

Centres de transformació

Carles Sabaté Arrese

Instal·lacions de distribució

Índex

Introducció	5
Resultats d'aprenentatge	7
1 Configuració dels centres de transformació (CT)	9
1.1 Estructura del sistema elèctric	9
1.2 Situació i funció dels centres de transformació en el sistema elèctric	11
1.3 Classificació dels centres de transformació (CT)	11
1.3.1 El centres de transformació d'empresa i d'abonat	12
1.4 Centres de transformació d'abonat o client amb dues alimentacions	13
1.4.1 Esquema radial o en antena	13
1.4.2 Esquema en anell o de bucle obert	14
1.4.3 Esquema de distribució amb doble procedència	15
1.5 Parts fonamentals d'un centre de transformació (CT)	16
1.5.1 Equip de BT en un centre de transformació (CT) d'empresa	17
1.5.2 Equip de BT en centre de transformació (CT) d'abonat	17
1.6 Transformador de distribució	18
1.7 Transformadors de mesura i protecció	21
1.7.1 Tipus i models constructius actuals	22
1.7.2 Connexió de transformadors de tensió (TT)	23
1.7.3 Connexió de transformadors d'intensitat (TI)	25
1.7.4 Diferents formes de connexió a la línia	26
1.8 Aparellatge: característiques i funció	26
1.8.1 Proteccions d'un centre de transformació (CT) d'empresa	27
1.8.2 Proteccions d'un centre de transformació (CT) d'abonat	28
1.9 Esquemes unifilars de centre de transformació	29
1.9.1 Centres de distribució	29
1.9.2 Centres d'abonat	30
1.10 Cel·les: tipus, senyalització, connexions entre cel·les	32
1.11 Quadre de distribució de baixa tensió	35
1.12 Instal·lació de posada a terra	36
1.12.1 Línies de terra	37
1.12.2 Elèctrodes	38
1.12.3 Posada a terra del neutre del transformador	38
2 Operacions de manteniment, prevenció de riscos laborals i protecció ambiental en centres de transformació	41
2.1 Instruccions generals per a la realització de maniobres	41
2.1.1 Maniobres en la cel·la de l'interruptor	42
2.1.2 Maniobres en la cel·la de protecció amb fusibles	42
2.1.3 Maniobres en la cel·la de protecció amb interruptor automàtic	43
2.2 Utilització dels equips de protecció individual	43
2.3 Eines i instrumentació específica	44

2.4	Maniobres bàsiques segons el tipus de cel·la	46
2.4.1	Cel·la de línia (CML)	46
2.4.2	Cel·la d'interruptor passant (CMIP)	47
2.4.3	Cel·la de protecció amb fusibles (CMP-F)	48
2.4.4	Cel·la d'interruptor automàtic (CMP-A)	48
2.5	Plans de manteniment en centres de transformació	48
2.6	Avaries tipus en centres de transformació: localització i reparació	49
2.7	Mesures característiques i paràmetres de control per a centres de transformació	50
2.7.1	Operacions en centres de transformació d'interior	50
2.7.2	Operacions en centres de transformació d'intempèrie	51
2.8	Condicions de posada en servei d'un centre de transformació	53
2.9	Identificació dels riscos més importants	54
2.10	Mesures de seguretat i de protecció individual	54
2.10.1	Treballs en tensió	58
2.10.2	Treballs en proximitat	59
2.10.3	Treballs en transformadors i en màquines en alta tensió	60
2.11	Classificació dels residus per a la seva retirada	60
2.11.1	L'hexafluorur de sofre	60
2.12	Compliment de la normativa de protecció ambiental i de prevenció de riscos laborals	61

Introducció

Atesa la gran importància de l'energia elèctrica en la nostra civilització, l'estudi de les instal·lacions de distribució s'inicia amb el recorregut bàsic per aquesta energia, des de la producció fins a arribar al consum.

En els primers dies de la distribució elèctrica, els generadors de corrent continu estaven connectats a les càrregues al mateix voltatge.

La generació, la transmissió i la càrrega havia de ser de la mateixa tensió, perquè no hi havia manera prou eficient de canviar els nivells de tensió de corrent continu.

Les tensions utilitzades eren de 100 V, que era la tensió de les càrregues principals (làmpades incandescent). Aquesta baixa tensió també requeria menys aïllament per a una distribució segura als edificis.

D'altra banda, per mantenir les pèrdues elèctriques dels cables a un nivell econòmicament raonable, el sistema de corrent continu necessitava cables gruixuts i la producció local d'electricitat.

Les primeres plantes de generació de corrent continu havien d'estar com a màxim a 2,4 km del client més allunyat, per evitar que els conductors fossin excessivament grans i cars. En l'actualitat la distribució de corrent es fa amb corrent altern i tensions molt més elevades, pels canvis en consum elèctric i la seva optimització.

Deixant de banda la producció elèctrica pròpiament dita i el transport amb alta tensió, l'aprofundiment en l'estudi de les instal·lacions de distribució en la unitat 1 comença amb els centres de transformació, el seu manteniment i les normes de prevenció de riscos laborals i de protecció ambiental que s'hi han de seguir.

En l'apartat "Configuració dels centres de transformació (CT)" s'identifiquen les característiques i les funcions que fan els centres de transformació en les xarxes de distribució d'energia elèctrica, i també s'identifiquen les parts de l'estructura dels centres de transformació, a partir d'esquemes i instal·lacions, incloent-hi transformadors, aparellatge i cel·les, així com instal·lacions de posada a terra.

L'apartat "Operacions de manteniment de centres de transformació i prevenció de riscos laborals i protecció ambiental" ens permet conèixer els procediments de manteniment dels centres de transformació, analitzar protocols i identificar activitats. També s'apliquen les normes de prevenció de riscos laborals i de protecció ambiental en el muntatge i en el manteniment d'instal·lacions elèctriques de distribució, per a la qual cosa s'han d'identificar els riscos associats, les mesures i els equips per prevenir-los.

Per treballar els continguts d'aquesta unitat és convenient fer les activitats i els exercicis d'autoavaluació, i consultar les adreces web d'interès.

Resultats d'aprenentatge

En finalitzar aquesta unitat l'alumne/a:

1. Identifica la configuració i els tipus de centres de transformació, descrivint les característiques i funcions de cada element.

- Reconeix la funció del centre de transformació i la seva situació a la xarxa de generació, transport i distribució d'energia elèctrica.
- Classifica els centres de transformació.
- Identifica les parts fonamentals d'un centre de transformació.
- Descriu la funció, característiques i senyalitzacions dels diferents tipus de cel·les.
- Interpreta esquemes elèctrics unifilars dels diferents tipus de centres de transformació i de les diferents disposicions de cel·les.
- Identifica els aparells de maniobra i els elements de protecció de les cel·les.
- Descriu les característiques dels transformadors de mesura i protecció, relacionant-los amb la seva funció.
- Interpreta esquemes de connexió de transformadors de mesura i protecció.
- Descriu les característiques, funció i comandament dels aparells de maniobra i dels elements de protecció.
- Identifica les característiques i connexions dels quadres de distribució de baixa tensió.
- Descriu la instal·lació de posada a terra d'un centre de transformació.

2. Reconeix els procediments de manteniment dels centres de transformació analitzant protocols i identificant activitats.

- Descriu les fases i procediments de connexió del transformador.
- Descriu les fases i procediments de connexió de cel·les.
- Reconeix les instruccions generals per a la realització de maniobres en un centre de transformació.
- Detalla les maniobres que es deuen realitzar a les cel·les, en l'ordre correcte i sobre els elements adequats.
- Descriu les operacions de seguretat prèvies a la intervenció (tall de fonts de tensió, enclavaments i bloquejos, detecció d'absència de tensió, entre d'altres).
- Descriu els procediments per a la realització de mesures de paràmetres característics.

- Descriu el procediment a seguir en un supòsit de manteniment correctiu.
3. Aplica les normes de prevenció de riscos laborals i de protecció ambiental en el muntatge i manteniment d'instal·lacions elèctriques de distribució, identificant els riscos associats, les mesures i equips per prevenir-los.
- Identifica els riscos laborals en les tasques de manteniment de centres de transformació i en les de muntatge i manteniment de línies aèries i subterrànies de baixa tensió i instal·lacions d'enllaç (manipulació de materials, equips, eines, utensilis, màquines, realització de maniobres, verificació d'instal·lacions, reparació i substitució d'elements, treballs en altura, treballs en rases i galeries, entre d'altres).
 - Determina les mesures de seguretat i de protecció personal que s'han d'adoptar en cada cas.
 - Identifica les possibles fonts de contaminació de l'entorn ambiental.
 - Valora l'ordre i la netedat d'instal·lacions i equips com a primer factor de prevenció de riscos.

1. Configuració dels centres de transformació (CT)

Un centre de transformació (CT) és una instal·lació proveïda d'un o més transformadors reductors amb l'aparellatge i l'obra complementària necessaris.

Els CT solen situar-se entre la subestació elèctrica i l'abonat i redueixen els valors de servei de la xarxa elèctrica de mitjà a baixa tensió.

En aquest sentit i per tal de poder configurar els CT, el Reial decret 1955/2000 marca l'obligatorietat de reservar un local en els edificis on la potència superi els 100 kW, tenint en consideració les dimensions necessàries per a tot l'equip elèctric i també si la xarxa de subministrament és aèria o subterrània.

1.1 Estructura del sistema elèctric

El sistema de subministrament elèctric sempre comprèn el conjunt de mitjans i elements útils per a la generació, el transport i la distribució de l'energia elèctrica. Aquest conjunt està dotat de mecanismes de control, seguretat i protecció.

Aquest sistema elèctric està regulat per un sistema de control centralitzat que garanteix una explotació racional dels recursos de generació i una qualitat de servei d'acord amb la demanda dels usuaris, compensant les possibles incidències i fallades produïdes.

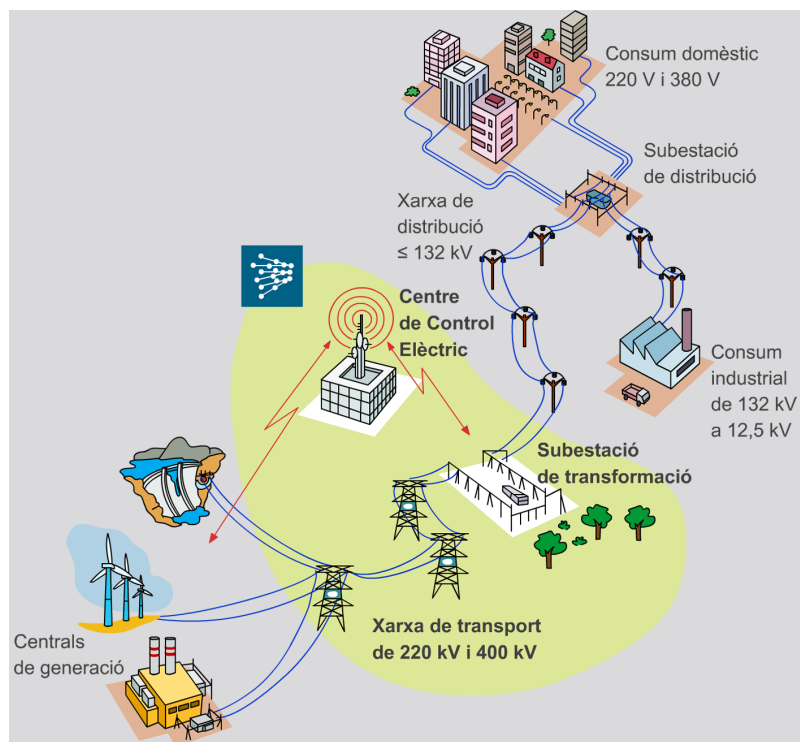
Amb aquest objectiu, tant la xarxa de transport com les subestacions que hi estan associades poden ser propietat, totalment o en part i, en tot cas, estar operades i gestionades per un ens independent de les companyies propietàries de les centrals i de les distribuïdores o comercialitzadores d'electricitat.

Així mateix, el sistema necessita una organització econòmica centralitzada per planificar la producció i la remuneració als diferents agents del mercat si, com passa actualment en molts casos, existeixen múltiples empreses que participen en les activitats de generació, distribució i comercialització.

El sistema elèctric (figura 1.1) està format per tres subsistemes:

- **Producció**, en el qual s'inclouen les centrals generadores d'energia, ja siguin hidroelèctriques, nuclears, eòliques, etc.
- **Transport**, en el qual s'inclouen línies de transport MAT (molt alta tensió), les centrals elevadores i reductores, i les estacions de distribució.
- **Distribució**, que està constituït per xarxes primàries de distribució, estacions transformadores de distribució i xarxes secundàries de distribució.

FIGURA 1.1. Sistema elèctric



Les xarxes de distribució poden ser de dos tipus:

- **Primària:** formada per línies aèries o subterrànies d'MT (45, 66 o 132 kV) i subestacions de transformació d'MT a BT.
- **Secundària:** formada per línies aèries o subterrànies de 15 a 20 kV, centres de transformació d'MT a BT i línies aèries o subterrànies de BT.

La freqüència nominal obligatòria per a la xarxa elèctrica és de 50 Hz.

Les línies elèctriques incloses en el Reglament sobre condicions tècniques i garanties de seguretat en línies elèctriques d'alta tensió es classifiquen, d'acord amb la tensió nominal, en les categories següents:

- **Categoria especial,** en la qual s'inclouen les de tensió nominal igual o superior a 220 kV i les de tensió inferior que formin part de la xarxa de transport d'acord amb el que estableix l'article 5 del Reial decret 1955/2000, d'1 de desembre.
- **Primera categoria,** que inclou les de tensió nominal inferior a 220 kV i superior a 66 kV.
- **Segona categoria,** en la qual s'encabeixen aquelles que tenen una tensió nominal igual o inferior a 66 kV i superior a 30 kV.
- **Tercera categoria,** en la qual s'encabeixen aquelles que tenen una tensió nominal igual o inferior a 30 kV i superior a 1 kV.

Si en la línia hi ha circuits o elements en què s'utilitzen diferents tensions, el conjunt de la línia s'ha de considerar d'acord amb el valor de la tensió nominal més gran.

Quan, en el **projecte d'una línia nova**, es consideri necessari adoptar una tensió nominal superior a 400 kV, l'Administració competent ha d'establir la tensió que cal autoritzar.

1.2 Situació i funció dels centres de transformació en el sistema elèctric

Les tensions de generació de l'energia elèctrica en les centrals oscil·la entre 6 kV i 18 kV, tensions que no són suficient per transportar aquesta energia a grans distàncies i portar-la fins a on acostumen a estar els centres de consum.

Un **centre de transformació** (CT) és la instal·lació proveïda d'un transformador reductor d'alta a baixa tensió, o diversos, amb l'aparellatge i l'obra complementària que calgui. A la sortida de les centrals, aquestes tensions són elevades a valors superiors (132 kV, 220 kV i 380 kV...) perquè les pèrdues degudes a l'**efecte joule** siguin tan petites com sigui possible durant el transport de l'energia elèctrica de les centrals als centres de consum.

La tensió de les xarxes de distribució (20 kV, 66 kV...) que alimenten els centres de consum necessita ser reduïda a la tensió d'utilització en baixa tensió, que és de 400/230 V, cosa que es fa en els **centres de transformació** mitjançant un transformador que rep el nom de **transformador de distribució**.

1.3 Classificació dels centres de transformació (CT)

Els centres de transformació es poden classificar segons els diferents criteris que es descriuen tot seguit:

- Per la seva **ubicació**: d'acord amb la seva ubicació, les Normes tecnològiques de l'edificació (NTE) classifiquen els CT en els tipus següents:
 - **Interiors**: quan el recinte del CT està situat dins d'un edifici o nau, per exemple en la planta baixa, soterrani, etc.
 - **Exteriors**: quan el recinte que conté el CT està fora d'un edifici, és a dir, no en forma part. En aquest cas, poden ser:
 - * De superfície: per exemple, una caseta d'obra civil o prefabricada, dedicada exclusivament al CT, edificada sobre la superfície del terreny.
 - * Subterrani: per exemple, un recinte excavat sota d'un carrer (habitualment la vorera).

* Semisoterrani: situació intermèdia, una part queda sota de la cota zero del terreny i una altra part queda per damunt d'aquesta cota zero.

- Per la **connexió de servei**: és a dir, d'acord amb la connexió d'alimentació de l'MT, poden ser alimentats per línia aèria o per cable subterrani.
- Per l'**emplaçament**: segons on sigui l'emplaçament dels aparells que els constitueixen, els centres de transformació es poden classificar també de la manera següent:
 - **Interiors**: quan els aparells (transformadors i equips d'MT i BT) estan dins d'un recinte tancat.
 - **Intempèrie**: quan els aparells queden a la intempèrie, per exemple sobre pals o bé en envolupants prefabricades, és a dir, transformadors i cabines construïdes per servir a la intempèrie.
- Per la seva **alimentació**: de manera que, depenent de la seva alimentació a la xarxa de distribució, els **centres de transformació** poden ser:
 - **de punta**: CT situat al final del ramal d'una xarxa;
 - **de transformació de pas**: CT en un punt del ramal d'una xarxa.
- Per la seva **propietat**: els centres de transformació (CT) poden ser:
 - d'**empresa**;
 - d'**abonat**.

1.3.1 El centres de transformació d'empresa i d'abonat

Atenent a la propietat, els centres de transformació poden ser d'empresa i d'abonat. Quan es tracta d'alimentar diversos abonats en BT, l'empresa distribuïdora instal·la un centre de transformació de potència adequada al consum previst del conjunt d'abonats. Per tant, el centre de transformació és propietat de l'empresa subministradora d'electricitat, la qual n'efectua l'explotació i el manteniment, i es responsabilitza del seu funcionament. Així doncs, aquest tipus de CT forma part de la xarxa de distribució també anomenada **d'empresa**.

Contractar mitja tensió

Ara bé, a partir d'una determinada potència i/o d'un determinat consum, hi ha l'opció de contractar el subministrament d'energia directament en mitja tensió (MT). En aquest cas, l'abonat ha d'instal·lar el seu propi centre de transformació i realitzar-ne l'explotació i el manteniment. Aleshores es parla d'un **centre de transformació d'abonat**.

Com sigui que el preu de l'energia en MT és més baix que en BT, a partir de certes potències (kVA) i/o de certs consums (kWh) és més favorable contractar el subministrament en MT, tenint en compte el cost del centre de transformació i el seu manteniment (ambdós a càrrec de l'abonat). Aquesta opció de centre de transformació propi presenta altres avantatges addicionals:

- la independència respecte d'altres abonats de BT;
- el fet de poder triar el règim de neutre de BT més convenient, aspecte important per a certes indústries, per exemple les de procés continu, en les quals la continuïtat de servei pot ser prioritària;

- el fet de poder construir el centre de transformació, ja previst per a futures ampliacions.

Així doncs, entre els **centres de transformació d'empresa i d'abonat**, hi ha **diferències** pel que fa a l'esquema elèctric de cadascun d'ells, els tipus d'aparells, la forma d'explotació i la protecció, entre altres.

Els **centres de transformació d'empresa** són, en general, de concepció més simple que els centres de transformació d'abonat, els quals són, en molts casos, de potència més elevada i amb un esquema elèctric més complex, entre altres motius pel fet de tenir l'**equip de comptatge** en el mateix centre de transformació i en el costat d'MT.

1.4 Centres de transformació d'abonat o client amb dues alimentacions

La classificació dels centres de transformació (CT) segons la seva alimentació a la xarxa de distribució, és a dir, en *CT de punta* i *CT de pas*, és, però, molt simplificada. De fet, l'alimentació, quan és considerada des del mateix CT, pot ser:

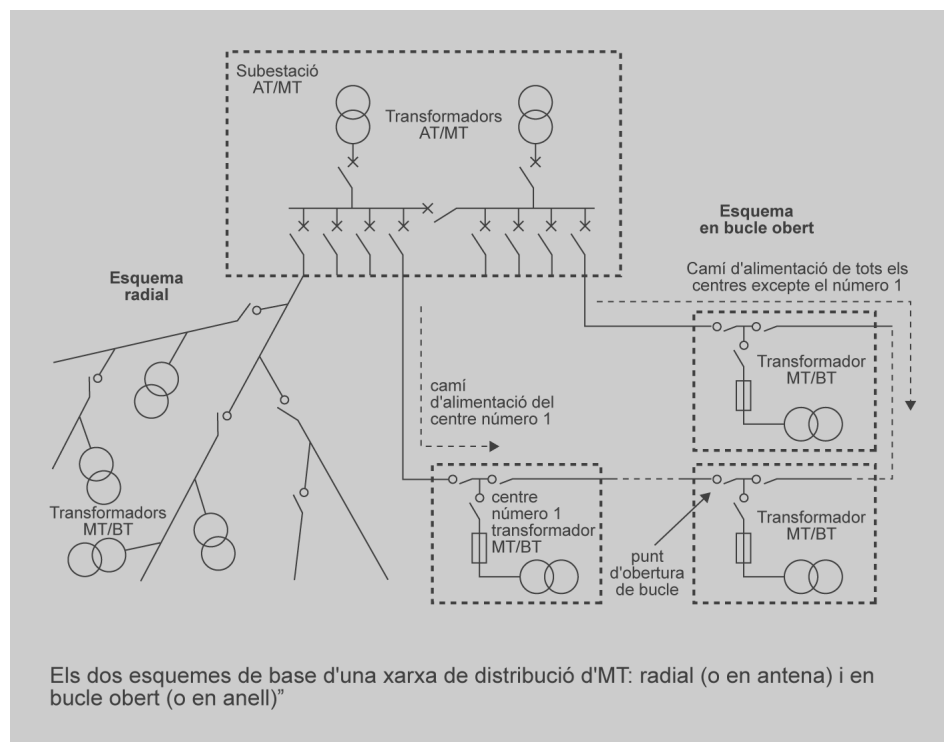
- amb **un sola línia** d'arribada d'alimentació;
- amb **dues línies** d'arribada d'alimentació, procedents de la mateixa estació transformadora AT/MT.

Les alternatives d'una sola línia o de dues línies responen a la diferent configuració que pot tenir la xarxa de distribució en MT, la qual es connecta al centre de transformació.

1.4.1 Esquema radial o en antena

El principi de funcionament de l'**esquema radial** (figura 1.2) o **en antena** és d'una sola via d'alimentació. Això significa que qualsevol punt de consum en aquesta estructura només pot ser alimentat a través d'un únic possible camí elèctric.

L'esquema radial es relaciona amb una distribució de tipus aeri i s'utilitza sobretot en la distribució d'MT en el medi rural.

FIGURA 1.2. Esquema radial

L'**esquema radial** és de tipus **arborescent**. Aquesta arborescència es desenvolupa a partir dels punts d'alimentació, que constitueixen les subestacions de distribució pública AT/MT o MT/MT. Permet fàcilment –i amb un cost menor– accedir a punts de consum de baixa densitat de càrrega (= 10 kVA) i àmpliament repartits geogràficament (= 100 km²).

1.4.2 Esquema en anell o de bucle obert

Normalment, l'**esquema en anell** està obert en un punt, raó per la qual rep el nom també de "bucle obert". L'esquema de bucle obert o en anell està representat específicament en la figura 1.3 (vegeu també la figura 1.2). La línia de distribució en MT que té com a punt de partida la subestació receptora AT/MT (o MT/MT) forma un anell que va recorrent els centres de transformació, de manera que "entra i surt" de cada un d'ells.

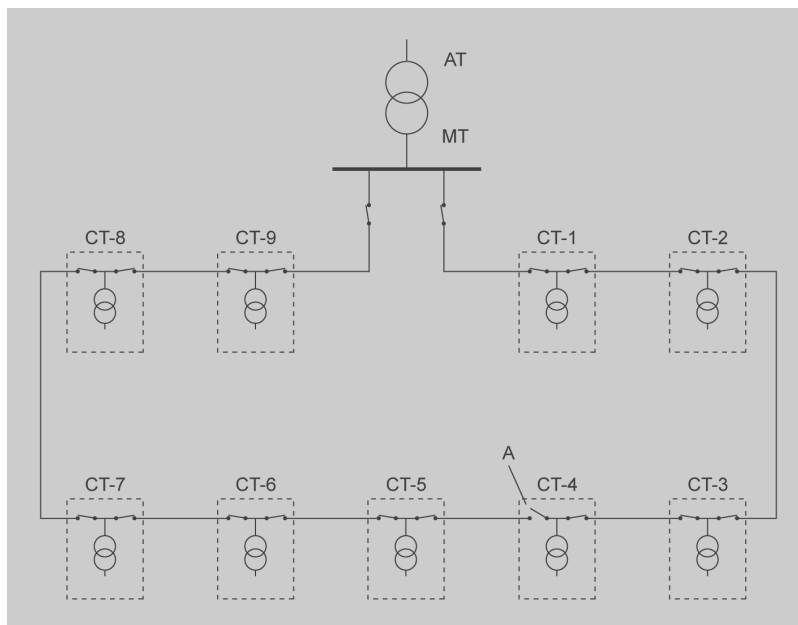
Respecte de la distribució radial (o d'antena), la **distribució en bucle o en anell** garanteix una major continuïtat en l'alimentació, és a dir, una "qualitat de servei" millor, tot i que el cost d'instal·lació és més elevat.

Exemple d'esquema de distribució en bucle obert

A la figura 1.3, és l'interruptor "A" del CT-4. En aquest cas, els CT-1 a CT-4 estan alimentats "per la dreta" i la resta, de CT-5 a CT-9, ho estan "per l'esquerra". Si, per exemple, ha de quedar fora de servei el tram de línia entre CT-6 i CT-7, sigui per avaria en el tram o per

necessitats d'exploració, s'obren els interruptors en dos extrems d'aquest tram, en CT-6 i CT-7, i es tanca l'interruptor "A" a CT-4. Ara bé, CT-5 i CT-6 passen a quedar alimentats "per la dreta" juntament amb CT-1 a CT-4, i CT-7 a CT-9 continuen alimentats "per l'esquerra". Amb això, malgrat la interrupció en la línia, tots els CT continuen alimentats i en servei.

FIGURA 1.3. Esquema de distribució en anell o bucle obert



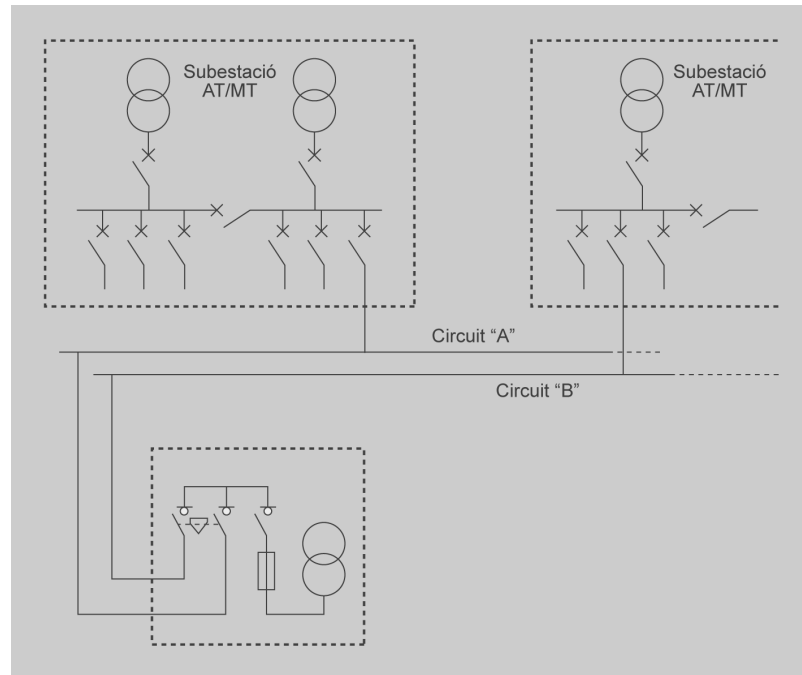
En l'esquema de **bucle obert** o **en anell**, la interrupció en el servei és, en principi, tan sols del temps necessari per a l'obertura i el tancament dels interruptors, si bé a la pràctica s'hi ha d'afegir el temps necessari perquè el personal d'exploració es desplaci als corresponents centres de transformació (i a les ciutats, la qual cosa significa fer-ho en diferents condicions de congestió de trànsit).

La distribució en bucle o anell s'utilitza en zones de densitat de consum més gran, com són, per exemple, les zones urbanes, els polígons industrials i/o el sector terciari (serveis). A les zones urbanes acostuma a estar feta gairebé exclusivament de cable subterrani.

1.4.3 Esquema de distribució amb doble procedència

Hi ha també una tercera alternativa, molt menys freqüent, que consisteix en **dues línies d'arribada d'alimentació** procedents de dues estacions transformadores AT/MT diferents (figura 1.4). Aquest esquema de distribució s'utilitza en aquells casos en què la continuïtat de servei és absolutament primordial.

Per ser eficaç, l'alternativa de la distribució amb doble procedència precisa que els dos interruptors corresponents a les dues línies d'arribada estiguin equipats amb un dispositiu de commutació automàtica.

FIGURA 1.4. Esquema de distribució amb doble procedència**Exemple de l'esquema de distribució amb doble procedència**

Normalment, el centre de transformació (CT) s'alimenta per una de les dues línies, per exemple la del circuit A de la figura 1.4. En cas de fallada d'aquesta alimentació, el CT detecta l'absència de tensió en aquesta línia, verifica que hi ha tensió en la línia del circuit B, i aleshores ordena l'obertura de l'interruptor de la línia A i el tancament del de la línia B.

1.5 Parts fonamentals d'un centre de transformació (CT)

Sigui quin sigui el tipus de centre de transformació (CT), quant a l'alimentació, tarifació, disposició interior, etc., els seus components bàsics són sempre els següents:

- L'equip d'MT
- El transformador o transformadors d'MT/BT
- L'equip de BT

L'equip d'MT està compost dels elements següents:

- Seccionadors
- Seccionadors de posada a terra (SPT)
- Interruptors automàtics
- Interruptors-seccionadors
- Interruptors-seccionadors amb fusibles

Respecte de l'equip de BT que fan servir, es diferencia en funció de la propietat del CT: entre els centres de transformació (CT) d'empresa i els centres de transformació (CT) d'abonat.

1.5.1 Equip de BT en un centre de transformació (CT) d'empresa

L'equip de BT és d'una concepció particularment senzilla. Consisteix bàsicament en un quadre o armari amb els quatre terminals (tres fases i un neutre) on es connecten els conductors d'enllaç procedents del transformador, i un cert nombre de sortides de BT cap als abonats –o conjunts d'abonats– protegides només amb fusibles seccionadors.

El control del corrent s'efectua mitjançant un transformador d'intensitat i un amperímetre, moltes vegades en una sola fase. Sovint l'amperímetre no està graduat en amperes, sinó en percentatge (%) de la intensitat nominal del transformador: (10-20-30... 100%). L'amperímetre sol ser un **maxímetre** (amperímetre tèrmic) que permet conèixer el valor màxim assolit per la càrrega del transformador.

El quadre de l'equip BT té, a més, dues sortides de serveis auxiliars per al mateix centre de transformació (CT), una per al circuit de protecció contra sobretemperatures del transformador (termòmetre de contactes elèctrics o termòstat), i l'altra per a l'enllumenat del centre de transformació (CT), i un punt de presa de corrent per a ús general (llum portàtil, eina elèctrica, etc.).

1.5.2 Equip de BT en centre de transformació (CT) d'abonat

Els centres de transformació d'abonat són, en molts casos, de potència més elevada i amb un esquema elèctric més complex, entre altres motius pel fet de tenir l'equip de comptatge en el mateix centre de transformació i en el costat d'MT.

L'**equip de BT** en un centre de transformació d'abonat bàsicament té els elements següents:

- Un interruptor automàtic a la sortida de cada un dels transformadors.
- Un joc de barres generals (tres fases i neutre) conjunt per als diversos transformadors, o bé jocs de barres separats per a cada transformador.
- Un cert nombre de sortides, equipades cadascuna amb els elements de maniobra i protecció, tals com interruptor automàtic, interruptor amb fusibles, interruptor magnetotèrmic, interruptor diferencial, etc. Aquestes sortides poden ser trifàsiques (amb neutre o sense) o bipolars (2 fases o fase i neutre).

- Elements de mesura: voltímetres i amperímetres (amb els seus transformadors d'intensitat) a les entrades, i amperímetres amb els seus transformadors d'intensitat a cada sortida (habitualment en una sola fase).
- De vegades, comptadors també d'activa, o activa i reactiva.

El conjunt d'elements de l'equip de BT constitueix el **quadre general de BT** del centre de transformació. Normalment, el quadre general de BT **no està ubicat dins del recinte del centre de transformació**, sinó que, tot i ser-hi proper, n'és exterior i, en conseqüència, no forma part pròpiament del centre de transformació (CT).

El quadre general de BT té també la funció de quadre de distribució principal.

La connexió del quadre general BT al centre de transformació

Dels borns secundaris del transformador –o dels transformadors– surten els cables que van a connectar als interruptors d'entrada del quadre de BT. Això permet mantenir el CT normalment tancat, sense que sigui necessari accedir a l'interior seu per a la maniobra i l'operació del **quadre general de BT**, que té també la funció de **quadre de distribució principal**.

1.6 Transformador de distribució

Un transformador és una màquina elèctrica estàtica d'inducció electromagnètica que permet convertir els valors de tensió i d'intensitat de corrent subministrat per una font de corrent altern en un sistema de corrent altern o més d'un amb valors de tensió i d'intensitat de corrent diferents, però de la mateixa freqüència.

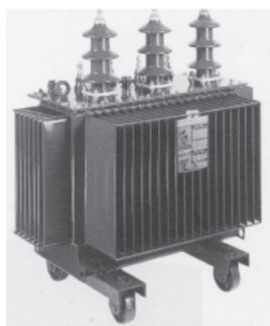
Els transformadors de mitja tensió (MT) a baixa tensió (BT) per als centres de transformació es denominen **transformadors de distribució**.

Un transformador acostuma a estar format bàsicament de tres parts:

- Un **nucli de material ferromagnètic** que forma un circuit magnètic tancat.
- Un enrotllament o **debanament primari** al qual s'aplica un corrent elèctric.
- Un enrotllament o **debanament secundari** que proporciona un corrent elèctric de sortida. En alguns casos n'hi pot haver més d'un de secundari.

En l'actualitat, els tipus constructius dels transformadors de distribució per a un CT són pràcticament els següents:

- transformadors de bany d'oli mineral;
- transformadors d'aïllament sòlid a base de resines, denominats “transformadors secs”;



Transformador d'oli (superior) i transformador sec (inferior). Font: Schneider Electric

- transformadors de bany de silicona líquida en lloc d'oli mineral, que conforma un tercer tipus, molt menys freqüent.

Per a la distribució s'utilitzen generalment **transformadors trifàsics** (o grups de tres monofàsics) i, excepcionalment, **transformadors monofàsics** si la potència és inferior a 5 kVA

En funcionament en buit, la relació entre tensions de primari i secundari (vegeu la figura 1.5) és igual a la relació entre espires dels bobinats:

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{N_1}{N_2}$$

Les característiques fonamentals són les següents:

- tensió primària (U_1)
- tensió secundària (U_2)
- tensió de curtcircuit (U_{cc})
- grup de connexions: indica la designació de les connexions de transformadors trifàsics amb enrotllaments separats.

D'aquests grups de connexions, els més utilitzats són els següents:

- $Yzn\ 11$ per a transformadors de petita potència (de 25 a 100 kVA)
- $Dyn\ 11$ per a totes les potències entre 160 i 2.500 kVA

on,

- D és la connexió en triangle
- Y és la connexió en estrella
- z és la connexió zig-zag
- n és el neutre accessible

Depenent del tipus de connexió, les tensions simples del primari i del secundari poden no estar en fase, cosa que sempre passa en els transformadors monofàsics. Per indicar el desfasament que hi ha entre les tensions simples, s'acostuma a utilitzar l'anomenat índex horari (és a dir, l'angle format per l'agulla gran i la petita d'un rellotge quan marca una hora exacta), expressat en múltiples de 30° (l'angle entre dues hores consecutives, $360^\circ/12 = 30^\circ$).

Calcular el desfase

El desfase s'obté de multiplicar el nombre que acompanya la denominació per 30, per exemple: en $Yy6$ el desfase és

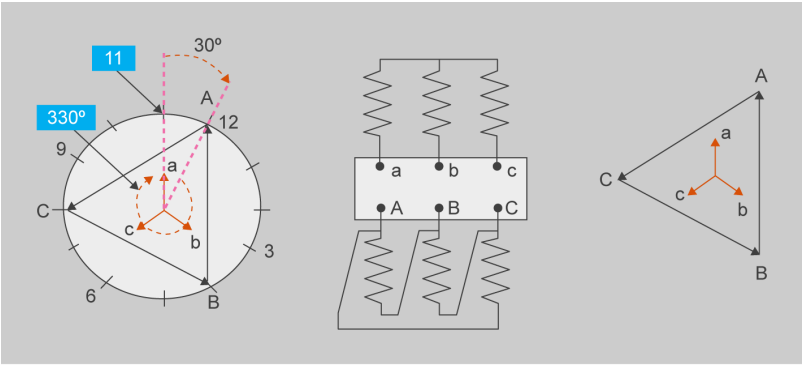
$6 \times 30^\circ = 180^\circ$

FIGURA 1.5. Índex horari

Índex de connexió	Grup de connexió C.E.I.	Grup de connexió V.D.E.	Diagrama vectorial		Esquema de connexions		Relació de transformació V_{UV}/V_{uv}
			Alta tensió	Baixa tensió	Alta tensió	Baixa tensió	
0	Dd0	A1					$\frac{n_1}{n_2}$
	Yy0	A2					$\frac{n_1}{n_2}$
	Dz0	A3					$\frac{2}{3} \cdot \frac{n_1}{n_2}$
6	Dd6	B1					$\frac{n_1}{n_2}$
	Yy6	B2					$\frac{n_1}{n_2}$
	Dz6	B3					$\frac{2}{3} \cdot \frac{n_1}{n_2}$
5	Dy5	C1					$\frac{1}{\sqrt{3}} \cdot \frac{n_1}{n_2}$
	Yd5	C2					$\sqrt{3} \cdot \frac{n_1}{n_2}$
	Yz5	C3					$\frac{2}{\sqrt{3}} \cdot \frac{n_1}{n_2}$
11	Dy11	D1					$\frac{1}{\sqrt{3}} \cdot \frac{n_1}{n_2}$
	Yd11	D2					$\sqrt{3} \cdot \frac{n_1}{n_2}$
	Yz11	D3					$\frac{2}{\sqrt{3}} \cdot \frac{n_1}{n_2}$

Un altre exemple en una connexió Dy11 el trobareu a la figura 1.6.

FIGURA 1.6. Connexió Dy11



D'altra banda i d'una manera general, per al funcionament correcte de dos transformadors trifàsics acoblats en paral·lel s'han de complir les condicions següents:

- que hi hagi la mateixa relació de transformació;
- que hi hagi la mateixa tensió de curtcircuit;
- que hi hagi el mateix índex horari;
- que hi hagi la mateixa potència.

TAULA 1.1. Les potències unitàries normalitzades

Potències unitàries normalitzades en kVA		
25	250	1.000
50	400	1.250
100	630	1.600
160	800	2.000
		2.500

De les potències unitàries normalitzades (taula 1.1), les més utilitzades són les de 250, 400 i 630 kVA. En el cas d'instal·lacions en centres de clients es poden afegir també els valors 1.250, 1.600, 2.000 i 2.500 kVA.

Els transformadors es poden dividir, en funció de la seva tensió en el secundari, en dues classes:

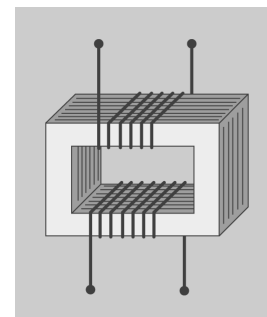
- **classe B1:** per a xarxes de 220 a 127 V;
- **classe B2:** per a xarxes de 400 a 230 V.

1.7 Transformadors de mesura i protecció

En els sistemes elèctrics és necessari poder mesurar el valor del corrent i de la tensió, bé sigui per tenir-ne el control (aparells de mesura), bé sigui per vigilar que aquests valors estiguin dins dels límits admissibles (relés de protecció).

Fins a certs nivells de corrent i/o de tensió és possible la connexió dels aparells de mesura, comptatge o protecció directament a la línia. Ara bé, a partir de certs valors, això no és possible, tant per raons constructives dels aparells i de les instal·lacions, com per raons de seguretat. Per tant, s'han de connectar per mitjà de transformadors de tensió o de corrent, segons correspongui, els quals s'anomenen genèricament **transformadors de mesura i protecció**.

En MT i AT, per a la mesura i el control de les tensions sempre cal instal·lar transformadors de tensió. Així mateix, per raons d'aïllament, sempre són necessaris els transformadors de corrent, sigui quin sigui el valor de la intensitat.



El primari es connecta a la línia que es vol mesurar i l'instrument de mesura es connecta en paral·lel al secundari, això permet mesurar tensions de corrent altern elevades amb instruments de mesura normals.

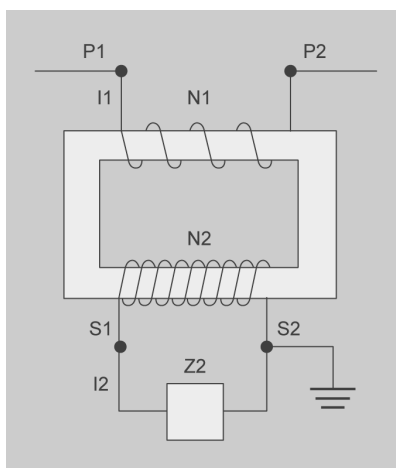
L'objecte dels **transformadors de mesura** (de tensió o d'intensitat) és alimentar els aparells de mesura, comptatge i protecció a unes tensions respectivament corrents, prou petites per poder ser aplicades a aquests aparells i amb un potencial a massa o entre fases d'un valor que no resulta perillós per a l'aïllament dels aparells ni per a les persones.

A partir d'ara, dels transformadors de tensió en direm "TT", i dels de corrent, "TI".

1.7.1 Tipus i models constructius actuals

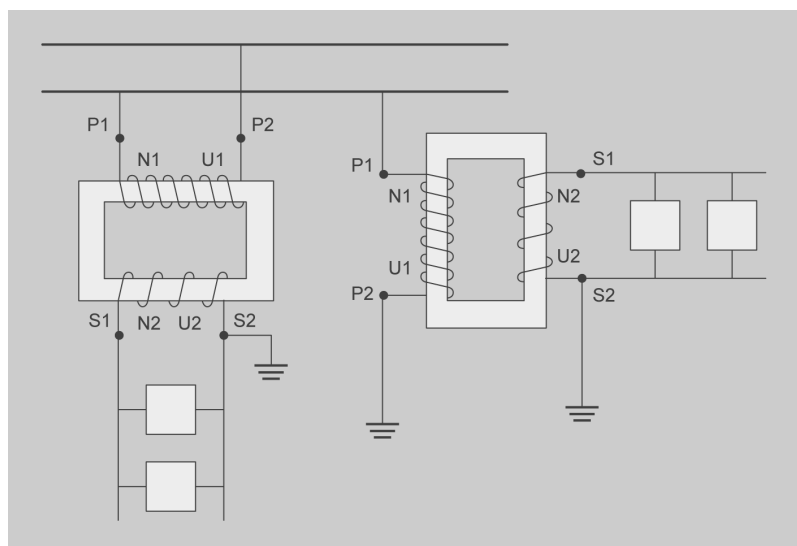
En la seva gran majoria, els transformadors són de tipus electromagnètic, és a dir, constituïts en la seva versió més simple per un nucli magnètic amb un bobinat primari connectat a la línia, i un bobinat secundari al qual es connecten els aparells (figura 1.7 i figura 1.8), anàlegs, així doncs, als transformadors de potència.

FIGURA 1.7. Transformador de corrent



Encara que s'utilitzin en línies o circuits trifàsics, els models actuals de TT i TI són gairebé tots monofàsics.

FIGURA 1.8. Transformador de tensió (dues connexions diferents)



Els models actuals de transformadors d'MT per a **instal·lació en l'interior** són d'aïllament sòlid de resina epoxi, termoendurable. Formen un cos modelat d'aquesta resina que conté a l'interior seu el nucli magnètic i els bobinats primari i secundari.

Els models de transformadors per a **instal·lació en intempèrie** poden ser d'aïllament de bany d'oli i d'aïllament de porcellana, o bé d'aïllament sòlid de resina epoxi com els d'interior, però amb una envolupant (caixa) metàl·lica per tal de protegir-lo de la intempèrie i aïlladors amb envolupant exterior de porcellana.

1.7.2 Connexió de transformadors de tensió (TT)

Els **transformadors de tensió (TT)** es connecten a la línia **en derivació**, com un transformador de potència. El seu primari està sotmès, doncs, a la plena tensió de la línia.

Els TT per a connexió entre fases tenen dos borns (pols) primaris aïllats. Els previstos per a connexió entre fase i massa (terra) tenen un sol born primari aïllat. L'altre born no necessita estar aïllat, ja que és el que es connecta a terra. Per raons de seguretat es connecta a terra un dels borns de cada secundari, per exemple l'S1 o bé l'1S1 i el 2S1, si són dos secundaris.

Esquemes possibles i denominació (marcat) dels borns: les marques P1 i P2 designen els borns del bobinat primari. Les marques "S" (S1, S2, S3, 2S1, 2s2, etc.) designen els borns dels bobinats secundaris. Els borns amb les marques P1 i S1 són de la mateixa polaritat (vegeu les figures 9 a 14).

FIGURA 1.9. Transformador monofàsic amb borns primaris totalment aïllats i un sol bobinat secundari

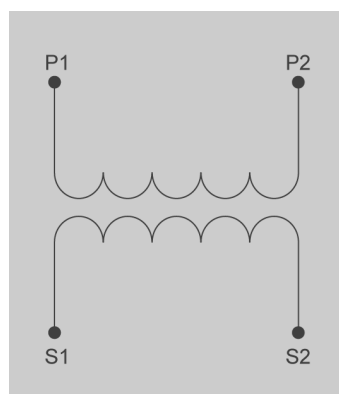


FIGURA 1.10. Transformador monofàsic amb un born primari de baix aïllament i un sol bobinat secundari

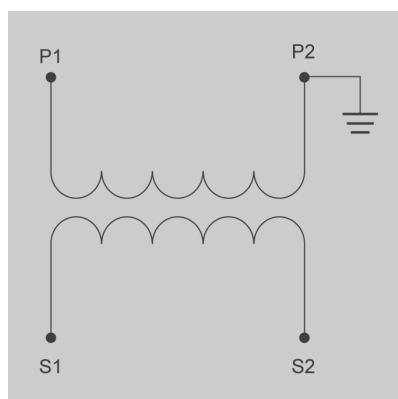


FIGURA 1.11. Transformador monofàsic amb un extrem del bobinat connectat directament a massa

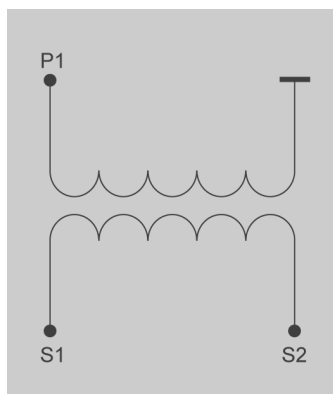


FIGURA 1.12. Transformador monofàsic amb dos bobinats secundaris

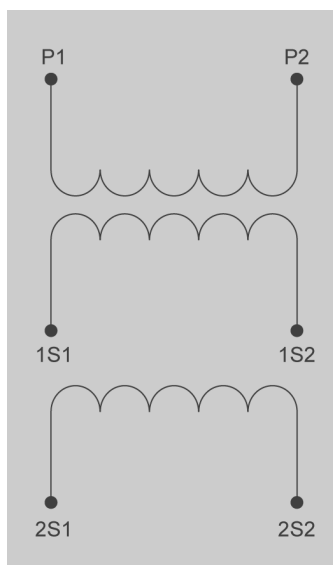


FIGURA 1.13. Transformador mono-fàsic amb un bobinat secundari amb múltiples preses

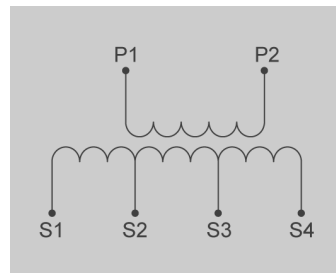
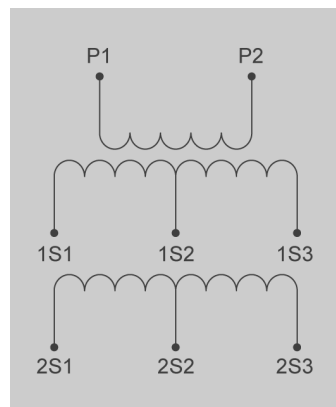


FIGURA 1.14. Transformador mono-fàsic amb dos bobinats secundaris de preses múltiples



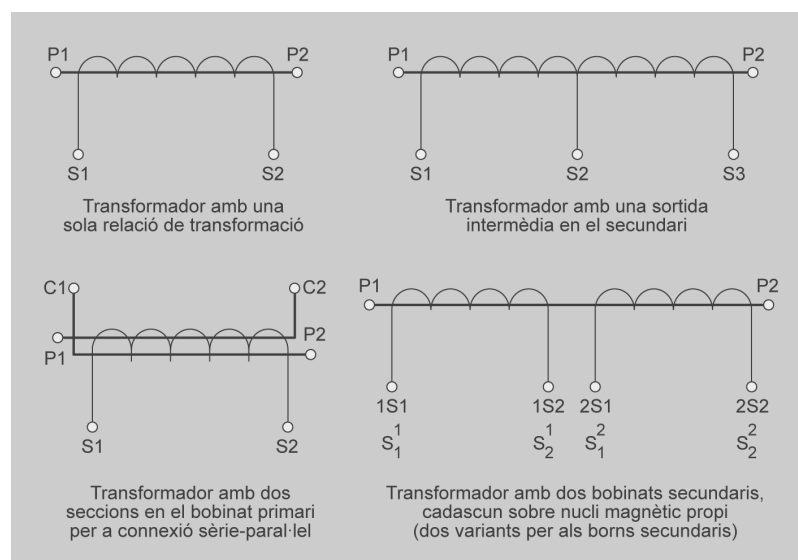
1.7.3 Connexió de transformadors d'intensitat (TI)

Els transformadors d'intensitat es connecten amb el seu primari intercalat en la línia, és a dir, “en sèrie” amb aquesta. Aquest primari queda recorregut, així doncs, per la plena intensitat de la línia.

Les marques dels borns identifiquen:

- els enrotllaments primari i secundari;
- les seccions de cada bobinat, quan estiguin dividits en seccions;
- les polaritats relatives dels bobinats i de les seccions dels bobinats;
- les preses intermèdies, si n'hi ha.

Per raons de seguretat, sempre es connecta a terra un dels borns de cada un dels secundaris, per exemple: S1 si hi ha un sol secundari o bé l'1S1 i el 2S1 si hi ha dos secundaris. Les marques dels borns dels transformadors d'intensitat les trobareu indicades a la figura 1.15. Els borns marcats P1, S1 i C1 tenen en tot moment la mateixa polaritat.

FIGURA 1.15. Marcat de borns dels TI

1.7.4 Diferents formes de connexió a la línia

Les diferents formes de connexió a la línia del primari del TT (en derivació) i del TI (en sèrie) determinen una forma de funcionament bàsicament diferent entre els TT i els TI. No obstant això, tots dos tenen certs aspectes i requeriments comuns.

La proporcionalitat del valor secundari respecte del valor primari és la "relació de transformació" d'un transformador.

En **els TT**, el valor de la tensió secundària ha de ser pràcticament proporcional a la tensió aplicada al primari, i desfasada en relació amb aquesta, un angle el més pròxim possible a zero (per a un sentit adequat de les connexions). En **els TI**, anàlogament, el valor del corrent secundari ha de ser pràcticament proporcional al corrent que circula pel primari, i desfasat en relació amb aquest un angle el més pròxim possible a zero (per a un sentit apropiat de les connexions).

El grau d'exactitud de la proporcionalitat d'aquests valors, respectivament la proximitat a zero de l'angle de desfasament entre els dos, dóna la mesura de la precisió del transformador. En la realitat constructiva, però, i també pel principi mateix de funcionament dels transformadors de mesura electromagnètics, aquesta proporcionalitat no és matemàticament exacta, ni l'angle de desfase tampoc no és exactament zero. Sempre hi ha, doncs, un cert grau d'error en el valor real que apareix en el secundari, tant en la seva magnitud com en la seva fase.

1.8 Aparellatge: característiques i funció

Els elements encarregats de maniobres, la seguretat i la protecció del transformador al centre de transformació són el que anomenem **aparellatge**. Alguns dels

Les proteccions poden ser d'un centre de transformació d'empresa o d'abonat.

elements que formen l'aparellatge són els següents:

- **Aïllants:** poden ser exteriors o interiors, de material aïllant (resines epoxi) i suporten grans esforços mecànics.
- **Conductors:** el seu aïllament és funció de la tensió de la xarxa, es connecten amb terminals o connectors.
- **Seccionador:** unipolars o tripolars, de tipus giratori o basculant. Obre i tanca circuit només si no hi ha tensió.
- **Seccionadors de posada a terra:** posen a terra part del circuit o instal·lació, suporten temporalment intensitats en condicions anormals, com ara curtcircuits. Enclavats mecànicament.
- **Interruptor:** aparell dotat de poder de tall, per obrir i tancar circuits. Pot tancar però no interrompre intensitats de curtcircuit. Entre les seves característiques bàsiques es compten el **poder de tall** (intensitat que pot tallar sota tensió de restabliment, en kA i MVA) i el **poder de tancament** (intensitat que pot restablir a una tensió determinada).
- **Interruptor-seccionador:** interruptor que en posició oberta satisfà el mateix aïllament que un seccionador.
- **Interruptor automàtic:** interruptor capaç d'establir, mantenir i interrompre la intensitat del corrent de servei, o interrompre automàticament o establir intensitats elevades com les de curtcircuit.
- **Autovàlvules:** parallamps de resistència variable, que eviten sobretensions sense deixar de donar servei, i deriven a terra la sobreintensitat originada per la sobretensió. Tenen sistema de desconexió de terra per tal d'evitar curtcircuits fase-terra.
- **Fusibles limitadors d'alt poder de ruptura (APR):** per protecció contra curtcircuits.
- **Termòmetres:** per controlar la temperatura de l'oli dels transformadors. Està equipat amb dos contactes per accionar l'alarma i ordenar la desconexió del transformador.
- **Relés de protecció directa:** si la intensitat supera el valor tarat, aquests relés disparen l'interruptor que tenen associat.
- **Relés de protecció indirecta:** són de tipus electrònic, excitats per una intensitat reduïda amb transformadors d'intensitat.

1.8.1 Proteccions d'un centre de transformació (CT) d'empresa

La **protecció contra sobrecàrregues** (sobreintensitats) en un centre de transformació (CT) d'empresa l'efectua la mateixa protecció contra sobretemperatures en

el transformador. La **protecció contra curtcircuits** la realitzen els fusibles MT associats a l'interruptor-seccionador per a maniobra del transformador.

Les línies de sortida en BT estan protegides cadascuna pels fusibles seccionadors corresponents.

1.8.2 Proteccions d'un centre de transformació (CT) d'abonat

En els transformadors hi ha dos focus de calor:

- El nucli magnètic, per les pèrdues per histèresi i per corrents de Foucault (pèrdues magnètiques)
- Els bobinatges, per les pèrdues per l'efecte Joule

Les variacions de càrrega es tradueixen en variacions de temperatura en el transformador, segons la magnitud i/o la durada de la sobrecàrrega.

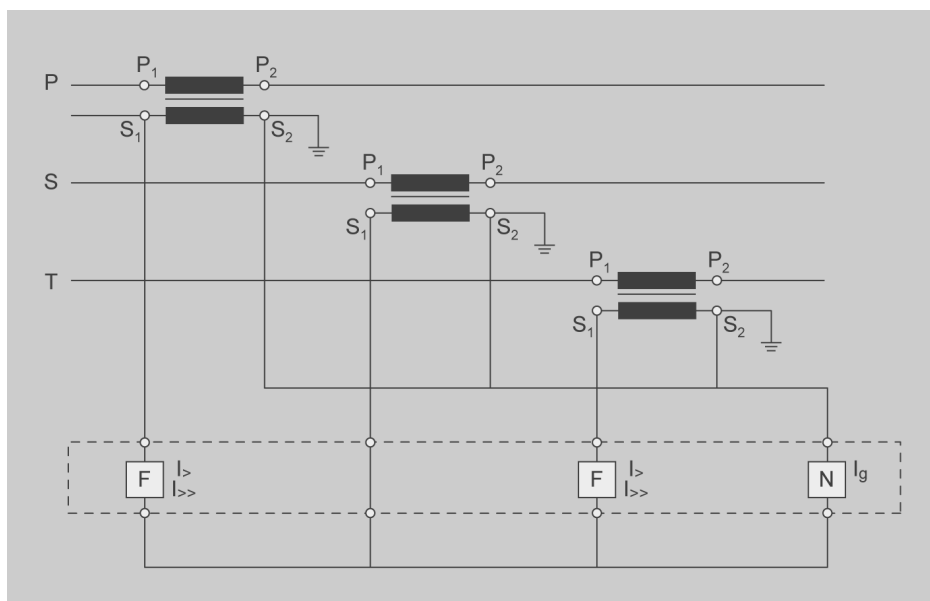
D'altra banda, encara amb una càrrega constant, es poden produir variacions de temperatura en modificar les condicions de ventilació.

En els transformadors de bany d'oli, la protecció s'efectua mitjançant un termòmetre amb contactes elèctrics ajustables, o un termòstat.

En els transformadors de tipus sec la protecció tèrmica funciona de la manera: en cada un dels bobinatges de BT van disposades una o dues sondes tèrmiques, generalment del tipus Pt100 (resistència tipus PTC: resistència variable, amb coeficient de temperatura positiu -en incrementar la temperatura augmenta la resistència-). Les sondes es connectaran a una unitat de control i mesura (termòmetre digital). La primera sonda actuarà com una alarma, en regular-se a una temperatura inferior a la màxima. La segona sonda, regulada a la temperatura màxima permesa, produirà la desconexió del transformador.

Pel que fa a la protecció contra sobretemperatures a cada transformador, si els transformadors són de bany d'oli, la protecció ha d'incloure el detector de gasos (Buchholz o DPG) que actuen sobre el disparador de l'interruptor automàtic propi (si n'hi ha), o bé sobre l'interruptor automàtic general d'entrada.

A cada interruptor automàtic hi ha associat un relé de sobreintensitat (temps invers), curtcircuit i corrents de defecte a terra, connectat a tres transformadors d'intensitat MT. L'esquema tipus per a la connexió del relé als transformadors d'intensitat és el que il·lustra la figura 1.16.

FIGURA 1.16. Esquema-tipus de connexions del relé de sobreintensitat amb els seus transformadors**La protecció de tipus diferencial**

La protecció contra sobreintensitats i curtcircuits en fases i entre fases l'efectuen els elements *F* del relé. La protecció contra corrents de defecte a terra la realitza l'element *N* del relé. D'aquest esquema es desprèn que fins i tot en el cas de corrents desequilibrats, per l'element *N* no circularà intensitat, la qual només circularà quan hi hagi un corrent fase i terra. Es tracta, així doncs, d'una **protecció de tipus diferencial**.

1.9 Esquemes unifilars de centre de transformació

En un centre de transformació, l'aparellatge té com a funció principal la maniobra i la protecció del transformador, així com la resta d'elements de la instal·lació. Aquest aparellatge varia en funció del tipus d'escomesa, del tipus de centre de transformació –si és de d'empresa, de distribució o d'abonat– i també del nombre i la potència dels transformadors.

1.9.1 Centres de distribució

Els centres de distribució són un tipus de centres de transformació (CT) on no es realitza cap altra funció més que la transformació d'energia i la seva distribució en baixa tensió (BT).

Atès que les connexions són subterrànies, cal disposar una cel·la de línia per a cadascuna de les entrades i sortides, de manera que es pugui efectuar-ne el tall. D'altra banda, com la línia subterrània té un efecte de condensador i pot quedar carregada tot i haver estat oberta en un punt anterior, es disposa d'un seccionador

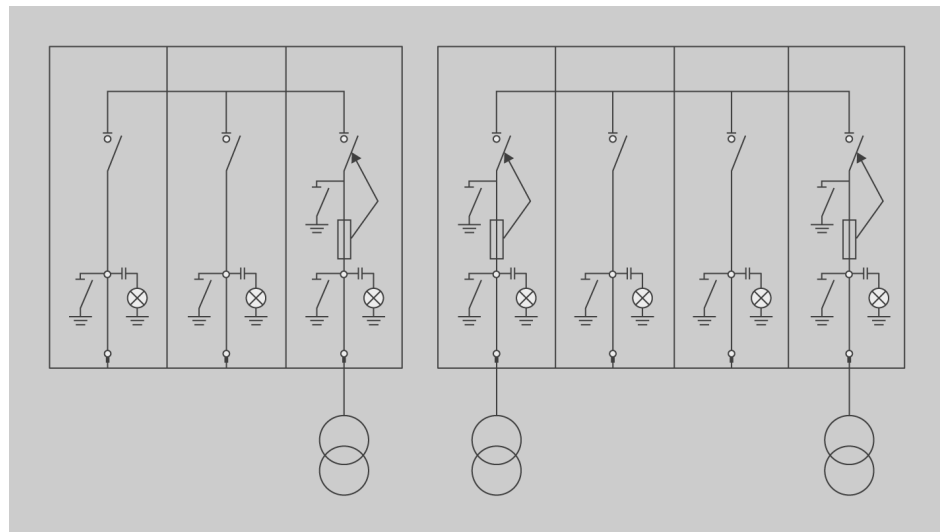
de posada a terra que curtcircuita els borns dels cables, i que s'enclava amb l'interruptor i la porta, de manera que és impossible tancar-lo amb l'interruptor tancat, i obrir la porta amb el seccionador de posada a terra obert, i tenir la seguretat completa que només es pot accedir al compartiment de cables sense tensió.

Per protegir cada transformador (figura 1.17), per a la potència màxima unitària que normalment instal·len les companyies distribuïdores, 630 kVA, s'instal·la una cel·la de protecció amb ruptofusible i bobina de tret que s'associa al **termòmetre d'esfera** instal·lat al transformador corresponent.

Esquema bàsic de CT de distribució

L'esquema bàsic d'un CT de distribució es compon de tantes cel·les de línia com línies l'alimentin, i tantes cel·les de protecció com transformadors s'instal·len.

FIGURA 1.17. Esquema unifilar de CT de distribució amb un (esquerre) i dos transformadors (dreta)



Les sortides en baixa tensió de cada transformador es fan per mitjà de quadres normalitzats i homologats per la companyia distribuïdora, els quals estan formats per bases tripolars verticals en nombre de quatre, sis o vuit.

1.9.2 Centres d'abonat

A més de fer la transformació d'energia i la seva distribució en baixa tensió a l'usuari, en els centres de transformació d'abonat s'ha de mesurar l'energia consumida.

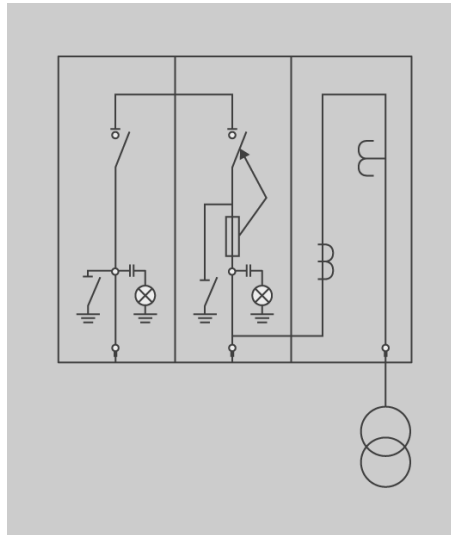
En cas que el CT estigui situat al final de la línia –en punta–, és necessari disposar d'una cel·la de línia per tal de poder realitzar el tall de l'alimentació al centre de transformació. Si, en canvi, està intercalat a la xarxa de distribució –en bucle o múltiple–, es genera a més la necessitat de donar continuïtat a la línia de distribució i poder separar elèctricament la part del circuit corresponent a l'explotació de la xarxa de la part que correspon al servei de l'usuari.

Per això, els centres d'abonat han de disposar de tantes cel·les de línia com connexions hi hagi, i a continuació han de disposar d'una cel·la de seccionament

que dóna pas a la resta de l'esquema corresponent a la maniobra i a la protecció de la instal·lació.

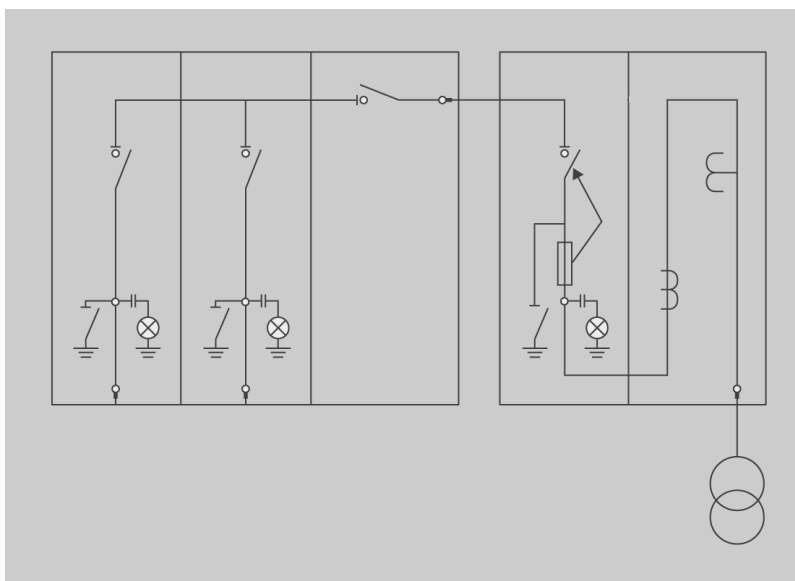
Si es tracta d'un centre amb un únic transformador, com el que mostra l'esquema de la figura 1.18 i figura 1.19, s'ha de disposar de la cel·la de protecció corresponent, per ruptofusible fins a una potència de 1.000 kVA, o de disjuntor per a potències superiors, i a continuació cal instal·lar la **cel·la de mesura**, la qual allotja els transformadors de tensió i intensitat, els secundaris dels quals alimentaran l'equip de comptadors.

FIGURA 1.18. Esquema unifilar de CT d'abonat



En cas de prendre la mesura en baixa tensió (BT), la cel·la de mesura no és necessària, de manera que l'equip de mesura és alimentat a través del secundari del transformador.

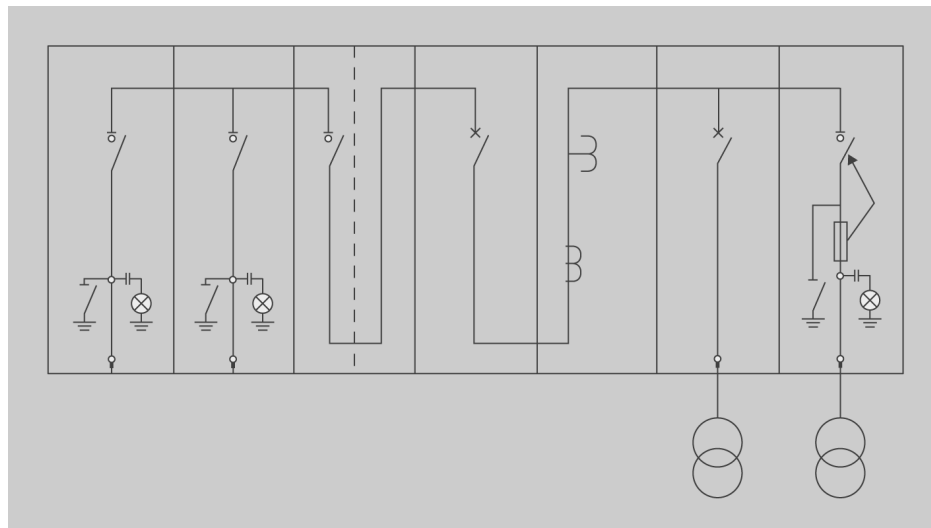
FIGURA 1.19. Esquema unifilar de CT d'abonat amb mesura en BT



En el cas d'instal·lar dos transformadors o més (vegeu la figura 1.20), cal disposar d'una **cel·la de protecció general** per a la totalitat de potència de la

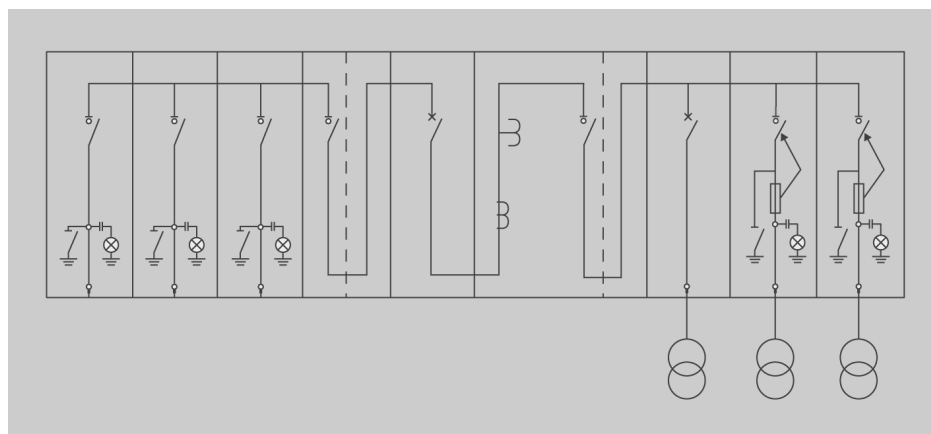
instal·lació i, a continuació, s'ha d'instal·lar la **cel·la de mesura**, la qual allotja els transformadors de tensió i d'intensitat, els secundaris de la **cel·la de mesura** alimentaran l'equip de comptadors, i després tantes cel·les de protecció com transformadors s'instal·lin.

FIGURA 1.20. Esquema unifilar de CT d'abonat amb dos transformadors



Quan es pren la mesura en alta tensió (AT), l'alimentació de l'equip de mesura es fa per mitjà de transformadors d'intensitat i transformadors de tensió, tal com mostra l'esquema de la figura 1.21.

FIGURA 1.21. Esquema unifilar de CT d'abonat amb mesura en AT

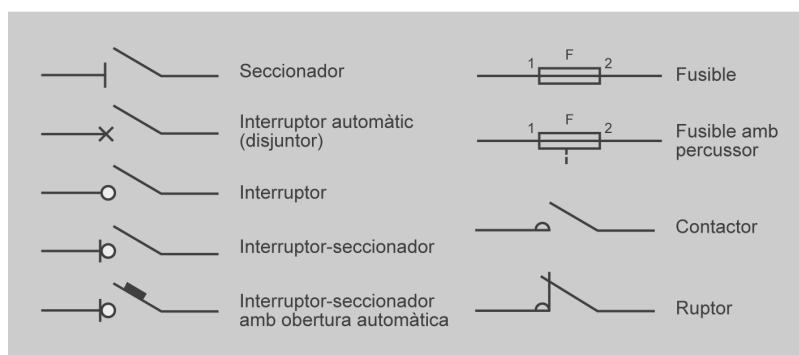


1.10 Cel·les: tipus, senyalització, connexions entre cel·les

Per equipar els centres de transformació, en el mercat hi ha conjunts d'aparellatge de maniobra MT, inclosos els transformadors de mesura, ja muntats i connexionats entre si, dins de recintes metàl·lics, fins als borns de connexió a l'exterior. Es denominen habitualment “cabines prefabricades”, o simplement “cabines” o “cel·les” metàl·liques, les quals reben el nom de *conjunts d'aparellatge MT sota envolupant metàl·lica* en les normes UNE. Els símbols per als esquemes els podeu

veure a la figura 1.22.

FIGURA 1.22. Símbols per a esquemes, segons norma EN-61 082



Normes UNE

Les UNE (una norma espanyola) són un conjunt de normes tecnològiques creades pels comitès tècnics de normalització (CTN), dels quals formen part totes les entitats i agents implicats i interessats en els treballs del comitè. Per regla general aquests comitès solen estar formats per AENOR, fabricants, consumidors i usuaris, administració, laboratoris i centres de recerca.

Per tant, en el cas dels CT, més que aparells de maniobra solts (individuals), el que s'utilitza habitualment són aquests conjunts d'aparellatge sota envolupant metàl·lica, que se subministren ja muntats, connexionats i provats de fàbrica.

En l'actualitat, la confecció de conjunts d'aparellatge MT sota envolupant metàl·lica es realitza de manera modular a base d'unitats individuals (cabines o cel·les) acoblades mecànicament entre si, i connectades també elèctricament, de manera que el conjunt constitueixi l'esquema elèctric projectat.

Hi ha **diversos tipus de cabines o cel·les** quant a l'esquema elèctric individual, les quals corresponen a les diferents funcions o parts de l'esquema elèctric general del conjunt. Aquests diferents mòduls individuals són mecànicament acoblables entre si, i connectables elèctricament també entre si.

Així, per exemple, hi ha **cabines individuals** per a funcions com l'entrada d'alimentació de sortida, l'acoblament de barres, el comptatge, etc., o bé pel que fa al tipus d'aparells de maniobra, com ara cel·les amb interruptor automàtic, cel·les amb interruptor-seccionador, cel·les amb interruptor-seccionador amb fusibles, etc.

El "joc de construcció"

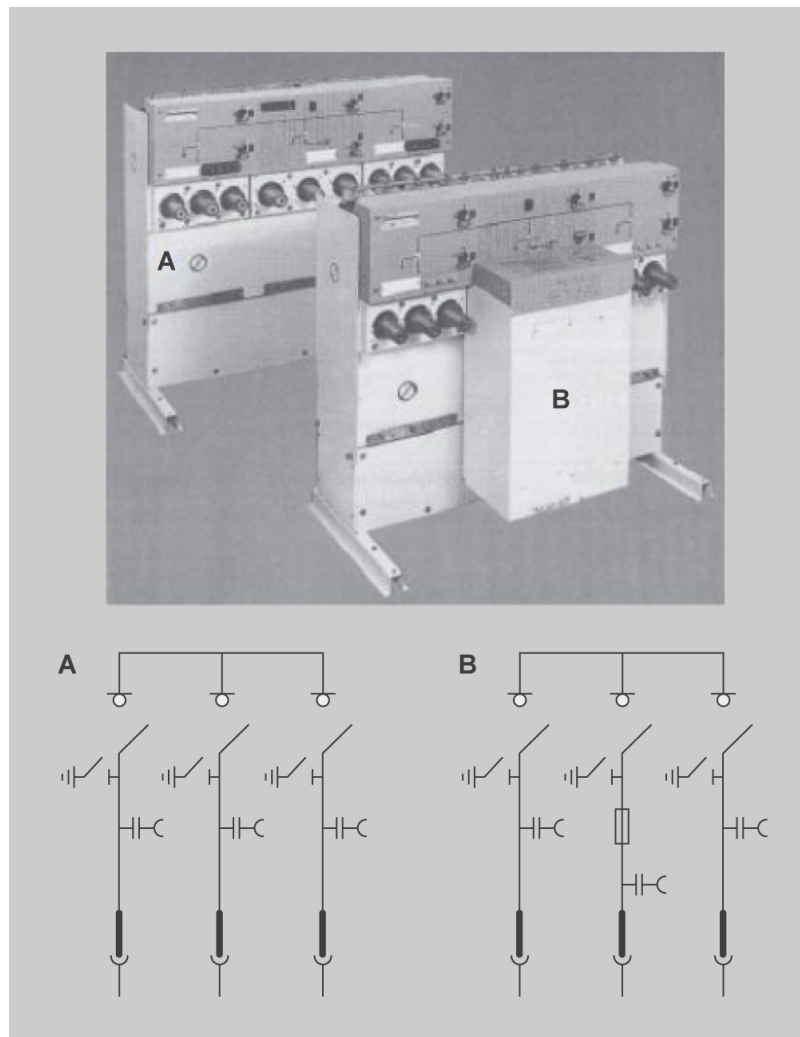
Un cop confeccionat l'esquema elèctric del circuit d'MT que es desitja per a un CT, és relativament fàcil, per tant, dissenyar el conjunt de cabines d'MT que respongui a aquest esquema, a base del repertori de mòduls o funcions individuals de què es disposa. És el que s'anomena comunament "joc de construcció", per analogia al joc infantil.

És més, s'han desenvolupat també conjunts modulars amb envolupant única, els quals agrupen diverses funcions individuals i formen **conjunts d'esquemes estandarditzats**. Per exemple, dues línies d'alimentació i una de sortida a transformador, és a dir, tres funcions, o bé dues línies d'alimentació i dues sortides a transformadors, és a dir, quatre funcions, etc.

A la figura 23 hi trobareu representada també aquesta modalitat de **conjunts estàndard de funcions**, la qual és àmpliament utilitzada en el cas dels centres

de transformació (CT) d'empresa (distribuïdors).

FIGURA 1.23. Conjunt estàndard de funcions individuals, amb envolupant única, en atmosfera de SF6



A: conjunt de 3 línies d'entrada-sortida. B: conjunt de 2 línies d'entrada-sortida i una sortida a transformador

Característiques nominals (assignades) de l'aparellatge sota envolupant metàl·lica (cabines o cel·les):

- Tensió assignada i nombre de fases.
- Nivell d'aïllament (tensions d'assaig).
- Freqüència.
- Intensitat en servei continu (per al circuit principal).
- Intensitat de curta durada admissible (per als circuits principal i de posada a terra).
- Valor de cresta del corrent de curta durada admissible (circuits principal i de posada a terra).
- Durada assignada del curtcircuit.

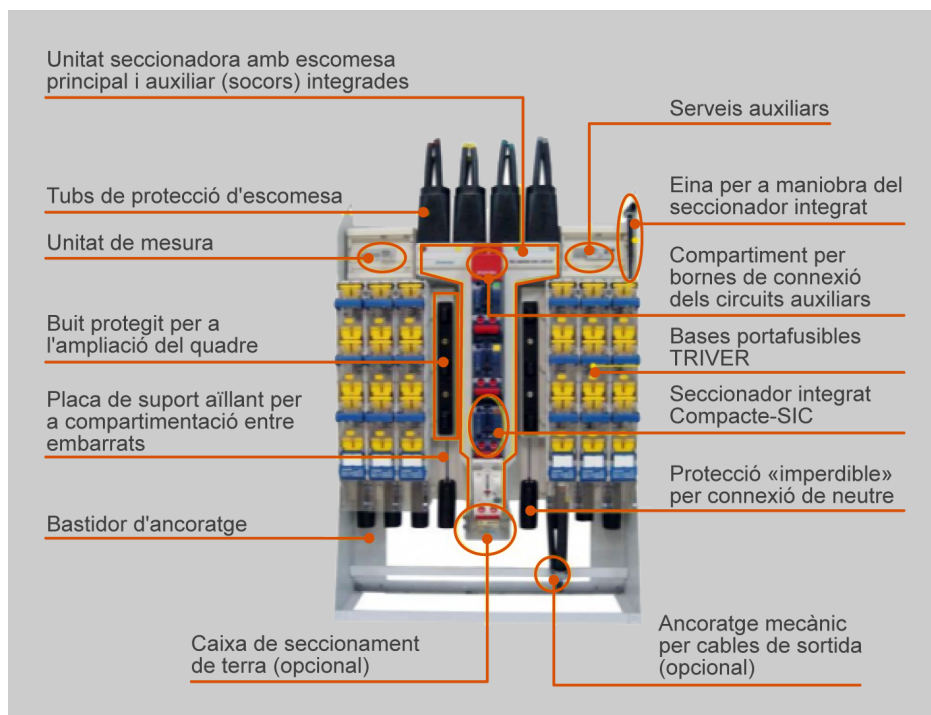
- Valors nominals (assignats) dels aparells que formen part de la cabina (interruptor, seccionador, SPT, transformadors de mesura, etc.) incloent l'equip auxiliar i els dispositius de maniobra. Aquests valors han de ser congruents i han d'estar coordinats amb els de les característiques de la cabina com a conjunt.

La connexió de les diferents cel·les es realitza amb uns adaptadors que permeten la connexió elèctrica i mecànica. Aquests adaptadors se situen en els laterals de les cel·les.

1.11 Quadre de distribució de baixa tensió

S'anomena quadre modular de baixa tensió (figura 1.24) al conjunt de mòduls que reben el circuit principal de BT del transformador i el distribueixen en diversos circuits individuals. Podeu fer servir mòduls de connexió i d'ampliació (figura 1.25).

FIGURA 1.24. Estructura del quadre de distribució de BT

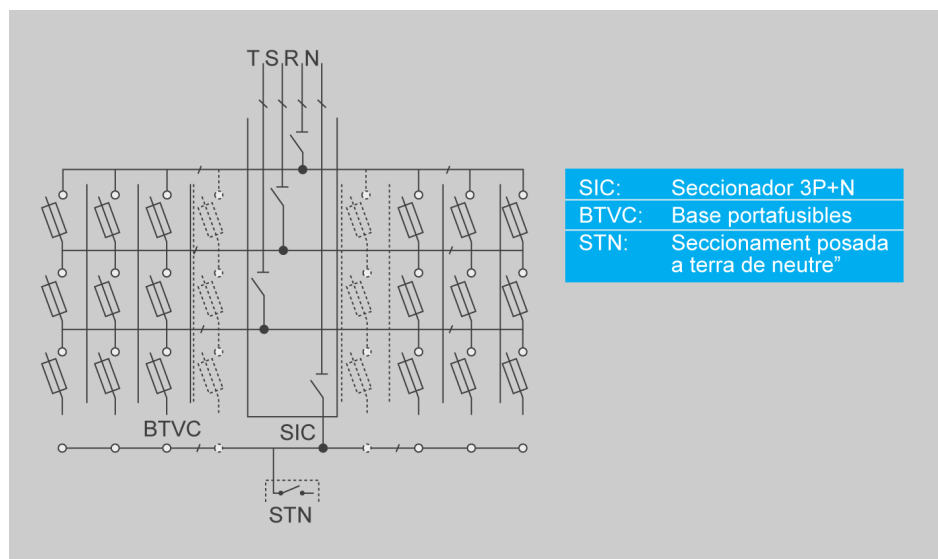


Un conjunt de quadre de BT interior en envolupant metàl·lica per a centres de transformació d'empresa està format, per exemple, pels elements següents:

- **Unitat d'escomesa i de distribució:** sistema d'envolupant i d'embarrats que distribueixen en quatre o més sortides l'escomesa superior dels cables del transformador.

- **Unitat funcional de circuits auxiliars (control opcional):** destinada a allotjar els diferents elements de mesura i protecció dels servidors del centre de transformació exigits per cada companyia o abonat. La unitat funcional garanteix l'aïllament en tots i cadascun dels elements, entre parts actives i el bastidor del quadre de 10 kV a 50 Hz i 20 kV, a onda tipus raig. Es refereix a protecció per a fenòmens atmosfèrics (impactes per raigs).
- **Unitat funcional de protecció:** està constituïda per un sistema de protecció format per bases tripolars verticals aptes per a curtcircuits (fusibles de mida 00, 1, 2, 3), d'acord amb la norma UNE-EN 60947.

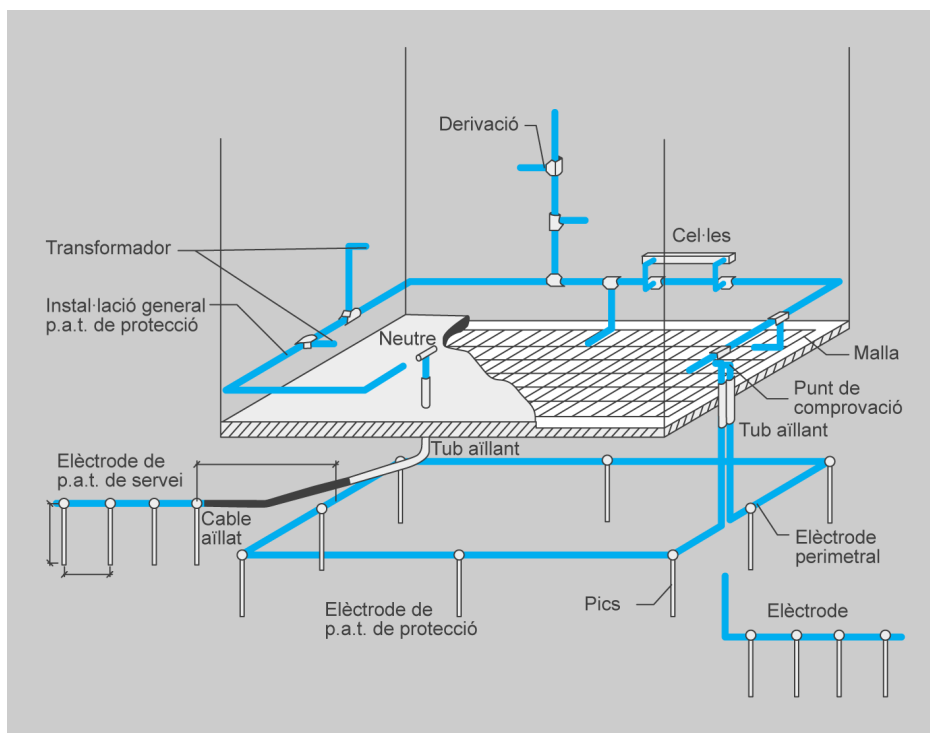
FIGURA 1.25. Esquema del quadre de distribució de BT



1.12 Instal·lació de posada a terra

Segons indiquen les instruccions MIE-RAT 13, del Reglament sobre condicions tècniques i garanties de seguretat en centrals elèctriques, subestacions i centres de transformació (aprovat pel Reial decret 3275/1982, de 12 de novembre), la posada a terra (figura 1.26) en instal·lacions elèctriques d'alta tensió (en les quals s'inclouen els centres de transformació) consta del següent:

- línies de terra;
- elèctrodes.

FIGURA 1.26. Instal·lació de posada a terra

1.12.1 Línies de terra

Les línies de terra estan constituïdes pels conductors que uneixen els elèctrodes amb els elements que han de quedar posats a terra. Els conductors emprats tenen una resistència mecànica adequada i una elevada resistència a la corrosió.

Els conductors de les línies de terra s'han d'instal·lar intentant que el seu recorregut sigui el més curt possible, i evitant recorreguts complicats i corbes de poc radi. En aquest sentit, és recomanable utilitzar conductors nus, instal·lats de manera visible.

El Reglament també admet en alguns casos la utilització, com a conductors, de canalitzacions metàl·liques, blindatges de cables i elements metàl·lics de fonaments, excepte armadures pretensades de formigó.

La **secció del conductor** ha de ser tal que, en cas de descàrrega atmosfèrica o defecte, pugui circular-hi el màxim corrent, no els porti a una temperatura pròxima a la fusió o pugui posar en perill empalmaments i connexions.

La secció es determina de manera que la densitat de corrent per a defectes en la freqüència de la xarxa no superi els valors següents:

- **160 A/mm²** per a conductors de coure
- **60 A/mm²** per a conductors d'acer

- En cap cas la secció del conductor ha de ser inferior a **25 mm²** en conductors de **cobre**, i a **60 mm²** en conductors d'**acer**.

1.12.2 Elèctrodes

La configuració dels **centres de transformació d'abonat** està molt normalitzada, el cas més freqüent és que en la posada a terra de les masses s'utilitzin elèctrodes tipus, de composició i geometria (amplada, longitud, profunditat, nombre de piques, etc.) normalitzades.

La utilització d'**elèctrodes tipus** simplifica notablement la tasca de disseny, ja que permet obtenir els paràmetres que defineixen el comportament de la instal·lació de posada a terra (resistència de posada a terra, tensió màxima de pas i de contacte) a partir d'unes taules que donen aquests paràmetres en funció de les característiques de la xarxa que alimenta el centre de transformació (tensió de servei, temps d'actuació de proteccions, impedància limitadora de posada a terra del neutre) i de la resistivitat del terreny on s'ubicarà el centre de transformació.

La configuració d'elèctrode que s'adopta habitualment és la d'**anell rectangular**, instal·lat en la rasa perimetral de cimentació del centre de transformació. Si aquest elèctrode resulta insuficient s'afegeixen piques als vèrtexs, o als vèrtexs i als punts intermedis dels costats.

Un cas especial

Si no és possible instal·lar un **elèctrode d'anell rectangular**, perquè, per exemple, el subsòl del centre de transformació està ocupat, s'acostuma a utilitzar un **elèctrode longitudinal amb piques en filera**, instal·lat a l'exterior del centre de transformació.

1.12.3 Posada a terra del neutre del transformador

Els **elèctrodes del sistema de posada a terra del neutre del transformador** s'han de situar a certa distància dels elèctrodes de la posada a terra de les masses del centre de transformació, amb l'objectiu d'evitar que els elevats potencials que apareixen en el terreny proper al centre de transformació durant un defecte en mitja tensió puguin transferir-se a la instal·lació de baixa tensió de l'usuari a través del neutre.

La **posada a terra del neutre** pot realitzar-se utilitzant qualsevol tipus d'elèctrode artificial, tot i que els més emprats són les piques o la filera de piques.

Recomanacions quant a la línia d'enllaç amb terra

El **conductor de connexió** entre el neutre del transformador i els elèctrodes es recomana que sigui **cable aïllat de 0,6/1 kV**, per tal d'evitar que els potencials originats per defectes en mitja tensió siguin transferits a la presa de terra del neutre a través d'aquest conductor i que, a més, estigui **protegit per un tub de PVC amb grau de protecció 7**, com a mínim, davant danys mecànics.

La **secció del conductor de connexió** es dimensiona aplicant els mateixos criteris que en el cas de la línia d'enllaç amb terra d'un sistema de posada a terra de les masses de baixa tensió.

Per tenir en compte!

A l'hora d'unir els **sistemes de posada a terra de les masses del centre de transformació i del neutre**, cal tenir en compte que, en cas que la màxima tensió de defecte a terra en la posada a terra de les masses del centre de transformació sigui menor de 1.000 V, es poden connectar els sistemes de posada a terra del neutre del transformador i de les masses de mitja tensió, i tenir així una **instal·lació de posada a terra única** en el centre de transformació.

2. Operacions de manteniment, prevenció de riscos laborals i protecció ambiental en centres de transformació

En la unitat 1 es reconeixen els procediments de manteniment dels centres de transformació (figura 2.1), s'analitzen protocols i s'identifiquen activitats. També s'apliquen les normes de prevenció de riscos laborals i de protecció ambiental en el muntatge i el manteniment d'instal·lacions elèctriques de distribució, i s'identifiquen els riscos associats, les mesures i els equips per prevenir-los.

FIGURA 2.1. Centre de transformació



2.1 Instruccions generals per a la realització de maniobres

Pel que fa al **cas particular de dues alimentacions**, a cada cel·la hi ha un esquema del circuit (figura 2.2), amb els eixos d'accionament de l'interruptor, el seccionador de posada a terra i la senyalització de posició de l'interruptor.

En tot cas, abans de fer cap maniobra, s'han de complir unes normes bàsiques de seguretat:

- No accionar mai un seccionador en càrrega.
- Si s'ha de tallar el servei en un circuit en càrrega, primer accionar l'interruptor d'obertura de càrrega o l'interruptor automàtic.
- Abans de tancar un seccionador de posada a terra, verificar l'absència de tensió.
- Abans de restablir el servei, comprovar que els seccionadors de posada a terra estan oberts.

FIGURA 2.2. Cel·les d'un centre transformador

A tot això cal afegir l'ús del **material de seguretat necessari** per a cada maniobra, així com de la **senyalització que calgui en cada cas**. Per tal d'evitar **tensions de retorn per doble alimentació**, s'ha d'obrir l'**interruptor automàtic del quadre de BT**.

2.1.1 Maniobres en la cel·la de l'interruptor

Si el circuit que alimenta el centre de transformació és de pas, alimenta altres centres, la cel·la de l'interruptor ha de situar-se com a cel·la de sortida, per tal que aquest no es quedi sense alimentació per poder tallar el circuit. En aquest cas, la seqüència és la següent:

- Obrir l'interruptor seccionador o interruptor.
- Comprovar l'absència de tensió.
- Descarregar el cable a terra amb el seccionador de posada a terra o amb una perxa de posada a terra. Si encara hi ha tensió, actuar sobre la cel·la de sortida d'aquest cable.

2.1.2 Maniobres en la cel·la de protecció amb fusibles

S'ha de tancar l'interruptor seccionador i carregar la molla per tal que pugui actuar de manera automàtica si hi ha una anomalia. Si s'ha de substituir un fusible cal:

- Obrir l'interruptor seccionador (si s'ha fos el fusible ja estarà obert).
- Obrir l'interruptor automàtic del quadre de BT per evitar tensions de retorn.
- Connectar el seccionador de posada a terra. En cas que no n'hi hagi, s'ha d'utilitzar una perxa de posada a terra.
- Obrir la cel·la i canviar els fusibles.

2.1.3 Maniobres en la cel·la de protecció amb interruptor automàtic

Amb el seccionador obert, el seccionador de posada a terra tancat i l'interruptor automàtic connectat, s'ha de fer el següent:

- Comprovar en el quadre de BT que l'interruptor general automàtic està obert.
- Obrir l'interruptor automàtic en el centre de transformació.
- Obrir el seccionador de posada a terra.
- Comprovar l'absència de tensió.
- Tancar el seccionador.
- Tancar l'interruptor automàtic.
- Comprovar que hi ha tensió a la sortida de l'interruptor automàtic.

2.2 Utilització dels equips de protecció individual

S'entén per **equip de protecció individual** (EPI) qualsevol equip destinat a ser portat o subjectat pel treballador o treballadora perquè el protegeixi d'un risc o de diversos que puguin amenaçar la seva seguretat o la seva salut en el treball, així com qualsevol complement o accessori destinat a aquesta finalitat.

Els **equips de protecció individual** han d'estar marcats amb el tipus de protecció i/o la tensió d'utilització corresponent, el número de sèrie i la data de fabricació. Els equips de protecció individual per a treballs en **tensió (BT)** inclouen:

- Casc aïllant, per a treballs en AT, BT i maniobres.
- Pantalla facial, per evitar riscos de projeccions de partícules de metall i de les altes temperatures.

- Ulleres inactíniques, per protegir els ulls contra enlluernaments per curtcircuits.
- Guants aïllants, per treballar amb BT en tensió o reposició de fusibles.
- Guants ignífugs, per protegir de l'arc elèctric.
- Guants de protecció mecànica, per evitar que el guant aïllant es pugui fer malbé.
- Calçat de seguretat, per prevenir riscos mecànics.
- Cinturó de seguretat, per protegir de caigudes en treballs en altura.
- Eines aïllades, per protegir les mans de contactes amb tensió.
- Roba de treball que protegeixi de l'arc elèctric.

A banda d'aquest elements, **cal protegir el treballador** dins la zona d'operacions d'**elements que estiguin a diferent potencial**, per això es fan servir també:

- Dispositius aïllants per separar físicament el treballador (banquetes o plataformes).
- Accessoris aïllants per protegir conductors nus (teixits vinílics, cobertes).

2.3 Eines i instrumentació específica

Per als treballs a mitja tensió (MT) i alta tensió (AT) calen unes eines específiques (figura 2.3):

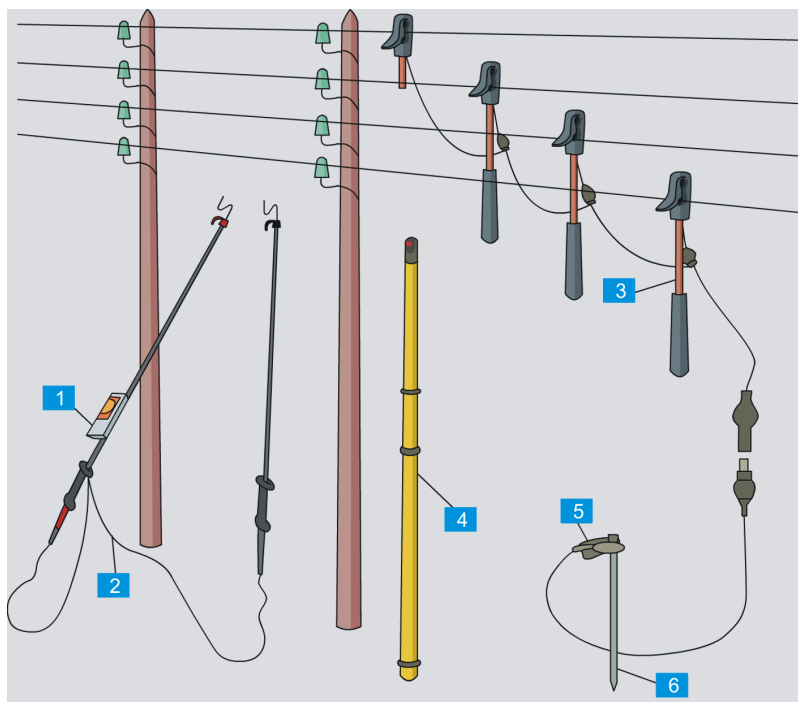
- Perxes: de salvament (entre 45 i 90 kV), maniobra (45, 66 i 132 kV) i verificació d'absència de tensió (entre 5 i 40 kV).
- Equips de posada a terra i en curtcircuit, que serveixen també per a instal·lacions interiors trifàsiques. Estan formats per pinça, unió de posada a terra i curtcircuit i torn.

Segons el tipus de treball o maniobra que s'ha de fer es fan servir uns equips específics:

- En **maniobres en interruptors i seccionadors**, es fan servir simultàniament dos dels elements següents:
 - Perxa aïllant
 - Guants aïllants
 - Banqueta aïllant
- En **maniobres de tall** cal:

- Evitar el funcionament intempestiu amb mesures adients en accionament mecànic.
- Obrir primer circuits amb tensió més baixa i després els de tensió més alta.
- En **maniobres en transformadors** cal:
 - Situar cartells en aparells de tall per evitar maniobres posteriorment.
 - Si només hi ha dispositiu de tall en càrrega en AT, invertir l'ordre de desconexió.
 - Verificar l'absència de tensió en AT i BT.
 - Tancar el secundari del transformador d'intensitat, amb alimentació o curtcircuit.

FIGURA 2.3. Eines per a MT i AT



A la figura 2.3 es mostren les següents eines:

1. Multicontrolador de baixa tensió 6 a 690 V AC DC
2. Antenes de contacte per multicontrolador longitud: 1,25 m
3. Equip de posada en curtcircuit
4. Perxa aïllant telescòpica
5. Equip complementari de posada a terra
6. Pica de terra longitud: 1 m.

2.4 Maniobres bàsiques segons el tipus de cel·la

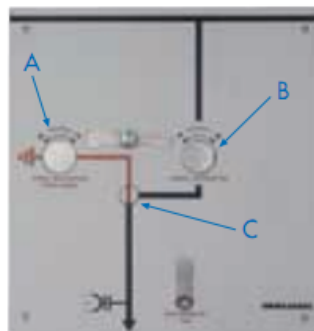
A cada cel·la hi ha un esquema del circuit principal, amb els eixos dels accionaments dels interruptors, senyalitzacions de posició dels interruptors i seccionadors de posada a terra.

Segons el tipus de cel·la (figura 2.4) es duen a terme les maniobres següents:

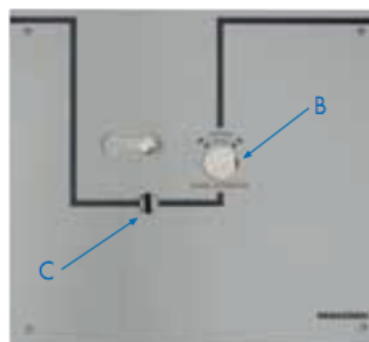
- Cel·la de línia (CML)
- Cel·la d'interruptor passant (CMIP)
- Cel·la de protecció amb fusibles (CMP-F)
- Cel·la d'interruptor automàtic (CMP-A)

FIGURA 2.4. Diferents tipus de cel·les

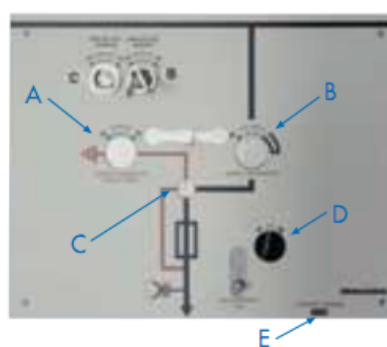
CML



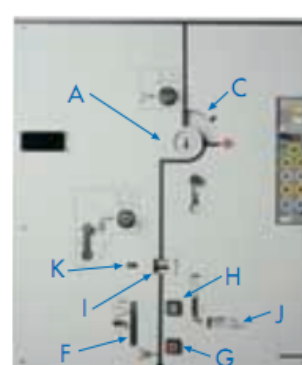
CMIP



CMP-F



CMP-V

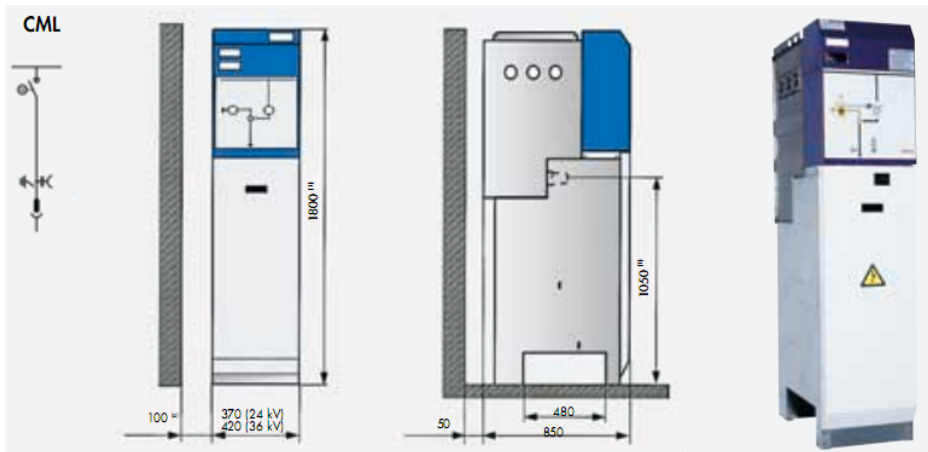


2.4.1 Cel·la de línia (CML)

Les maniobres bàsiques (figura 2.5) que s'han de fer en una cel·la de línia (CML) són:

- Obertura/tancament del seccionador de posada a terra
- Tancament/obertura de l'interruptor
- Senyalització de posició de l'interruptor

FIGURA 2.5. Cel·la de línia (CML)



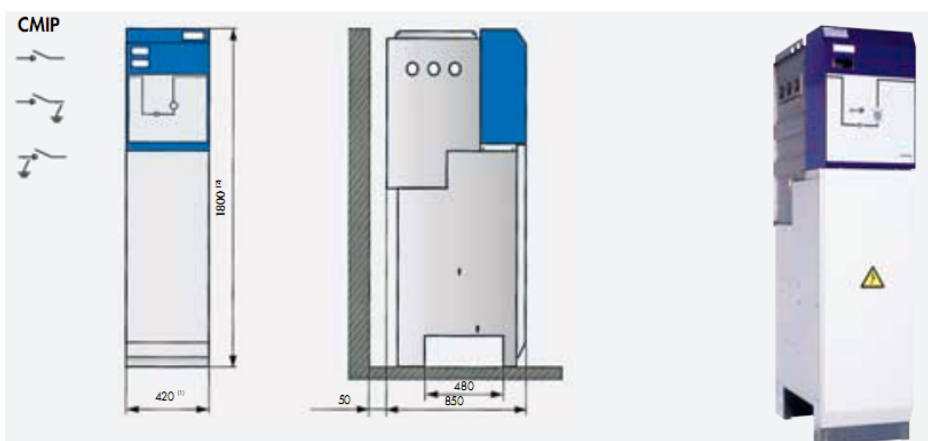
Font: Ormazabal

2.4.2 Cel·la d'interruptor passant (CMIP)

Les maniobres bàsiques (figura 2.6) que s'han de fer en una cel·la d'interruptor passant (CMIP) són:

- Obertura/tancament de l'interruptor
- Senyalització de posició de l'interruptor

FIGURA 2.6. Cel·la d'interruptor passant (CMIP)

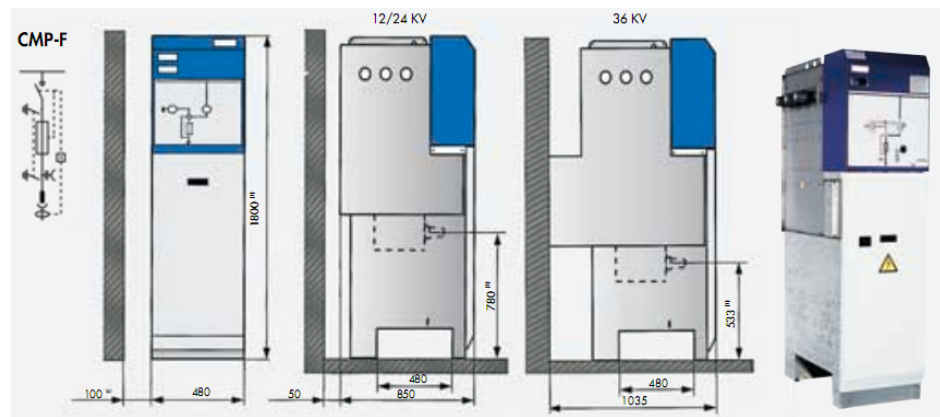


2.4.3 Cel·la de protecció amb fusibles (CMP-F)

Les maniobres bàsiques (figura 2.7) que s'han de fer en una cel·la de protecció amb fusibles (CMP-F) són:

- Obertura/tancament del seccionador de posada a terra
- Tancament de l'interruptor/càrrega de ressorts
- Senyalització de posició de l'interruptor
- Alliberació de ressorts amb obertura de l'interruptor
- Senyalització de la posició de fusibles

FIGURA 2.7. Cel·la de protecció amb fusibles (CMP-F)



2.4.4 Cel·la d'interruptor automàtic (CMP-A)

Les maniobres bàsiques que s'han de fer en una cel·la d'interruptor automàtic (CMP-A) són:

- Càrrega de ressorts
- Obertura de l'interruptor automàtic
- Tancament de l'interruptor automàtic
- Senyalització de posició de l'interruptor automàtic
- Indicació de tensat de ressorts

2.5 Plans de manteniment en centres de transformació

Quan es parla de manteniment ens podem referir a un manteniment:

- **preventiu:** busca reduir la reparació mitjançant una rutina d'inspeccions periòdiques i la renovació dels elements danyats;
- **correctiu:** quan les avaries són imminents o ja s'han produït;
- **predictiu:** basat a predir la falla abans que es produeixi. Es tracta d'aconseguir avançar-se a la falla o al moment en què l'equip o l'element deixa de treballar en condicions òptimes.

En relació amb el manteniment de les instal·lacions (i el control periòdic dels sistemes de protecció), els reglaments electrotècnics estableixen l'obligació de realitzar les revisions periòdiques que s'indiquen en la taula 2.1.

TAULA 2.1. Intervals de revisions

Tipus d'instal·lació	Revisió
Per a les preses de terra	1. Revisió cada tres anys (MIE-RAT 13)
En instal·lacions elèctriques de més de 1.000 V en corrent altern o en centres de transformació constituïts per un transformador reductor o més d'un d'alta a baixa tensió	1. Contracte de manteniment amb empresa autoritzada (llevat d'excepcions) (art. 12 RD 3275/82) 2. Inspecció periòdica cada tres anys per un organisme de control autoritzat (art. 13 RD 3275/82) 3. Llibre d'instruccions de manteniment (MIE-RAT 14) (MIE-RAT 15)
En línies i altres instal·lacions destinades al transport, distribució i subministrament d'energia elèctrica en AT	1. Revisió cada tres anys, realitzada per tècnics titulats, lliurement designats pel titular de la instal·lació, que han d'omplir els butlletins corresponents (art. 163 RD 1955/2000, d'1 de desembre) 2. Inspeccions realitzades per la Comissió Nacional de l'Energia, mitjançant procediment reglat, en col·laboració amb els serveis tècnics de l'Administració general de l'Estat o de les comunitats autònomes on s'ubiquen, en aquelles instal·lacions en què l'autorització correspongui a l'Administració general de l'Estat (art. 164 RD 1955/2000).

En els annexos que acompanyen el Reial decret 614/2001 s'indica quina és la formació i la capacitat mínima que han de tenir els treballadors, en funció del treball que desenvolupen.

2.6 Avaries tipus en centres de transformació: localització i reparació

Les avaries més freqüents en el cas de **centres de transformació d'intempèrie** són les degudes a causes climàtiques i a actes vandàlics. Els elements més afectats són els aïllants, els fusibles i les autovàlvules, tots ells elements de fàcil substitució i identificació visual.

D'altra banda, en els **centres de transformació d'interior**, les avaries més freqüents són causades pel trencament dels comandaments d'alguna de les cel·les. En aquests casos s'ha de comunicar al fabricant.

Altres avaries poden estar originades per una mala connexió (cargols mal ajustats)

i en aquests casos es pot detectar l'augment de temperatura amb càmeres termogràfiques.

2.7 Mesures característiques i paràmetres de control per a centres de transformació

A l'hora de fer el seguiment de les característiques i els paràmetres de control d'un centre de transformació cal distingir primer si el centre de transformació és d'interior o d'intempèrie. Tot seguit s'han de descriure les operacions que s'han de dur a terme en cada modalitat de centre de transformació.

2.7.1 Operacions en centres de transformació d'interior

Per a un centre de transformació d'interior es realitzen les operacions que es descriuen a continuació:

- **Identificació i seguretat**

- Identificar el centre de transformació d'interior amb la seva fitxa i amb l'ordre de treball de la companyia elèctrica subministradora (en cas que el centre de transformació sigui de la seva propietat).
- Complir les mesures específiques que, en matèria de seguretat, exigeixi la companyia elèctrica subministradora (en cas que el centre de transformació sigui de la seva propietat).

- **Posades a terra**

- Comprovar possibles defectes en els conductors o en les connexions de la posada a terra.
- Mesurar la resistència de la posada a terra.
- Mesurar les tensions de pas i de contacte.
- Comprovar que tots els elements estan posats a terra.
- Comprovar la connexió correcta de la terra del neutre.

- **Transformadors**

- Observar el nivell de l'oli.
- Observar l'existència de fuites d'oli.
- Observar que les rodes estan bloquejades.
- Comprovar l'actuació correcta del termòmetre.

- **Aparellatge d'alta tensió**

- Comprovar l'estat de les autovàlvules en CT amb entrada aèria.

- Observar el funcionament correcte dels detectors de tensió.

- **Embarrats i connexions**

- Comprovar l'existència de signes d'escalfament excessiu per mitjà d'un equip detector de temperatura per infrarojos.
- Observar distàncies inferiors a les admissibles.
- Observar seccions insuficients.
- Observar l'estat de les connexions.

- **Locals i proteccions**

- Comprovar l'estat dels elements de tancament.
- Comprovar que les dimensions dels passadissos són reglamentàries.
- Observar l'existència de fossa de recollida d'oli, i comprovar que sigui correcta.
- Comprovar si la ventilació del local és suficient i està en bon estat.
- Observar l'existència d'humitat.
- Observar l'existència de rètols indicadors.
- Observar el funcionament correcte de l'enllumenat d'emergència.
- Observar l'existència i bon estat de les proteccions contra contactes accidentals.
- Comprovar l'existència de banqueteta o estoreta aïllant.
- Observar el sistema fix d'extinció d'incendis en cas necessari.

- **Proteccions al secundari de BT del transformador**

- Observar l'existència de proteccions contra contactes accidentals.
- Comprovar l'existència de signes d'escalfament en barres o connexions de sortida per mitjà d'un equip de detecció de temperatura per infrarojos.
- Comprovar l'estat dels fusibles i que la seva intensitat sigui correcta.

- **Gestió de residus**

- Observar si hi ha residus perillosos sense envàs o mal envasats dins del local.

2.7.2 Operacions en centres de transformació d'intempèrie

Per a un centre de transformació d'intempèrie s'han de dur a terme les operacions que es descriuen a continuació:

- **Identificació i seguretat**

- Identificar el CT d'intempèrie amb la seva fitxa i amb l'ordre de treball de la companyia elèctrica subministradora (en cas que el CT sigui de la seva propietat).
- Complir les mesures específiques que en matèria de seguretat exigeixi la companyia elèctrica subministradora (en cas que el CT sigui de la seva propietat).

- **Suport**

- Verificar l'estat. De fusta esquerpada o podrida, de formigó esquerdat o trencat; metàl·lic deformat, amb flexions perilloses o oxidat.
- Comprovar que els de fusta no tinguin un diàmetre inferior al reglamentari.
- Comprovar l'estat dels ferratges.
- Observar que no estigui desplomat.
- Comprovar si falta el sistema antiescalada.
- Observar l'absència de senyalització de perill.

- **Tirants**

- Verificar l'estat.
- Comprovar si estan connectats a terra o aïllats.
- Observar si tenen protecció en llocs freqüentats.

- **Fonamentació**

- Comprovar si està trencada o clivellada de manera perillosa.
- Observar si té condicions d'estabilitat deficientes.

- **Distàncies de seguretat**

- Mesurar la distància al terreny de parts en tensió no reglamentària.
- Mesurar la distància al terreny de les masses dels equips.

- **Posades a terra**

- Comprovar possibles defectes en els conductors o en les connexions de la posada a terra.
- Mesurar la resistència de la posada a terra.
- Mesurar les tensions de pas i de contacte.
- Comprovar que tots els elements estan posats a terra.
- Comprovar la connexió correcta de la terra del neutre.

- **Transformadors**

- Observar el nivell de l'oli.
- Observar l'existència de fuites d'oli.

- **Aparellatge d'alta tensió**

- Observar l'estat de parallamps o la seva absència.

- **Embarrats i connexions**

- Observar l'existència de signes d'escalfament excessiu per mitjà d'un equip detector de temperatura per infrarojos.
- Observar distàncies inferiors a les admissibles.
- Observar seccions insuficients.
- Observar l'estat de les connexions.

- **Proteccions al secundari de BT del transformador**

- Observar que siguin adequades.
- Comprovar l'existència de signes d'escalfament en barres o connexions de sortida per mitjà d'un equip de detecció de temperatura per infrarojos.
- Observar connexions en mal estat.

- **Gestió de residus**

- Comprovar l'existència de residus en les proximitats del suport (restes d'estructures metàl·liques, aparellatge, restes vegetals, etc.).

2.8 Condicions de posada en servei d'un centre de transformació

S'ha d'avisar el titular i tot el personal relacionat amb la construcció, manteniment i explotació abans de donar tensió a la instal·lació, i a partir d'aquest avís s'ha de considerar que la instal·lació està en tensió.

Un cop superada la revisió i desconnectada la baixa tensió dels transformadors s'ha de procedir a donar tensió pel costat d'alta tensió, i s'ha de mantenir un mínim de 15 minuts.

A continuació es comprova la tensió de baixa tensió (compresa en un rang del 7%), la rotació (que s'ha senyalitzat prèviament) i la possibilitat de connectar en paral·lel amb altres transformadors. Es verifica el funcionament dels relés de protecció i dels comandaments a distància.

Després, desconnectant la part de la instal·lació que calgui, es normalitzen les connexions de baixa i alta tensió. A continuació es connecta i es fa que la transformació prengui càrrega. Quan la càrrega sigui significativa, s'han d'observar els possibles punts calents, els sorolls anormals, l'existència d'efluvis i el funcionament dels controladors.

Si tot això és correcte o un cop efectuades les modificacions pertinents, es dona d'alta la instal·lació.

2.9 Identificació dels riscos més importants

Tot seguit es descriuen els riscos més importants en el manteniment de centres de transformació així com en el muntatge i el manteniment de línies aèries i subterrànies de baixa tensió i també en instal·lacions elèctriques d'enllaç.

En el cas dels **centres de transformació**, els riscos més importants en les activitats de manteniment són els següents:

- Les maniobres intempestives (imprevistes o per error) dels interruptors de totes les cel·les del centre de transformació.
- El tancament de seccionadors de posada a terra que generen curtcircuits.
- Els corrents de retorn a través de la xarxa de BT per doble subministrament.

D'altra banda, els riscos en el **muntatge i el manteniment de línies aèries** són els que es deuen, principalment, a caigudes com, per exemple:

- La caiguda d'objectes i eines de l'operari.
- Els despreniments de material mentre es fan perforacions en murs i façanes quan l'operari treballa sense protecció ocular.
- La caiguda de persones a diferent nivell, quan l'operari utilitza, per exemple, una escala.
- La caiguda de persones al mateix nivell, sovint deguda a alguna eina que l'operari ha deixat a terra.
- Els cops als vianants o altres treballadors, quan no s'ha senyalitzat correctament la zona de treball.

Finalment, en el cas del **manteniment de xarxes subterrànies** es poden esmentar els mateixos riscos que heu vist descrits en el cas de les línies aèries (caigudes, cops i despreniments), a més dels sorolls i les vibracions, per l'ús de maquinària per a les excavacions i les compactacions de terra.

2.10 Mesures de seguretat i de protecció individual

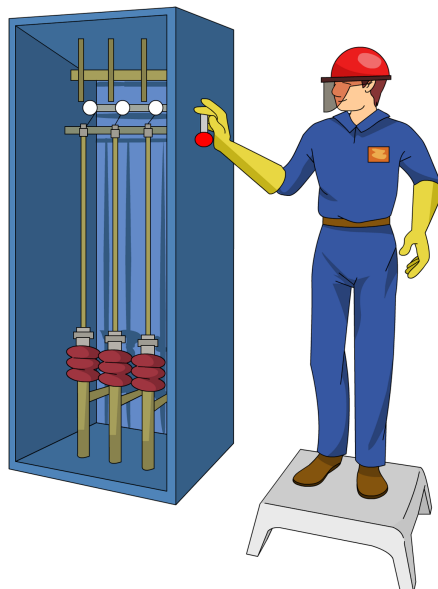
Pel que fa a les mesures de seguretat i de protecció individual en les operacions de manteniment de centres de transformació i en les de muntatge i manteniment de línies aèries i subterrànies de baixa tensió, així com en les instal·lacions elèctriques d'enllaç, en aplicació de la normativa de prevenció de riscos laborals (inclosa la de seguretat davant del risc elèctric), podem distingir inicialment entre els treballs que es fan amb tensió i els que es fan sense tensió.

Per tal de poder realitzar treballs en AT sense tensió s'utilitzen les anomenades **cinc regles d'or**, regles que defineixen una metodologia de treball en instal·lacions elèctriques destinada a garantir la seguretat dels treballadors i a disminuir el risc elèctric. Aquestes cinc regles d'or són les següents:

1. Obrir totes les fonts de tensió (tall visible). Cal tenir en compte que alguns interruptors no proporcionen un tall visible, raó per la qual no es pot comprovar físicament si el circuit elèctric està obert. El circuit elèctric sobre el qual s'ha de treballar ha d'estar obert de manera visible (figura 2.8), mitjançant:

- Seccionadors
- Fusibles
- Ponts

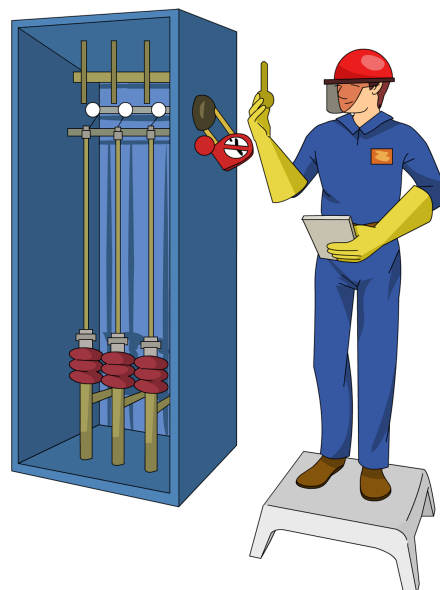
FIGURA 2.8. Primera regla d'or: tall de tensió visible



2. Enclavar, bloquejar i senyalitzar els aparells de tall. A més, s'ha de senyalitzar el bloqueig de l'aparell de tall i s'ha d'impedir la maniobra de connexió, mitjançant l'enclavament dels aparells de tall (figura 2.9). Aquest bloqueig pot ser dels tipus següents:

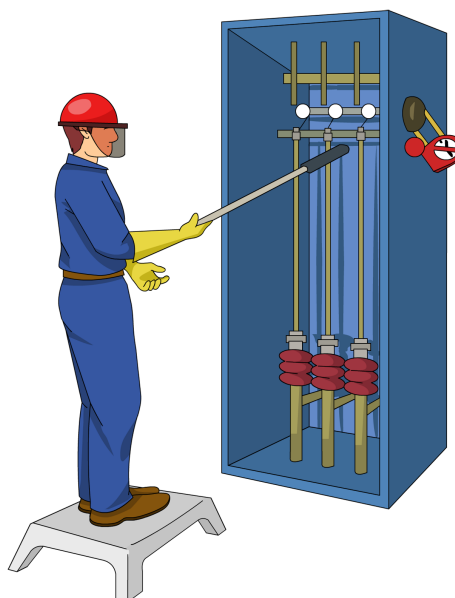
- Físic: interposant un element aïllant.
- Mecànic: amb cadenats, panys o passadors.
- Elèctric: traient els fusibles.
- Neumàtic: sobre l'alimentació del circuit d'aire comprimit que acciona el comandament de l'interruptor.

FIGURA 2.9. Segona regla d'or: bloqueig dels aparells de tall



3. Comprovar l'absència de tensió. Si no s'ha comprovat l'absència de tensió en la instal·lació, s'ha de considerar que té tensió. El procés de comprovació (figura 2.10) s'ha de realitzar procedint com si la instal·lació tingués tensió i amb el material adequat (guants, ulleres, banqueta i perxa de salvament) i verificant-ho abans de començar els treballs.

FIGURA 2.10. Tercera regla d'or: comprovació d'absència de tensió



Cal mantenir la distància de seguretat que estableix el Reial decret 614/2001 (que s'indica a la taula 2.2) i s'ha d'utilitzar un detector d'absència de tensió (òptic, acústic o mixt).

TAULA 2.2. Distàncies de seguretat (les distàncies per a valors de tensió intermedis s'han de calcular per interpolació lineal)

U_n (kV)	D_{PEL-1} (cm)	D_{PEL-2} (cm)	D_{PROX-1} (cm)	D_{PROX-2} (cm)
≤ 1	50	50	70	300
3	62	52	112	300
6	62	53	112	300
10	65	55	115	300
15	66	57	116	300
20	72	60	122	300
30	82	66	132	300
45	98	73	148	300
66	120	85	170	300
110	160	100	210	500
132	180	110	330	500
220	260	160	410	500
380	390	250	540	700

Les magnituds referenciades a la taula 2.2 són:

- U_n és la tensió nominal de la instal·lació (expressada en kV).
- D_{PEL-1} és la distància fins al límit exterior de la zona de perill quan hi ha risc de sobretensió per caiguda d'un llamp (expressada en cm).
- D_{PEL-2} és la distància fins al límit exterior de la zona de perill quan no hi hagi el risc de sobretensió per raig (expressada en cm).
- D_{PROX-1} és la distància fins al límit exterior de la zona de proximitat quan resulti possible delimitar amb precisió la zona de treball i controlar que aquesta zona no se sobrepassa durant la realització del procés (expressada en cm).
- D_{PROX-2} és la distància fins al límit exterior de la zona de proximitat quan no sigui possible delimitar amb precisió la zona de treball i controlar que aquesta no se sobrepassada mentre es realitzen els treballs (expressada en cm).

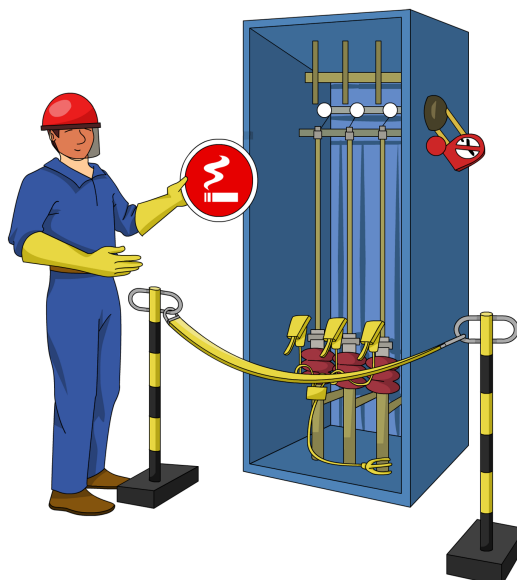
4. Posada a terra i curtcircuit de les fonts de tensió. Els elements conductors de la instal·lació es connecten a terra i en curtcircuit entre ells, amb la finalitat d'evacuar el corrent en cas de fallada d'aïllament, inducció o fenòmens atmosfèrics (figura 2.11). Es poden considerar els tipus de posada a terra fixos (formen part del circuit) i portàtils (amb pinces, conductors i piques).

FIGURA 2.11. Quarta regla d'or: posada a terra i curtcircuit de fonts de tensió



5. Delimitar i senyalitzar la zona de treball. La zona on s'estan realitzant els treballs se senyalitza per mitjà de cintes, cons o dispositius anàlegs (figura 2.12). Si escau, també se senyalitzen les zones segures per al personal que no està treballant en la instal·lació.

FIGURA 2.12. Cinquena regla d'or: senyalització



2.10.1 Treballs en tensió

Els treballs en tensió els han de fer treballadors qualificats, que han de seguir el procediment i, quan la complexitat o novetat així ho requereixi, han d'haver-los

assajat sense tensió, de manera que s'ajustin als requisits que s'indiquen en el mètode de treball en tensió.

A més, els treballs que es desenvolupen en llocs en què la comunicació és difícil, atesa l'orografia del lloc, el confinament o altres circumstàncies, els treballs s'han de fer amb la presència com a mínim de dos treballadors amb formació en matèria de primers auxilis.

Hi ha tres mètodes de treball en tensió:

- **Mètode de treball a potencial.** Aquest mètode és utilitzat en instal·lacions i línies de transport d'alta tensió, requereix que el treballador manipuli directament els conductors o elements en tensió, per a la qual cosa cal que es posi al mateix potencial de l'element de l'actualització que es treballa. En aquestes condicions, s'ha d'assegurar l'aïllament respecte a terra i a les altres fases de la instal·lació.
- **Mètode de treball a distància.** En aquest mètode, utilitzat en instal·lacions d'alta tensió en la gamma mitjana de tensions, el treballador roman al potencial de terra, bé sigui a terra, en els suports d'una línia aèria o en qualsevol altra estructura o plataforma. El treball es realitza mitjançant eines acoblades a l'extrem de perxes aïllants. Les perxes solen estar formades per tubs de fibra de vidre amb resines epoxi, i les eines que s'acoblen als seus extrems han d'estar dissenyades específicament per realitzar aquest tipus de treballs.
- **Mètode de treball amb protecció aïllant a les mans.** Aquest mètode de treball en contacte amb la protecció aïllant a les mans és utilitzat principalment en baixa tensió, encara que també s'utilitza en la gamma baixa d'alta tensió. Requereix la utilització de guants aïllants a les mans i per poder treballar cal que les eines manuals utilitzades (alicates, tornavisos, claus de femelles, etc.) disposin del recobriments aïllant adequat.

2.10.2 Treballs en proximitat

Tenint en compte els gestos o moviments normals que pot efectuar el treballador sense desplaçar-se podem definir la **zona de treballs en tensió** o **zona de perill** com l'espai al voltant dels elements en tensió en què la presència d'un treballador desprotegit suposa un risc greu i imminent que es produeixi un arc elèctric, o un contacte directe amb l'element en tensió.

El **treball en proximitat** és el treball en el qual el treballador entra o pot entrar en la **zona de proximitat**, sense entrar en la **zona de perill**, bé sigui amb una part del seu cos o amb les eines, els equips, els dispositius o els materials que manipula.

Quan no hi hagi una barrera física de protecció davant aquest risc, la distància des de l'element en tensió fins al límit exterior de la zona de perill o la de proximitat ha de ser la que s'indica en la taula 2.2.

En la **zona de perill** només els és permès treballar a treballadors qualificats, mitjançant mètodes i procediments especials, coneguts com a **treballs en tensió**. Al voltant de la zona de perill es diferencia un altre espai, la **zona de proximitat**, des del qual el treballador pot envair accidentalment la zona en què es desenvolupen els treballs en tensió.

2.10.3 Treballs en transformadors i en màquines en alta tensió

En els TT, si les característiques dels mitjans de tall ho permeten, s'ha de fer primer la separació dels circuits de menys tensió. I per a la reposició de la tensió s'ha de procedir de manera inversa.

Per treballar sense tensió en un **transformador de potència o de tensió** cal deixar sense tensió tots els circuits del primari i tots els circuits del secundari.

En els TI es prohibeix l'obertura dels circuits connectats al secundari si el primari està en tensió, llevat que sigui necessari per alguna causa, en aquest cas s'han de curtcircuitar els borns del secundari.

Per treballar sense tensió en un **transformador d'intensitat**, o sobre els circuits que alimenta, es deixa prèviament sense tensió el primari.

2.11 Classificació dels residus per a la seva retirada

Deixant de banda la contaminació acústica produïda pels sorolls i vibracions, els **residus potencials** que cal considerar són els **elements** que s'han de substituir a causa d'una avaria o un canvi, els quals s'han de tractar com a ferralla: d'altra banda, el **líquid refrigerant** del centre de transformació, l'**oli** del transformador (encara que ja s'utilitzen transformadors de tipus sec, modelats en resina) ha de ser tractat de manera que permeti la seva retirada selectiva.

Un cas a part és l'**hexafluorur de sofre**, compost que actua com un gas aïllant en les cel·les del centre de transformació.

2.11.1 L'hexafluorur de sofre

L'**hexafluorur de sofre** és un gas inert, més pesat que l'aire, no és tòxic ni inflamable, però és asfixiant i té un color i una olor característics. Es produeix per reacció directa a uns 300°C de sofre fos i del fluor gasós. És estable en

condicions normals, i en ser exposat a temperatures elevades, es descompon i origina productes tòxics que poden ser corrosius en presència d'humitat.

El **principal problema mediambiental** pel que fa a l'hexafluorur de sofre és que, un cop alliberat, és un agent intensificador de l'efecte hivernacle, i té un potencial d'escalfament global i un temps de vida en l'atmosfera molt elevats.

En produir **pèrdues en zones confinades**, aquest líquid s'evapora molt ràpidament i origina una saturació total de l'aire amb greu risc d'asfíxia. A causa d'aquesta ràpida evaporació es produeixen efectes de congelació per contacte amb el líquid.

2.12 Compliment de la normativa de protecció ambiental i de prevenció de riscos laborals

La normativa d'aplicació per a la gestió de residus inclou les normes següents:

- Llei 10/1998 de residus
- Ordre MAM/304/2002, de 8 de febrer, de valoració i eliminació de residus
- Reial decret 208/2005 de gestió de residus d'aparells elèctrics i electrònics

L'Agència de Residus de Catalunya té competència sobre els residus que es generen a Catalunya i sobre aquells que es gestionen en el seu àmbit territorial. En el Catàleg Europeu de Residus, els residus adopten una codificació de sis xifres (les dues primeres identifiquen el grup de residus, les dues següents el subgrup, i les dues últimes xifres, el residu en qüestió).

El format de la codificació és igual que el del Catàleg de Residus de Catalunya, tot i que ambdós codis no tenen per què ser coincidents.

Per a cada codificació es poden consultar les instal·lacions autoritzades corresponents per a la gestió dels residus.

Exemple del terme transformador

En cercar el terme *transformador* a l'Agència de Residus de Catalunya trobem una llista d'instal·lacions autoritzades i la codificació corresponent.

"16. Residus no especificats anteriorment en el catàleg (equips industrials, gasos, productes químics de laboratori, residus d'explosius, moviment de terra i indústria de productes minerals).

1601 Equips industrials (electrònics, vehicles fora d'ús...) i altres residus rebutjats.

160109 Transformadors i condensadors que contenen PCB i PCT.

160112 Transformadors i condensadors amb olis sense PCB i PCT."

Podeu trobar la informació relativa a l'Agència de Residus de Catalunya al web <http://www.arc.cat>.

La norma UNE 20460-4-41 defineix aïllaments de parts actives, barreres i obstacles.

D'altra banda, els treballs elèctrics i la prevenció de riscos estan regulats pel **Reial decret 614/2001**, del 8 de juny. Igualment, el **Reial decret 485/1997**, de 14 de abril, estableix les disposicions mínimes en matèria de senyalització de seguretat i salut en el treball.

A aquests efectes, interessa destacar també les ITC-BT-22, ITC-BT-23 i ITC-BT-24 del Reglament electrotècnic per a baixa tensió i instruccions tècniques complementàries” (**Reial decret 842/2002**, de 18 d'agost), les quals tracten, respectivament, de la protecció contra sobreintensitats, contra sobretensions i contra contactes elèctrics directes i indirectes.