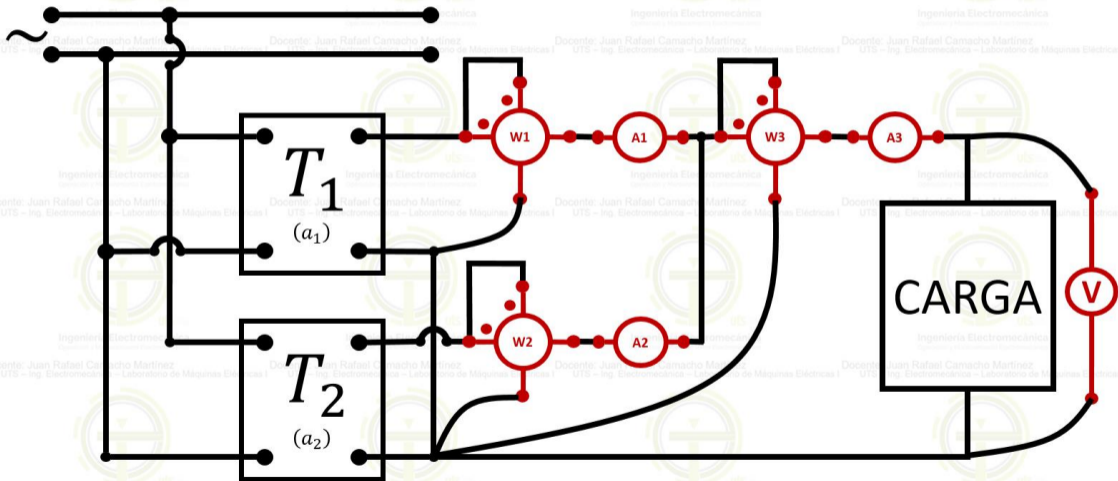
# ESQUEMA DE CONEXIONES – VERIFICACIÓN DE LA CORRECTA POLARIDAD Y CONCORDANCIA EN LA RELACIÓN DE TRANSFORMACIÓN



CARGA

El voltímetro debe indicar cero o un voltaje muy pequeño.

# ESQUEMA DE CONEXIONES CON MEDICIÓN

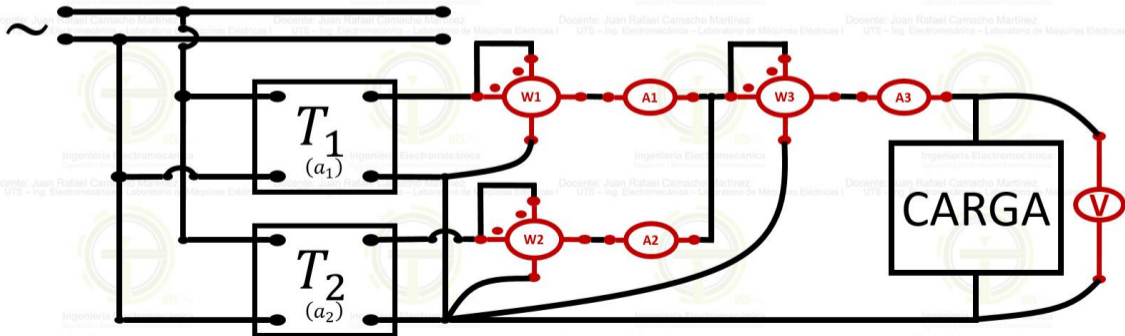


# EJEMPLO

Para alimentar una carga, se tienen dos transformadores monofásicos conectados en paralelo, tal como se muestra en la Figura 1. Determine las medidas realizadas en los instrumentos  $W_2$  y  $A_2$ , si las medidas realizadas en los otros instrumentos son las contenidas en la siguiente tabla:

$V_1$ [V]	$A_1$ [A]	$W_1$ [W]	$A_3$ [A]	$W_3$ [W]
860	35,1104895	28357,12	88,372093	33440

Figura 1. Esquema de conexiones





# EJEMPLO

Para alimentar una carga, se tienen dos transformadores monofásicos conectados en paralelo, tal como se muestra en la Figura 1. Determine las medidas realizadas en los instrumentos  $W_2$  y  $A_2$ , si las medidas realizadas en los otros instrumentos son las contenidas en la siguiente tabla:

$V_1$ [V]	$A_1$ [A]	$W_1$ [W]	$A_3$ [A]	$W_3$ [W]
860	35,1104895	28357,12	88,372093	33440

$$F.P. = \cos(\theta_V - \theta_I) = \frac{P}{S}$$

$$\theta_I = \theta_V \mp \cos^{-1}\left(\frac{P}{S}\right) = \theta_V \mp \cos^{-1}\left(\frac{P}{|V||I|}\right)$$

$$\theta_{I_L} = 0^\circ - \cos^{-1}\left[\frac{33440}{(860)(88,372093)}\right] = -63,89611886^\circ$$

$$\theta_{I_{out1}} = 0^\circ - \cos^{-1}\left[\frac{28357,12}{(860)(35,1104895)}\right] = -20,0936528^\circ$$

$$I_L = I_{out1} + I_{out2}$$

$$I_{out2} = I_L - I_{out1} = (88,372093 \angle -63,89611886^\circ) - (35,1104895 \angle -20,0936528^\circ)$$

$$I_{out2} = 67,55457808 \angle -84,98079586^\circ \text{ A}$$

$$\boxed{|I_{out2}| = 67,55457808 \text{ A}}$$

$$P_L = P_{out1} + P_{out2}$$

$$P_{out2} = P_L - P_{out1} = 33440 - 28357,12$$

$$\boxed{P_{out2} = 5082,88 \text{ W}} \leftarrow W_2$$

### OTRA FORMA DE REALIZAR LOS CÁLCULOS

$$Q_L = \sqrt{S_L^2 - P_L^2} = \sqrt{[(860)(88,372093)]^2 - (33440)^2} \quad Q_{out1} = \sqrt{S_{out1}^2 - P_{out1}^2} = \sqrt{[(860)(35,1104895)]^2 - (28357,12)^2}$$

$$Q_L = 68247,83071 \text{ VAr}$$

$$Q_{out1} = 10373,67036 \text{ VAr}$$

$$Q_{out2} = Q_L - Q_{out1} = 57874,16035 \text{ VAr}$$

$$S_{out2} = \sqrt{P_{out2}^2 + Q_{out2}^2} = 58096,93714 \text{ VA} = |V_{out2}| |I_{out2}|$$

$$|I_{out2}| = \frac{S_{out2}}{|V_{out2}|} = \frac{58096,93714}{860}$$

$$\boxed{|I_{out2}| = 67,55457807 \text{ A}}$$



Ingeniería Electromecánica  
Especialidad: Mecatrónica y Electromecánica

Docente: Juan Rafael Camacho Martínez  
UTS – Ing. Electromecánica – Laboratorio de Máquinas Eléctricas I



Ingeniería Electromecánica  
Especialidad: Mecatrónica y Electromecánica

Docente: Juan Rafael Camacho Martínez  
UTS – Ing. Electromecánica – Laboratorio de Máquinas Eléctricas I



Ingeniería Electromecánica  
Especialidad: Mecatrónica y Electromecánica

Docente: Juan Rafael Camacho Martínez  
UTS – Ing. Electromecánica – Laboratorio de Máquinas Eléctricas I



Ingeniería Electromecánica  
Especialidad: Mecatrónica y Electromecánica

Docente: Juan Rafael Camacho Martínez  
UTS – Ing. Electromecánica – Laboratorio de Máquinas Eléctricas I



Ingeniería Electromecánica  
Especialidad: Mecatrónica y Electromecánica

Docente: Juan Rafael Camacho Martínez  
UTS – Ing. Electromecánica – Laboratorio de Máquinas Eléctricas I



Ingeniería Electromecánica  
Especialidad: Mecatrónica y Electromecánica

Docente: Juan Rafael Camacho Martínez  
UTS – Ing. Electromecánica – Laboratorio de Máquinas Eléctricas I



Ingeniería Electromecánica  
Especialidad: Mecatrónica y Electromecánica

Docente: Juan Rafael Camacho Martínez  
UTS – Ing. Electromecánica – Laboratorio de Máquinas Eléctricas I



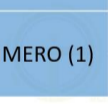
Ingeniería Electromecánica  
Especialidad: Mecatrónica y Electromecánica

Docente: Juan Rafael Camacho Martínez  
UTS – Ing. Electromecánica – Laboratorio de Máquinas Eléctricas I



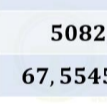
Ingeniería Electromecánica  
Especialidad: Mecatrónica y Electromecánica

Docente: Juan Rafael Camacho Martínez  
UTS – Ing. Electromecánica – Laboratorio de Máquinas Eléctricas I



Ingeniería Electromecánica  
Especialidad: Mecatrónica y Electromecánica

Docente: Juan Rafael Camacho Martínez  
UTS – Ing. Electromecánica – Laboratorio de Máquinas Eléctricas I



Ingeniería Electromecánica  
Especialidad: Mecatrónica y Electromecánica

Docente: Juan Rafael Camacho Martínez  
UTS – Ing. Electromecánica – Laboratorio de Máquinas Eléctricas I



Ingeniería Electromecánica  
Especialidad: Mecatrónica y Electromecánica

Docente: Juan Rafael Camacho Martínez  
UTS – Ing. Electromecánica – Laboratorio de Máquinas Eléctricas I



Ingeniería Electromecánica  
Especialidad: Mecatrónica y Electromecánica

Docente: Juan Rafael Camacho Martínez



Ingeniería Electromecánica  
Especialidad: Mecatrónica y Electromecánica

Docente: Juan Rafael Camacho Martínez



Ingeniería Electromecánica  
Especialidad: Mecatrónica y Electromecánica

Docente: Juan Rafael Camacho Martínez



Ingeniería Electromecánica  
Especialidad: Mecatrónica y Electromecánica

Docente: Juan Rafael Camacho Martínez

## ANEXO A. TABLA DE RESPUESTAS

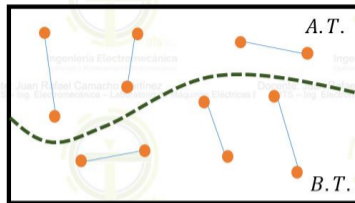
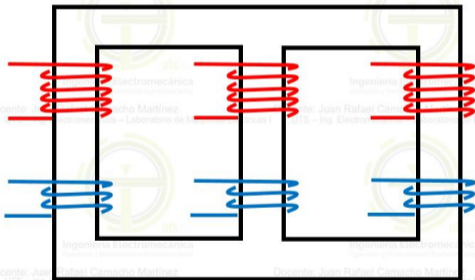
PUNTO	INSTRUMENTO	VALOR OBTENIDO
PRIMERO (1)	$W_2 [W]$	<b>5082,88</b>
	$A_2 [A]$	<b>67,55457808</b>

# LABORATORIO DE MÁQUINAS ELÉCTRICAS I

**TRANSFORMADORES TRIFÁSICOS – PRUEBAS PRELIMINARES**

Docente: Juan Rafael Camacho Martínez

# TRANSFORMADORES TRIFÁSICOS



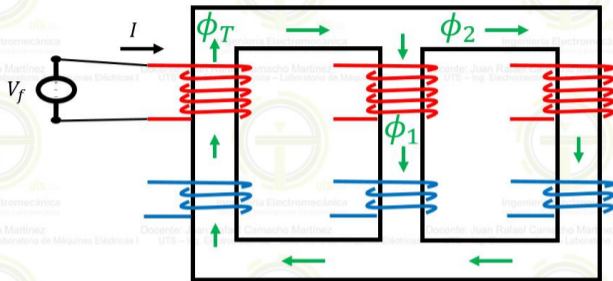
**Medición de continuidad:** permite identificar los pares de bornes de cada bobina.

**Medición de resistencias de las bobinas:** permite identificar las bobinas de A.T. y las bobinas de B.T.

**Se aplica tensión de prueba a una bobina y se mide voltaje en todos los devanados:** Para identificar las bobinas que pertenecen a la misma fase.

**La prueba de polaridad:** Para identificar los principios y finales relativos de las bobinas.

# IDENTIFICACIÓN DE BOBINAS DE LA MISMA FASE

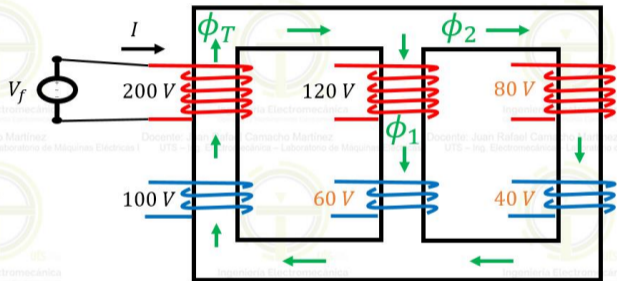


$$\phi_T = \phi_1 + \phi_2$$

$$\phi_T > \phi_1 > \phi_2$$

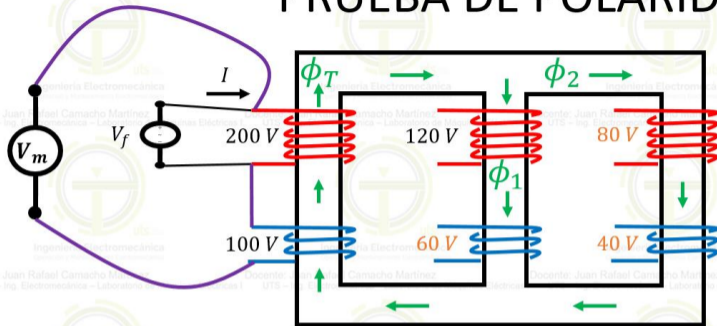
$$e_{ind.} = k \frac{d\phi}{dt}$$

# IDENTIFICACIÓN DE BOBINAS DE LA MISMA FASE



$$\phi_T = \phi_1 + \phi_2$$

# PRUEBA DE POLARIDAD



$$\phi_T = \phi_1 + \phi_2$$

**SI EL FLUJO MAGNÉTICO QUE PASA POR LAS DOS BOBINAS EN PRUEBA CIRCULA EN LA MISMA DIRECCIÓN:**

**Si se unieron bornes de la misma polaridad:**

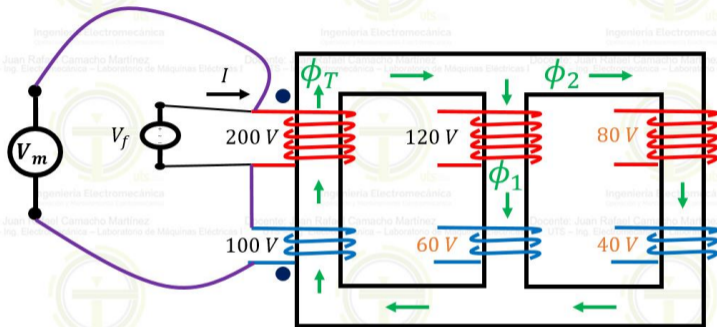
$V_m$  es la **diferencia** de los voltajes de las dos bobinas en prueba.

**Si se unieron bornes de polaridades contrarias:**

$V_m$  es la **suma** de los voltajes de las dos bobinas en prueba.



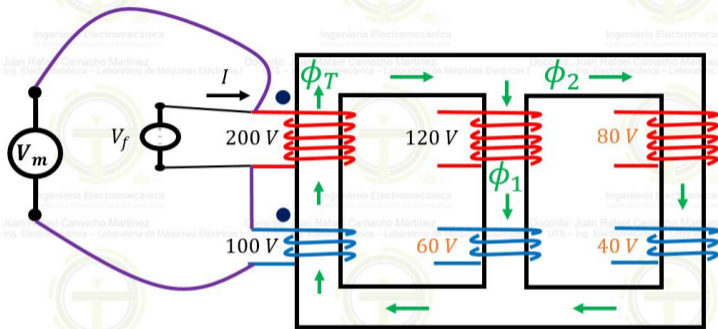
# PRUEBA DE POLARIDAD



$$\phi_T = \phi_1 + \phi_2$$

$$V_m = 100 V$$

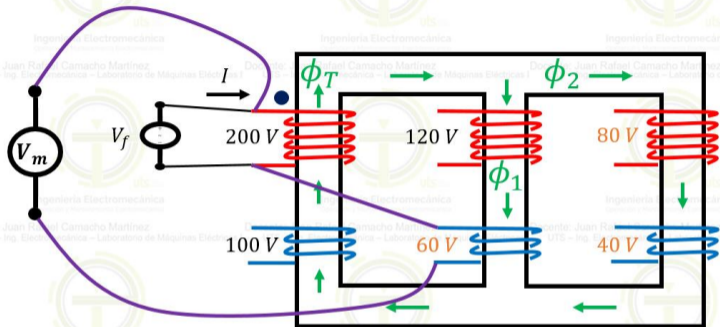
# PRUEBA DE POLARIDAD



$$V_m = 300 V$$

$$\phi_T = \phi_1 + \phi_2$$

# PRUEBA DE POLARIDAD



$$\phi_T = \phi_1 + \phi_2$$

SI EL FLUJO MAGNÉTICO QUE PASA POR LAS DOS BOBINAS EN PRUEBA CIRCULA EN DIRECCIÓN CONTRARIA:

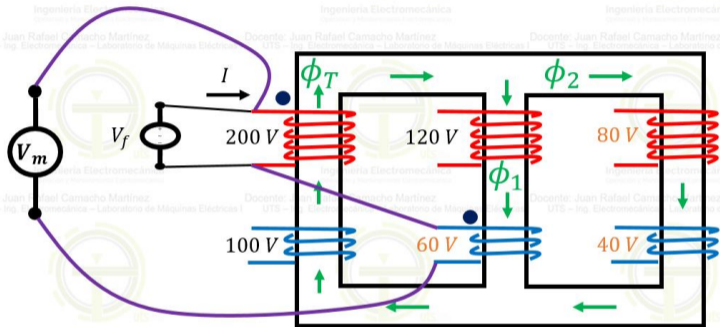
Si se unieron bornes de la misma polaridad:

$V_m$  es la **suma** de los voltajes de las dos bobinas en prueba.

Si se unieron bornes de polaridades contrarias:

$V_m$  es la **diferencia** de los voltajes de las dos bobinas en prueba.

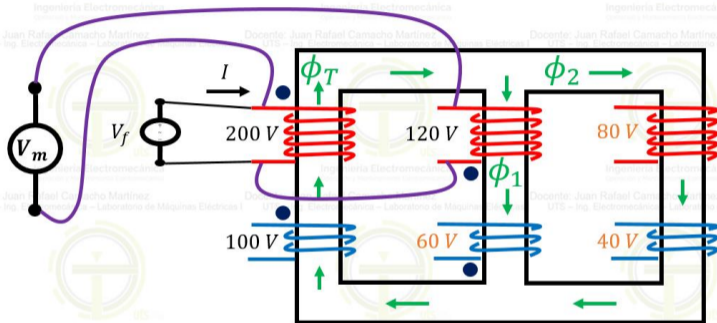
# PRUEBA DE POLARIDAD



$$\phi_T = \phi_1 + \phi_2$$

$$V_m = 140 V$$

# PRUEBA DE POLARIDAD

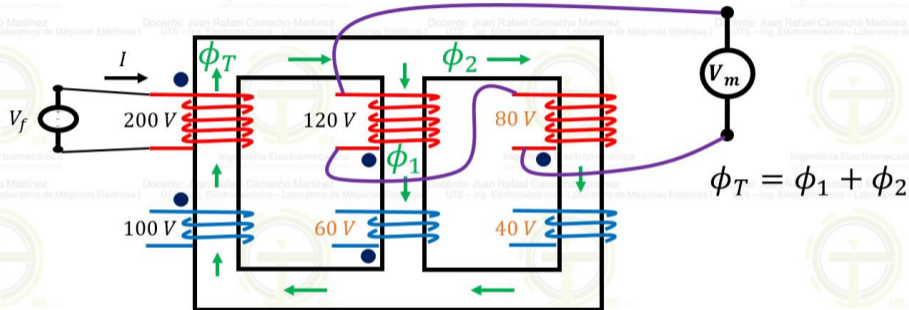


$$\phi_T = \phi_1 + \phi_2$$

$$V_m = ?$$

$$V_m = 80 V$$

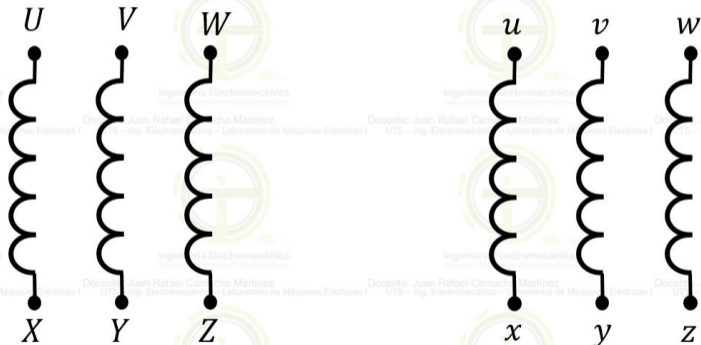
# PRUEBA DE POLARIDAD



$$V_m = ?$$

$$V_m = 200 V$$

# REPRESENTACIÓN DE LOS DEVANADOS DEL TRANSFORMADOR TRIFÁSICO



# LABORATORIO DE MÁQUINAS ELÉCTRICAS I

## CONEXIONES EN TRANSFORMADORES TRIFÁSICOS

$\Delta$   $\Delta$   
 $\Delta$   $Y$   
 $Y$   $\Delta$   
 $Y$   $Y$

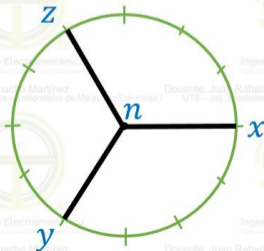
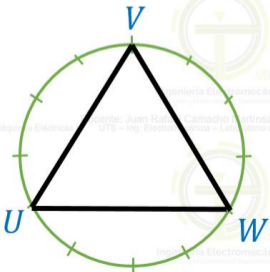
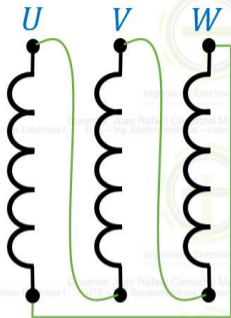
Docente: Juan Rafael Camacho Martínez

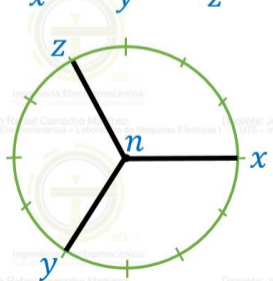
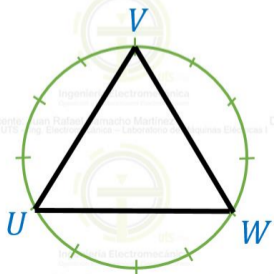
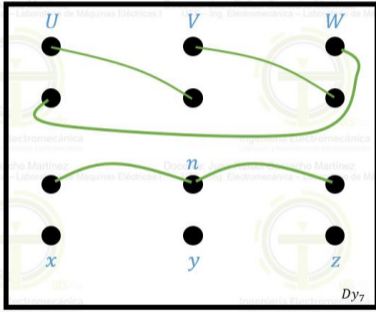
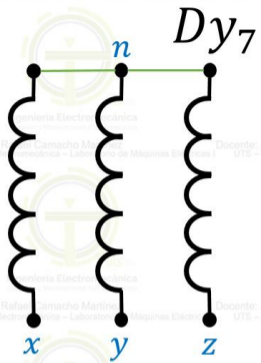
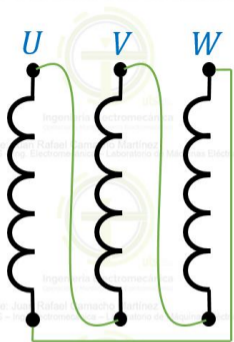


# PASOS DE LA METODOLOGÍA

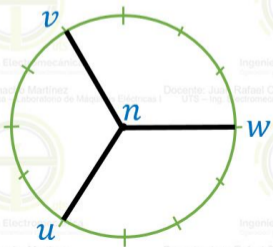
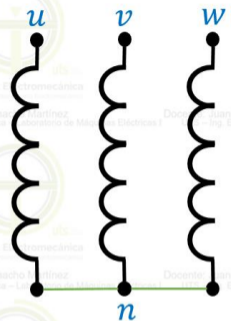
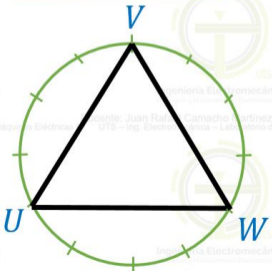
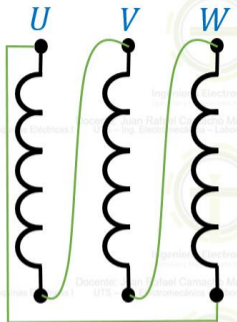
- Dibujar los devanados y los círculos guías, dividiéndolos en doce (12) partes de  $30^{\circ}$  cada una. Adicionalmente, se marcan "U", "V" y "W" como terminales de alimentación del transformador.
- Dibujar los diagramas fasoriales, según la designación dada.
- Verificar que los fasores del secundario sean paralelos con los del primario (Identificar si la conexión existe o no).
- Realizar la conexión de las bobinas del primario y definir los terminales de salida del transformador, para que la conexión quede normalizada.
- Realizar las conexiones de las bobinas del secundario según los diagramas fasoriales.

$Dy_7$





$Dy_{11}$



# RELACIÓN DE TRANSFORMACIÓN EN LOS TRANSFORMADORES TRIFÁSICOS

**Estrella – Y**  
**(Sec +)**

$$V_{\text{Línea}} = \sqrt{3}|V_{\text{Fase}}|\angle(\theta_{V_{\text{Fase}}} + 30)^\circ$$

$$I_{\text{Línea}} = I_{\text{Fase}}$$

Relación de transformación individual ( $a$ ):

$$a = \frac{N_{1\text{ Bobina\_Primario}}}{N_{1\text{ Bobina\_Secundario}}} = \frac{|V_{1\text{ Bobina\_Primario}}|}{|V_{1\text{ Bobina\_Secundario}}|} = \frac{|I_{1\text{ Bobina\_Secundario}}|}{|I_{1\text{ Bobina\_Primario}}|}$$

Relación de transformación grupal ( $a_G$ ):

$$a_G = \frac{|V_{\text{Línea\_Primario}}|}{|V_{\text{Línea\_Secundario}}|} = \frac{|I_{\text{Línea\_Secundario}}|}{|I_{\text{Línea\_Primario}}|}$$

**Ejemplo:** Para un transformador en  $Dy_7$  con voltaje nominal de 440 V en cada una de las bobinas del primario y 220 V en cada una de las bobinas de secundario, la relación de transformación individual es:

$$a = \frac{440}{220} = 2$$

La magnitud del voltaje de línea en el primario es 440 V y la magnitud del voltaje de línea en el secundario es  $\sqrt{3}220$  V, por tanto, su relación de transformación grupal es:

$$a_G = \frac{440}{\sqrt{3}220} = 1,154700538$$

# LABORATORIO DE MÁQUINAS ELÉCTRICAS I

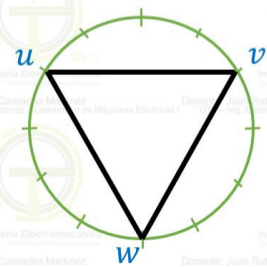
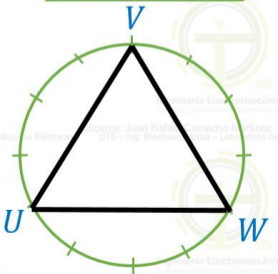
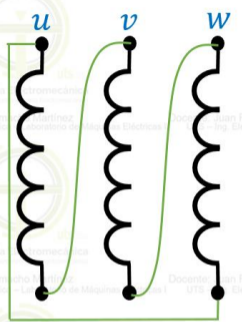
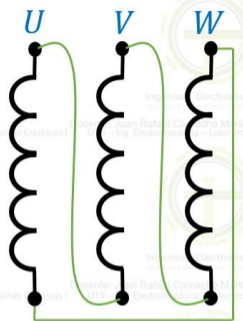
## CONEXIONES EN TRANSFORMADORES TRIFÁSICOS

$\Delta$	$\Delta$
$\Delta$	$Y$
$Y$	$\Delta$
$Y$	$Y$

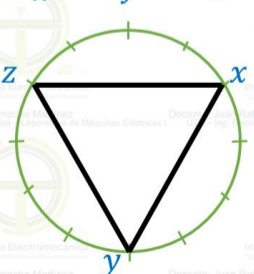
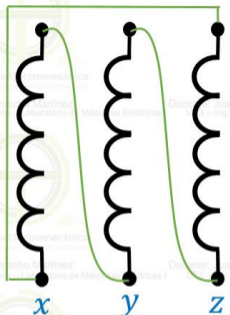
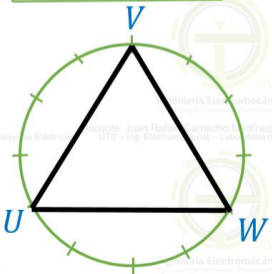
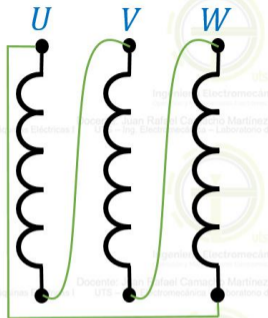
### VERIFICACIÓN DE LA CONEXIÓN

Docente: Juan Rafael Camacho Martínez

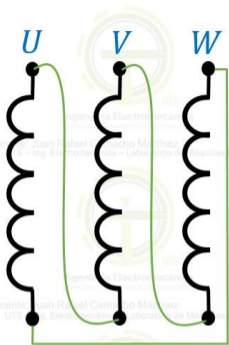
$Dd_2$



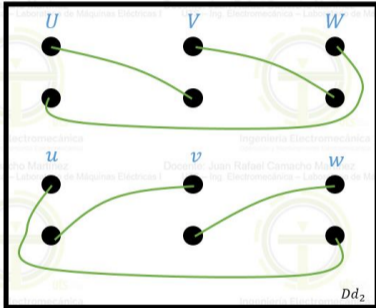
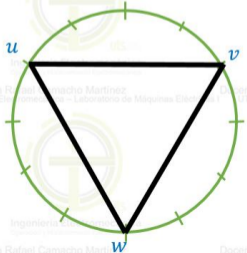
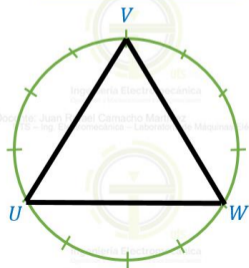
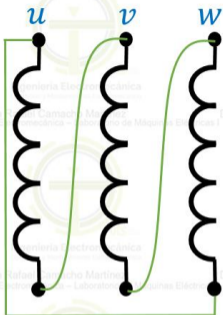
$Dd_6$







$Dd_2$

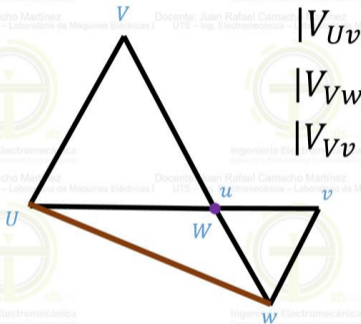
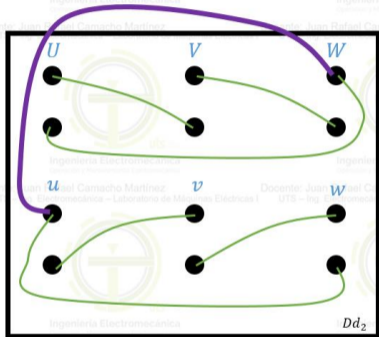


$Dd_2$

# COMPROBACIÓN DE LA CONEXIÓN

Uniendo  $W$  con  $u$ :

$$\begin{array}{c} + \\ \text{---} \\ - \end{array} 0^{\circ}$$



$$|V_{Uv}| = |V_{UW}| + |V_{uv}|$$

$$|V_{Vw}| = |V_{VW}| + |V_{uw}|$$

$$|V_{Vv}| = |V_{UW}|$$

$$V_{UW} = V_{UW} + V_{uw} = |V_{Línea_P}| \angle 0^{\circ} + |V_{Línea_S}| \angle -60^{\circ}$$

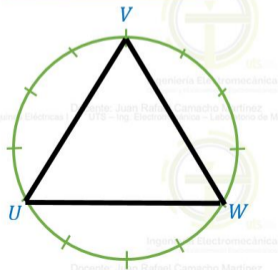
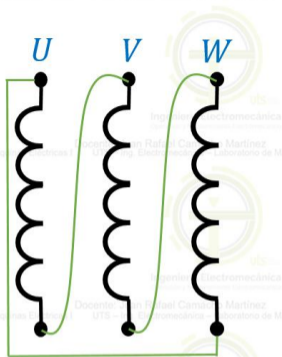
**Ejemplo:**  $V_{UW} = (440 \angle 0^{\circ}) + (220 \angle -60^{\circ}) = 582,0652884 \angle -19,10660535^{\circ} \text{ V}$

# LABORATORIO DE MÁQUINAS ELÉCTRICAS I

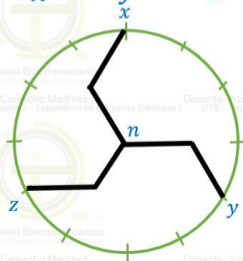
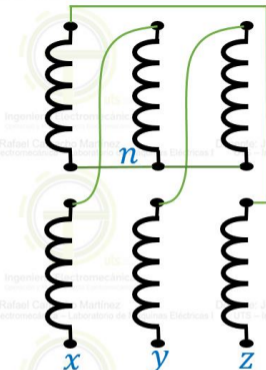
CONEXIONES DE TRANSFORMADORES TRAFÁSICOS

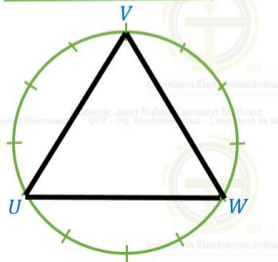
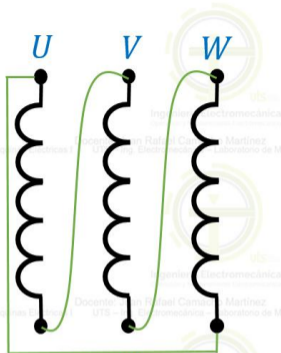
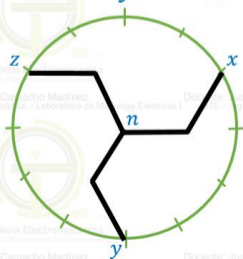
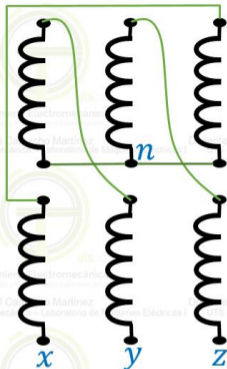
**Zigzag**

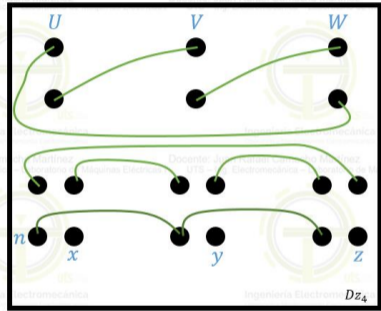
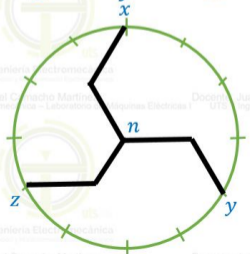
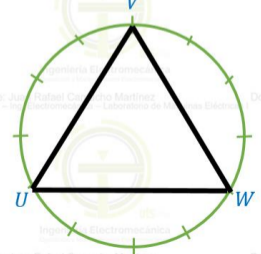
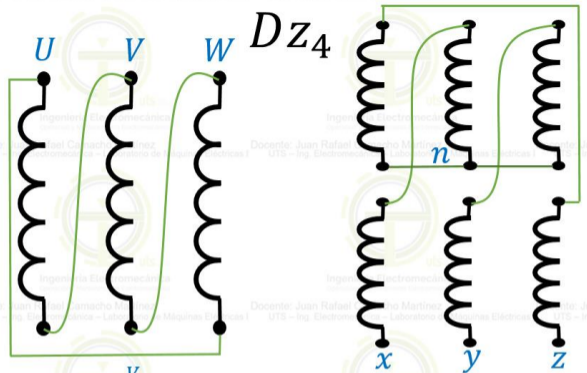
Docente: Juan Rafael Camacho Martínez

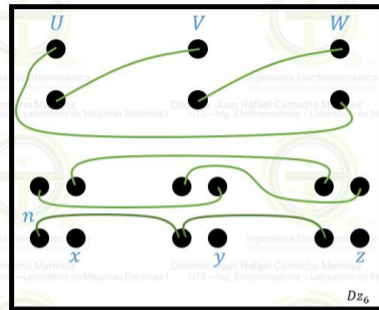
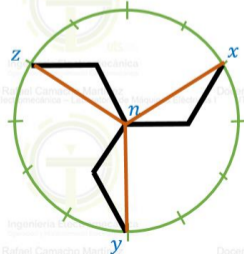
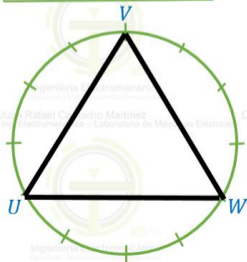
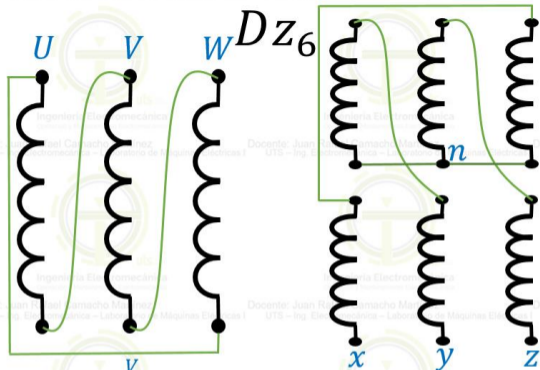


$Dz_4$




 $DZ_6$ 






$$V_{xn} = |V_{1B_S}| \angle 0^\circ + |V_{1B_S}| \angle 60^\circ$$

$$V_{xn} = |V_{1B_S}| (1 \angle 0^\circ + 1 \angle 60^\circ) = |V_{1B_S}| (\sqrt{3} \angle 30^\circ)$$

$$V_{xn} = \sqrt{3} |V_{1B_S}| \angle 30^\circ$$

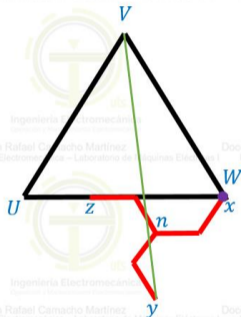
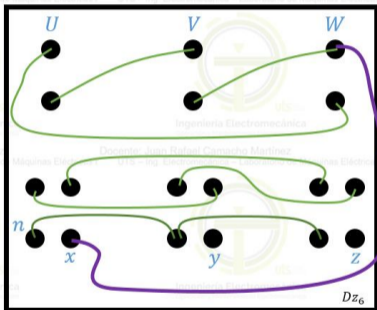
$$|V_{Fase-Z}| = \sqrt{3} |V_{1B_Z}|$$

$$|V_{Línea-Z}| = 3 |V_{1B_Z}|$$

# COMPROBACIÓN DE LA CONEXIÓN

Uniendo  $W$  con  $x$ :

$$\begin{array}{c} + \\ \text{---} \\ - \end{array} 0^{\circ}$$



$$V_{Vy} = |V_{L_P}| \angle -60^{\circ} + |V_{1B_S}| (1 \angle -120^{\circ} + 1 \angle 180^{\circ} + 1 \angle -120^{\circ} + 1 \angle -60^{\circ})$$



# LABORATORIO DE MÁQUINAS ELÉCTRICAS I

MÁQUINAS ELÉCTRICAS ROTATIVAS DE DC

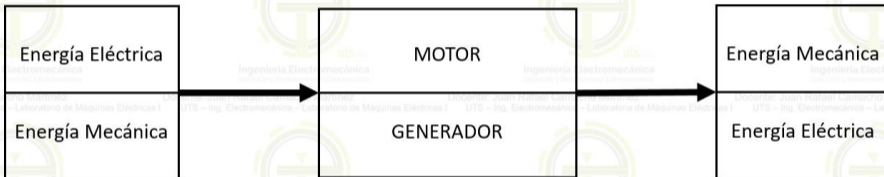
Docente: Juan Rafael Camacho Martínez

# MÁQUINAS ELÉCTRICAS ROTATIVAS DE DC

FUENTE

MÁQUINA

CARGA



Este tipo de máquinas convierten energía eléctrica de DC en mecánica (Motor) o convierten energía mecánica en eléctrica de DC (Generador).

# PARTES FUNCIONALES DE LAS MÁQUINAS ELÉCTRICAS ROTATIVAS DC

Modo de operación Parte de la máquina	MOTOR	GENERADOR
<b>CAMPO</b> (Está construida en el estator)	Se debe alimentar con una fuente eléctrica de DC, es decir, debe existir la corriente de campo ( $I_f$ ).	Se debe alimentar con una fuente eléctrica de DC, es decir, debe existir la corriente de campo ( $I_f$ ).
<b>ARMADURA</b> (Está construida en el rotor)	Se debe alimentar con una fuente eléctrica de DC, es decir, debe existir una tensión de armadura ( $V_a$ ) impuesta que ocasione la corriente de armadura ( $I_a$ ) tomada de la fuente.  $P_{in} = V_a I_a$	Se obtiene energía eléctrica de DC, es decir, a esta parte se debe conectar la carga eléctrica, la cual será energizada al voltaje de armadura ( $V_a$ ) y solicitará una corriente de armadura ( $I_a$ ).  $P_{out} = V_a I_a$
<b>EJE</b>	Se obtiene un movimiento rotativo, lo que permite mover una carga de tipo mecánica que se acople al eje, aplicándole a dicha carga un torque de salida ( $T_{out}$ ) que producirá una velocidad angular ( $\omega$ ).  $P_{out} = T_{out} \omega$	Se acopla una fuente de energía mecánica que lo haga girar, es decir, se tendrá un torque de entrada ( $T_{in}$ ) que producirá una velocidad angular ( $\omega$ ).  $P_{in} = T_{in} \omega$

# PARTES FUNCIONALES DE LAS MÁQUINAS ELÉCTRICAS ROTATIVAS DC

## SIMBOLOGÍA ELÉCTRICA

MOTOR

ARMADURA

CAMPO

GENERADOR

$R_a$

$E_a$

$I_a$

$R_f$

# TIPOS DE MÁQUINAS ELÉCTRICAS ROTATIVAS DE DC

- Máquinas de Imanes permanente

## Máquinas de Electroimanes:

- Excitación independiente
- Shunt (Paralelo)
- Serie
- Compuesta

$$E_a = kI_f\omega$$
$$T_{des.} = kI_aI_f$$

$$\omega = \frac{E_a}{kI_f}$$

### SHUNT

$$R_f \gg R_a \quad I_f \ll I_a$$

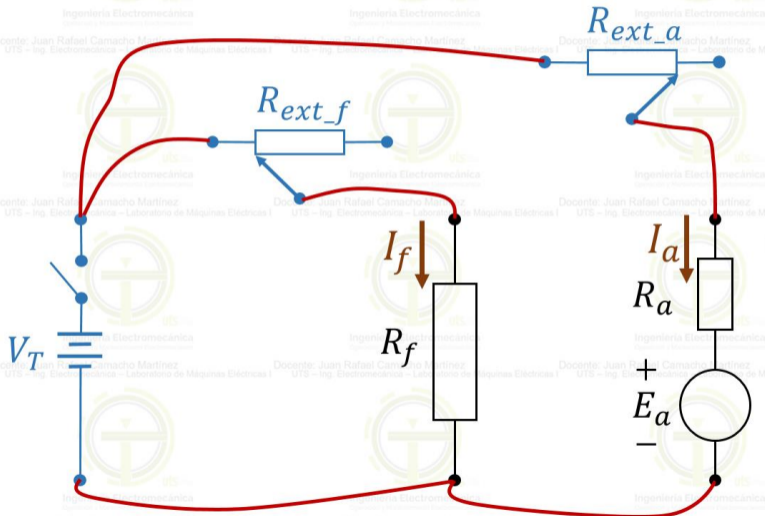
Poco torque.  
Buen control de velocidad.

### SERIE

$$R_f \approx R_a \quad I_f = I_a$$

Bastante torque.  
Poco control velocidad.

# CONEXIÓN PARA ARRANCAR Y CONTROLAR LA VELOCIDAD DE UN MOTOR SHUNT



$$-V_T + R_a I_a + E_a = 0$$

$$I_a = \frac{V_T - E_a}{R_a}$$

$$220 \text{ V} \quad I_{a_{Nom}} = 6,5 \text{ A}$$

$$R_a = 3 \Omega \quad R_f = 550 \Omega$$

Para el **instante** de arranque ( $E_a = 0$ ):

$$I_a = \frac{220 - 0}{3} \cong 73,3333333 \text{ A}$$

Con la  $R_{ext\_a}$ :

$$-V_T + R_a I_a + R_{ext\_a} I_a + E_a = 0$$

$$I_a = \frac{V_T - E_a}{R_a + R_{ext\_a}}$$