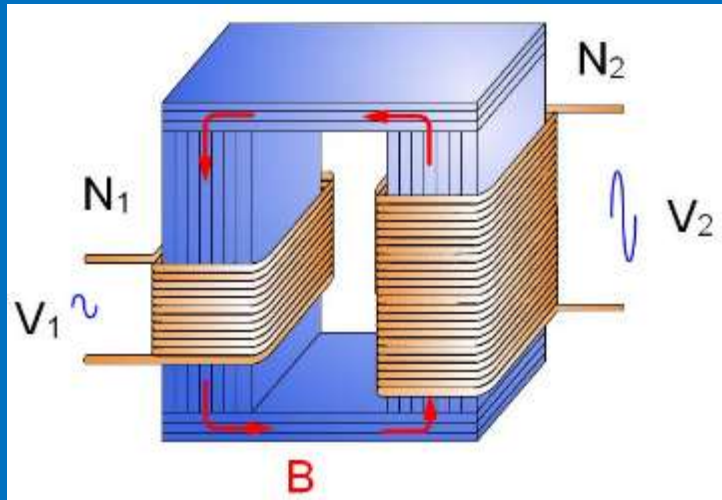


# Transformadores

Se denomina transformador o trafo (abreviatura) a una máquina eléctrica estática que permite aumentar o disminuir la tensión en un circuito eléctrico de corriente alterna, manteniendo la frecuencia.

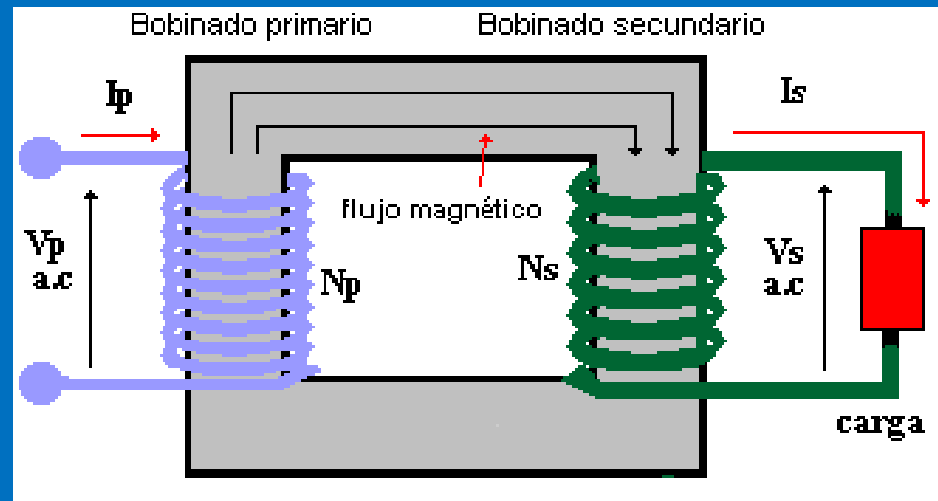


# GENERALIDADES

El transformador son un conjunto de bobinas (mínimo dos) acopladas por un campo magnético que fluye en un núcleo (acero con pequeños porcentajes de silicio).

Se utilizan para

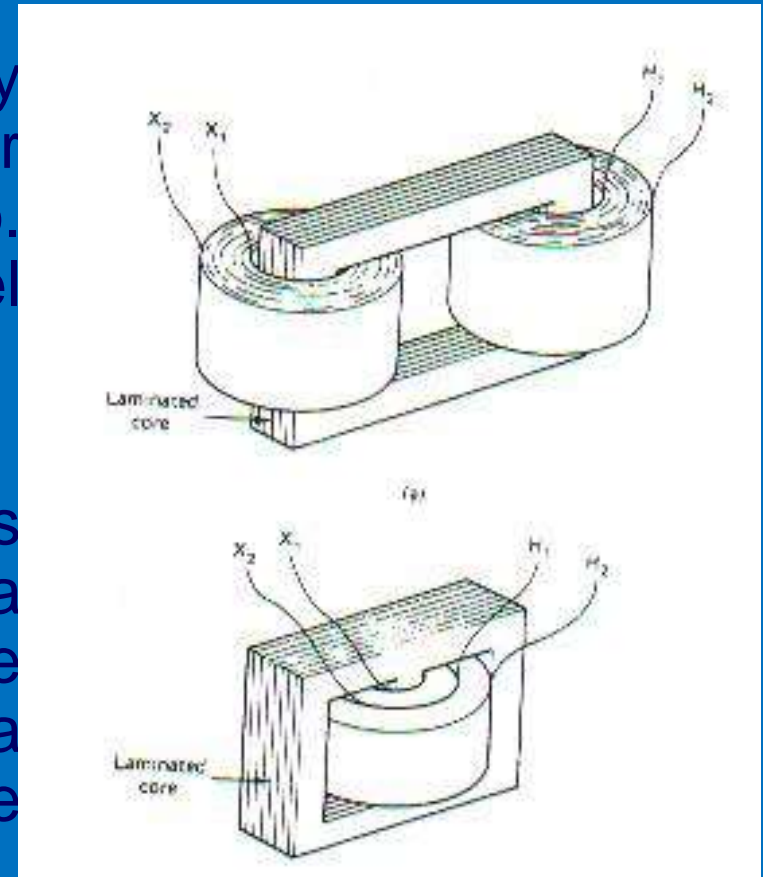
1. Cambiar los valores de voltaje y corriente entre un circuito y otro.
2. Aislar eléctricamente un circuito de otro
3. Adaptar impedancias entre la salida de un circuito y la entrada de otro.

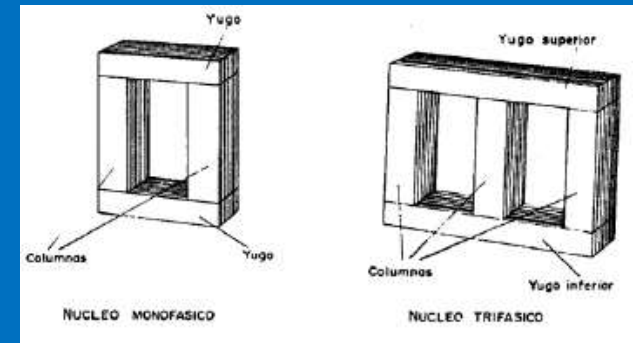


# CONSTRUCCIÓN DEL NUCLEO

Los devanados primarios y secundarios se pueden enrollar en lados opuestos del núcleo. Esta configuración recibe el nombre de **core**.

Otra forma enrollar los devanados es en forma concéntrica. El secundario se enrolla encima del primario. Esta configuración recibe el nombre de **shell**.

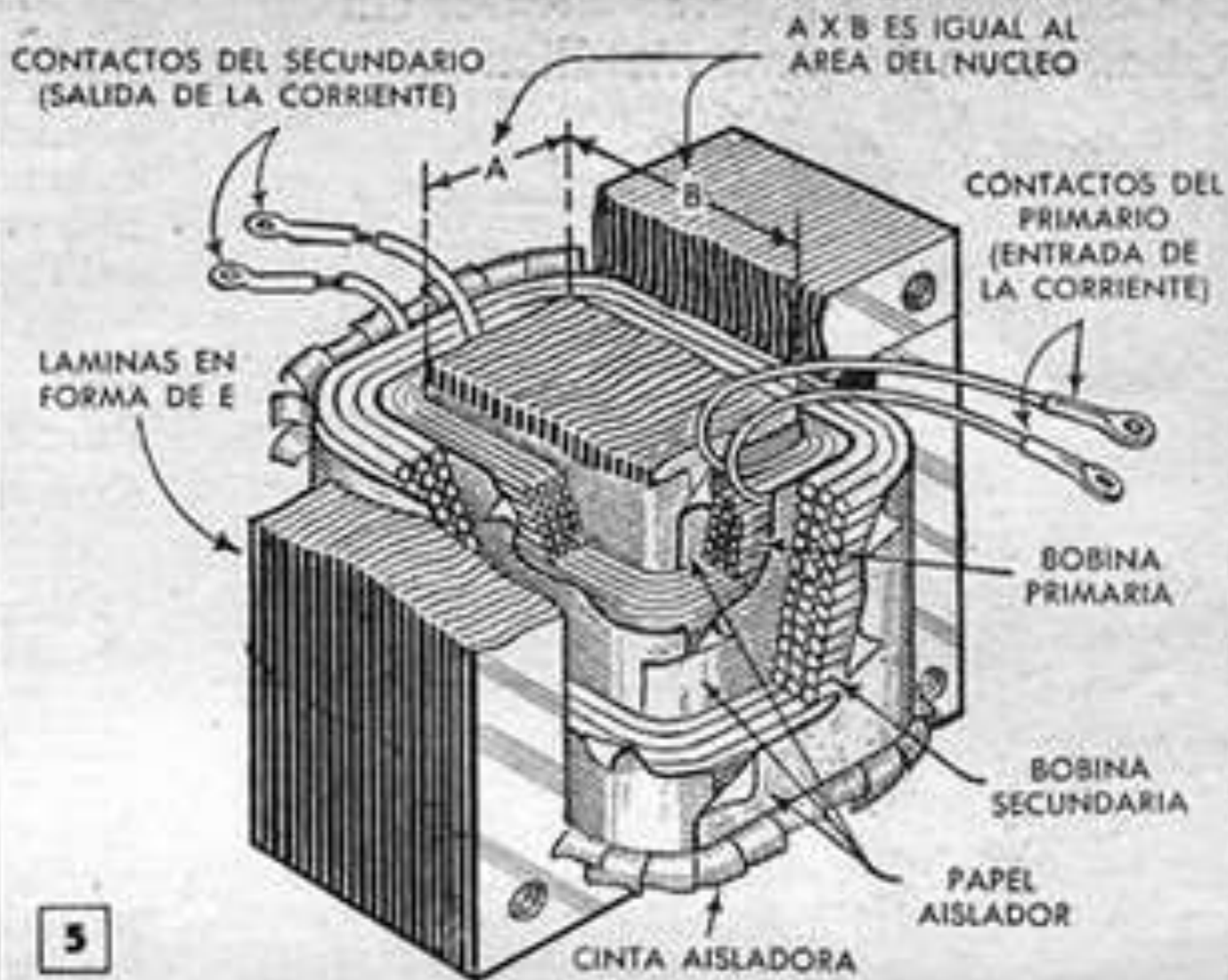




En ambos casos las secciones se van alternando para reducir posibles airgap (hueco de aire) producidos en la juntura.

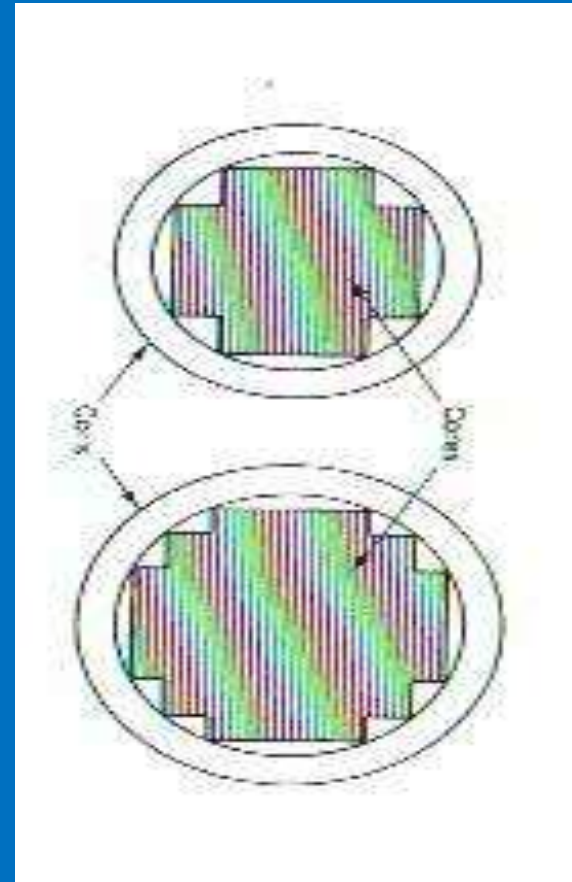
Además las laminas contienen un 3% de silicón la cual reduce las perdidas por histéresis.





# NUCLEOS STEPPED

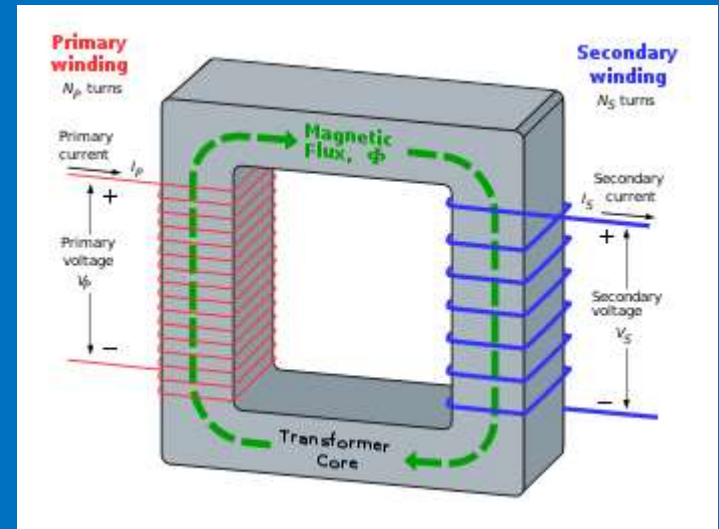
Con el objetivo de reducir el cobre utilizado en los devanados algunos núcleos contienen secciones transversales que aunque rectas se asemejan a un círculo.



# PRINCIPIOS DEL TRANSFORMADOR

Cuando aplicamos una fuente  $V_p$  al devanado primario y dejamos el secundario abierto, se producirá un flujo en el núcleo. Este flujo es sinusoidal igual al voltaje pero se encuentra atrasado 90 grados con respecto a este.

Este flujo producido recorre el núcleo y hace que este corte las espiras del secundario produciendo así un voltaje en fase con el voltaje del



# RELACIÓN DE TRANSFORMACIÓN

**Relación de  
transformación de  
Voltajes**

$$\frac{N_p}{N_s} = a = \frac{E_p}{E_s}$$

**Relación de  
transformación de  
Corrientes**

$$\frac{N_p}{N_s} = a = \frac{I_s}{I_p}$$



# TIPOS DE TRANSFORMADOR

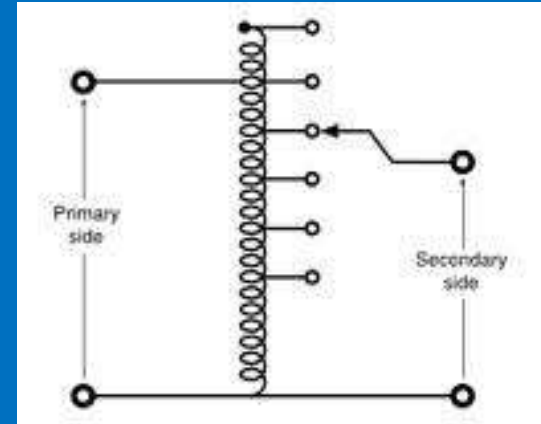
<b>SEGÚN FUNCIONALIDAD</b>	Transformadores de potencia
	Transformadores de comunicaciones
	Transformadores de medida
<b>POR LOS SISTEMAS DE TENSIONES</b>	Monofásicos
	Trifásicos
	Trifásicos-hexafásicos
	Trifásicos-dodecafásicos
	Trifásicos-monofásicos
<b>SEGÚN Tensión SECUNDARIO</b>	Elevadores
	Reductores
<b>SEGÚN MEDIO</b>	Interior
	Intemperie
<b>SEGÚN ELEMENTO REFRIGERANTE</b>	En seco
	En baño de aceite
	Con pyraleno
<b>SEGÚN REFRIGERACIÓN</b>	Natural
	Forzada

# AUTOTRANSFORMADOR

Es un transformador con una sola bobina y una derivación en su devanado.

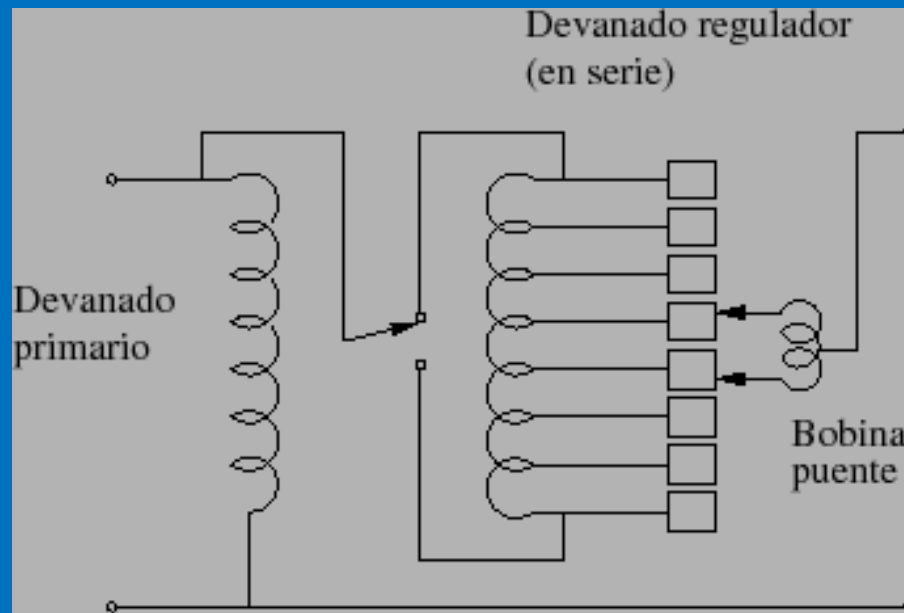
Su construcción es mas simple y se utiliza para aumentar o disminuir levemente el voltaje. La ventaja principal es que las perdidas de potencia son mucho menores que en un simple transformador.

La desventaja es que el primario y el secundario no están aislado lo que representa un peligro potencial.



# TAPS: Que son y para que sirven los taps.

- Los taps son derivaciones que poseen los transformadores trifásicos, los cuales hacen que se tenga la posibilidad de poder cambiar la tensión a la salida del transformador, ya que cuando el transformador tenga que alimentar a una carga que pase los límites el transformador no podrá abastecer con la misma tensión ya que esta sobrepasando su tensión, por lo que este tap o conmutador puede ser cambiado para elevar la tensión.



# Que son y para que sirven los taps.

- De serie, los transformadores vienen con taps de tensión  $-5\%$ ,
- $-2.5\%$ ,  $0$ ,  $+2.5\%$ ,  $+5\%$ .
- El diagrama de conexión de los taps para los transformadores
- con una o dos tensiones primarias se indica en las placas de
- características.
- Es importante desplazar las placas de las 3 columnas de M.T.
- en su totalidad.

**Ejemplo 2-6** Un transformador de distribución de 500 kVA, 13,200/480-V tiene cuatro tomas de 2.5% sobre su devanado primario. ¿Cuáles son las relaciones de voltaje del transformador en cada toma?

**Solución.** Los cinco valores nominales de voltaje posibles en este transformador son

Toma de + 5.0%	13,860/480 V
Toma de + 2.5%	13,530/480 V
Valor nominal	13,200/ 480 V
Toma de - 2.5%	12,870/480 V
Toma de - 5%	12,540/480 V

15000 20000

**elettromeccanica**  
di marnate  
Italy

CE-2V 60076-1-5  
EC 60076-11  
FD 464 5113 503044 10005

13

**TRASFORMATORE IN RESINA**  
**CAST RESIN TRANSFORMER**

N° \_\_\_\_\_ ANNO YEAR \_\_\_\_\_ POTENZA RATING \_\_\_\_\_ KVA \_\_\_\_\_ Hz \_\_\_\_\_

RAFFREDDAMENTO COOLING \_\_\_\_\_ TEMP. ENV. SURF. TEMPER. \_\_\_\_\_ 155°C (325°F) \_\_\_\_\_

IMP. WIND. SYSTEM \_\_\_\_\_

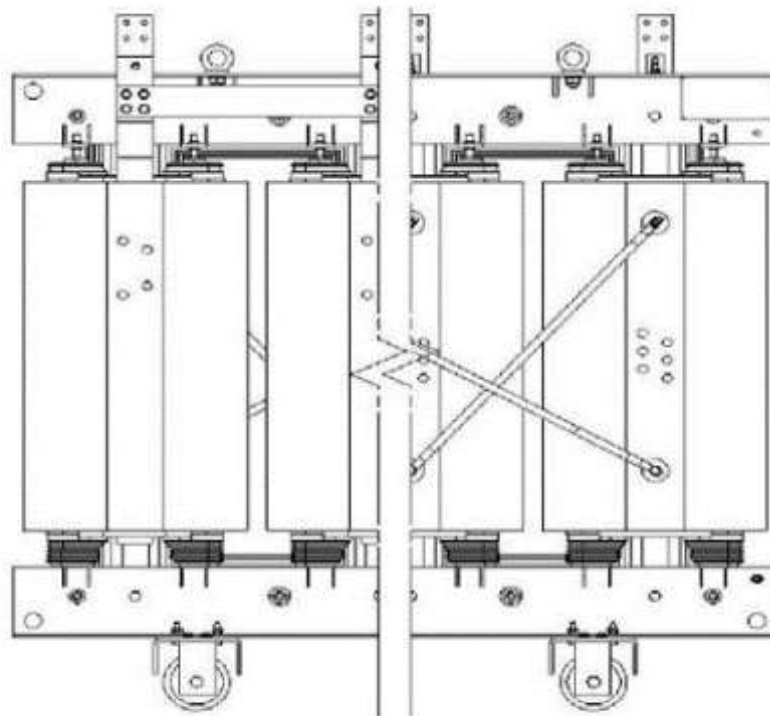
15 SUPERFICI SUPERFACES \_\_\_\_\_ K \_\_\_\_\_

15000 20000 25000 30000 35000 40000 45000 50000 55000 60000 65000 70000 75000 80000 85000 90000 95000 100000

ALTA TENSIONE HIGH VOLTAGE \_\_\_\_\_ V \_\_\_\_\_

COLLEG. CONNECTION \_\_\_\_\_

15000 21000 27000 33000 39000 45000 51000 57000 63000 69000 75000 81000 87000 93000 99000 105000 111000 117000 123000 129000 135000 141000 147000 153000 159000 165000 171000 177000 183000 189000 195000 201000 207000 213000 219000 225000 231000 237000 243000 249000 255000 261000 267000 273000 279000 285000 291000 297000 303000 309000 315000 321000 327000 333000 339000 345000 351000 357000 363000 369000 375000 381000 387000 393000 399000 405000 411000 417000 423000 429000 435000 441000 447000 453000 459000 465000 471000 477000 483000 489000 495000 501000 507000 513000 519000 525000 531000 537000 543000 549000 555000 561000 567000 573000 579000 585000 591000 597000 603000 609000 615000 621000 627000 633000 639000 645000 651000 657000 663000 669000 675000 681000 687000 693000 699000 705000 711000 717000 723000 729000 735000 741000 747000 753000 759000 765000 771000 777000 783000 789000 795000 801000 807000 813000 819000 825000 831000 837000 843000 849000 855000 861000 867000 873000 879000 885000 891000 897000 903000 909000 915000 921000 927000 933000 939000 945000 951000 957000 963000 969000 975000 981000 987000 993000 999000 1005000 1011000 1017000 1023000 1029000 1035000 1041000 1047000 1053000 1059000 1065000 1071000 1077000 1083000 1089000 1095000 1101000 1107000 1113000 1119000 1125000 1131000 1137000 1143000 1149000 1155000 1161000 1167000 1173000 1179000 1185000 1191000 1197000 1203000 1209000 1215000 1221000 1227000 1233000 1239000 1245000 1251000 1257000 1263000 1269000 1275000 1281000 1287000 1293000 1299000 1305000 1311000 1317000 1323000 1329000 1335000 1341000 1347000 1353000 1359000 1365000 1371000 1377000 1383000 1389000 1395000 1401000 1407000 1413000 1419000 1425000 1431000 1437000 1443000 1449000 1455000 1461000 1467000 1473000 1479000 1485000 1491000 1497000 1503000 1509000 1515000 1521000 1527000 1533000 1539000 1545000 1551000 1557000 1563000 1569000 1575000 1581000 1587000 1593000 1599000 1605000 1611000 1617000 1623000 1629000 1635000 1641000 1647000 1653000 1659000 1665000 1671000 1677000 1683000 1689000 1695000 1701000 1707000 1713000 1719000 1725000 1731000 1737000 1743000 1749000 1755000 1761000 1767000 1773000 1779000 1785000 1791000 1797000 1803000 1809000 1815000 1821000 1827000 1833000 1839000 1845000 1851000 1857000 1863000 1869000 1875000 1881000 1887000 1893000 1899000 1905000 1911000 1917000 1923000 1929000 1935000 1941000 1947000 1953000 1959000 1965000 1971000 1977000 1983000 1989000 1995000 2001000 2007000 2013000 2019000 2025000 2031000 2037000 2043000 2049000 2055000 2061000 2067000 2073000 2079000 2085000 2091000 2097000 2103000 2109000 2115000 2121000 2127000 2133000 2139000 2145000 2151000 2157000 2163000 2169000 2175000 2181000 2187000 2193000 2199000 2205000 2211000 2217000 2223000 2229000 2235000 2241000 2247000 2253000 2259000 2265000 2271000 2277000 2283000 2289000 2295000 2301000 2307000 2313000 2319000 2325000 2331000 2337000 2343000 2349000 2355000 2361000 2367000 2373000 2379000 2385000 2391000 2397000 2403000 2409000 2415000 2421000 2427000 2433000 2439000 2445000 2451000 2457000 2463000 2469000 2475000 2481000 2487000 2493000 2499000 2505000 2511000 2517000 2523000 2529000 2535000 2541000 2547000 2553000 2559000 2565000 2571000 2577000 2583000 2589000 2595000 2601000 2607000 2613000 2619000 2625000 2631000 2637000 2643000 2649000 2655000 2661000 2667000 2673000 2679000 2685000 2691000 2697000 2703000 2709000 2715000 2721000 2727000 2733000 2739000 2745000 2751000 2757000 2



ALTA TENSIONE		COLLEGARE	
		V	
16000	21000	V	5 - 8
19500	20500	V	7 - 8
19000	20000	V	4 - 7
14500	19500	V	8 - 4
14000	19000	V	3 - 8
		V	
		A	

# Pérdidas en un transformador.

En un transformador se pueden identificar las siguientes pérdidas:

Perdidas por corrientes de Foucault

Perdidas por histéresis

Perdidas en el cobre del bobinado.

Las pérdidas por corrientes de Foucault y por histéresis son llamadas pérdidas en el hierro.



# Perdidas

Pérdidas en el cobre: Perdidas por calentamiento en los devanados primario y secundario. ( $I^2R$ )

Pérdidas por corrientes parasitas: Pérdidas por calentamiento resistivo en el núcleo del transformador .

Pérdidas por histéresis: Relacionado con el reordenamiento de los dominios magnéticos en cada ciclo.

Flujos disperso: Flujos que escapan del nucleo. Producen una autoinducción que se opone y se modela como inductancias.

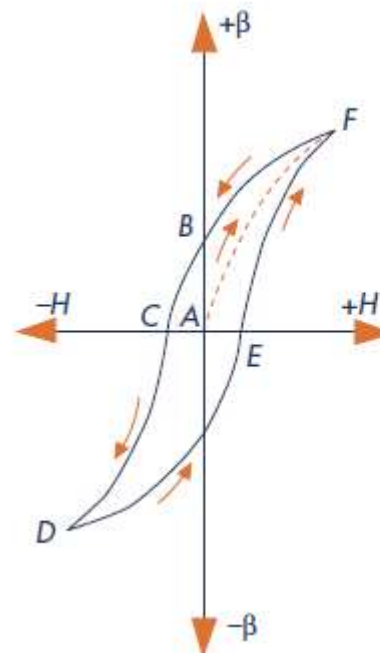
# Corriente de magnetización en un transformador (84)

En vacío por el primario fluye una corriente. Esta corriente es la requerida para producir flujo en un núcleo ferromagnético real. Esta corriente tiene dos componentes:

- a) La corriente de magnetización: requerida para producir el flujo en el núcleo del transformador.
- b) La corriente de pérdidas en el núcleo, requerida por el fenómeno de histéresis y por las corrientes parásitas.

# Histéresis

La **histéresis magnética** es el fenómeno que se produce cuando la imantación de los materiales ferromagnéticos no sólo depende del valor del flujo, sino también de los estados magnéticos anteriores. En el caso de los transformadores, al someter el material magnético a un flujo variable se produce una imantación que se mantiene al cesar el flujo variable, lo que provoca una pérdida de energía que justifica en forma de calor.



A Comienzo del ciclo de imanación que, al aumentar la intensidad, llega a F

D Extremo del ciclo a máxima intensidad negativa

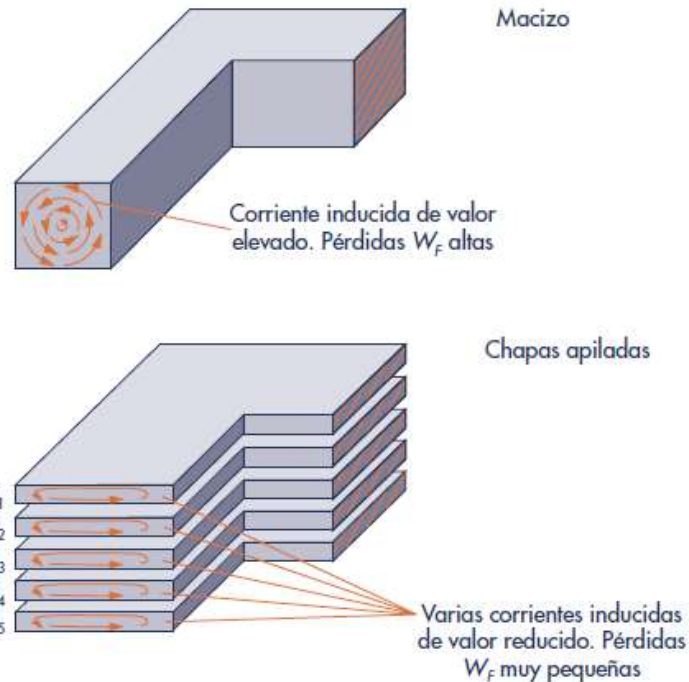
CFEDC Área de histéresis

AC =  $H_c$  Fuerza campo coercitiva

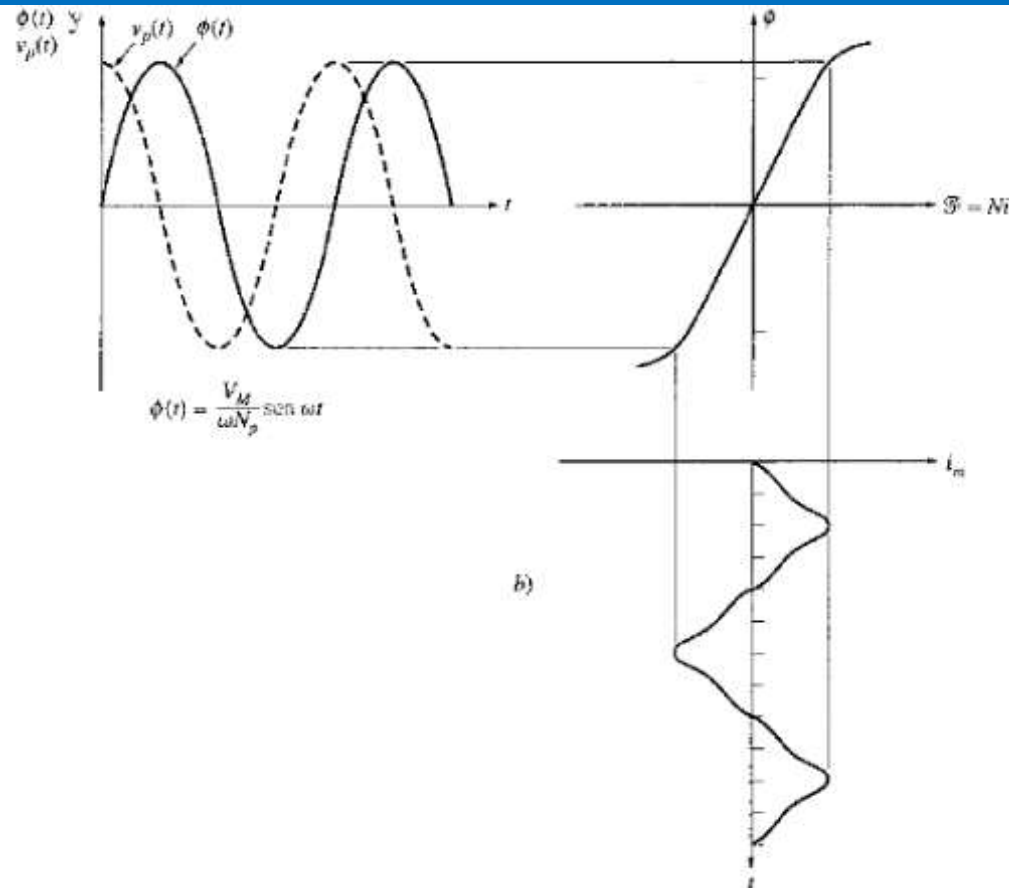
AB =  $B_r$  Magnetismo remanente

# Corrientes de Foucault

Las **corrientes de Foucault** se producen en cualquier material conductor cuando se encuentra sometido a una variación del flujo magnético.



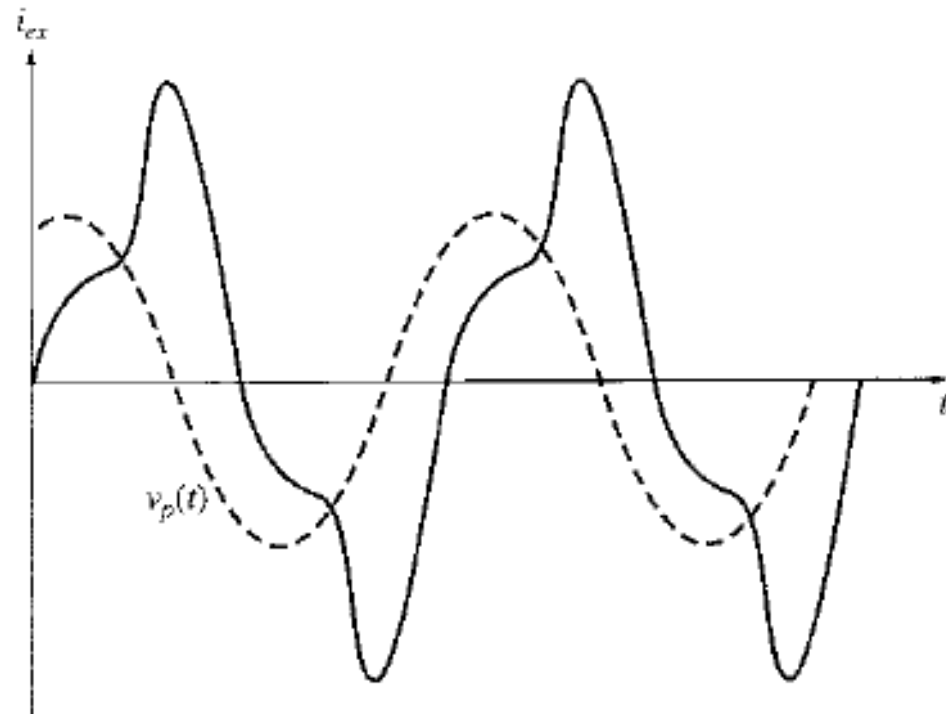
## Corriente de magnetización en un transformador (84)



**Figura 2-11**

a) Curva de magnetización del núcleo del transformador. b) Corriente de magnetización causada por el flujo en el núcleo del transformador.

## Corriente de magnetización en un transformador (84)



**Figura 2-13**

Corriente total de excitación en un transformador.

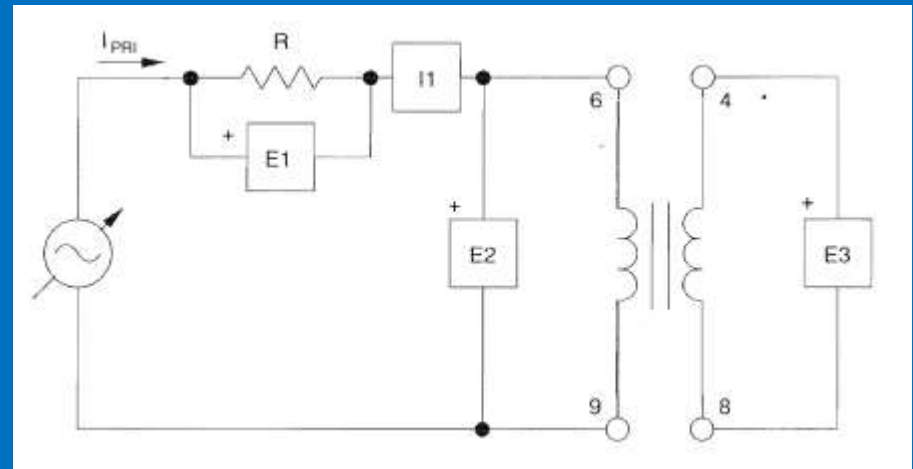
La corriente total de vacío en el núcleo se llama *corriente de excitación* del transformador y es justamente la suma de la corriente de magnetización y la corriente de pérdidas en el núcleo:



# Prueba para hallar la curva de saturación en un transformador

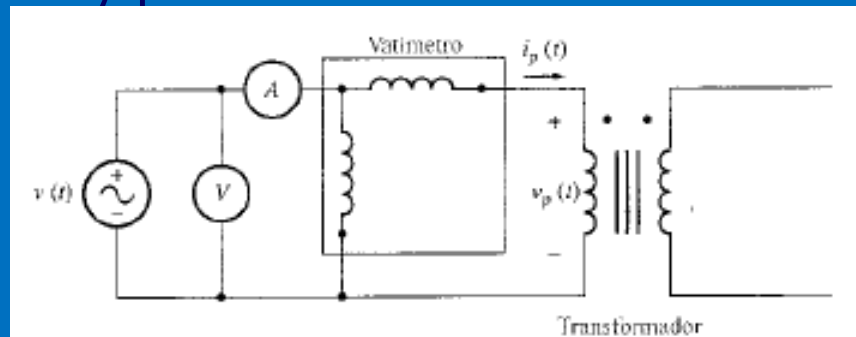
Se grafica  $E_1$  en el eje X y  $E_2$  en el eje Y.

Esto nos permite ver los efectos de la saturación del nucleo.

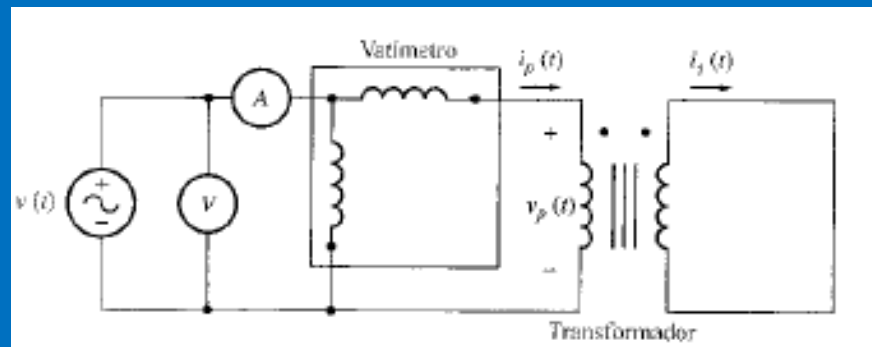


# Pruebas para hallar el modelo

Prueba de circuito abierto: Se alimenta a voltaje nominal y se mide voltaje, corriente y potencia.

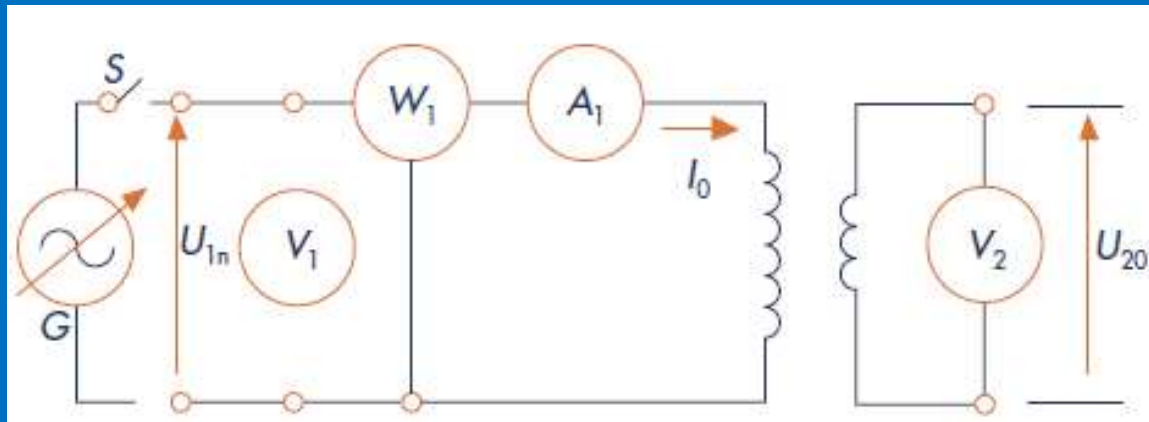


Prueba de corto circuito: Se alimenta a voltaje reducido hasta que el secundario alcance la corriente nominal y se mide voltaje, corriente y potencia.



# Pérdidas en vacío.

Cuando un transformador está en vacío, la potencia que medimos en un transformador con el circuito abierto se compone de la pérdida en el circuito magnético y se desprecian las pérdidas en el cobre de los bobinados.



# Pérdidas en carga.

Las pérdidas con carga son aquellas que se producen debido a una carga específica conectada a un transformador. Las pérdidas con carga incluye las pérdidas  $I^2R$  en los bobinados y elementos de protección, si los hubiere, debido a la corriente de carga y, las pérdidas parásitas debido a las corrientes de Eddy inducidas por el flujo de dispersión en los bobinados, en el núcleo, en los protectores magnéticos, en las paredes del tanque y otras partes conductivas. Las pérdidas por dispersión también pueden ser causadas por corrientes circulantes en bobinados conectados en paralelo o traslapados.

# Pérdidas en carga.

La NTC 818 y 819 establece valores de pérdidas en carga para diferentes transformadores.

De la NTC 818:

## 1. OBJETO

**1.1** Esta norma establece los valores máximos declarados, admisibles, de corriente sin carga ( $I_0$ ), pérdidas sin carga ( $P_0$ ), pérdidas con carga ( $P_c$ ), y tensión de cortocircuito referidas a 85 °C ( $U_z$ ), para transformadores monofásicos autorrefrigerados y sumergidos en líquido refrigerante.

**1.2** Se aplica a transformadores de potencia:

- a) Desde 5 kVA hasta 167,5 kVA con tensión de serie de A.T. menor o igual a 15 kV y tensión de serie de B.T. menor o igual a 1,2 kV,
- b) Desde 25 kVA hasta 167,5 kVA, tensión de serie de A.T. mayor a 15 kV pero menor o igual a 34,5 kV y tensión de serie de B.T. menor o igual a 1,2 kV.

# Pérdidas en carga.

La NTC 818 y 819 establece valores de pérdidas en carga para diferentes transformadores.

De la NTC 818:

**Tabla 1. Transformadores monofásicos de 5 kVA a 167,5 kVA  
serie AT ≤ 15 kV, serie BT ≤ 1,2 kV**

Valores máximos permisibles de corriente sin carga ( $I_0$ ), pérdidas sin carga ( $P_0$ ), pérdidas con carga a 85 °C ( $P_c$ ), y tensión de cortocircuito a 85 °C ( $U_z$ ) <sup>1)</sup>				
Potencia nominal kVA	$I_0$ % de $I_n$	$P_0$ W	$P_c$ W	$U_z$ %
5	2,5	30	90	3,0
10	2,5	50	140	3,0
15	2,4	70	195	3,0
25	2,0	100	290	3,0
37,5	2,0	135	405	3,0
50	1,9	160	510	3,0
75	1,7	210	710	3,0
100	1,6	260	900	3,0
167,5	1,5	375	1 365	3,0

**Tabla 2. Transformadores monofásicos de 25 kVA a 167,5 kVA  
15 kV ≤ serie AT ≤ 34,5kV/serie BT ≤ 1,2 kV**

Valores máximos permisibles de corriente sin carga ( $I_0$ ), pérdidas sin carga ( $P_0$ ), pérdidas con carga a 85°C ( $P_c$ ), y tensión de cortocircuito a 85°C ( $U_z$ )				
Potencia nominal kVA	$I_0$ % de $I_n$	$P_0$ W	$P_c$ <sup>1)</sup> W	$U_z$ %
25	2,4	185	360	4,0
37,5	2,0	230	490	4,0
50	2,0	265	605	4,0
75	1,9	330	820	4,0
100	1,7	385	1 020	4,0
167,5	1,6	510	1 500	4,0



# Pérdidas en carga.

De la NTC 819:

## **1. OBJETO**

**1.1** Esta norma establece los valores máximos declarados admisibles de corriente sin carga ( $I_0$ ), pérdidas sin carga ( $P_0$ ), pérdidas con carga ( $P_c$ ) y tensión de cortocircuito, a 85 °C ( $U_z$ ), para transformadores trifásicos autorrefrigerados y sumergidos en líquido refrigerante.

**1.2** Se aplica transformadores de potencia:

- a) Desde 15 kVA hasta 3 750 kVA, con tensión serie A.T. menor o igual a 15 kV y tensión serie B.T. menor o igual a 1,2 kV;
- b) Desde 75 kVA hasta 10 000 kVA, con tensión serie A.T. mayor que 15 kV y menor o igual a 46 kV y tensión serie B.T. menor o igual a 15 kV.

# Pérdidas en carga.

De la NTC 819:

Tabla 1. Transformadores trifásicos de 15 kVA a 3 750 kVA, serie AT < 15 kV, serie BT ≤ 1,2 kV

Valores máximos declarados permisibles de corrientes sin carga ( $I_0$ ), Pérdidas sin carga ( $P_0$ ), pérdidas con carga ( $P_c$ ) y tensión de cortocircuito a 85 °C ( $U_z$ )				
Potencia kVA.	$I_0$ %. de $I_n$	$P_0$ W	$P_c$ W	$U_z$ %
15	4,4	80	310	3,0
30	3,6	135	515	3,0
45	3,5	180	710	3,0
75	3,0	265	1 090	3,5
112,5	2,6	365	1 540	3,5
150	2,4	450	1 960	4,0
225	2,1	615	2 890	4,0
300	2,0	765	3 575	4,5
400	1,9	930	4 730	4,5
500	1,7	1 090	5 780	5,0
630	1,6	1 285	7 140	5,0
750	1,6	1 450	8 380	5,0
800	1,6	1 520	8 900	5,0
1 000	1,6	1 780	11 100	5,0
1 250	1,5	2 090	13 500	6,0
1 600	1,5	2 520	16 700	6,0
2 000	1,5	3 010	20 400	6,0
2 500	1,5	3 620	25 000	6,0
3 000	1,5	4 230	29 700	6,0
3 750	1,5	5 160	36 600	6,0

# Pérdidas en carga.

De la NTC 819:

**Tabla 2. Transformadores trifásicos de 75 kVA a 10 000 kVA, 15 kV < serie AT ≤ 46 kV, serie BT ≤ 15 kV**

Valores máximos declarados permisibles de corrientes sin carga ( $I_0$ ) Pérdidas sin carga ( $P_0$ ), pérdidas con carga y tensión de cortocircuito a 85 °C ( $U_z$ )				
Potencia nominal KVA	$I_0$ % de $I_n$	$P_0$ W	PC W	UZ %
75	3,5	390	1 370	6,0
112,5	2,6	500	1 890	6,0
150	2,5	610	2 400	6,0
225	2,5	790	3 330	6,0
300	2,0	950	4 210	6,0
400	2,0	1 150	5 320	6,0
500	1,7	1 330	6 370	6,0
630	1,7	1 540	7 690	6,0
750	1,5	1 730	8 860	6,0
800	1,5	1 800	9 330	6,0
1 000	1,2	1 980	12 000	6,0
1 250	1,0	2 370	14 300	6,0
1 600	1,0	2 880	17 400	6,0
2 000	1,0	3 430	20 900	6,0
2 500	1,0	4 100	25 000	6,5
3 000	1,0	4 740	29 000	6,5
3 750	1,0	5 650	34 400	6,5
4 000	0,8	5 950	36 100	6,5
5 000	0,8	7 100	42 600	6,5
6 000	0,8	8 200	48 200	7,15
7 500	0,8	9 790	55 100	7,15
10 000	0,8	12 300	61 000	7,15

# Impedancia de cortocircuito

Se mide impedancia en cortocircuito y se saca la relación que existe con el valor nominal. Este valor se obtiene en porcentaje y se convierte en la tensión de cortocircuito en porcentaje.

$$Z_{cc} = \frac{U_{cc}}{I_1}$$

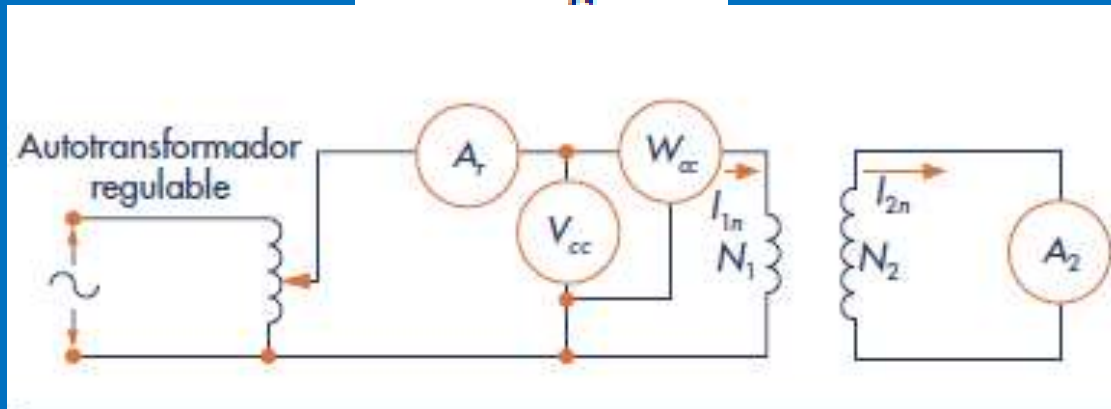


Fig. 4.9. Esquema de montaje de un transformador en cortocircuito.

# Prueba de tensión aplicada

Este ensayo sirve para verificar la rigidez dieléctrica de las aislaciones a masa y entre arrollamientos.

Se realiza aplicando una tensión alterna sinusoidal, de frecuencia nominal y de valor determinado por las normas, a un arrollamiento dado, estando los restantes y el núcleo conectados a masa. Figura 26.

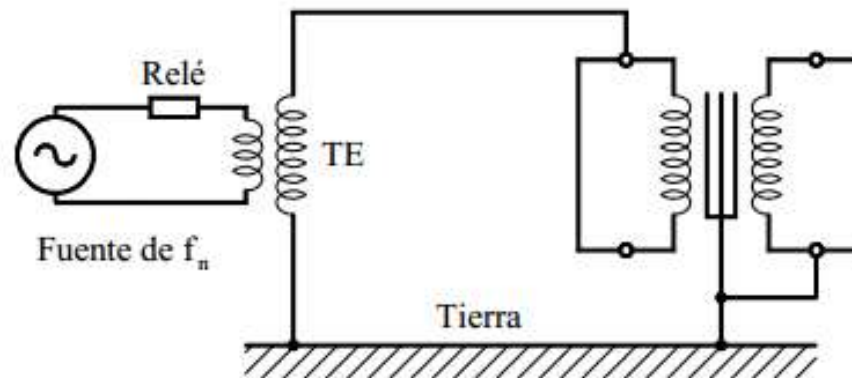


Fig. 26. Ensayo de tensión aplicada.

La tensión se aplica gradualmente, se la mantiene durante 60 segundos y luego se la reduce también gradualmente. Si el dieléctrico no se perfora, el ensayo se considera satisfactorio.

Si se produce una falla, la elevada corriente que circula acciona un relé de sobrecorriente que desconecta al transformador elevador TE y se debe desarmar el transformador ensayado, repararlo y repetir el ensayo.



# Prueba de tensión inducida

Para verificar la aislación entre espiras se debe aplicar entre las mismas una tensión superior a la nominal, pero esto aumentaría la inducción magnética en el núcleo y lo llevaría a grados de saturación muy elevados, con el correspondiente aumento de la corriente absorbida.

Se puede evitar la saturación, e inclusive reducirla, si se trabaja una frecuencia superior a la nominal, en efecto, como se puede ver en la ecuación (18), para una dada tensión aplicada si se aumenta la frecuencia, baja la inducción magnética.

Por tal motivo es frecuente disponer en los laboratorios de ensayos, equipos rotativos que producen tensiones de algunos centenares de Hertz para realizar estos ensayos. Esa tensión se eleva mediante un transformador TE, figura 27, y se aplica gradualmente a uno de los arrollamientos del transformador bajo ensayo, se la mantienen durante 60 segundos y luego se la reduce también en forma gradual.

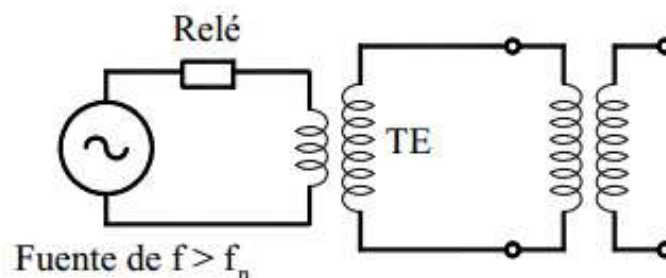


Fig. 27. Ensayo de tensión inducida.

La tensión aplicada a uno de los arrollamientos, también queda aplicada por inducción a los otros arrollamientos del transformador. Si la aislación no falla, el ensayo se considera satisfactorio. Si se produce una falla, se debe desarmar el transformador, repararlo y repetir el ensayo.

La tensión que se debe aplicar está dada en las normas y es función de la tensión nominal del transformador.

# Prueba de impulso

Cuando los transformadores están en servicio, frecuentemente se encuentran sometidos a sobretensiones las que pueden ser de origen atmosférico o de maniobra. Estas sobretensiones, en general de muy corta duración y elevados valores, pueden hacer fallar la aislación, principalmente en el arrollamiento de mayor tensión, y por lo tanto se toman precauciones para reducirlas todo lo posible. Los elementos de protección, externos a los transformadores, más comunes son descargadores de sobretensiones e hilos de guardia y los internos, pantallas electrostáticas.

Como se verá oportunamente las sobretensiones que llegan al transformador comprometen principalmente a los aislantes de las espiras de los extremos de los arrollamientos de alta tensión conectados a la línea de transmisión.

Para verificar la capacidad que tiene el aislamiento de soportar las sobretensiones atmosféricas y de maniobra, se somete a los transformadores a descargas producidas por los denominados “generadores de impulso” inventados por el Ingeniero Erwin Otto Marx (1893-1980) en 1924.

# Prueba de impulso

Existen varias formas de onda normalizadas para la realización de estos ensayos, la más empleada para simular descargas atmosféricas es la denominada de 1,2/50 especificada en la norma IEC 60 mostrada en la figura 28.

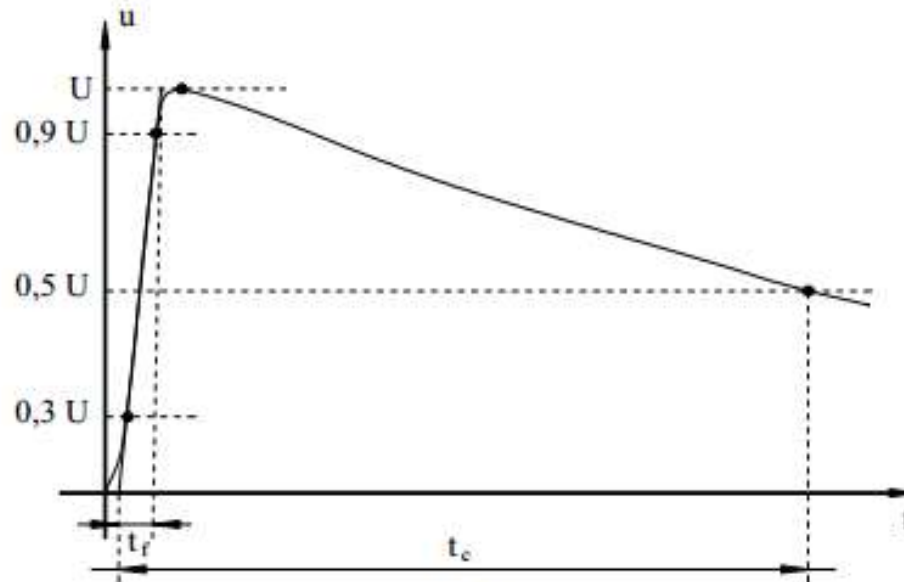


Fig. 28. Onda de impulso de 1,2/50 (no a escala).

Donde:

$t_f$ : tiempo de frente:  $1,2 \mu s \pm 30\%$

$t_c$ : tiempo de cola:  $50 \mu s \pm 20\%$

$U$ : tensión de cresta: valor normalizado  $\pm 3\%$



# Prueba de calentamiento

La potencia que una máquina eléctrica puede suministrar depende de la temperatura máxima que alcanzan sus aislaciones ya que si se superan los valores admisibles, la vida útil de las mismas se puede acortar considerablemente. Por lo tanto es muy importante hacer esta verificación.

Para determinar la temperatura de funcionamiento de una máquina que suministra su potencia nominal se debe hacer un ensayo donde *la potencia de pérdidas*, que es la que se transforma en calor, sea la nominal. Esto puede no ser fácil en máquinas de gran potencia y, como se estudiará oportunamente, existen ensayos normalizados, por ejemplo en la Norma IRAM 2018, que logran este objetivo sin consumir la potencia nominal de la máquina.

# Prueba de aislamiento

Se puede decir que las partes activas de las máquinas eléctricas están principalmente constituidas por materiales conductores, aislantes y magnéticos; sin lugar a duda el grupo de materiales aislantes es el más delicado: por su sensibilidad a la temperatura y porque con el tiempo se degradan lentamente y van reduciendo su rigidez dieléctrica. Por ese motivo es muy importante hacer verificaciones cuando el transformador está nuevo y luego continuar haciendo controles, en forma periódica, a fin de detectar en forma temprana la posibilidad de una falla.

La medición de la resistencia de aislación es una sencilla determinación que da una idea del estado de las aislaciones en las máquinas. Esta medición se realiza aplicando una tensión continua constante y midiendo la corriente de fuga, si bien esta medición se puede hacer con instrumentos separados es muy común utilizar instrumentos autocontenidos denominados en forma genérica “megóhmetros”. Dependiendo de la tensión alterna nominal del elemento a medir, se deben aplicar determinadas tensiones normalizadas para hacer las mediciones; muchos de los instrumentos comerciales tienen la opción de permitir hacer las mediciones a tensiones entre pocas decenas de volts y varios kilovolts.

# Regulación

Si las perdidas consideradas son:

1. *Pérdidas en el cobre ( $I^2R$ )*. Estas pérdidas son causadas por la resistencia en serie del circuito equivalente.
2. *Pérdidas por histéresis*. Estas pérdidas fueron explicadas en el capítulo 1 y son causadas por la resistencia  $R_C$ .
3. *Pérdidas por corrientes parásitas*. Estas pérdidas se explicaron en el capítulo 1 y son causadas por la resistencia  $R_C$ .

La regulación es:

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

# Transformadores Trifásicos (124)

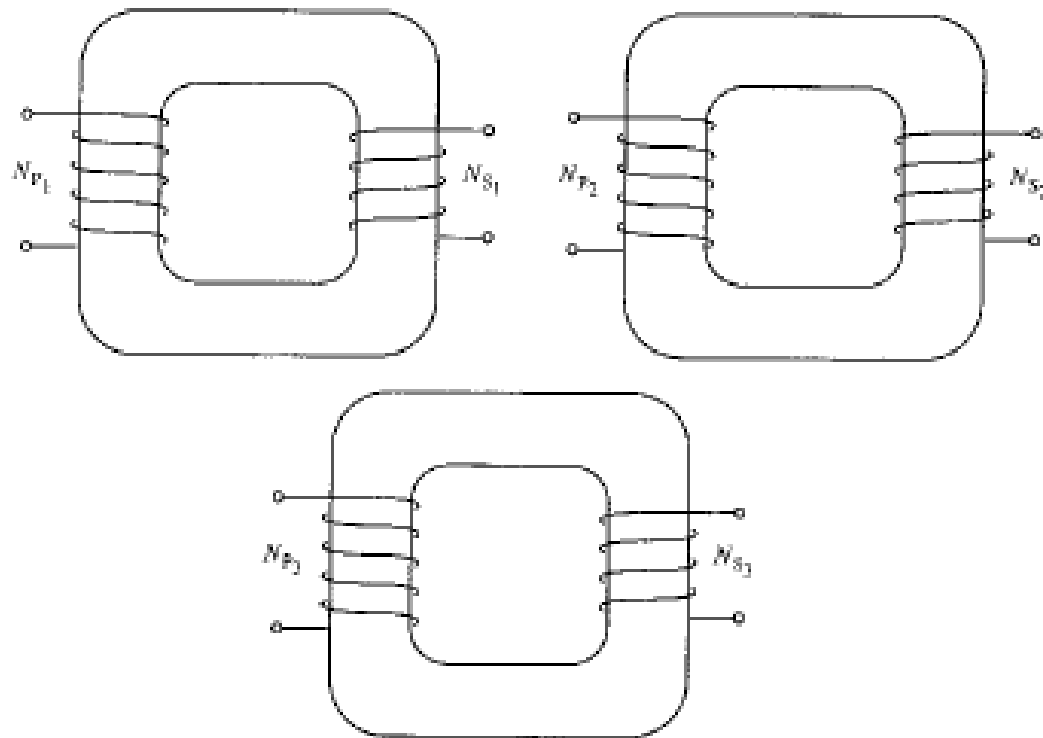


Figura 2-36

Banco trifásico de transformadores compuesto por tres transformadores independientes.

# Transformadores Trifásicos (124)

Los transformadores para circuitos trifásicos se suelen construir de dos maneras. Una de éstas consiste simplemente en tomar tres transformadores monofásicos y conectarlos en banco trifásico. Otra alternativa es construir un transformador trifásico que consta de tres conjuntos de devanados enrollados sobre un núcleo común. Estas dos posibilidades de construir un transformador trifásico se muestran en las figuras 2-36 y 2-37. Hoy en día se prefiere construir un transformador trifásico como tal puesto que es más liviano, más pequeño, más barato y un poco más eficiente. La técnica más antigua de construcción era utilizar tres transformadores separados. Esta forma tiene la ventaja de remplazar cada unidad del banco individualmente en caso de alguna falla, pero no supera las ventajas de una unidad trifásica combinada, en la mayoría de las aplicaciones. Sin embargo, aún quedan muchas instalaciones con tres unidades monofásicas en servicio.

# Transformadores Trifásicos (124)

## Conexiones de transformadores trifásicos

Un transformador trifásico consta de tres transformadores, separados o combinados, sobre un núcleo. Los primarios y secundarios de todo transformador trifásico pueden ser conectados independientemente en *ye* (Y) o en *delta* ( $\Delta$ ). Esto da un total de cuatro conexiones posibles para un banco trifásico:

1. *Ye* – *Ye* (Y – Y)
2. *Ye* – *Delta* (Y –  $\Delta$ )
3. *Delta* – *Ye* ( $\Delta$  – Y)
4. *Delta* – *Delta* ( $\Delta$  –  $\Delta$ )