

Característiques dels centres de transformació

Desenvolupament de xarxes elèctriques i
centres de transformació

CFGS Sistemes electrotècnics i automatitzats

Introducció

- ▶ Els centres de transformació són els elements que passen de mitjana tensió a baixa, per a la seva posterior distribució i utilització.
- ▶ En aquesta unitat es tractaran les diferents parts que formen els CTs i les seves funcions.
- ▶ La part fonamental d'un CT és el transformador, una màquina elèctrica estàtica (no té parts en moviment) que realitza la transformació del voltatge.
- ▶ A més es veuran els elements de maniobra i protecció, elements constructius, posada a terra, ventilació, etc.



Tipus de CT

Anem a veure els diferents tipus de centres de transformació que hi ha.

Tipus de centres de transformació

- ▶ Els centres de transformació es solen classificar segons el seu emplaçament:
 - ▶ A la intempèrie.
 - ▶ En edifici prefabricat:
 - ▶ De superfície.
 - ▶ Subterrani.
 - ▶ Convencional d'obra.
 - ▶ En edifici d'altres usos.

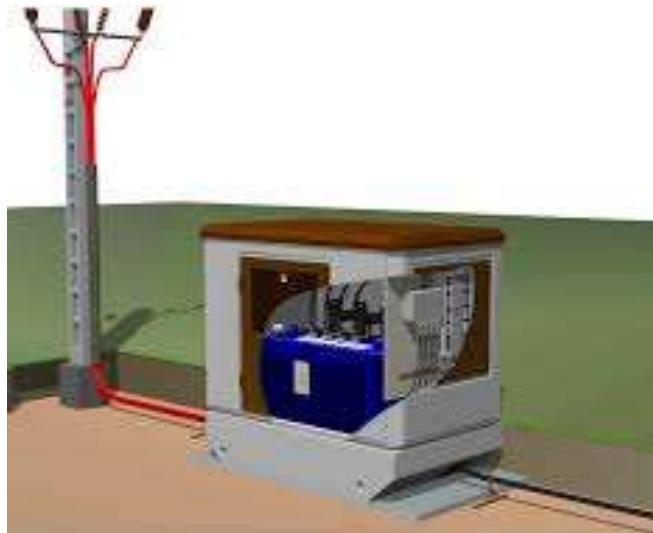
Tipus de CT - D'intempèrie

- ▶ Són els CT on tots els elements estan a la intempèrie, situats sobre els pals que subjecten la línia de MT.
- ▶ Els transformadors són de poca potència (màxim 250 kVA).
- ▶ Es situen sobre suports metà·lics o de formigó armat.
- ▶ Les proteccions i elements de maniobra també es situen a fora.
- ▶ Són més barats de construir, però les maniobres, reparacions i manteniment és més complicat.
- ▶ S'utilitzen poc actualment, només en zones rurals.



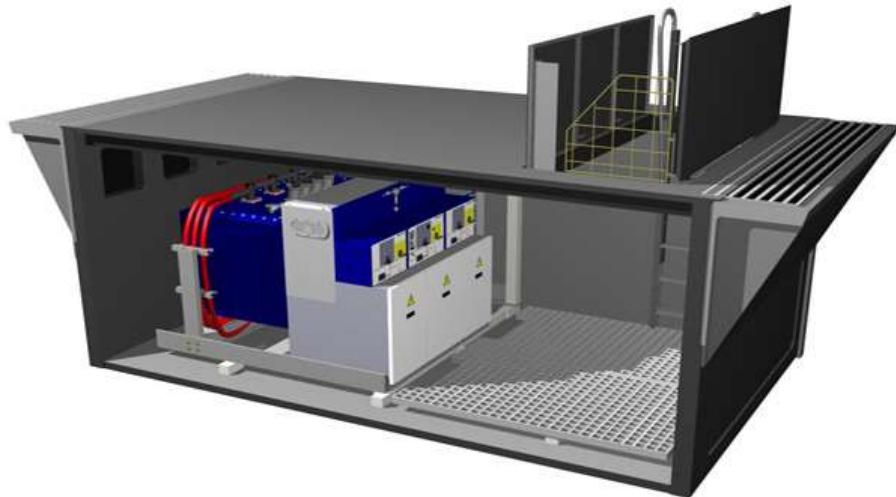
Tipus de CT - De superfície prefabricat

- ▶ Tots els elements es troben a dins d'un edifici prefabricat situat a la superfície.
- ▶ L'estructura és prefabricada de formigó, d'una o més peces.
- ▶ Tenen l'avantatge d'una instal·lació més fàcil que els d'obra, i per tant més econòmics.
- ▶ Avui en dia substitueixen als d'intempèrie. [Vídeo](#).



Tipus de CT - Subterrani prefabricat

- ▶ Similars als anterior, però s'instal·len davall la via pública.
- ▶ Tenen l'avantatge de tenir un menor impacte visual.
- ▶ S'utilitzen en llocs densament poblats.
- ▶ Han de disposar de reixes de ventilació al nivell del sòl.
- ▶ [Vídeo. Vídeo protecció inundacions.](#)



7

Tipus de CT - Convencional d'obra



- ▶ És un centre de transformació construït d'obra en un edifici independent.
- ▶ Avui en dia ja no s'utilitzen.
- ▶ Els CTs eren de grans dimensions ja que utilitzaven aparells de protecció i maniobra de tall amb aire.
- ▶ CT convencional a Inca.

Tipus de CT - En edificis d'altres usos

- ▶ També s'instal·len centres de transformació en edificis destinats a altres usos: oficines, residencial, comerços...
- ▶ Els edificis amb una previsió de potència instal·lada de més de 100 kW han de reservar un local pel CT, o almenys ho han de consultar a l'empresa distribuïdora (Article 26 RD 1048/2013 de 27 de desembre).

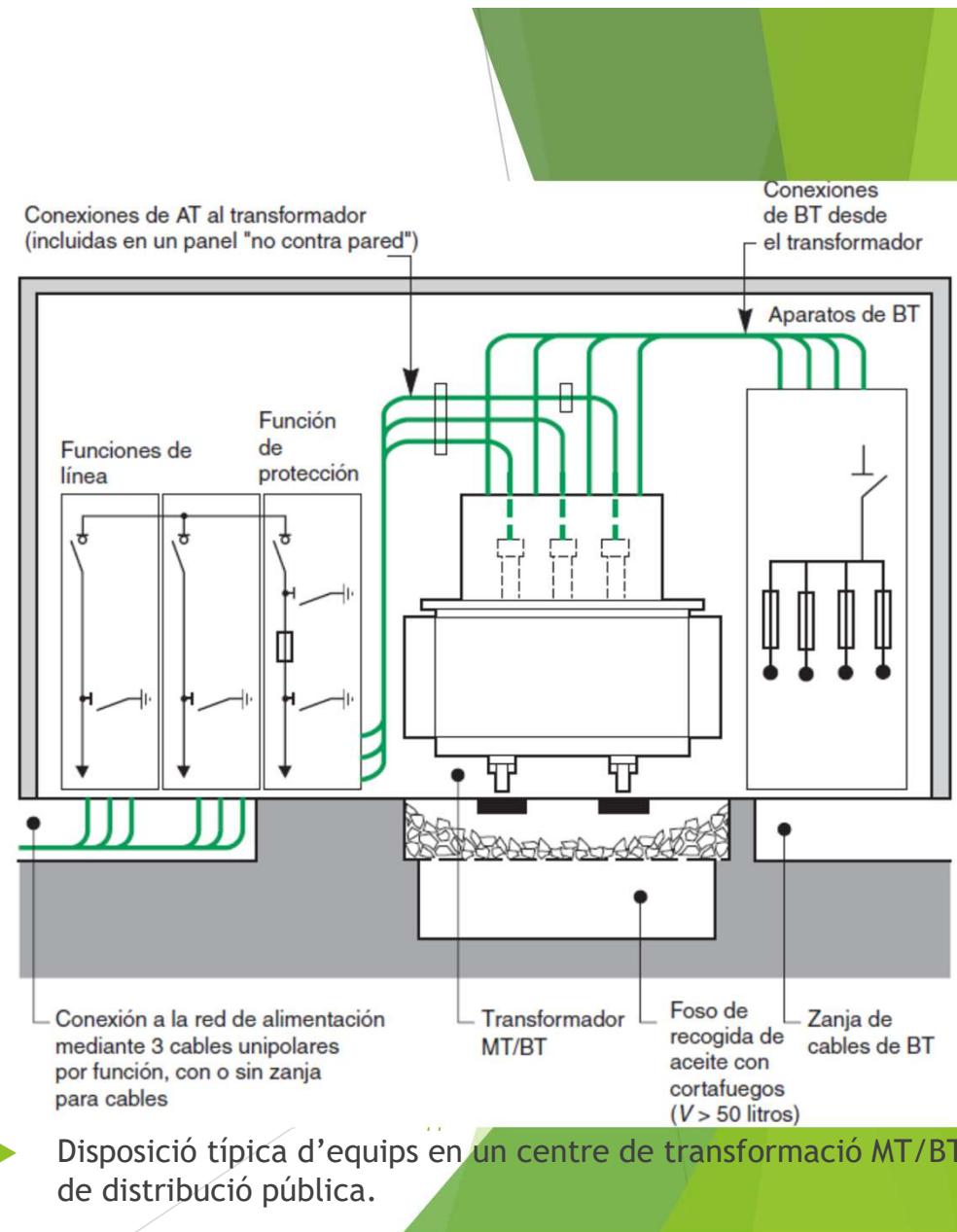


Tipus de CT

- ▶ També es poden classificar segons altres criteris:
- ▶ Segons la propietat del CT:
 - ▶ De l'empresa distribuïdora.
 - ▶ És el cas més comú.
 - ▶ Des d'aquests centres s'alimenta a la xarxa pública de baixa tensió.
 - ▶ D'abonat.
 - ▶ Son propietat del consumidor, que compra l'energia en mitjana tensió.
 - ▶ Pot resultar més econòmic a partir de certa potència, hi sol haver més tarifes a escollir.
 - ▶ Permet elegir l'esquema de distribució del neutre (ITC-08).
 - ▶ No té pertorbacions d'altres consumidors, como en el cas de la baixa tensió.
- ▶ Segons l'escomesa, que pot ser aèria (en CT convencionals i d'intempèrie) o soterrada.
- ▶ Segons l'alimentació en MT, que pot ser en punta, anell...

Parts fonamentals d'un CT

- ▶ Les parts fonamentals d'un CT, que s'estudiaran en els següents apartats, són les següents:
 - ▶ Transformador de distribució.
 - ▶ Proteccions elèctriques i elements de maniobra (aparellatge).
 - ▶ Posada a terra.
 - ▶ Obra civil.
 - ▶ Serveis: il·luminació, ventilació i protecció contra incendis.





Transformador de distribució

Veurem les parts i les característiques del transformador de distribució.

Transformador de distribució

- ▶ És una màquina elèctrica que transforma l'energia d'alta tensió (15 kV a Balears) a baixa tensió (400 V entre fases).
- ▶ Les potències dels transformadors solen estar normalitzades. Solen ser de 250, 400 o 630 kVA els més utilitzats per les empreses distribuïdores.
- ▶ Només funcionen en corrent altern.
- ▶ En buit es compleix la següent relació de transformació del voltatge:

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{N_1}{N_2}$$

on V1 i V2 són els voltatges al primari i secundari, i N1 i N2 són el nombre d'espires del primari i secundari.

- ▶ Són màquines molt eficients, la potència de sortida és pràcticament igual a la potència d'entrada:

$$I_1 \cdot V_1 = I_2 \cdot V_2$$

- ▶ N'hi ha de dos tipus:
 - ▶ De bany d'oli o líquid dielèctric.
 - ▶ En sec o encapsulats.

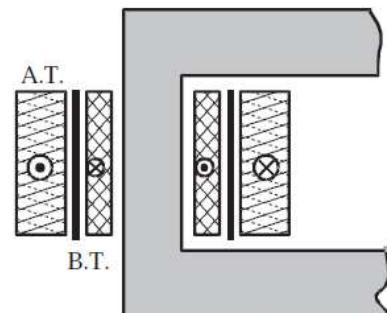
Parts d'un transformador (1)

- ▶ **Nucli magnètic.** Constitueix el camí pel qual s'estableix el flux magnètic, i està format per xapes d'acer aïllades elèctricament entre elles. El nucli d'un transformador de distribució està format per tres columnes.

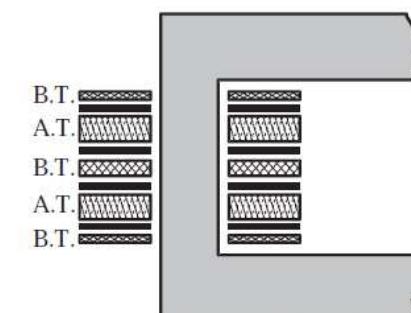


Parts d'un transformador (2)

- **Enrotllaments.** Estan formats per les bobines de fil de coure o alumini esmaltat. Els d'alta tensió tenen moltes voltes de poca secció, i els de baixa tensió a l'inrevés. Hi ha dues formes de fer els enrotllaments sobre les columnes: de forma concèntrica (més utilitzat) o alterna.



a) Devanado concéntrico



b) Devanado alternado (en galletas)

Parts d'un transformador (3)

- ▶ **Passatapes.** Són les peces que permeten fer la connexió elèctrica dels enrotllaments amb l'exterior, a l'hora que aïllen les parts actives de les masses metàl·liques del transformador. N'hi ha tres d'alta tensió, on la part aïllant és més gran, i quatre de baixa tensió (les tres fases i el neutre), on la part conductora té una major secció.



Parts d'un transformador (4)

- ▶ **Commutador.** Es tracta d'un selector que permet agafar més o menys espires en els enrotllaments d'alta tensió, per poder ajustar la tensió de sortida dependent de les pèrdues de les línies. Només es pot accionar sense tensió. [Vídeo](#).



- ▶ **Canviador de tomes en càrrega:** *On-Load Tap Changer (OLTC)*. Es fa servir quan el voltatge depèn fortament de la càrrega

Parts d'un transformador (5)

- ▶ Després poden tenir altres parts, dependent del tipus de transformador:
 - ▶ **Cuba.** És una carcassa estanca que conté el líquid aïllant (normalment oli) on va immers el nucli i els enrotllaments, i que serveix per refrigerar. Pot contenir aletes i radiadors per ajudar refrigerar l'oli.
 - ▶ **Dipòsit d'expansió.** És un dipòsit d'oli que es situa per sobre la cuba i es comunica amb ella. Serveix per absorbir els canvis de volum d'oli deguts als canvis de temperatura.



Transformador de bany d'oli (1)



- ▶ El nucli i els enrotllaments van submergits en oli (o en altres líquids dielèctrics) per millorar la refrigeració.
- ▶ Actualment els més utilitzats són els hermètics, que prescinden del dipòsit d'expansió, i absorbeixen els canvis de volum amb la deformació de la cuba.

Transformador de bany d'oli (2)

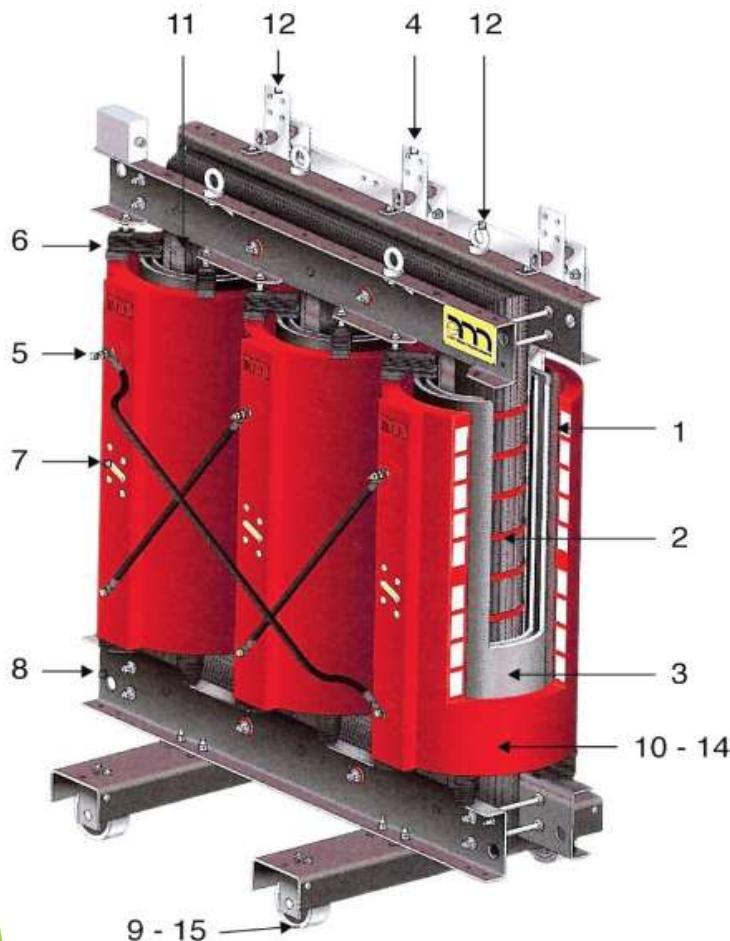
- ▶ Tenen els següents avantatges respecte als secs:
 - ▶ Són més barats i silenciosos.
 - ▶ Permeten un millor control de la temperatura, ja que l'oli facilita que la temperatura dels enrotllaments sigui més uniforme.
 - ▶ Es poden instal·lar a la intempèrie.
 - ▶ Resisteixen millor sobrecàrregues i curtcircuits.
- ▶ Però tenen els següents inconvenients:
 - ▶ L'oli és combustible, per tant tenen un elevat perill d'incendi. Les parets i sostre del CT han de ser resistentes al foc.
 - ▶ Necesiten que el centre de transformació, just davall del transformador, dugui un dipòsit per recollir l'oli en cas de fuga. A més també ha d'inserir un dispositiu per apagar les flames abans que l'oli caigui al dipòsit.
 - ▶ Necesiten manteniment ja que l'oli es va degradant.

Transformador en sec o encapsulat (1)

- ▶ S'anomenen *secs* perquè no duen oli ni cap altre líquid dièlectric, i *encapsulat* perquè els enrotllaments estan encapsulats dins un aïllament de resina.
- ▶ Són més fàcils d'instal·lar (no necessitem dipòsit per l'oli) i sense perill d'incendi.
- ▶ Poden funcionar a temperatures més elevades.
- ▶ Només es poden instal·lar a l'interior.
- ▶ Són més cars que els de bany d'oli.



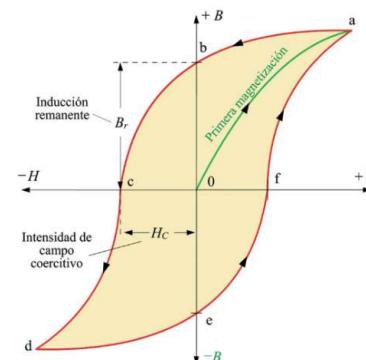
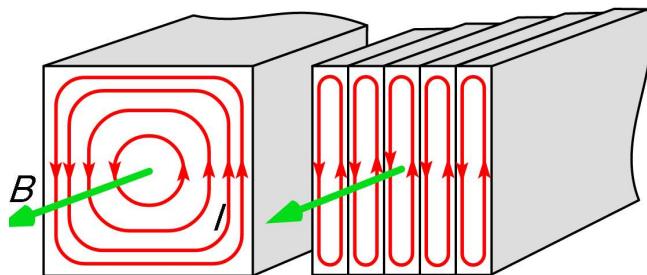
Transformador en sec o encapsulat (2)



- 1 Devanados de MT
- 2 Núcleo con tres columnas de chapa magnética
- 3 Devanados de BT
- 4 Terminales de conexión de BT
- 5 Terminales de conexión de MT
- 6 Fijación de la bobina con silensblocks (antivibraciones)
- 7 Tomas en el lado de MT para adaptar la tensión del primario a la de la red
- 8 Estructura, armaduras y chasis
- 9 Chasis
- 10 Transformador de reducido mantenimiento gracias al aislante en resina de epoxi
- 11 Sensor PT100 o PTC para controlar la temperatura de funcionamiento
- 12 Cáncamos de elevación
- 13 Preequipamiento opcional para unir la conexión de BT al sistema de canalización eléctrica prefabricada
- 14 Material aislante de clase F
- 15 Ruedas bidireccionales

Proteccions dels transformadors (1)

- ▶ Les proteccions dels transformadors serveixen per evitar que cap part arribi a una temperatura que pugui ser perillosa, ja que en el seu funcionament normal generen calor per dos motius:
 - ▶ Pèrdues en el nucli, degudes a la histèresi magnètica del ferro i per corrents de Foucault. Aquestes són les pèrdues en buit i no depenen de la càrrega.

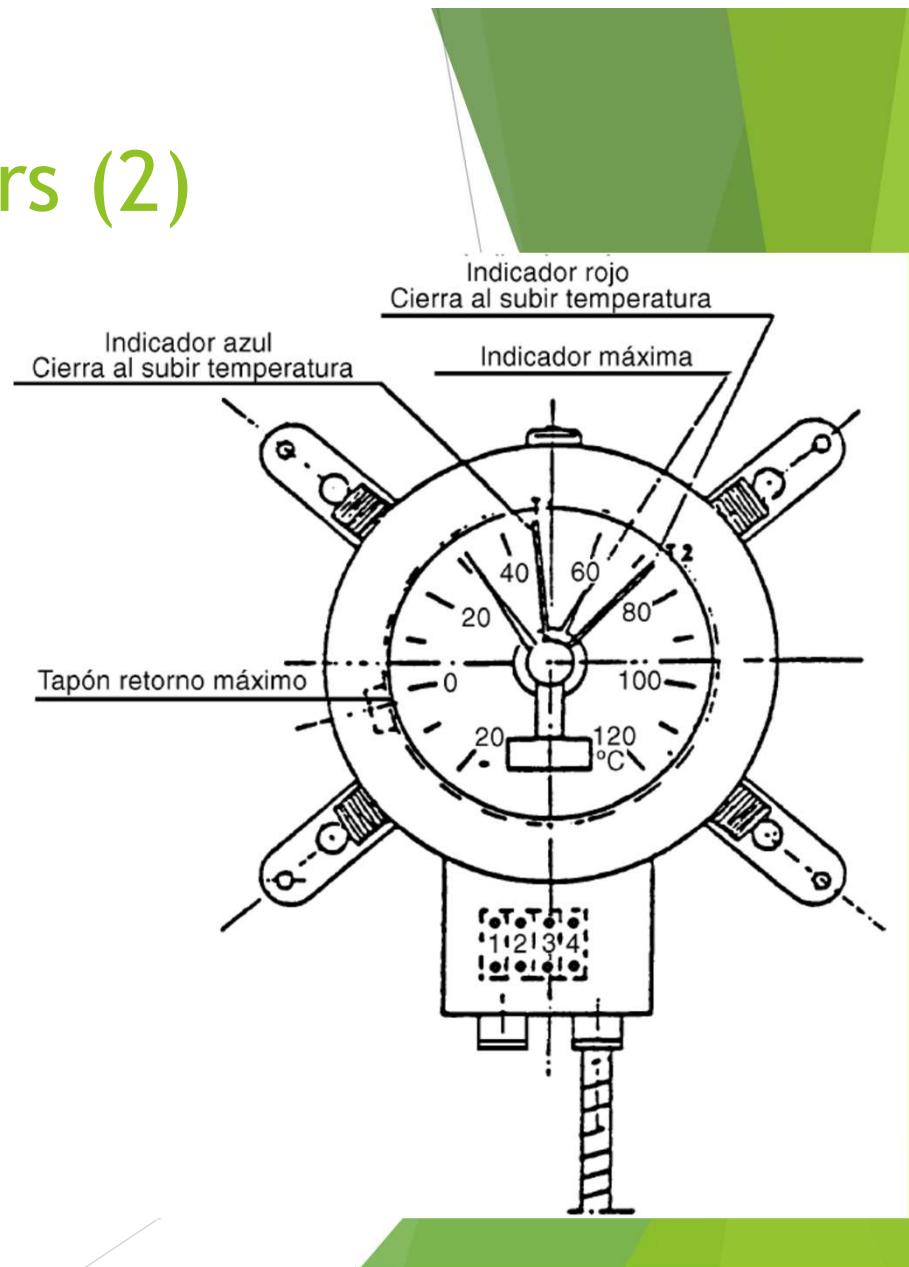


- ▶ Pèrdues en els enrotllaments, ja que aquests tenen una certa resistència. Per tant, aquestes pèrdues augmentaran amb la càrrega.

$$P = R \cdot I^2$$

Proteccions dels transformadors (2)

- ▶ D'aquesta forma, tant en funcionament normal (es pot escalfar degut a una mala ventilació) com en sobrecàrregues (degut a les pèrdues dels enrotllaments), s'ha de vigilar la temperatura. Les formes de fer-ho depenen del tipus de transformador.
- ▶ En transformadors de bany d'oli, hi ha varíes opcions:
 - ▶ Un termòmetre o termòstat que vigili la temperatura de la capa superior d'oli. Solen tenir dues posicions ajustables, una per fer saltar una alarma i l'altra per disconnectar el transformador.

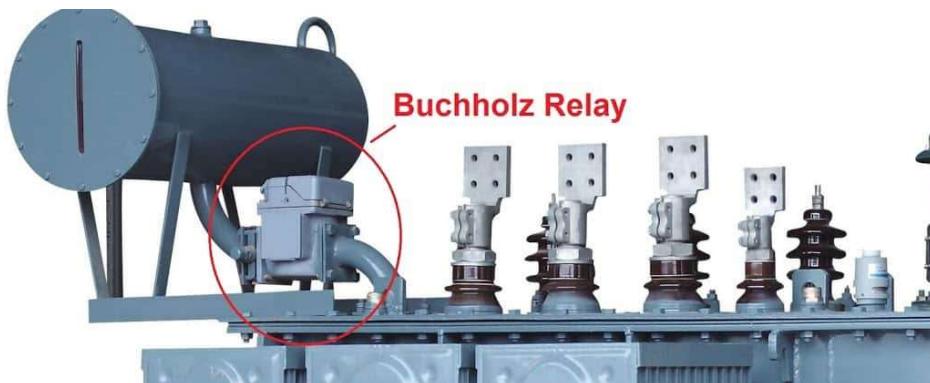


Proteccions dels transformadors (3)

► Transformadors de bany d'oli:

Però el termòmetre només mesura la temperatura mitjana de l'oli, si hi ha algun punt dels enrotllaments que està més calent (degut a un curtcircuit entre espires o un mal contacte del commutador) no ho detectarà. Per detectar això s'utilitza un relé de gasos o Buchholz.

► El relé Buchholz detecta els gasos que desprèn l'oli quan hi ha curtcircuits o mal contactes que provoquen arcs elèctrics.



Proteccions dels transformadors (4)

▶ Transformadors de bany d'oli:

- ▶ Vàlvula de sobrepressió. Quan l'oli s'escalfa augmenta el seu volum. Aquesta vàlvula obri quan la pressió augmenta massa, per evitar que es rompi la carcassa.

Però el relé Buchholz només s'instal·la en transformadors amb dipòsit d'expansió, i hem dit que avui en dia el més utilitzats són els hermètics.

- ▶ El **relé DGPT** és el que s'utilitza en transformadors hermètics per a detectar gasos, i a més inclou un termòmetre i un detector de sobrepressió. Per tant, engloba les tres proteccions anteriors.



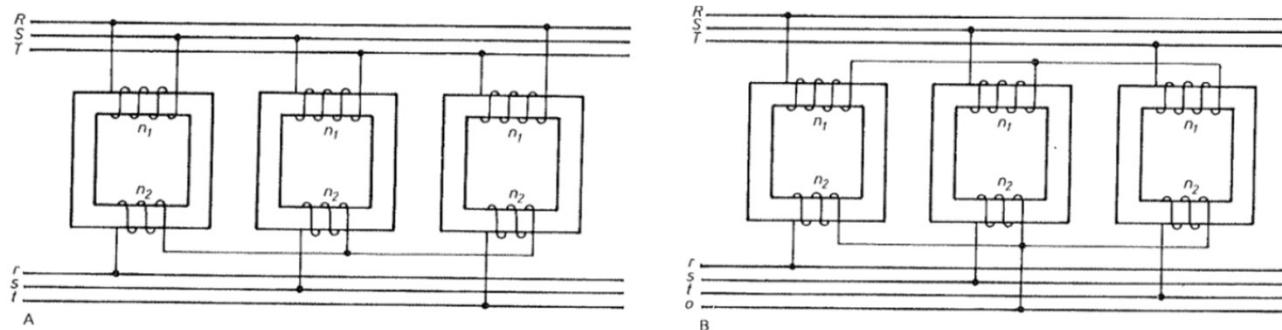
Proteccions dels transformadors (5)

- ▶ **Transformadors en sec.** Per a detectar les pujades de temperatura duen varis termistors, com a mínim un a cada enrotllament de BT (en la part superior), i un equip de processat que decideix si fer saltar l'alarma o disconnectar el transformador.
- ▶ Independentment del sistema o sistemes de protecció que duguin, aquests només detecten el mal funcionament i envien el senyal de dispar a un interruptor o interruptor automàtic.



Transformadors trifàsics (1)

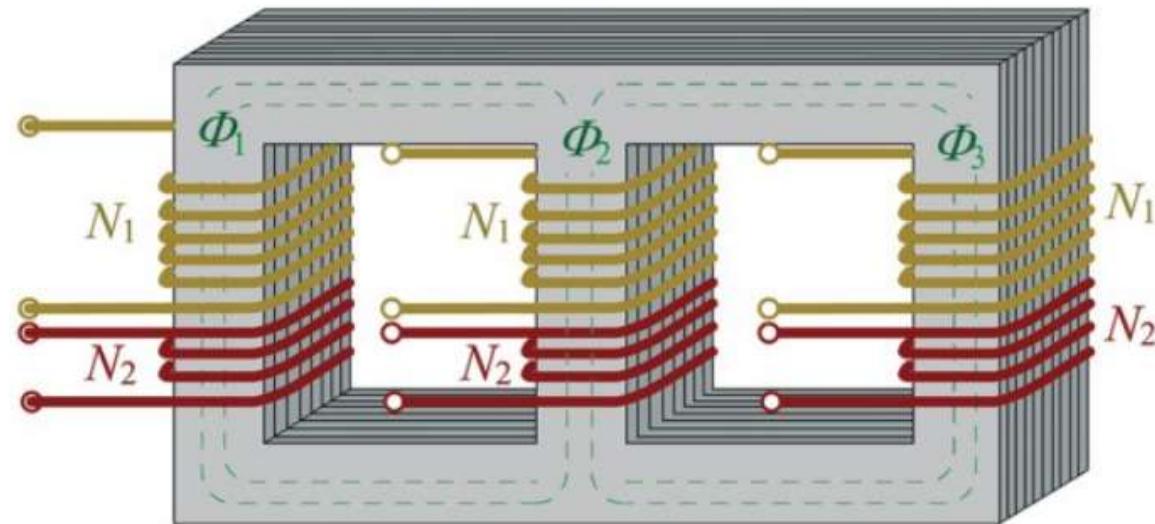
- ▶ Un transformador trifàsic té per objectiu transformar un sistema trifàsic equilibrat en un altre sistema trifàsic i també equilibrat.
- ▶ Es podrien fer servir 3 transformadors monofàsics per a aquest fi, el que es coneix com a “*banc de transformadors*”, connectant els primaris i secundaris en estel o en triangle.



- ▶ El sistema obtingut es caracteritza per la independència dels circuits magnètics.
- ▶ Només es fan servir en grans instal·lacions, ja sigui per a que es vol disposar de transformadors de reserva o bé que el transport d'un gran transformador trifàsic sigui complicat.

Transformadors trifàsics (2)

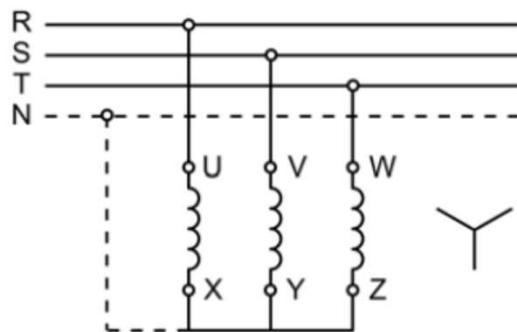
- ▶ Els transformadors trifàsics són més eficients i menys voluminosos, pel que són molt més emprats.



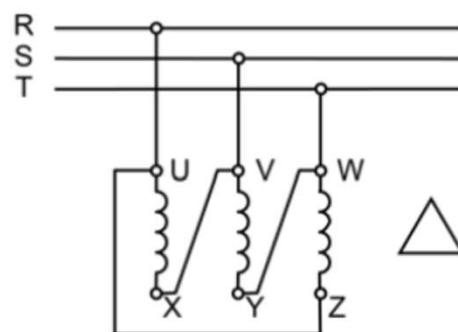
- ▶ En lloc de tres transformadors els bobinats primaris i secundaris es disposen damunt un mateix nucli.

Transformadors trifàsics (3)

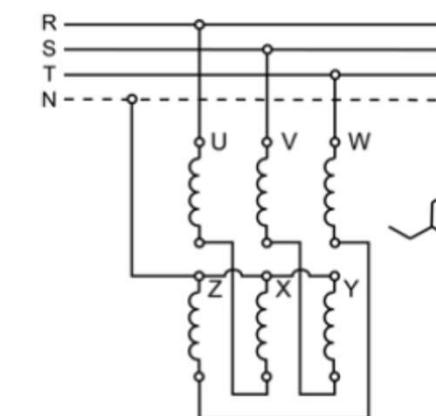
- ▶ Els bobinats es podran connectar en triangle (D), estrella (Y) o zig-zag (Z):
- ▶ A continuació es representen els esquemes de connexió trifàsica, tant poden correspondre al primari com al secundari:



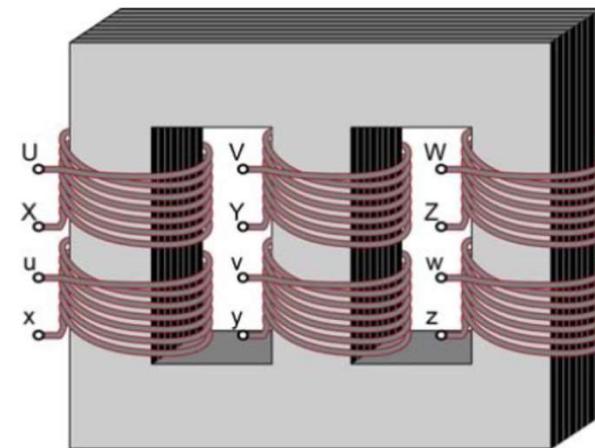
Estrella. (C.A.L.)



Triángulo. (C.A.L.)



Zig-Zag. (C.A.L.)



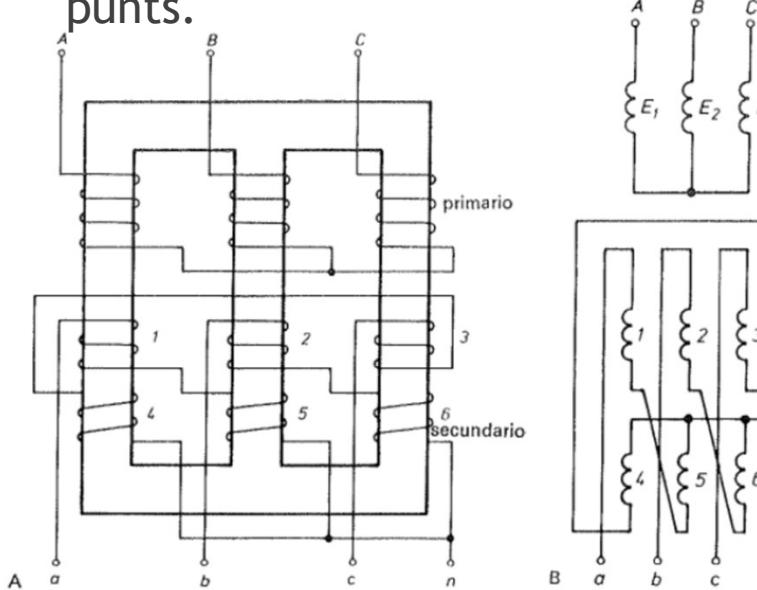
Transformador trifásico. (C.A.L.)

Transformadors trifàsics (4)

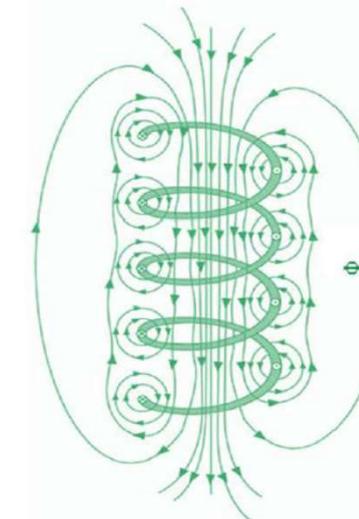
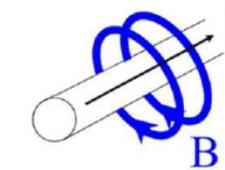
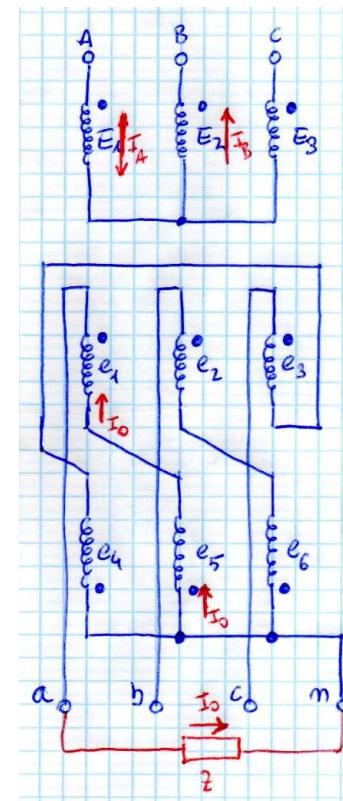
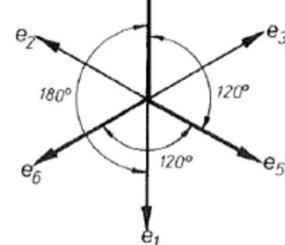
- ▶ En **triangle** no es necessita neutre, però cada bobinat estarà sotmès a una tensió major. D'aquesta forma es sol connectar el primari en els centres de transformació, ja que la xarxa d'alta tensió no té neutre.
- ▶ En **estrella** es necessita neutre, i cada bobinat estarà sotmès a una tensió menor. D'aquesta forma es sol connectar el secundari en els centres de transformació, ja que la xarxa de baixa tensió necessita neutre.
- ▶ Per a una connexió en **zig-zag** es necesiten 6 bobines amb el mateix nombre de voltes, dues a cada nucli enrotllades en direccions oposades. La primera bobina de cada nucli està connectada en sentit contrari a la segona bobina en el següent nucli. Les segones bobines s'uneixen totes juntes per a formar el neutre i les fases es connecten a les primeres bobines. Són transformadors més cars. Només es fan servir en baixa tensió, quan es necesita formar un neutre o a sistemes de baixa tensió desequilibrats, ja que reparteix millor l'escalfament 31 quan hi ha una sobrecàrrega a una fase.

Transformadors trifàsics (5)

- ▶ La connexió zig-zag és un bon exemple per a veure la notació de punts.



- ▶ Diagrama fassorial del secundari:



Convenció de punts

- ▶ A un transformador real seria possible saber la polaritat del secundari només si l'obríssim i examinàssim els bobinats. Per tal d'evitar això, als transformadors s'utilitza la “**convenció de punts**”.
- ▶ Els punts que apareixen a un extrem de cada bobinat de la figura serveixen per a mostrar la polaritat del voltatge i el corrent al costat del secundari del transformador. La convenció és la següent:
 - ▶ Si el voltatge primari és positiu a l'extrem del bobinat marcat amb punt respecte l'extrem que no té marca, llavors el voltatge secundari també és positiu a l'extrem marcat amb punt: Les polaritats de voltatge són les mateixes respecte als punts a cada costat del nucli.
 - ▶ Si el corrent primari del transformador flueix cap a dins a l'extrem marcat amb punt del bobinat primari, el corrent secundari fluirà cap a fora a l'extrem marcat amb punt del bobinat secundari.

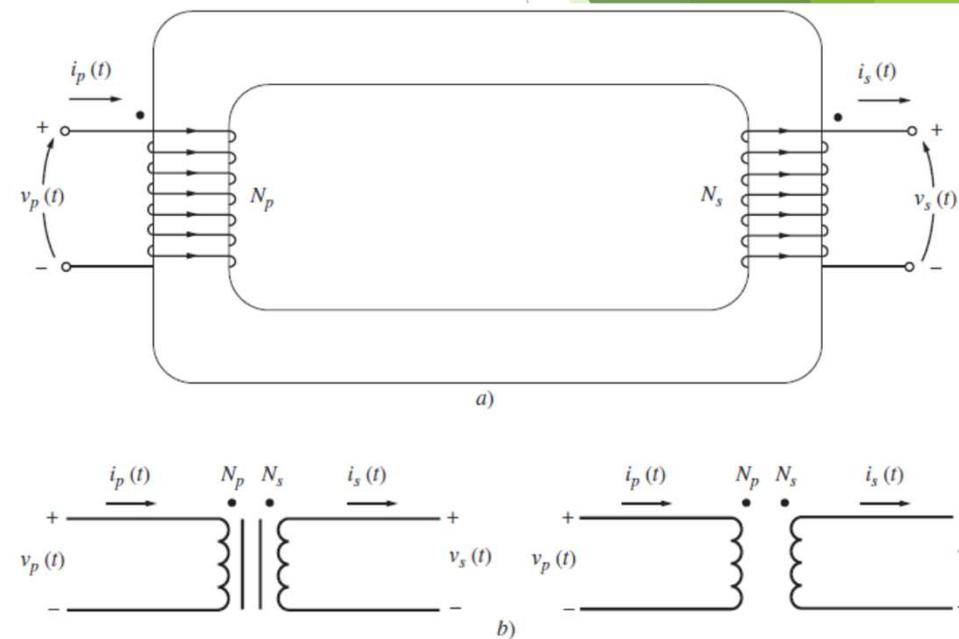
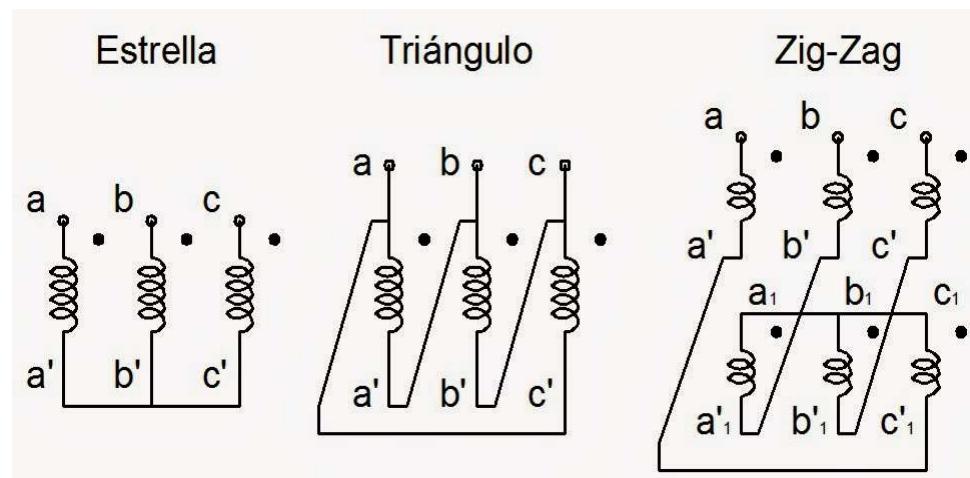


FIGURA 2-4 a) Dibujo de un transformador ideal. b) Símbolos esquemáticos de un transformador. A veces el núcleo de hierro se muestra en el símbolo y a veces no.

Grups de connexió (1)

- ▶ El grup de connexió fa referència a la forma en que estan connectats internament els enrotllaments.
- ▶ Es designa amb un codi:
 - ▶ La primera lletra, en majúscules, fa referència a la forma com estan connectats els enrotllaments d'alta tensió. La segona lletra, en minúscules, designa a la connexió dels enrotllaments de baixa tensió.

- ▶ D = triangle o delta.
- ▶ Y = estrella.
- ▶ Z = zig-zag.

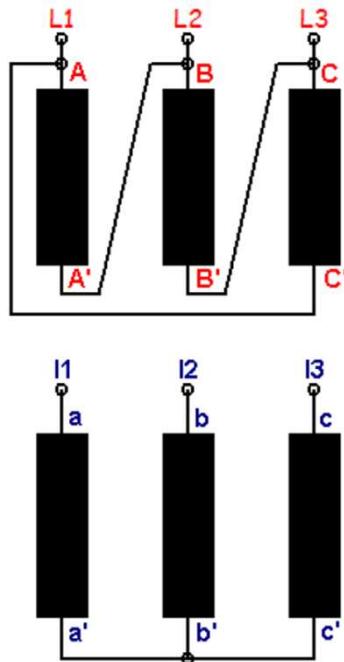


Grups de connexió (2)

- ▶ La tercera lletra és opcional, i s'indica amb una *n* que el neutre de BT és accessible.
- ▶ Finalment s'indica amb un nombre (índex horari) el desfasament entre la part d'AT i la de BT. S'indica amb un nombre de 0 a 11, representant l'angle que marcarien les agulles d'un rellotge.
- ▶ El més utilitzat és el Dyn11:
 - ▶ Primari en triangle (no hi ha neutre).
 - ▶ Secundari en estrella (ja que té neutre).
 - ▶ Neutre accessible.
 - ▶ Desfasament de 330° .

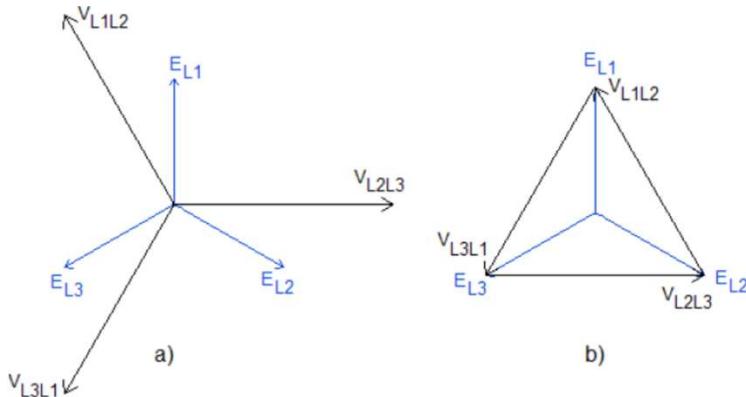
Grups de connexió (3)

- ▶ A continuació es mostrerà un mètode per a determinar l'índex horari de qualsevol transformador trifàsic.
- ▶ Els bobinats que comparteixen columnes els situarem a la mateixa vertical. Marcarem els extrems de les bobines amb la mateixa lletra, amb majúscules al primari i amb minúscules al secundari. Tal com es mostra a la següent figura:

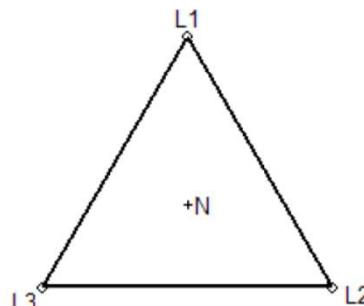


Grups de connexió (4)

- ▶ Recordem que a un sistema trifàsic si desplaçam les tensions de línia (en negre a la figura a) s'obté un triangle equilàter (figura b).

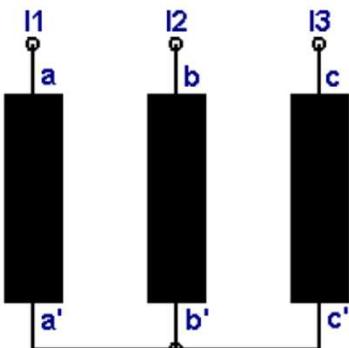
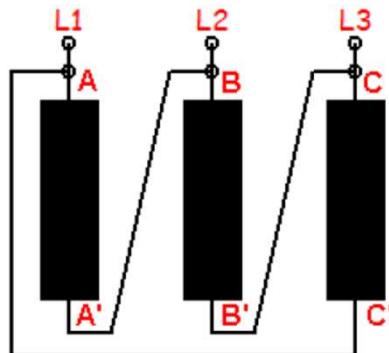


- ▶ El mètode sempre comença marcant les fases $L1$, $L2$ i $L3$ als cantons d'un triangle equilàter. I el neutre correspondrà al centre.

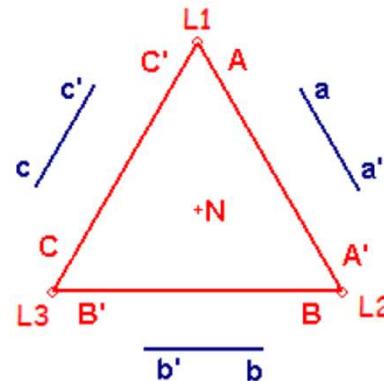


Grups de connexió (5)

- ▶ Anem a aplicar el mètode a un cas concret, un transformador triangle-estel amb el següent connexionat:



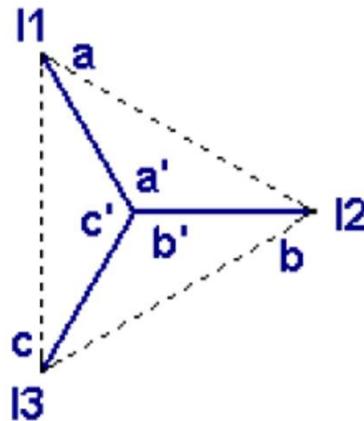
- ▶ Primer col·locam els extrems de les bobines primàries damunt el triangle trifàsic.



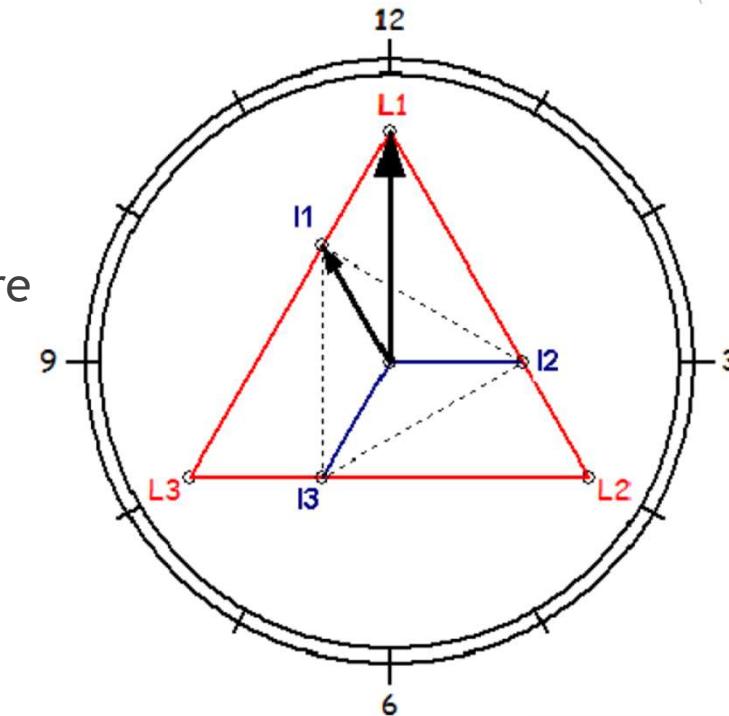
- ▶ Els segments blaus corresponen a les tensions del secundari. Com que els bobinats AA' i aa' estan muntats sobre la mateixa columna, comparteixen flux, per tant les tensions estan en fase i els segments de l'esquema han de ser paral·lels.
- ▶ El mateixa passa amb les altres dues parelles de bobinats.

Grups de connexió (6)

- Per tal de determinar l'esquema de tensions del secundari basta tenir en compte que els extrems a' , b' i c' formen el neutre

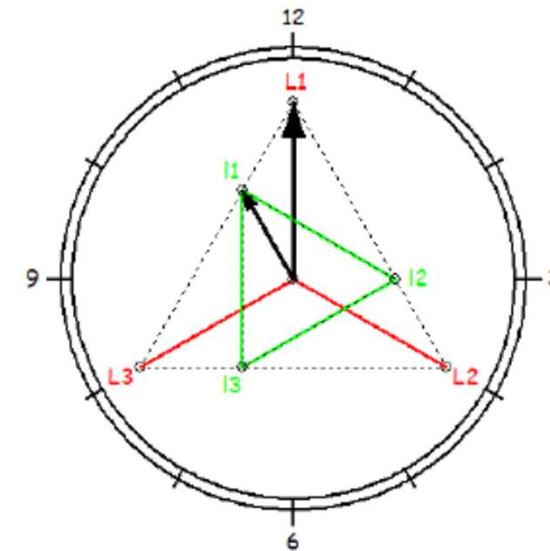
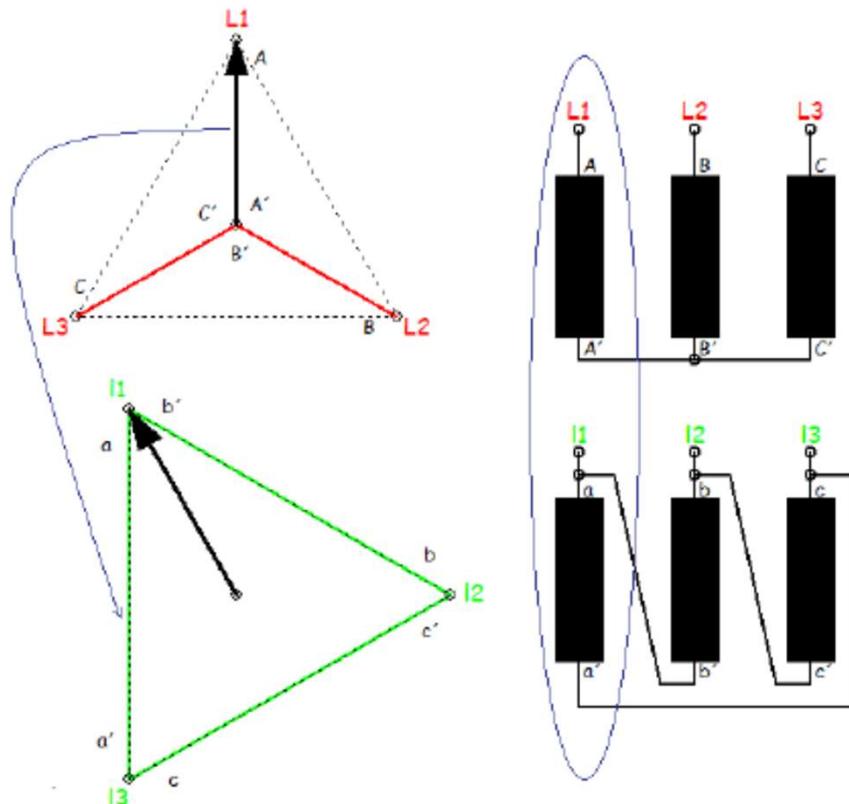


- Superposant els dos triangles pel punt neutre i unint aquest amb les fases L_1 del primari i l_1 del secundari es determina l'angle de desfasament (o índex horari).
- Llavors el grup de connexió d'aquest transformador és un **Dy11**.



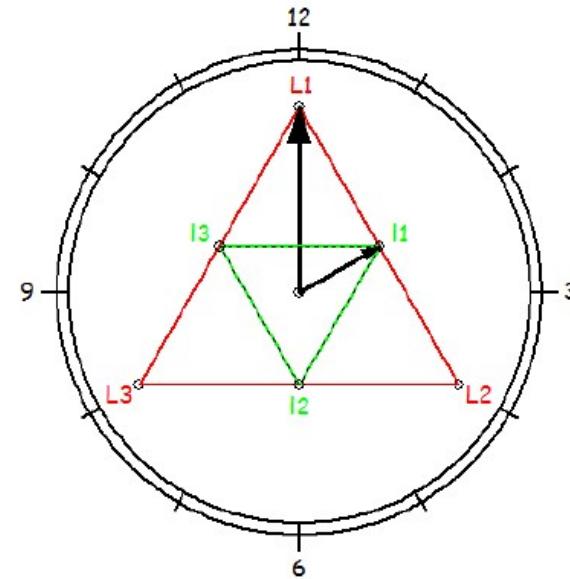
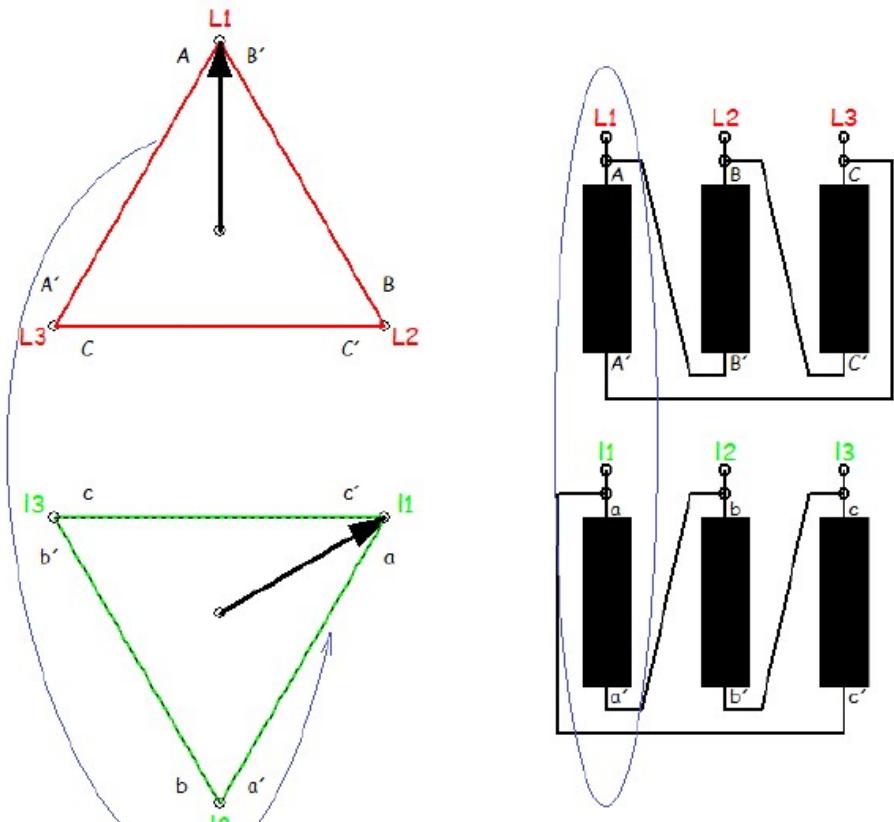
Grups de connexió (7)

- ▶ Anem a veure altres exemples d'aplicació del mètode.
- ▶ Cas **estel triangle**.



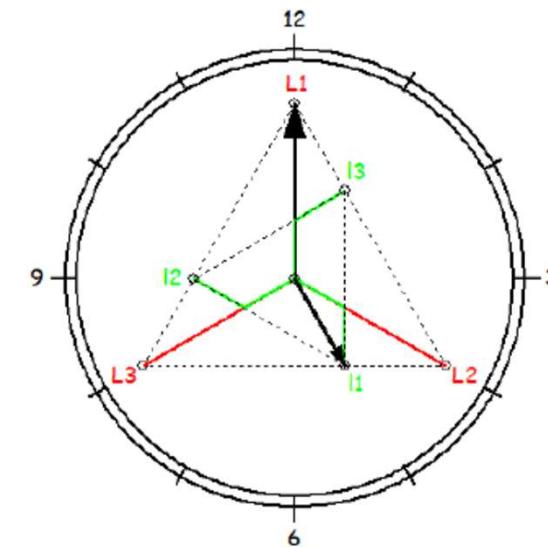
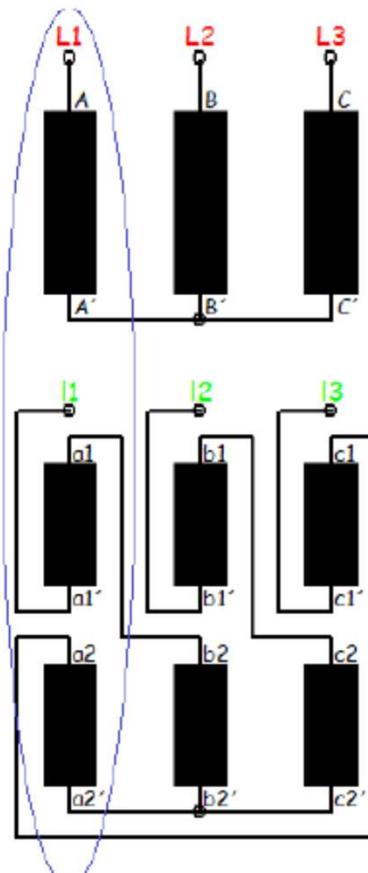
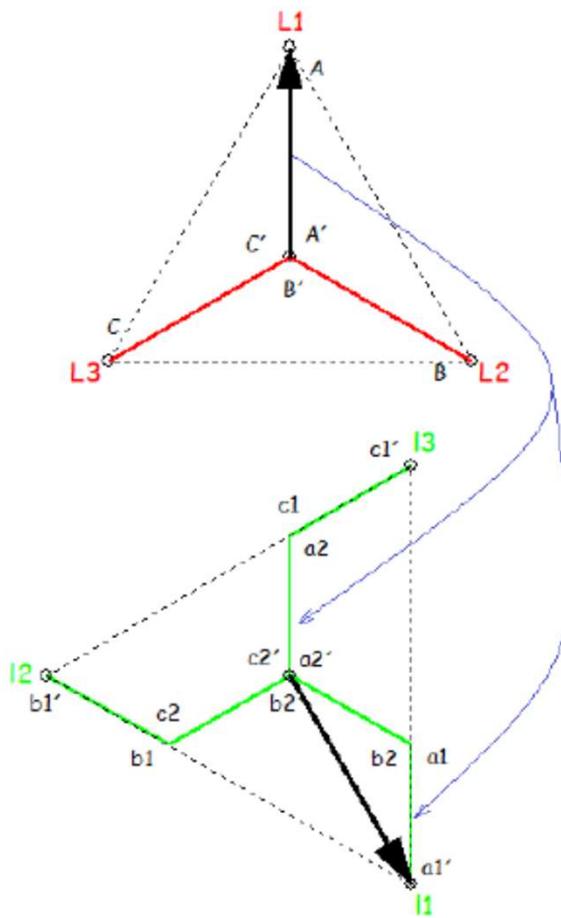
Grups de connexió (8)

► Cas triangle triangle.



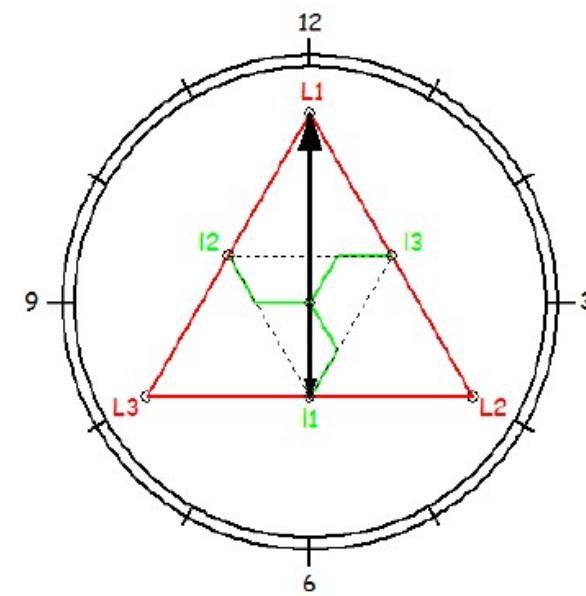
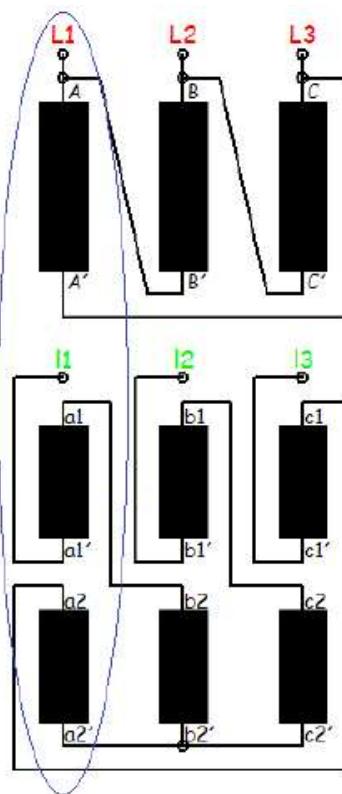
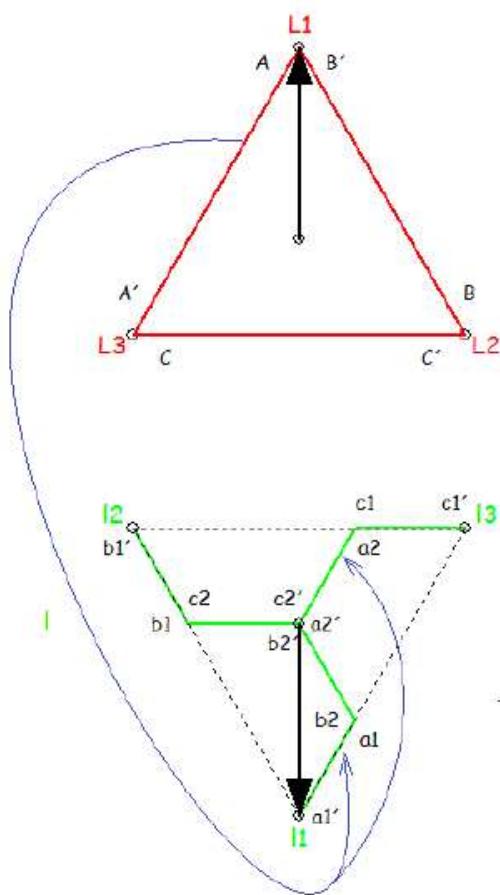
Grups de connexió (8)

► Cas estel zig-zag.



Grups de connexió (8)

► Cas triangle zig-zag.



Relacions de transformació (1)

- ▶ En els bobinats trifàsics hi ha dues relacions de transformació diferenciades. La relació de **transformació simple** i la de **transformació composta**.
- ▶ La **relació de transformació simple** és el quotient entre el nombre d'espires de cada fase o bobinat del primari (N_1) i del secundari (N_2), que en els transformadors ideals coincideix amb la relació de les tensions de fase:

$$r_t = \frac{N_1}{N_2} = \frac{U_{F1}}{U_{F2}}$$

- ▶ La **relació de transformació composta** és el quotient entre les tensions de línia del primari i del secundari:

$$r_{tc} = \frac{U_{L1}}{U_{L2}}$$

Relacions de transformació (2)

- Relació entre la transformació simple i la transformació composta.

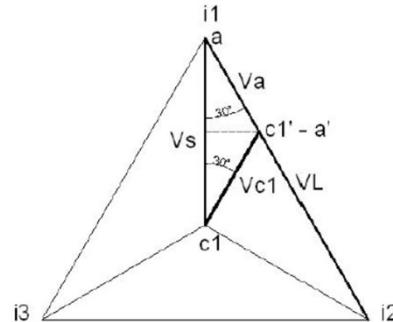
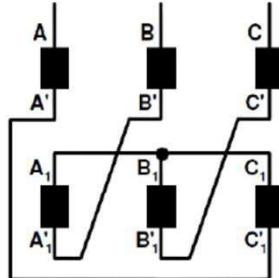
Estel-Estel	Triangle-Triangle	Estel-Triangle	Triangle-Estel
$r_{tc} = \frac{\sqrt{3} U_{F1}}{\sqrt{3} U_{F2}} = r_t$	$r_{tc} = \frac{U_{F1}}{U_{F2}} = r_t$	$r_{tc} = \frac{\sqrt{3} U_{F1}}{U_{F2}} = \sqrt{3} r_t$	$r_{tc} = \frac{U_{F1}}{\sqrt{3} U_{F2}} = \frac{r_t}{\sqrt{3}}$

Exercici: Un transformador trifàsic ideal té una relació de transformació de **tensions de línia** 400/230 i una potència de 3 kVA. El bobinat del primari té 900 voltes i la connexió dels bobinats és triangle-estel. En aquestes condicions, calculau:

- Les relacions de transformació del transformador. Solució $r_{tc}=1,74$, $r_t=3$
- El nombre de voltes del bobinat secundari. Solució $N_2=300$
- La intensitat de línia i de fase al primari. Solució $I_{L1}=4,33$ A, $I_F=2,5$ A.

Relacions de transformació (3)

- ▶ Anem a determinar la relació entre la **transformació simple** i la **transformació composta** per al cas de la connexió en zig-zag.
- ▶ **Cas Dz:**



- ▶ De la figura es veu que $V_s = V_{c1} \cos 30 + V_a \cos 30 = 2 \times V \times \cos 30$, atès que les tensions V_{c1} i V_a són iguals. Però cada una d'aquestes tensions és proporcional a les espires de cada bobinat, i com el bobinat N_2 esta dividit en dues parts iguals, que són les que donen cada una d'aquestes tensions (V_{c1} i V_a) ens queda:

$$V_s = 2 \times V \times \cos 30 = 2 \times V \times \frac{\sqrt{3}}{2} = \frac{N_2}{2} \times \sqrt{3}$$

- ▶ I tenint en compte que al secundari $V_L = \sqrt{3} \cdot V_s$, arribam a que la relació entre transformacions és $r_t = \frac{2}{3} \cdot r$.

Condicions per acoblar transformadors en paral·lel

- ▶ Per a poder connectar transformadors en paral·lel a la part de BT, i així poder tenir una xarxa mallada, s'han de complir les següents condicions:
 - ▶ Mateixa relació de transformació.
 - ▶ Tensions de curtcircuit similars.
 - ▶ Fases connectades de forma idèntica.
 - ▶ Potència nominal similar.
 - ▶ Mateix desfasament (índex horari).



Manteniment de transformadors

Veurem les proves elèctriques bàsiques que es realitzen als transformadors.

Vida d'un transformador. Factors d'estrés:

► Tèrmic

- ▶ Afecta a tots els components. Envelleix el material dielèctric (inclus a temperatures nominals). L'estrés augmenta amb temperatures altes i amb canvis repetitius.

► Químic

- ▶ La cel·lulosa descomposta crea aigua a l'aïllament sòlid.
- ▶ Additius a l'oli poden deteriorar alguns components de l'aïllament.

► Elèctric

- ▶ El material aïllant separa conductors a diferents potencials. Això envelleix el material dielèctric (inclus a tensió nominal). Incidents i maniobres a la xarxa també provoquen estrés elèctric.

► Mecànic

- ▶ Deformacions/desplaçaments dels elements ensamblats. Cops al transport. Alts corrents de curtcircuit deformen els bobinats.

► Ambiental

- ▶ L'aigua pot entrar a través de juntes amb fugues.
- ▶ La sal i altres substàncies corrosives poden deteriorar tancs i equips perifèrics.

Manteniment de transformadors

- ▶ Proves bàsiques de manteniment predictiu (primera columna) i defectes que pot detectar cada una (CIGRE TB 445).

	Aïllament entre espires	Aïllament de bobines/bornes	Continuïtat de bobines/bornes /OLTC	Geometria del bobinat	Aïllament del Circuit Magnètic	Integritat del Circuit Magnètic
Relació de transformació	●					
Resistència dels bobinats			●			
Corrent d'excitació	●					●
Capacitat i Tangent Delta		●		●	●	
Reactància de fuga				●		
Resistència d'aïllament		●			●	
Terra Nucli					●	

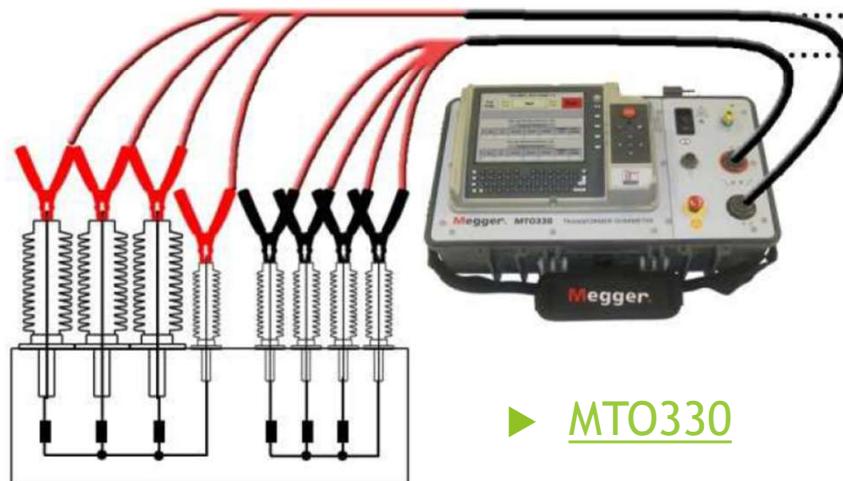
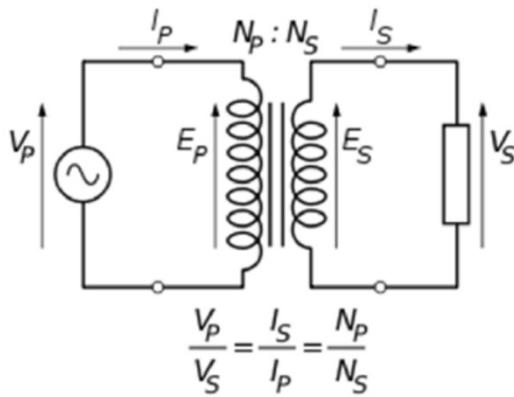
- ▶ Les certificacions es solen fer per un període de 3 anys. Si es troben defectes greus aquest interval es pot reduir a 6 mesos.

Prova de relació de transformació

- ▶ Té per objectiu determinar la funcionalitat correcta del transformador d'acord amb les dades de la placa. Es comproven els nivells de tensió i el diagrama vectorial.
- ▶ Es considera que la relació de tensions en buit és aproximadament igual a la relació entre el nombre d'espires.
- ▶ S'excita un bobinat amb una font de tensió CA i s'amida la tensió induïda al bobinat oposat. Amb les connexions dels altres bobinats obertes. Es pot aplicar tant al bobinat d'alta com al de baixa.
- ▶ El corrent sol·licitat al bobinat on s'aplica la tensió s'anomena **corrent d'excitació** (possible prova simultània).
- ▶ La diferència entre els valors indicats a la placa de característiques no hauria de ser superior al 0,5 % a cap dels bobinats (IEEE i IEC).

Prova de relació de transformació: Defectes detectables

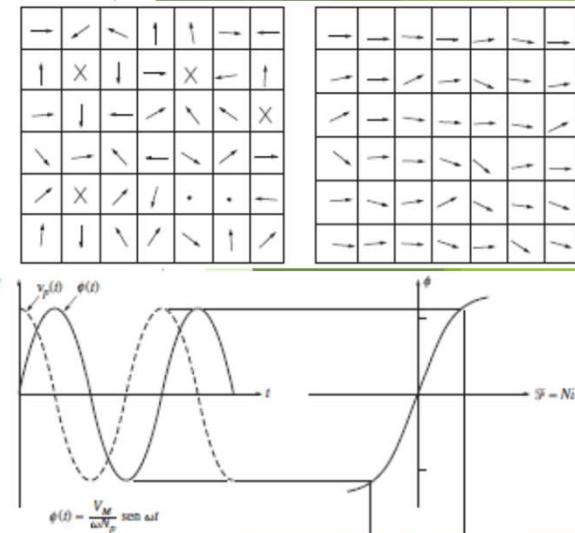
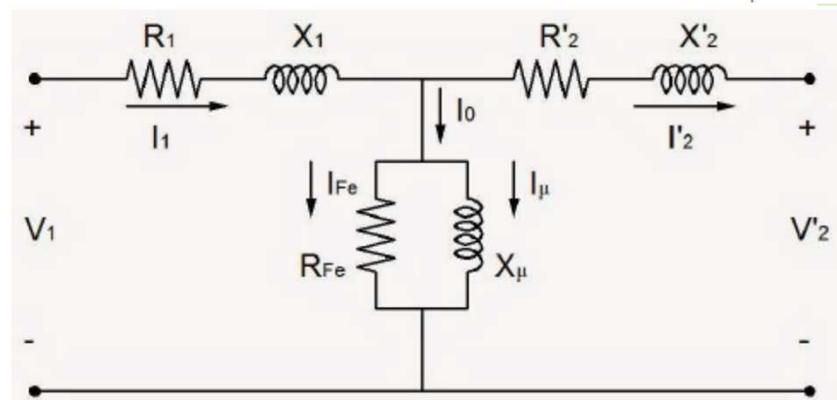
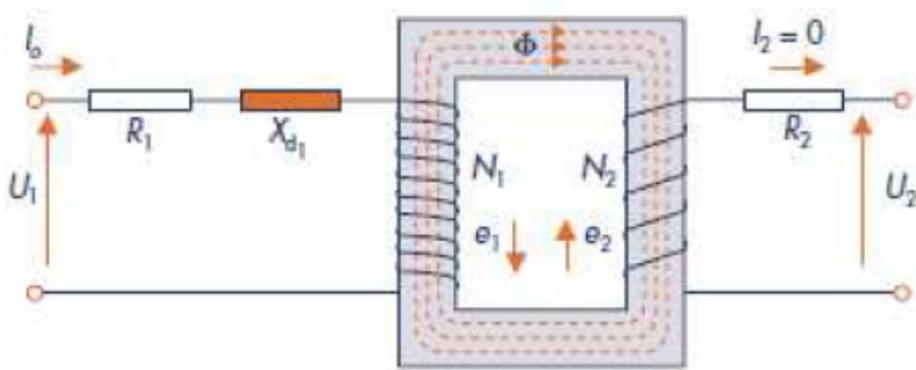
- ▶ Circuits oberts.
- ▶ Espires en curtcircuit.
- ▶ Defectes greus en el canviador de tomes.
- ▶ Terminals identificats incorrectament, etc...
- ▶ Verificar l'index horari: desfasament entre el primari i el secundari.



▶ [MTO330](#)

Prova de corrent d'excitació. Què és?

- ▶ **Corrent de magnetització (I_m)**: És el corrent necessari per a que existeixi un flux magnètic al nucli.
- ▶ **Corrent de pèrdues (I_p)**: És el corrent que es dona al nucli com a conseqüència de les pèrdues per histèresi i corrents paràsits.
- ▶ **Corrent d'excitació (I_0)**: És la suma vectorial de $I_m + I_p$. És igual al corrent total si el transformador es troba sense càrrega.



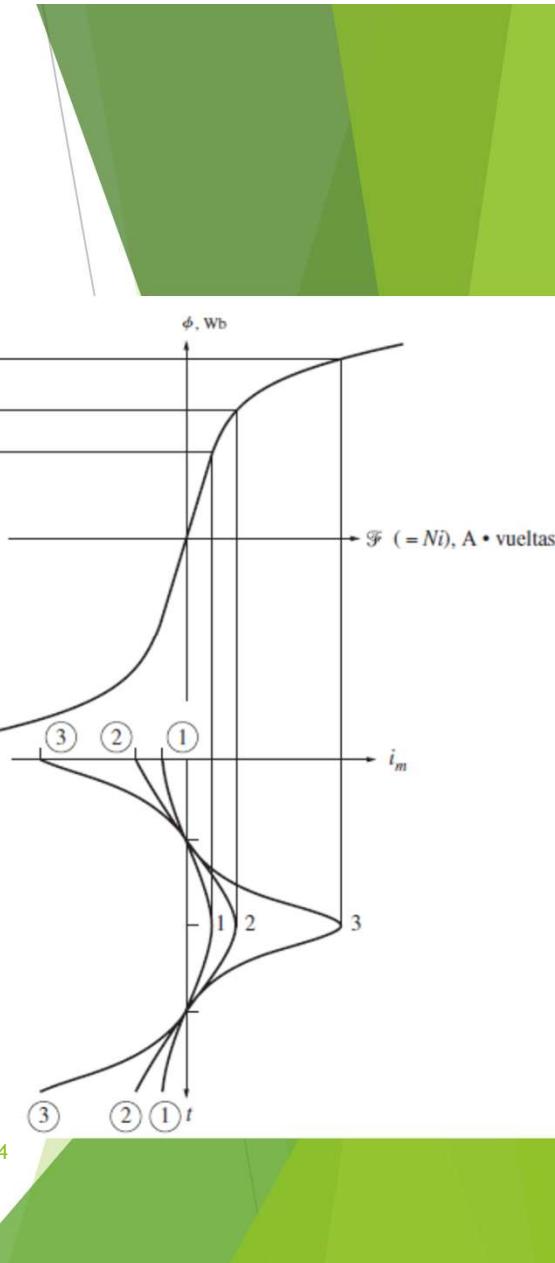
Prova de corrent d'excitació: El corrent de magnetització.

- Si s'incrementa la tensió $v(t)$ aplicada, posem que un 10%, el flux màxim resultant al nucli també augmenta un 10%. Però per damunt d'un cert punt per sobre de la corba de magnetització, un increment del 10% de flux al nucli requereix un augment de corrent de magnetització molt major. Conforme s'incrementa el voltatje, els corrents d'alta magnetització arriben ràpidament a ser inacceptables. El voltaje màximo aplicat (i per tant, el voltaje nominal) l'estableix el corrent de magnetització màxim acceptable al nucli.

$$\phi_{max} = \frac{V_{max}}{\omega \cdot N_p}$$



$$V_{rms} = 4,44 \cdot N_p \cdot f \cdot A \cdot B_{max}$$



Prova de corrent d'excitació. Metodologia

- ▶ Té per objectiu verificar la condició electromecànica del transformador mitjançant l'amidament del corrent d'excitació de cada una de les fases del transformador.
- ▶ L'amidament es realitza aplicant una tensió en CA a cadascun dels bobinats d'Alta Tensió:
 - ▶ Fase U, fase V i després fase W.
 - ▶ Els bobinats secundaris / terciaris han de quedar en buit (oberts)
- ▶ Evitar fer l'amidament després d'una mesura en CC, per exemple, la de la resistència de bobinats. O si no desmagnetitzar.
- ▶ El corrent d'excitació depèn del nivell de tensió aplicada. Es recomana fer la mesura sempre amb els mateixos valors i que siguin similars als de servei.
- ▶ Es realitza la mesura a les posicions extremes del canviador de tomes i a la posició mitja.

Prova de corrent d'excitació. Resultats.

- ▶ En els transformadors trifàsics els valors del corrent d'excitació de les fases exteriors han de ser iguals, i la lectura de la fase central serà del 50 al 70% de la lectura dels exteriors.
- ▶ Els valors obtinguts (mA) s'han de comparar amb els resultats de fàbrica o amb proves anteriors si estan disponibles (IEEE C57.152).
 - ▶ Si la $I_{ex} < 50$ mA, la diferència entre els dos valors més alts ha de ser menor del 10% .
 - ▶ Si la $I_{ex} > 50$ mA, la diferència entre els dos valors més alts ha de ser menor del 5% .
- ▶ D'existir una espira en curtcircuit, el corrent d'excitació augmentarà.

	Actual Ratio	% Error	I_{exc} mA
L1	4,536	0,05	0,7
L2	4,535	0,05	0,4
L3	4,536	0,06	0,7
L1	4,471	0,10	0,7
L2	4,470	0,08	0,4
L3	4,470	0,08	0,7
L1	4,404	0,10	0,7
L2	4,405	0,11	0,4
L3	4,404	0,09	0,7
L1	4,341	0,17	0,7
L2	4,340	0,14	0,4
L3	4,340	0,15	0,7
L1	4,273	0,16	0,8
L2	4,274	0,17	0,4
L3	4,274	0,17	0,8
L1	4,203	0,08	0,8
L2	4,203	0,07	0,5
L3	4,202	0,06	0,8
L1	4,132	0,03	0,8
L2	4,131	0,05	0,5
L3	4,131	0,06	0,8
L1	4,066	0,01	0,9
L2	4,065	0,03	0,5
L3	4,066	0,02	0,9

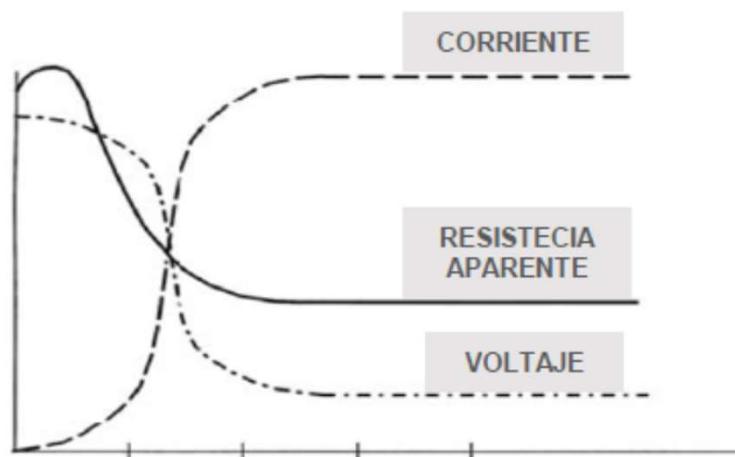
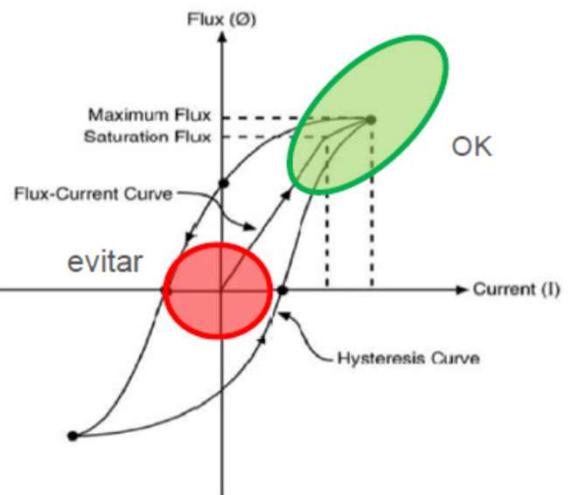
Prova de corrent d'excitació: defectes detectables

- ▶ Canvi a la geometria del nucli i/o dels bobinats.
- ▶ Espires en curtcircuit.
- ▶ Problemes al canviador.
- ▶ Canvi a la reluctància efectiva del nucli.
- ▶ Delaminació del nucli.
- ▶ Corrents paràsites (*eddy currents*).
- ▶ Anomalies a la posada a terra del nucli.



Prova de la resistència dels bobinats

- ▶ Té per objectiu verificar la condició electromecànica del transformador mitjançant l'amidament de la resistència dels seus bobinats aplicant una tensió i corrent contínues (per a cada posició del commutador).
- ▶ El corrent de prova ha de ser aproximadament l'1% del corrent nominal i s'ha de saturar el nucli. Si el corrent de prova és massa baix, la resistència mesurada no serà correcta. Però mai s'ha d'excedir del 15% del corrent nominal. S'arriba a lectura estable en 10-20 min (aprox).

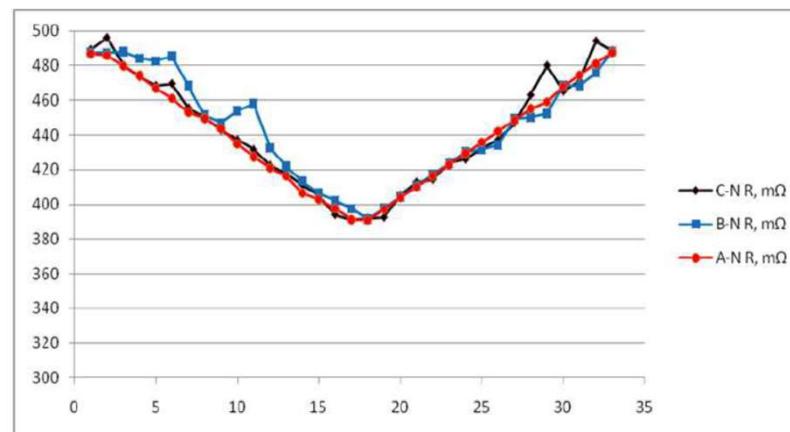
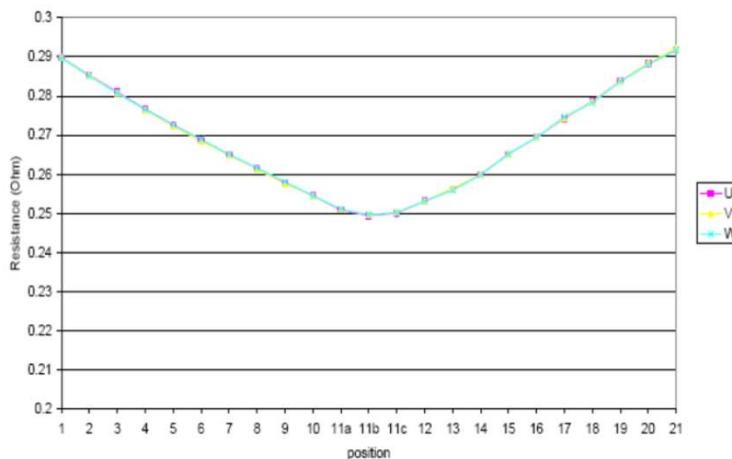


Prova de la resistència dels bobinats

- ▶ La resistència varia amb la temperatura. L'amidament es corregeix duent-lo a la temperatura de referència de 20 °C. Per al cas de bobinats de coure la correcció és:

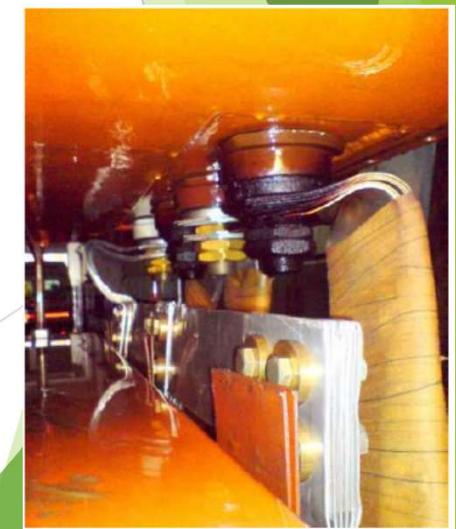
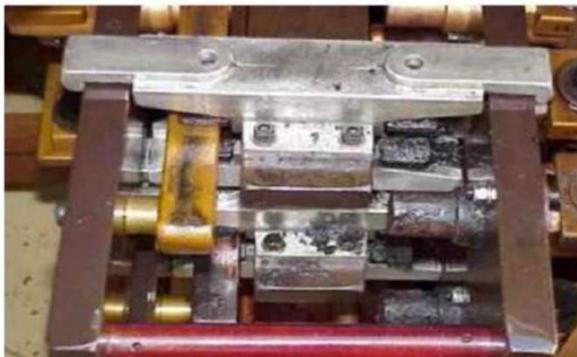
$$R_{20^\circ\text{C}} = R_m \cdot \frac{20 + 234,5}{T_m + 234,5}$$

- ▶ Les discrepàncies admissibles entre fases són del 2% (IEEE C57.152).
- ▶ Les discrepàncies màximes admissibles respecte als valors de fàbrica poden ser de fins l'1%. I les diferències entre les fases han d'estar com a màxim entre el 2-3% (CIGRE Brochure 445).



Prova de la resistència dels bobinats. Defectes detectables.

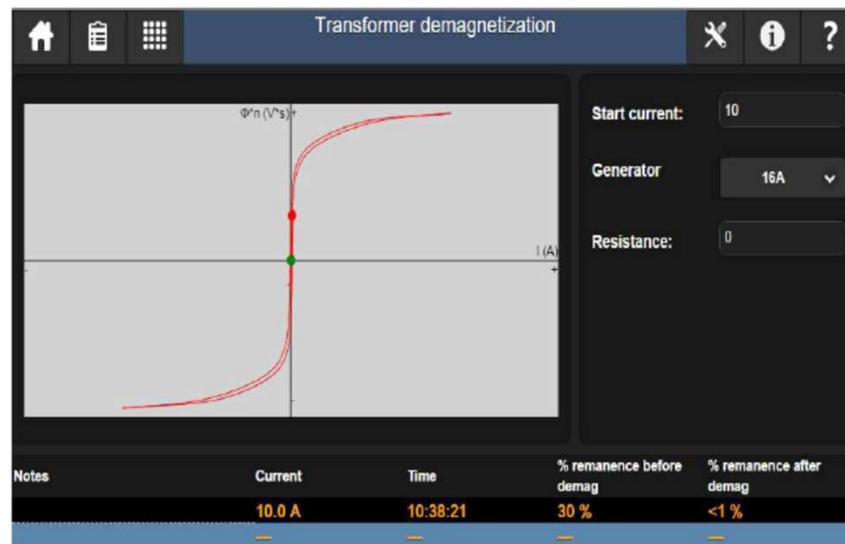
- ▶ Connexions defectuosos i ponts oberts o deteriorats.
- ▶ Problemes als canviadors de tomes com a conseqüència de:
 - ▶ La deformació de les superfícies dels contactes degut a un encalentiment localitzat.
 - ▶ L'augment de la resistència entre els contactes degut a depòsits de carbonització i/o contaminació.
 - ▶ La disminució de la pressió mecànica dels contactes com a conseqüència d'anomalies/deteriorament al sistema mecànic.



60

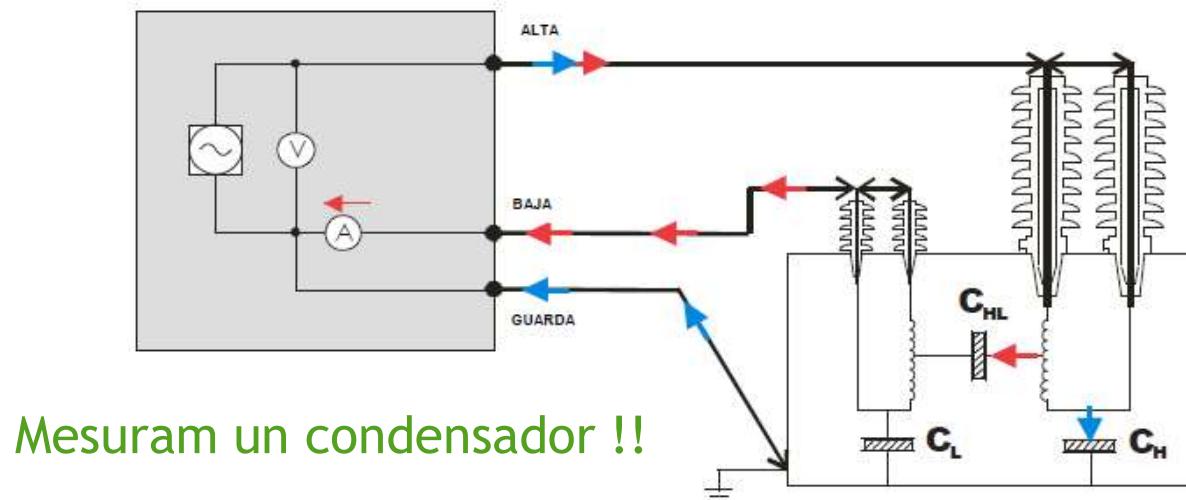
Prova de la resistència dels bobinats. Desmagnetització.

- ▶ Després d'una mesura de CC i abans de posar el transformador en servei s'ha de desmagnetitzar el nucli del transformador.
- ▶ La desmagnetització ha d'assegurar un valor de la remanència de 0.
- ▶ S'aconsella poder visualitzar el remanent magnètic abans i després del procés.



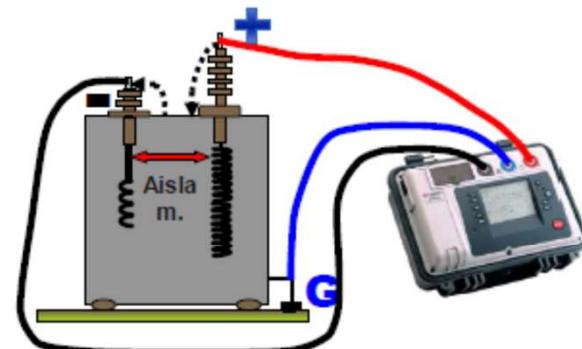
Prova de resistència d'aïllament.

- ▶ Té la finalitat de verificar que l'aïllament del transformador posseeix una alta resistència al pas de corrent entre elements a diferent potencial.
- ▶ La mesura es realitza normalment a 5 kV.
- ▶ Factors que afectan a la prova (anotar):
 - ▶ Contaminació a l'aïllament.
 - ▶ Humitat.
 - ▶ Temperatura.

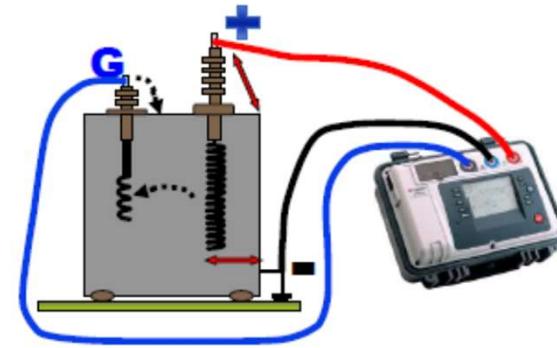


Prova de resistència d'aïllament.

- ▶ Mesura entre bobinats, i aquests amb terra.
- ▶ S'aconsella l'ús d'un tercer cable (guarda) per a eliminar corrents superficials.
- ▶ Es curtcircuiten les fases.
- ▶ Tipus d'amidaments més usuals:
 - ▶ Mesura del valor absolut.
 - ▶ Mesura de l'índex de polarització (PI).
 - ▶ Mesura de l'índex d'absorció dielèctrica (DAR).
- ▶ Connexions a un transformador de dos bobinats:
 - ▶ Primari vs Secundari, Guarda a cuba.
 - ▶ Primari vs Cuba , Guarda a Secundari.
 - ▶ Secundari vs Cuba, Guarda a Primari.



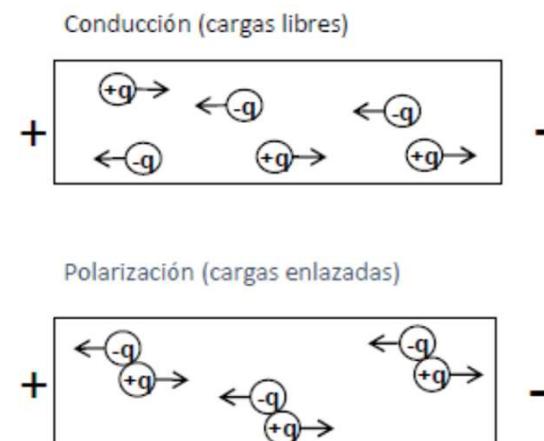
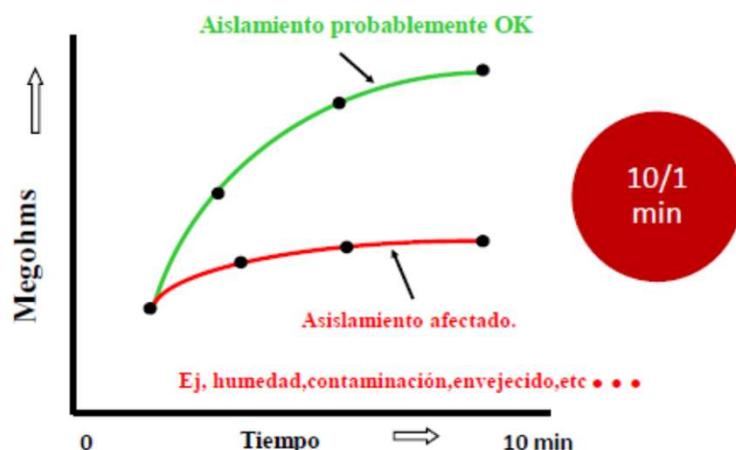
AT - BT



AT - TIERRA

Prova de resistència d'aïllament. Índex de polarització i Índex d'absorció dielèctrica .

- ▶ **Índex de polarització:** Es tracta de fer la divisió de la resistència en 10 minuts entre la resistència a 1 minut.
- ▶ **Índex d'absorció dielèctrica:** Es tracta de fer la divisió de la resistència en 30 minuts entre la resistència a 1 minut.
- ▶ Especialment indicats per a detectar problemes d'humitat.



Prova de resistència d'aïllament. Anàlisi de resultats.

- ▶ La resistència d'aïllament ha de ser com a mínim d'1 MΩ per cada 1 kV de tensió de servei, amb un valor mínim d'1 MΩ.

ESTAT d'AÏLLAMENT	1 min
Perillós	< 500 MΩ
Bo	> 500 MΩ

- ▶ Para la mesura de l'índex de polarització:

ESTAT d'AÏLLAMENT	PI 10min / 1min
Perillós	$x < 1$
Qüestionable	$1 \leq x \leq 2$
Bo	$2 < x \leq 4$
Excel·lent	$4 < x$

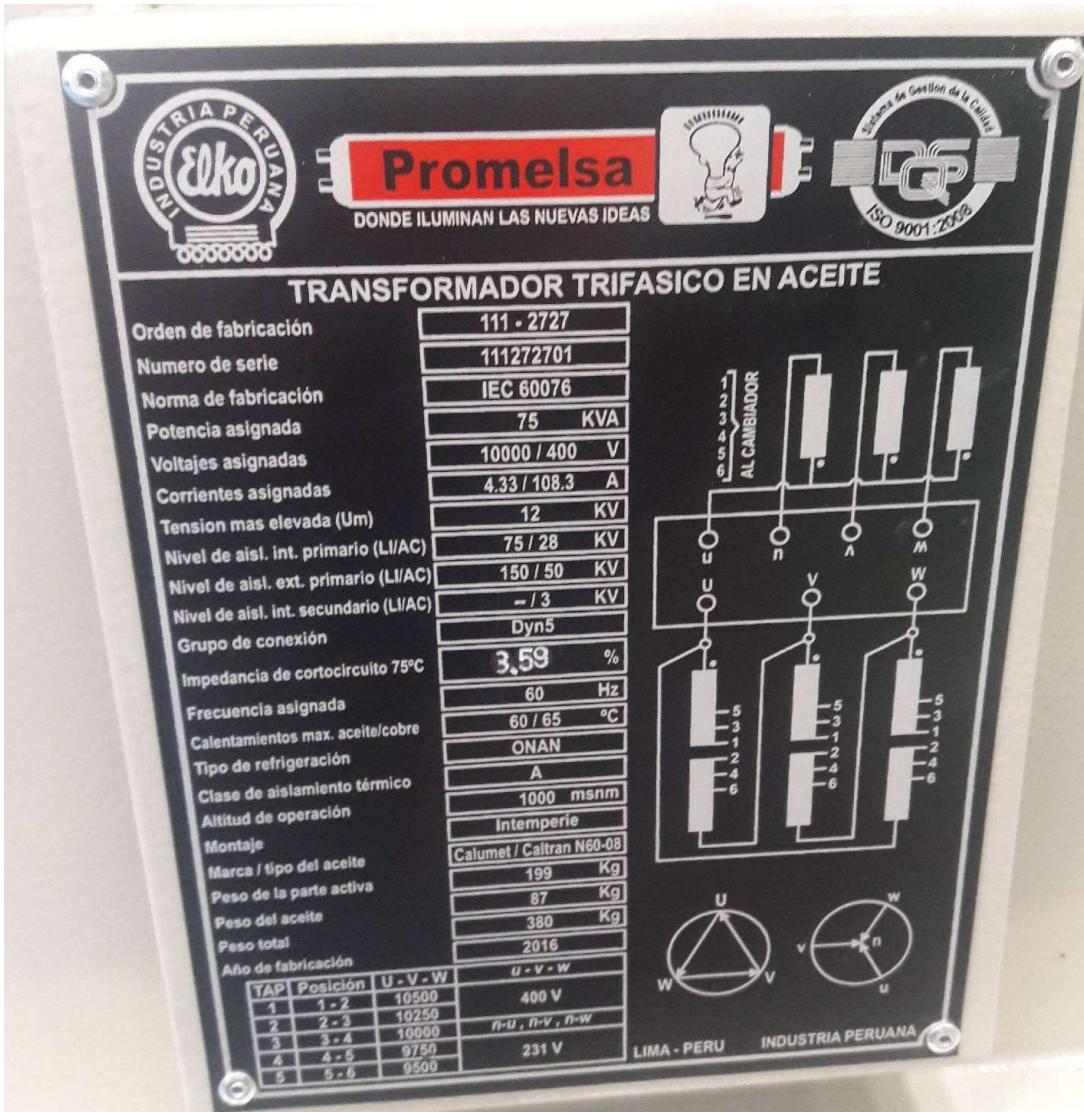
Prova de resistència d'aïllament. Defectes detectables.

- ▶ Bobinats en curtcircuit.
- ▶ Bobinats en curtcircuit amb el nucli.
- ▶ Bobinats en curtcircuit amb la cuba.
- ▶ Aïllament paper-oli en estat precari.



Placa de características (1)

- ▶ Tots els transformadors inclouen una placa de característiques amb tota la informació que proporciona el fabricant:
 - ▶ **Potència nominal o assignada.** És la màxima potència aparent que pot subministrar el transformador, en unes determinades condicions de ventilació i temperatura ambient.
 - ▶ **Voltatges i corrents nominals**, tant del primari com del secundari.
 - ▶ **Voltatge màxim**, és el màxim que pot suportar en règim permanent.
 - ▶ **Grup de connexió.** Pot incloure esquemes.



Placa de características (2)

- ▶ **Tensió de curtcircuit.** És la tensió que s'ha d'aplicar al primari perquè hi circuli la intensitat nominal amb el secundari curtcircuitat. Ens permet calcular la impedància de curtcircuit, útil per a elegir les proteccions.

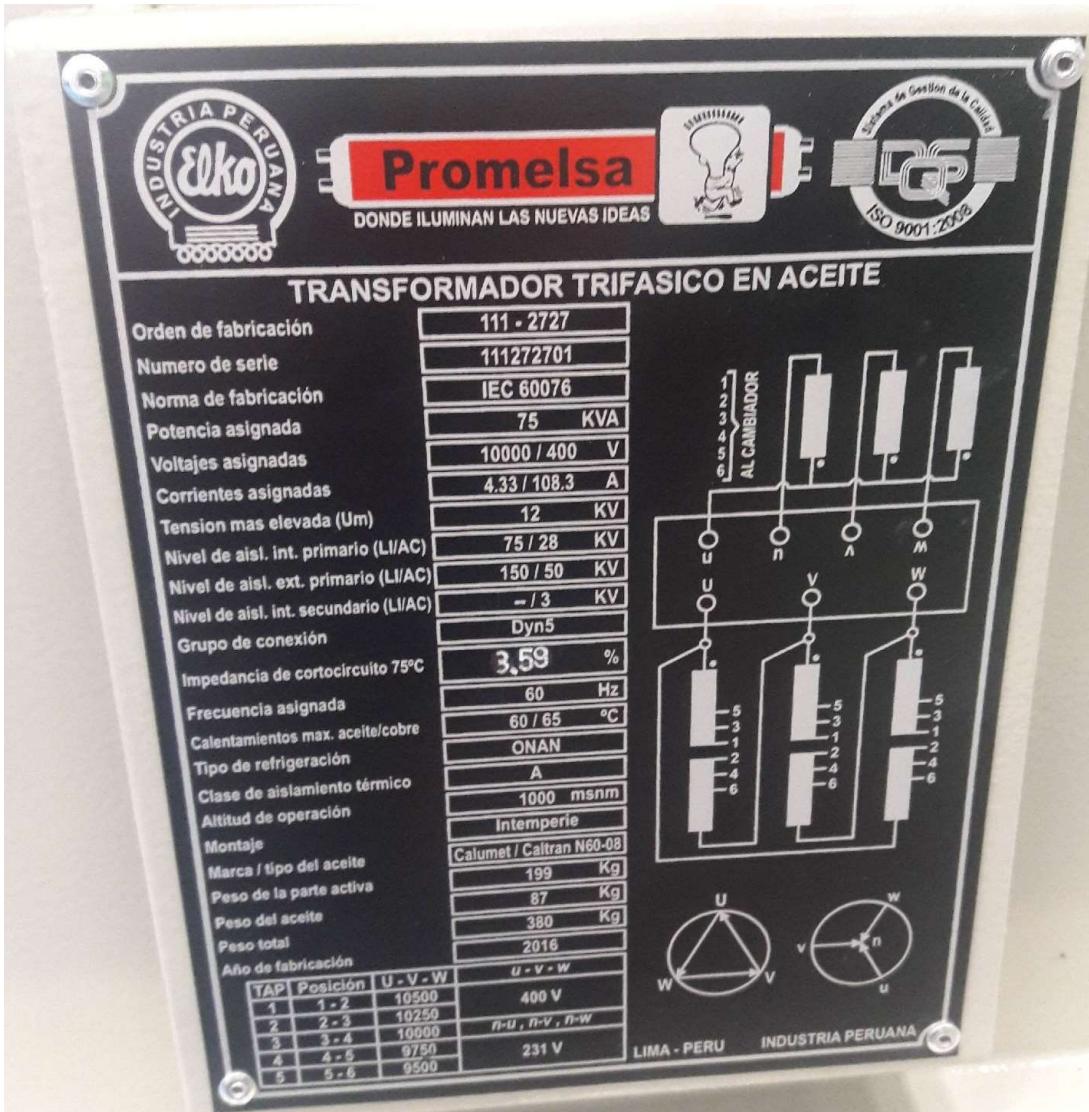
$$Z_{cc} = \frac{V_{cc}}{I_n}$$

$$I_{cc} = \frac{V_n}{Z_{cc}}$$

- ▶ Es sol donar la tensió de curtcircuit percentual (igual per primari i secundari)

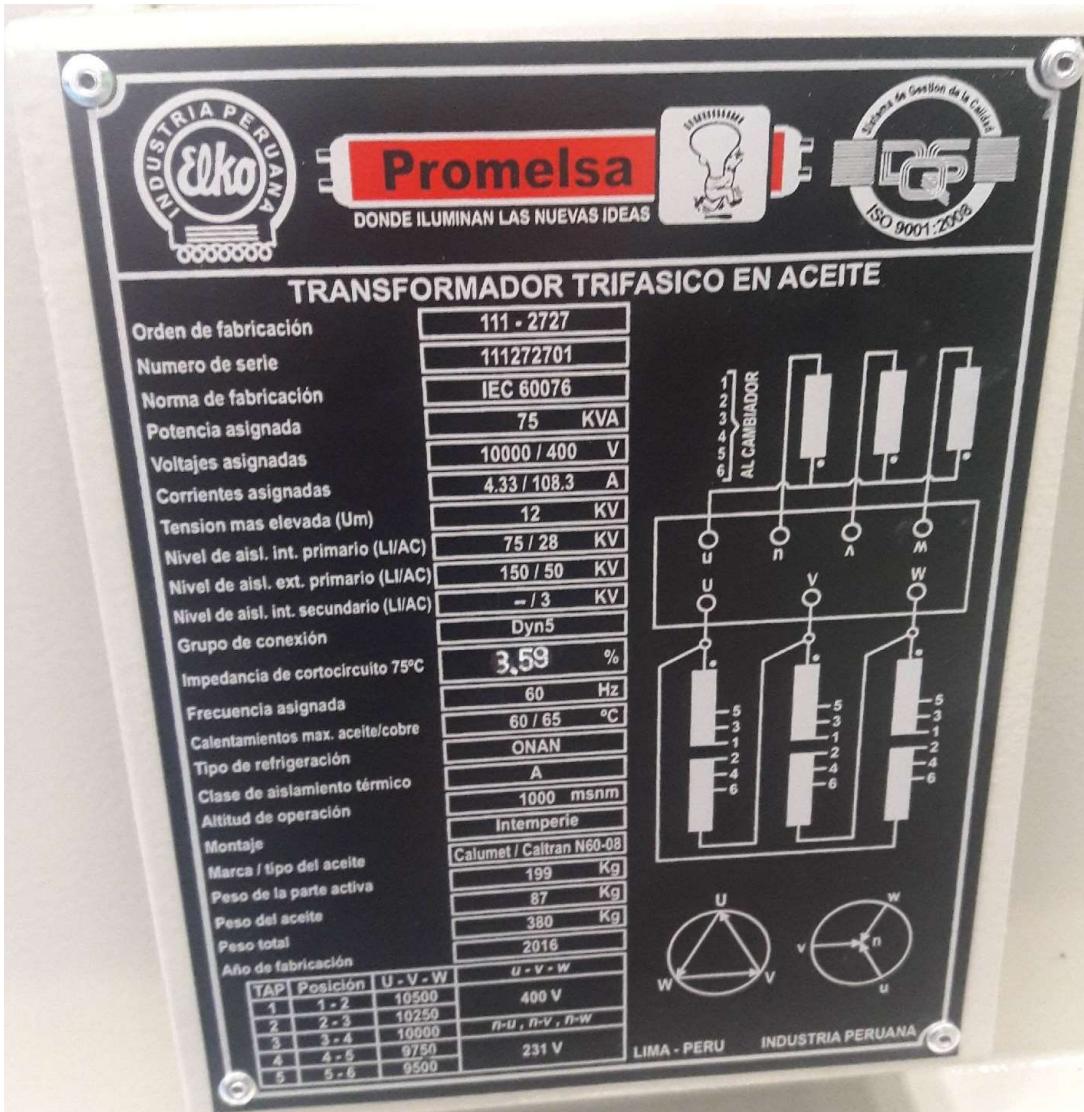
$$u_{cc} = \frac{V_{cc}}{V_n} \times 100$$

$$I_{cc} = I_n \times \frac{100}{u_{cc}}$$



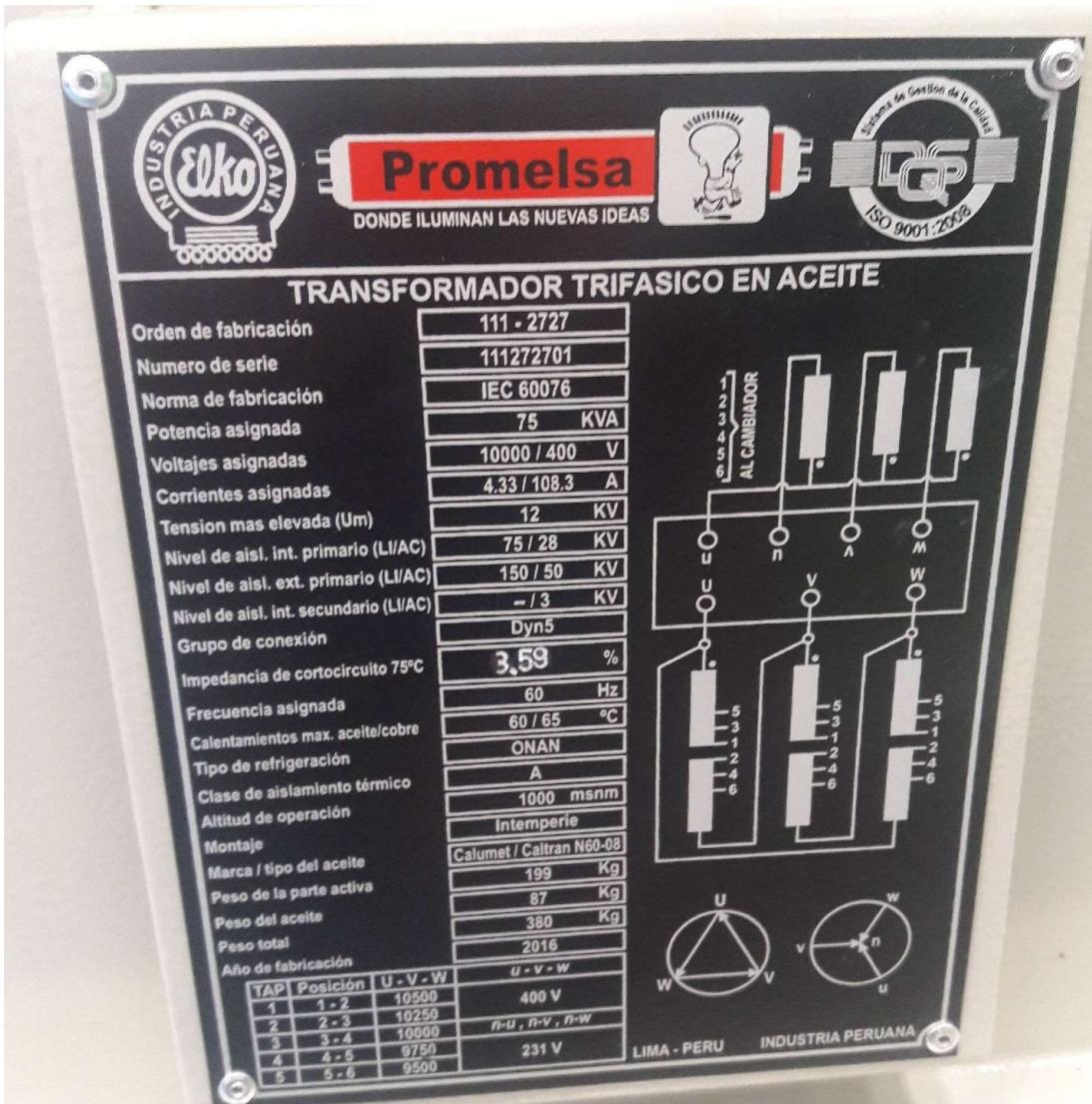
Placa de característiques (4)

- ▶ Temperatures màximes. Ens informa de la màxima temperatura en règim permanent a la que pot funcionar.
- ▶ Pèrdues. Ens poden indicar la potència perduda en buit o la càrrega nominal.
- ▶ Rendiment. La relació entre la potència de sortida i la d'entrada.
- ▶ Classe d'aïllament tèrmic. Ens indica la temperatura màxima que aguanta l'aïllament dels enrotllaments.
 - ▶ Y = 90°
 - ▶ A = 105°
 - ▶ E = 120°
 - ▶ B = 130°
 - ▶ F = 155°
 - ▶ H = 180°
- ▶ Pes, capacitat d'oli, dimensions...



Placa de característiques (3)

- ▶ **Tipus de refrigeració.** Es sol realitzar amb dos fluïds. El fluïd intern entra en contacte amb els bobinats i per tant ha de ser aïllant. El fluïd extern intercanvia calor amb primer i no entra en contacte amb els bobinats. Així mateix, la refrigeració pot realizar-se per convecció natural o forçada.
- ▶ Per a definir el tipus de refrigeració s'empra un codi internacional estàndard de quatre lletres:
 - ▶ **Primera lletra:** fluïd refrigerant intern.
 - ▶ O: oli mineral o sintètic amb punt de combustió menor a 300 °C.
 - ▶ K: fluïd amb punt de combustió major a 300 °C.
 - ▶ L: fluïd amb punt de combustió no determinat.
 - ▶ **Segona lletra:** mecanisme de circulació del fluïd intern.
 - ▶ N: convecció natural.
 - ▶ F: convecció forçada , amb ventiladors o bombes.
 - ▶ **Tercera lletra:** fluïd refrigerant extern.
 - ▶ A: aire.
 - ▶ W: aigua.
 - ▶ **Cuarta lletra N/F:** mecanisme de circulació del fluïd extern.
 - ▶ Exemple: ONAN = circulació de l'oli de forma natural i circulació de l'aire de forma natural.



- ▶ **Regulació de tensió.** Ens informa de les diferents tensions nominals del primari, segons la posició del commutador, per a tenir en el secundari el voltatge nominal.



Elements de protecció i maniobra (aparellatge)

Farem un repàs a les proteccions elèctriques en MT, veurem els diferents tipus de cel·les i simbologia, i acabarem amb el quadre de baixa tensió.

Aparellatge

- ▶ Elements de maniobra i protecció de MT:
 - ▶ Seccionador.
 - ▶ Seccionador de posada a terra (pat).
 - ▶ Interruptor.
 - ▶ Interruptor seccionador.
 - ▶ Interruptor automàtic.
 - ▶ Fusibles.
 - ▶ Autovàlvules i explosors.
 - ▶ Relés.
- ▶ Agrupació d'elements:
 - ▶ Cel·les.
 - ▶ Quadre de baixa tensió.

Elements de maniobra i protecció de MT (1)

- ▶ Seccionador:
 - ▶ Obert manté una gran distància entre terminals.
 - ▶ Permet obrir o tancar el circuit EN BUIT (quan no circula corrent).
 - ▶ Per tant no es pot obrir en càrrega.
 - ▶ Permet el tall visible i es pot bloquejar en posició d'obert.

- ▶ Seccionador de posada a terra (pat):
 - ▶ Permet connectar les parts actives a terra.
 - ▶ Permet tancar de forma visible i es pot bloquejar.
 - ▶ Hi ha seccionadors que ja el duen incorporat, i per tant tenen tres posicions.

Seccionador

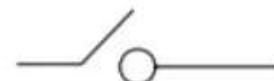


Elements de maniobra i protecció de MT (2)

► Interruptor:

- ▶ Permeten obrir i tancar el circuit en càrrega (quan hi circula corrent), però no en curtcircuit.
- ▶ Disposen de dispositiu d'extinció de l'arc (amb aire, oli, buit o SF6).

Interruptor



► Interruptor-seccionador:

- ▶ Un únic element fa les funcions d'interruptor i seccionador.

Interruptor - seccionador



Elements de maniobra i protecció de MT (3)

- ▶ Interruptor automàtic:
 - ▶ A més del que fa l'interruptor, pot tallar els corrents de curtcircuit i sobrecàrrega.
 - ▶ S'utilitzen per a protecció i maniobra.
 - ▶ Permeten l'accionament manual i automàtic.
 - ▶ Tenen *poder de tall*: valor del màxim corrent que poden interrompre.
 - ▶ Tenen dispositiu d'extinció de l'arc en oli, buit o SF6.
 - ▶ No substitueixen la funció del seccionador de deixar una gran distància.
 - ▶ Poder disparar de forma directa o indirecta (a través de relés i transformadors).
 - ▶ Tenen una molla que quan es tanca l'interruptor acumula l'energia necessària per obrir automàticament.

Interruptor automático



Elements de maniobra i protecció de MT (4)

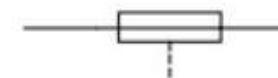
► Fusible:

- És un conductor enrotllat sobre un aïllant.
- Permeten tallar grans corrents (tenen un elevat poder de tall),
- No funcionen per protegir contra petites sobrecàrregues.
- Es destrueixen una vegada han fet la seva funció.
- Solen tenir percutor => Un dispositiu que té una molla, que quan es fon s'allibera i fa obrir un interruptor que pot tallar les altres fases.
- Es solen combinar amb un portafusibles que fa la funció d'interruptor i/o seccionador (com els que s'utilitzen per transformadors a la intempèrie).

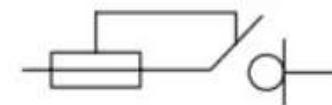
Fusible



Fusible con percutor

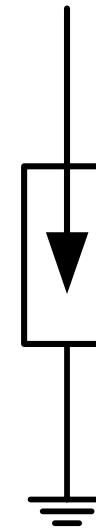


Interruptor - fusible



Elements de maniobra i protecció de MT (5)

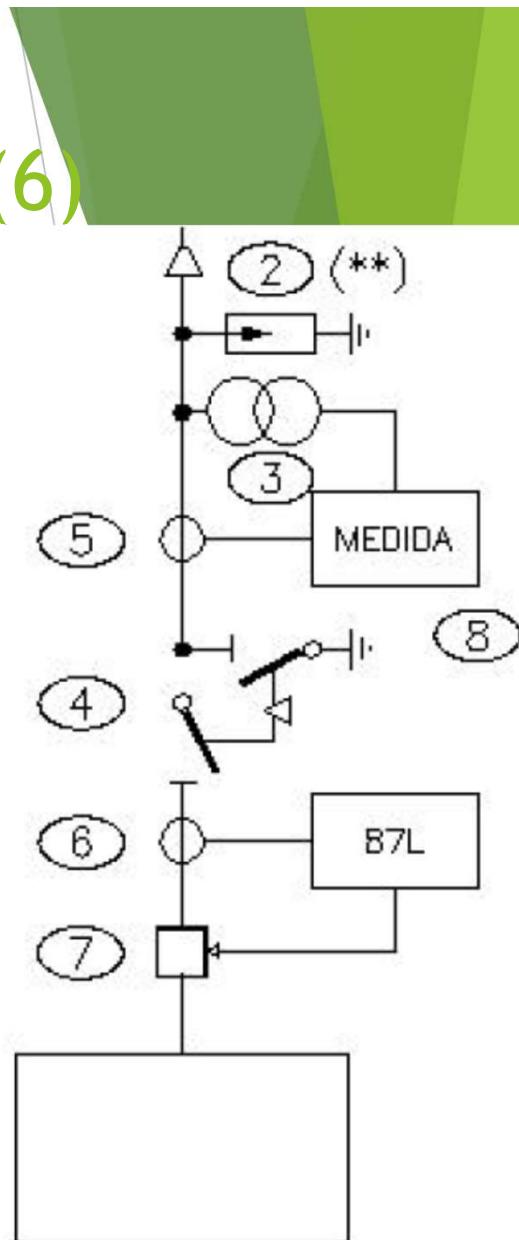
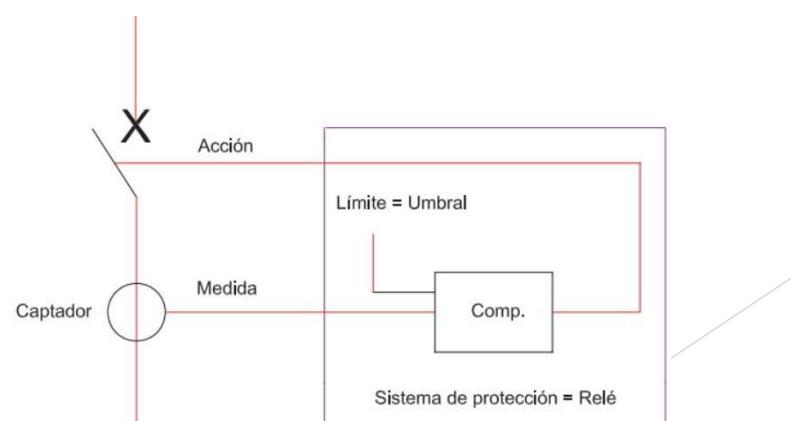
- ▶ Autovàlvula i explosor:
 - ▶ Serveixen per protegir de sobretensions.
 - ▶ Explosors (*pararrayos*):
 - ▶ Són dues peces conductores molt pròximes.
 - ▶ Quan hi ha una sobretensió gran es genera un arc elèctric i queda curtcircuitat.
 - ▶ No funcionen amb petites sobretensions.
- ▶ Autovàlvules:
 - ▶ Son resistències variables dependents de la tensió.
 - ▶ La seva resistència disminueix exponencialment quan puja el voltatge.
 - ▶ Sempre presenten un cert corrent de fuga a terra.



Elements de maniobra i protecció de MT (6)

► Relés:

- S'encarreguen de detectar un cert defecte i provocar el dispar de l'interruptor automàtic.
- Es connecten a transformadors de tensió i intensitat, per treballar amb valors reduïts.
- Cada tipus de relé té un nombre que ens informa de la seva funció i una lletra que sol indicar el que protegeix
 - 87 = diferencial que detecta fugues a terra.
 - 50 i 51 = sobreintensitats.
 - 59 = màxima tensió.
 - 27 = mínima tensió.
 - T = transformador.
 - L = línia (cable).
 - B = barres.



Cel·les (1)

- ▶ Les cel·les són conjunts d'elements que fan una funció concreta.
- ▶ Segons la forma de construir-les n'hi ha de dos tipus: convencionals i modulars o prefabricades.
- ▶ Convencionals:
 - ▶ Són les que contenen els CT convencionals.
 - ▶ Estan fetes d'obra, connectant els diferents elements (seccionadors, conductors, aïlladors...) de forma manual.
 - ▶ Utilitzen aparells de maniobra i protecció d'extinció de l'arc amb aire, el que fa que siguin de grans dimensions.
 - ▶ Actualment ja no s'utilitzen.
 - ▶ [Vídeo](#).

Cel·les (2)

- ▶ Modulars o prefabricades:
 - ▶ Són les que s'utilitzen actualment.
 - ▶ Els elements de protecció i maniobra utilitzen SF6 per extingir l'arc, per tant les dimensions són més compactes.
 - ▶ Es fabriquen de forma modular, de forma que són fàcils d'instal·lar i ampliar (només s'han de connectar entre elles).
 - ▶ Són més segures, ja que contenen elements de seguretat que no permeten, per exemple, obrir un seccionador en càrrega.
 - ▶ Totes les cel·les que estudiarem en endavant seran d'aquest tipus.
- ▶ Les cel·les també es poden classificar segons la funció que fan. A continuació veurem les cel·les més utilitzades.
 - ▶ [Enllaç amb imatges](#).
 - ▶ [Vídeo resum de les diferents cel·les](#).

Cel·la de remont

CMRB



CMRC



Celda de
Remonte
de Barras

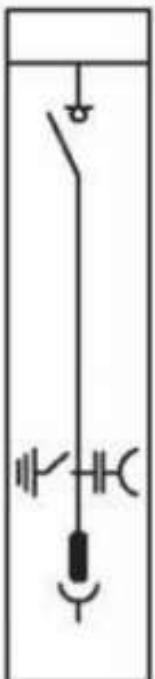
Celda de
Remonte
de Cables

- ▶ Passa el corrent dels cables a l'embarrat, o a l'inrevés.
- ▶ Els cables poden entrar per amunt o per avall
- ▶ Pot dur seccionador de posada a terra o no.
- ▶ No sempre hi es aquesta cel·la.

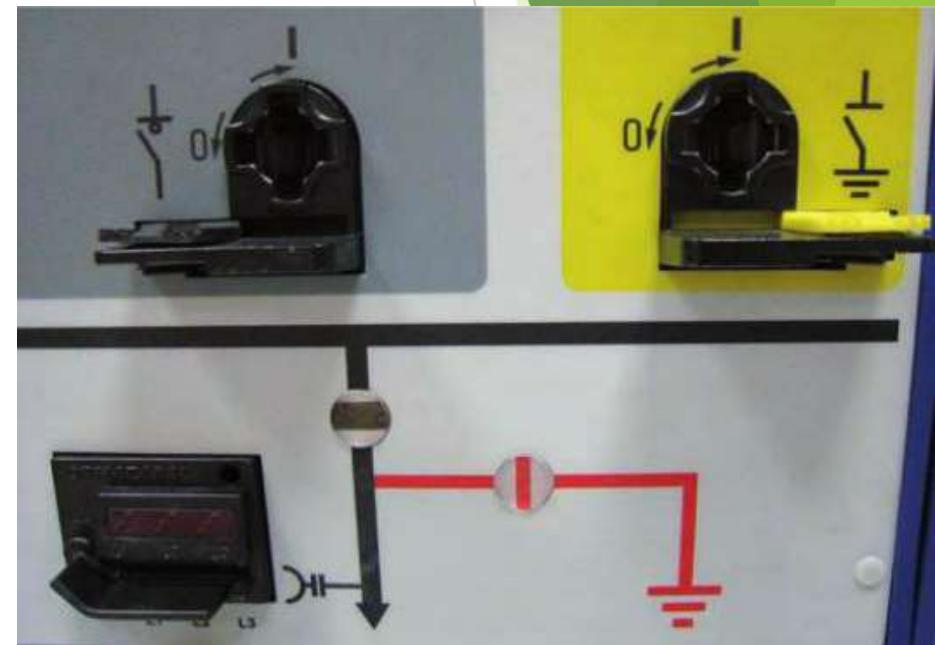


Cel·la de línia

CML

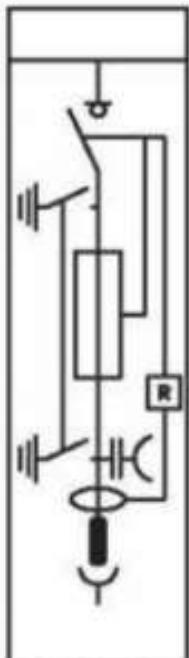


- ▶ Normalment n'hi ha una (CT en punta) o dues (CT en anell) per CT.
- ▶ Permeten connectar i disconnectar el CT de l'alimentació en MT, i posar tots els conductors a terra.
- ▶ Conté interruptor-seccionador i seccionador de posada a terra (o interruptor de tres posicions).
- ▶ A més conté senyalització de tensió.



Cel·la de protecció amb fusibles

CMP-F

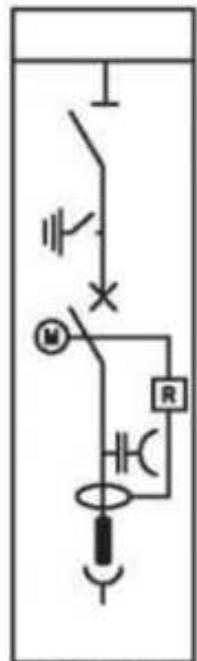


- ▶ Serveix per protegir un transformador.
- ▶ Consta de fusibles, interruptor seccionador, seccionador de posada a terra i senyalització de tensió.
- ▶ La cel·la de la imatge també disposa d'un relé de protecció.



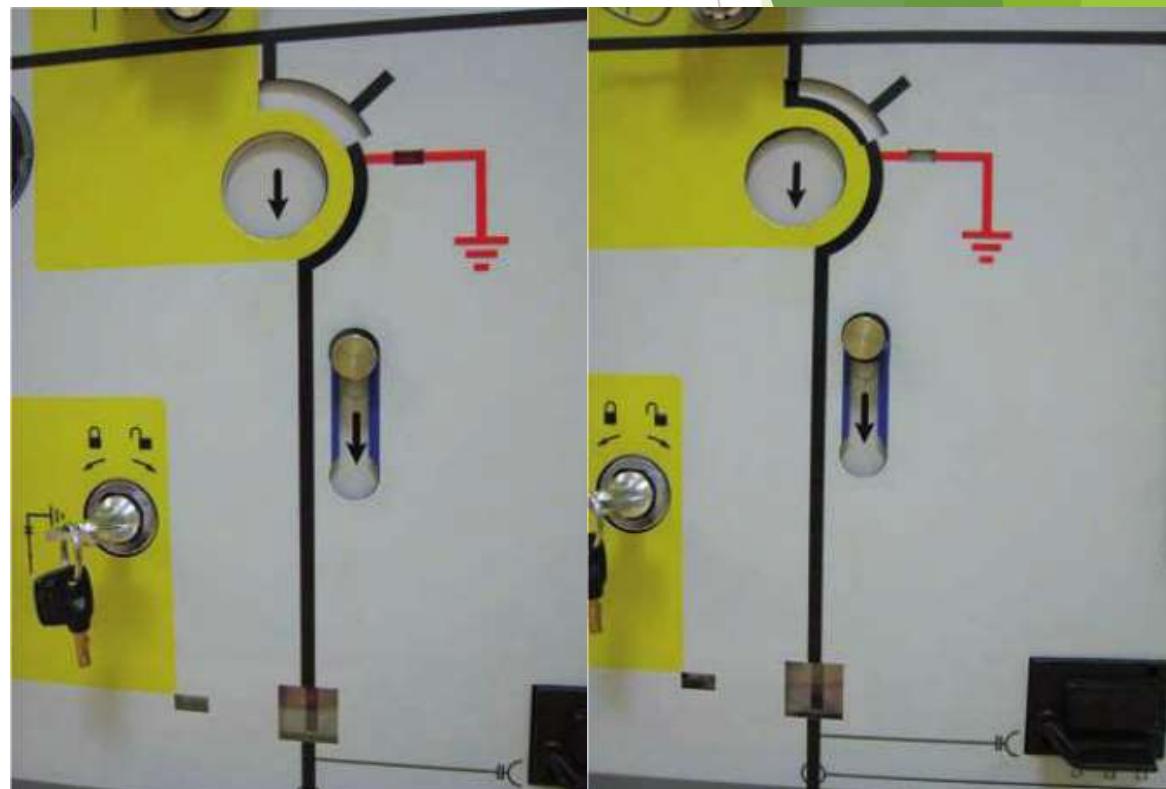
Cel·la de protecció amb interruptor automàtic

CMP-Vm



Celda de
Interruptor
Automático

- ▶ Serveix per protegir un transformador de gran potència o una part del CT.
- ▶ Consta de l'interruptor automàtic, seccionador, seccionador de PAT i senyalització de tensió.
- ▶ La cel·la de la imatge també disposa d'un relé de protecció i d'un IA motoritzat per poder telecomandar-lo.



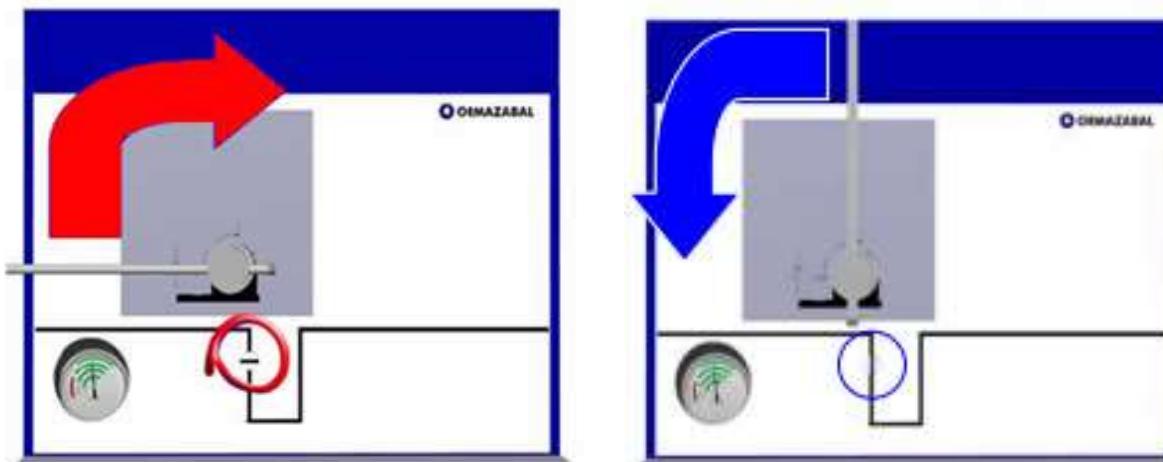
Cel·la d'interruptor passant

CMIP



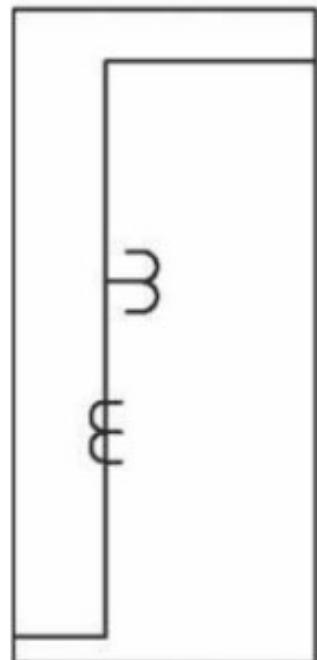
Cel·la de
Int. Pasante

- ▶ Serveix per deixar una part del CT sense tensió.
- ▶ S'utilitza en CT d'abonat, per poder separar la part de la companyia distribuïdora de la part de l'abonat.



Cel·la de mesura

CMM



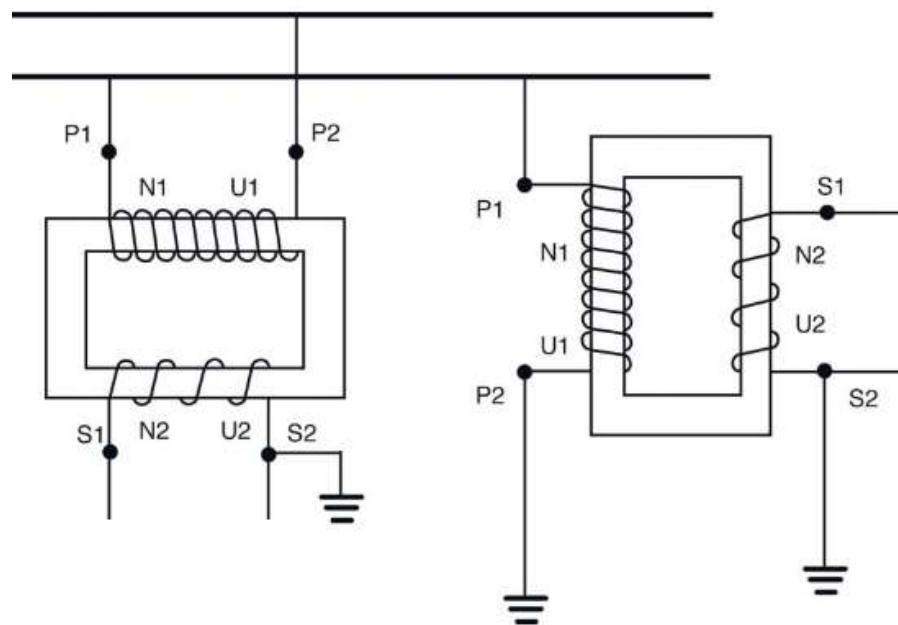
Celda de
Medida

- ▶ Serveix per realitzar la mesura en MT.
- ▶ Aïlla la part de mitjana tensió de la de baixa tensió, ja que la mesura es realitza en baixa tensió.
- ▶ Redueix les magnituds per poder-les mesurar amb equips electrònics.
- ▶ Conté 3 transformadors de tensió i 3 d'intensitat.



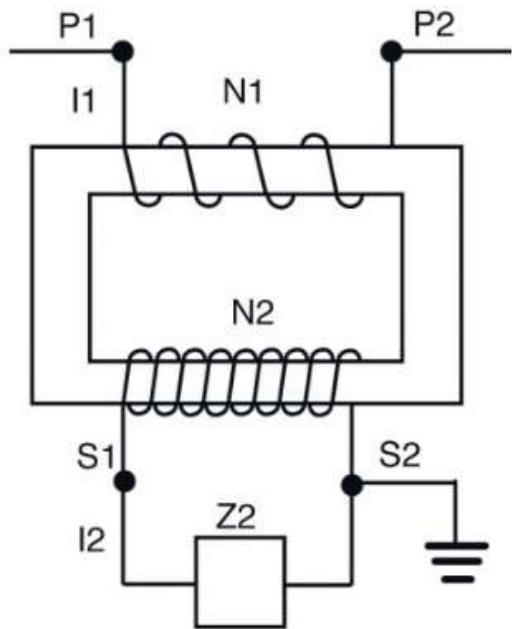
Transformadors de mesura (1)

- ▶ **Transformadors de tensió (TT).** Es connecten entre les fases a la tensió de línia, i en el secundari treuen una tensió de 100 o 110 V. També es poden connectar entre les fases i terra.

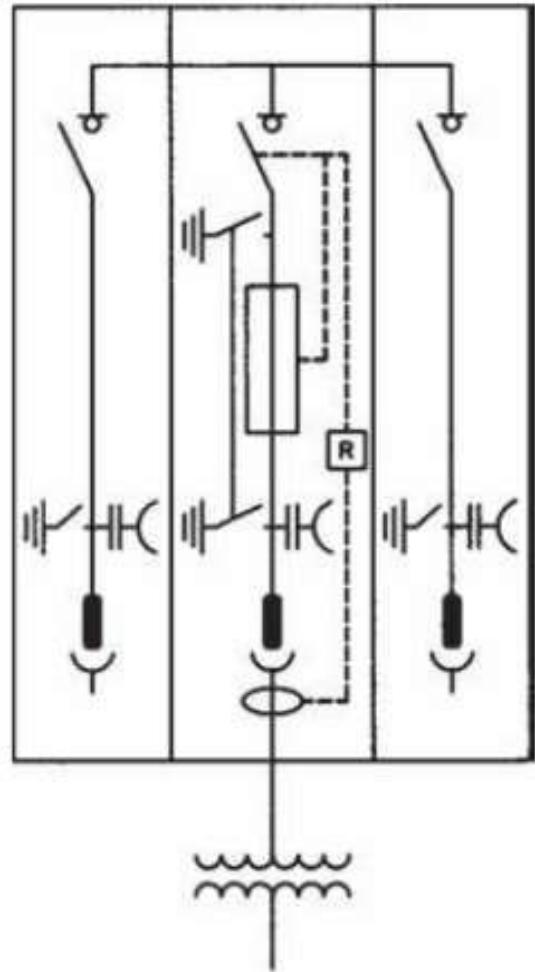


Transformadors de mesura (2)

- ▶ **Transformadors d'intensitat (TI).** Es connecten en sèrie amb cada fase (igual que un amperímetre). En el secundari s'ha de curtcircuitar, i treu un corrent nominal de 1, 2 o 5 A.

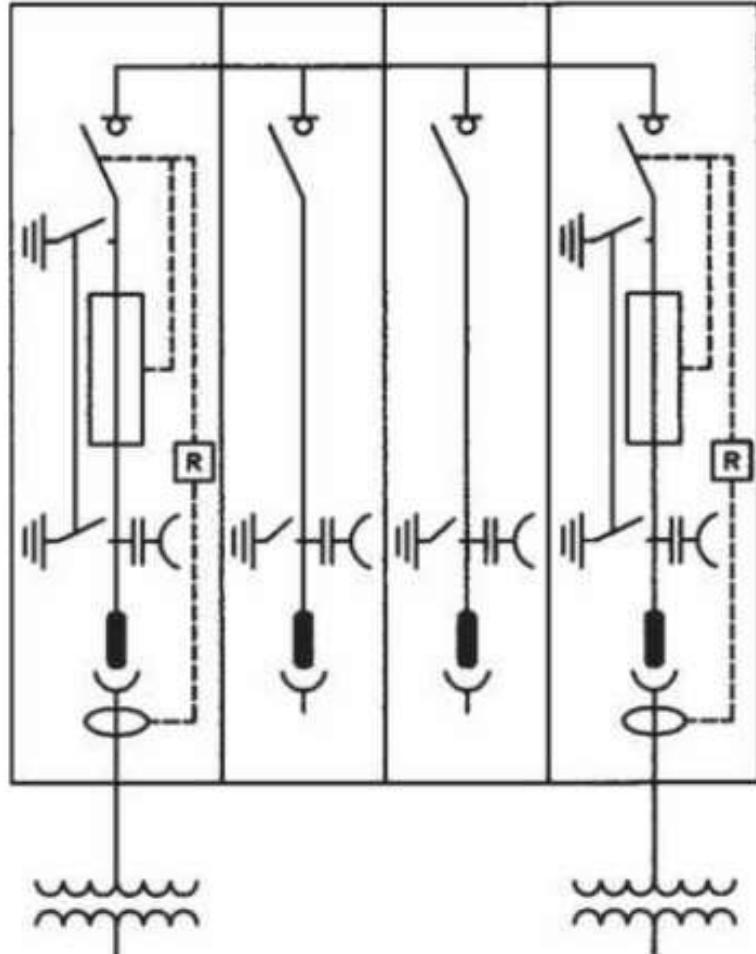


Esquemes unifilars de MT de CT (1)



- ▶ CT en anell amb un únic transformador.
- ▶ Protecció amb fusible i amb relé de corrent de defecte a terra.

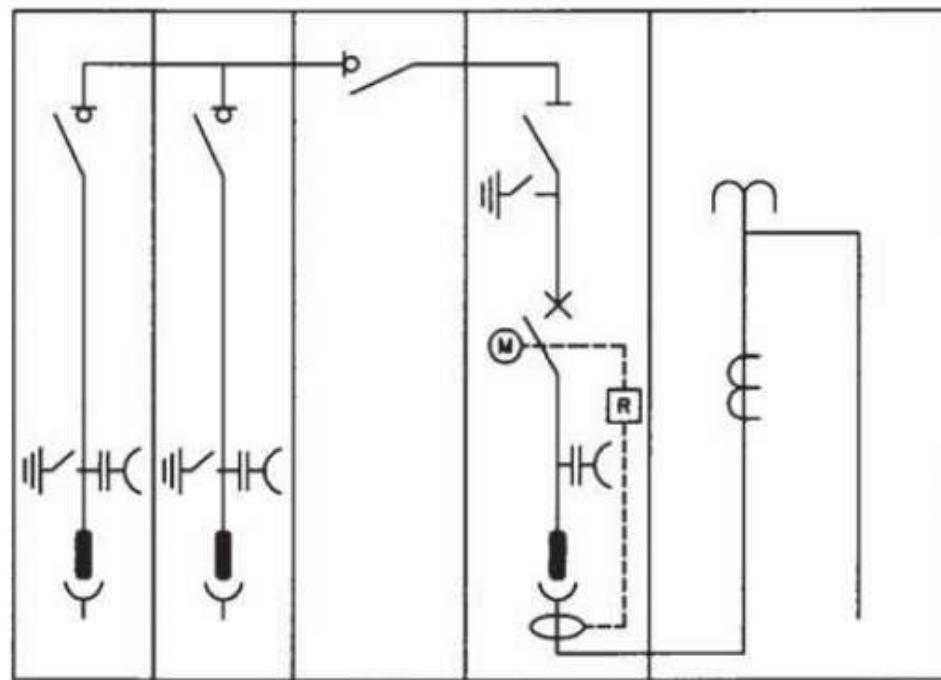
Esquemes unifilars de MT de CT de CT (2)



- ▶ CT en anell amb dos transformadors.
- ▶ Protecció amb fusible i amb relé de corrent de defecte a terra.

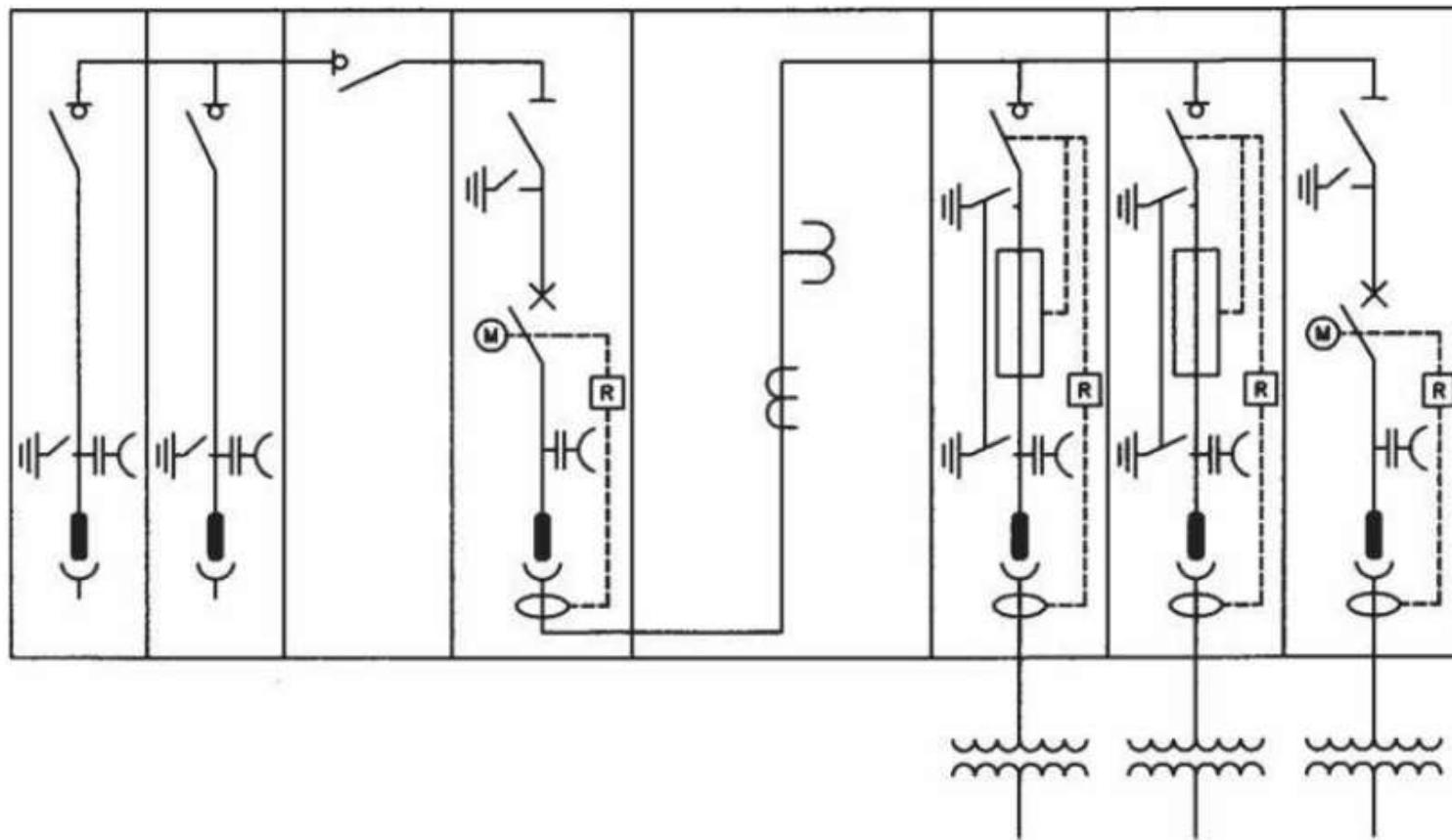
Esquemes unifilars de MT de CT (3)

- ▶ CT en anell amb cel·la de mesura. Protecció amb interruptor automàtic i amb relé de corrent de defecte a terra.
- ▶ Probablement és un CT d'abonat, degut a que la mesura es realitza en AT i conté un interruptor passant.



Esquemes unifilars de MT de CT (4)

- ▶ CT en anell amb varis transformadors.



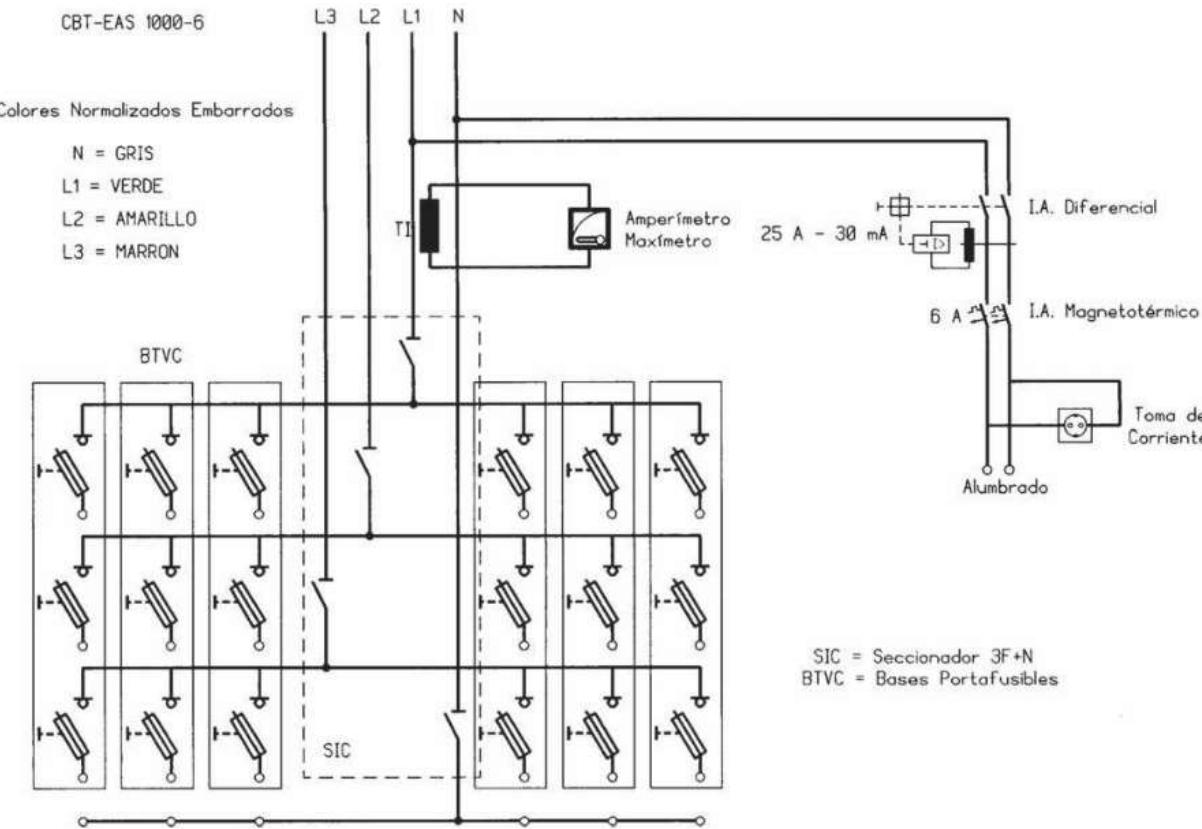
Quadre de baixa tensió (1)

- ▶ Des d'aquest quadre surten les línies de distribució en baixa tensió, que repartiran l'energia fins als consumidors finals.
- ▶ Conté bases portafusibles que a més de la funció de protecció fan també la funció de interruptor-seccionador.
- ▶ Només van protegides les fases amb fusibles, **NO EL NEUTRE**.
- ▶ Pot contenir un interruptor-seccionador per deixar tot el quadre de BT sense tensió.
- ▶ També sol incloure un petit quadre amb un diferencial i un magnetotèrmic per a l'enllumenat i algun endoll.



Quadre de baixa tensió (2)

► Esquema típic:



Quadre de baixa tensió (3)

- ▶ Es aquesta imatge es poden veure els colors normalitzats de les fases:



Quadre de baixa tensió (4)



- ▶ Els fusibles utilitzats són els de ganivet (cuchilla) o model NH, de tipus gG (general).
- ▶ S'utilitzen de diferents dimensions segons el corrent màxim que suporta la base portafusibles.
- ▶ Tenen un poder de tall d'uns 100 kA, i un corrent nominal de fins a 1.000 A.