

Configuració dels centres de transformació

Desenvolupament de xarxes elèctriques i centres de transformació

CFGS Sistemes electrotècnics i automatitzats



Pau Casesnoves

Centre Integrat de Formació Professional

Índex (1)

- ▶ Elecció dels transformadors:
 - ▶ Potència de les càrregues i del transformador.
 - ▶ Nombre de transformadors i connexió.
 - ▶ Tipus i model.
- ▶ Elecció de l'aparamenta:
 - ▶ Corrents nominal i de curtcircuit.
 - ▶ Voltatge nominal.
 - ▶ Esquema i cel·les de MT.
 - ▶ Quadre de baixa tensió.
 - ▶ Bateries de condensadors.

Índex (2)

- ▶ Instal·lació de posada a terra:
 - ▶ Configuracions del mètode UNESA.
 - ▶ Càlcul del màxim corrent de defecte.
 - ▶ Càlcul dels valors de la posada a terra.
 - ▶ Valors límit.
- ▶ Serveis:
 - ▶ Protecció contra incendis.
 - ▶ Ventilació.
- ▶ Obra civil:
 - ▶ Disposició interior.
 - ▶ Altres requisits.

Transformador

Elegir el model de transformador o transformadors a instal·lar.

Potència de les càrregues (1)

- ▶ S'ha d'estimar primer de tot la potència aparent de les càrregues que ha d'alimentar el CT.
- ▶ En un **CT d'abonat** si es saben les càrregues es pot determinar la potència:
 - ▶ Tenir en compte els rendiments, per tal de calcular la potència consumida.
 - ▶ Tenir en compte factors d'utilització (si no funcionen a la seva potència nominal) i factors de simultaneïtat (si no funcionen a la vegada).
- ▶ Si no es saben les càrregues es pot fer una estimació amb taules.

Fuerza motriz	Potencia estimada VA/m ²
Compresores y bombas	de 3 a 6
Ventilación locales	23
Despachos	25
Talleres de expedición	50
Talleres de montaje	70
Talleres de mecanizado	300
Talleres de pintura	350
Talleres de tratamiento térmico	700

Número de circuitos	Factor de simultaneidad ks
2 a 3	0,9
4 a 5	0,8
5 a 9	0,7
10 ó más	0,6

Potència de les càrregues (2)

- ▶ En un **CT de companyia distribuïdora** es pot fer una estimació del consum dels edificis segons la ITC-BT-10, aplicant els següents factors de simultaneïtat (Decret de la Conselleria de Comerç, Indústria i Energia núm. 9448 del 17 de maig de 2006):
 - ▶ Ús residencial, incloent tots els serveis comuns (ascensors, enllumenat escala, bombes d'aigua...) i els aparcaments, s'aplica un **factor de 0,5** (no s'apliquen els de la ITC-10)
 - ▶ Ús comercial, s'aplica un **factor de 0,7**.
 - ▶ Ús industrial, s'aplica un **factor de 0,6**.
- ▶ En tots els casos s'ha de considerar un factor de potència de 0,9 per al càlcul de la potència aparent. Segons el decret de la conselleria ja s'inclou als factors de correcció.

Potència del transformador

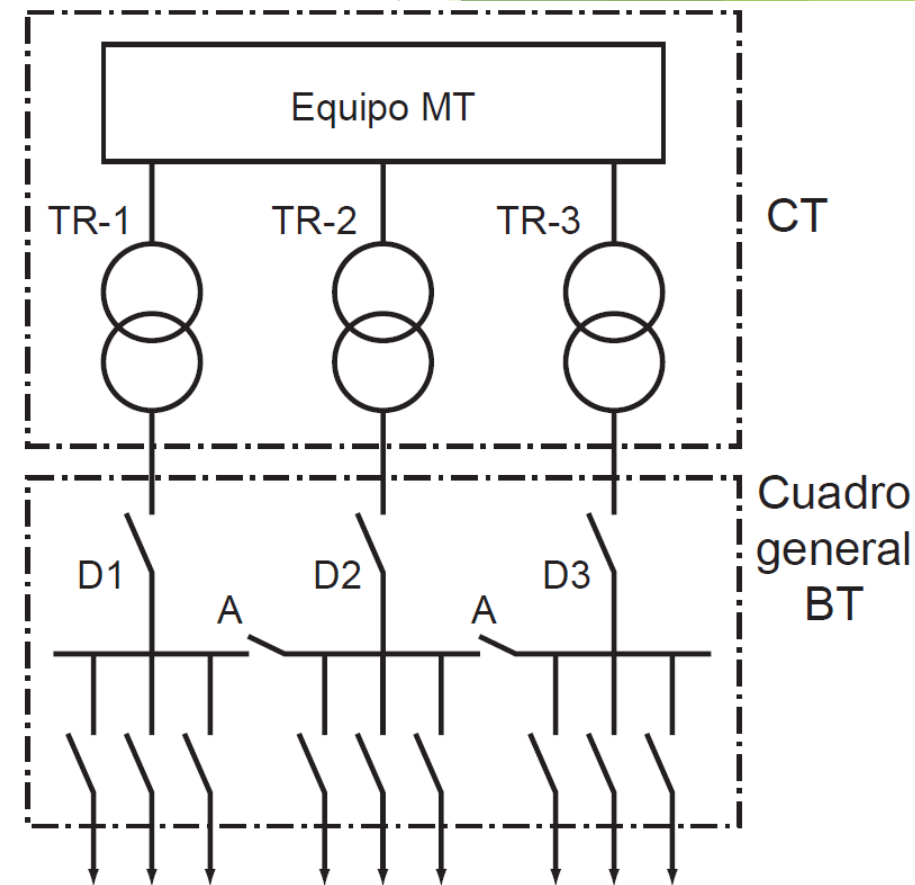
- ▶ A partir de la potència aparent de les càrregues, s'ha d'elegir la potència del transformador o transformadors per a que funcionin normalment a una càrrega d'entre el 65% i el 75% de la seva potència nominal.

$$S_n \approx \frac{S_{\text{càrregues}}}{0,7}$$

- ▶ Així les pèrdues (i per tant la temperatura) es redueixen aproximadament a la meitat ($P=R \cdot I^2$) i s'augmenta la vida útil del transformador. A més es disposa d'un marge de reserva davant augments de càrrega.
- ▶ Una criteri habitual per a l'elecció del transformador és la de considerar una reserva del 20%, i que considerant aquesta reserva no s'arribi al 75% de la potència nominal del transformador.

Nombre de transformadors

- ▶ S'ha d'elegir el nombre de transformadors segons les càrregues a alimentar i la continuïtat de servei que es vulgui garantir. Hi ha tres opcions:
 - ▶ Tenir un únic transformador. És la solució més utilitzada.
 - ▶ Tenir varis transformadors que **NO** treballen en paral·lel (cada un alimenta una part de la instal·lació). Té certs avantatges:
 - ▶ Corrent de curtcircuit reduït.
 - ▶ Millora de la continuïtat del servei. Els interruptors A estan sempre oberts, però si un transformador falla es desconnecta amb els interruptors D i es tanquen els A, de forma que passen a funcionar en paral·lel i alimenten a totes les càrregues.
 - ▶ Varis transformadors treballant en paral·lel. Es sol utilitzar si s'han de alimentar càrregues d'alta potència (motors molt potents), però augmenta el corrent de curtcircuit.



Tipus i model de transformador

- ▶ Elegir tipus de transformador (bany d'oli o sec).
 - ▶ Es solen utilitzar els de bany d'oli si no hi ha cap impediment pel perill d'incendi.
- ▶ Elegir el model.
- ▶ Elegir les proteccions contra sobrecàrregues i sobretemperatures del transformador.
 - ▶ En els CT de la xarxa pública, els transformadors només solen dur protecció contra sobretemperatura.

Aparamenta

Elecció de les cel·les de MT, quadre de baixa tensió i bateries de condensadors.

Corrents al primari (1)

- ▶ Tota l'aparamenta del CT ha de suportar tant el corrent que ha de circular en condicions normals (nominal) com el degut a sobrecàrregues i curtcircuits mentre durin aquests.
- ▶ **Corrent nominal.** Serà el corrent necessari per tal d'alimentar als transformadors a la seva càrrega nominal, o per tal d'alimentar tot l'anell de CT.

$$I_P = \frac{S_n}{\sqrt{3} \cdot V_P}$$

Potencia del transformador (kVA)	Tensión nominal primario (kV)							
	6	10	11	13,2	15	20	25	30
50	4,8	2,9	2,6	2,2	1,9	1,4	1,2	1,0
100	9,6	5,8	5,2	4,4	3,8	2,9	2,3	1,9
160	15,4	9,2	8,4	7	6,2	4,6	3,7	3,1
250	24,1	14,4	13,1	10,9	9,6	7,2	5,8	4,8
400	38,5	23,1	21	17,5	15,4	11,5	9,2	7,7
630	60,6	36,4	33,1	27,6	24,2	18,2	14,5	12,1
1000	--	57,7	52,5	43,7	38,5	28,9	23,1	19,2

Intensidades nominales de primario para transformadores

- ▶ **Corrent de curtcircuit.** Serà el màxim corrent que pot circular en cas de curtcircuit entre fases.

Voltatge nominal de MT

- Cada zona té la seva pròpia tensió nominal de mitja tensió:

Tensión de servicio U (kV)	Tensión más elevada para el material Um (kV)	Zona de uso
3	3,6	Industrial (por ejemplo, motores grandes)
5-6	7,2	Distribución interna
11	17,5	Cataluña
13,8	17,5	Navarra, Aragón
15	17,5	Baleares, Canarias, Madrid, Cantabria, Galicia, Levante
20	24	La mayoría (excepto Cataluña)
25	36	Cataluña
30	36	País Vasco

Corrents al primari (2)

- ▶ Els conductors de la connexió de MT entre el transformador i les cel·les tendran les següents característiques:
 - ▶ Si la tensió nominal de la xarxa ≤ 20 kV: tensió d'aïllament 12/20 kV i de 95 mm² de secció mínima.
 - ▶ Si $20 \text{ kV} < \text{tensió de xarxa} \leq 30 \text{ kV}$: tensió d'aïllament 18/30 kV i de 150 mm² de secció mínima.

- ▶ Amb les potències i tensions considerades la intensitat màxima en règim permanent que circularà per aquests cables no superarà els 60,6 A. Valor molt inferior al permès per la ITC-LAT-06 (taules 6 i 13).

- ▶ En conseqüència no es tendran en compte els efectes d'encalentiment en condicions de funcionament normal.

Sección nominal de los conductores mm ²	Instalación al aire	Instalación directamente enterrada
	Cable aislado con XLPE	Cable aislado con XLPE
95 150	255 335	205 260
Temperatura máxima en el conductor: 90° C	<ul style="list-style-type: none">- Temperatura del aire: 40° C- Una terna de cables unipolares en contacto mutuo.- Disposición que permita una eficaz renovación del aire.	<ul style="list-style-type: none">- Temperatura del terreno: 25° C- 3 cables unipolares en tresbolillo- Profundidad de instalación: 1 m- Resistividad térmica del terreno: 1,5 K·m/W- Temperatura aire ambiente: 40°C

Intensidades máximas admisibles conductor

Corrents al primari (3)

- **Corrent de curtcircuit de MT.** Dependrà de la potència dels transformadors que alimenten a la malla de MT, de la distància i de la línia.

$$I_{CC_MT} = \frac{S_{CC}}{\sqrt{3} \cdot V_n}$$

- La potència de curtcircuit S_{CC} de la xarxa ens l'ha de proporcionar la companyia elèctrica. Sol tenir un valor d'entre 200 i 500 MVA.

- La intensitat que pot suportar el conductor es pot calcular amb la següent fórmula

$$I_{CC3\ Adm} = K \cdot \frac{S}{\sqrt{t_{cc}}}$$

- $I_{CC3\ Adm}$: Intensitat, en Ampers, de curtcircuit trifàsic calculada amb hipòtesis adiabàtica (tot el calor és absorbit pel conductor).
- S : Secció del conductor, en mm².
- K : Coeficient que depèn del conductor i del tipus d'aïllament. Representa la densitat de corrent admissible per a un curtcircuit d'1 segon. Per al cas del conductor d'Al amb aïllament XLPE $K=94$ A/mm², suposant temperatura inicial de 90 °C i màxima durant el curtcircuit de 250 °C.
- t_{cc} : Duració del curtcircuit, en segons.

A estos efectos, en la mayoría de normas se considera el tiempo de un segundo. Para otros valores de tiempo la intensidad térmicamente equivalente se calcula según la fórmula

$$I_t = I_{th} \sqrt{1/t},$$

siendo

I_{th} intensidad durante 1 segundo, e I_t su equivalente a efectos térmicos durante el tiempo t .

Esta fórmula es válida solamente para tiempos $t \leq 5$ segundos.

3.4.6.- Valor de cresta de la intensidad admisible asignada

Es el valor de cresta de la intensidad de la primera onda grande de la corriente de corta duración admisible que un aparato mecánico de conexión puede soportar en las condiciones prescritas de empleo y funcionamiento.

El valor normal de cresta de la intensidad admisible es igual a 2,5 veces el valor de la intensidad de corta duración admisible.

Corrents al primari (4)

- El temps màxim de duració del curtcircuit en cap cas podrà ser superior a 1 segon.

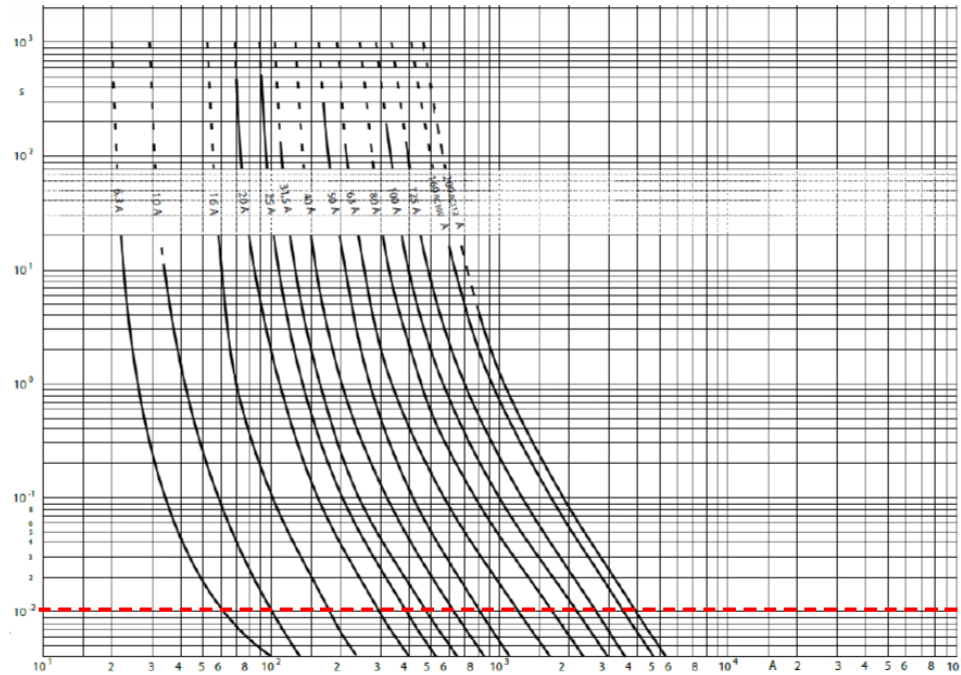
Sección del conductor mm ²	Duración del cortocircuito (s)						
	0,01	0,1	0,2	0,3	0,5	0,6	1,0
95	89,3	28,2	20,0	16,3	12,6	11,5	8,9
150	141,0	44,6	31,5	25,7	19,9	18,2	14,1

Intensidades de cortocircuito admisibles en los conductores de secciones normalizadas, en kA

- El valor de la intensidad de curtcircuit per al diseny del centre de transformació serà d'entre 16 i 20 kA en funció de les característiques de la xarxa a la que es connecti.
- Tot i que la intensitat de curtcircuit màxima prevista de 20 kA pot arribar a ser superior a la intensitat màxima admissible per als cables de les conexiones de MT, aquests estan protegits pels fusibles de protecció del transformador, pel que es considera que estan dimensionats adequadament.

Corrents al primari (5)

► Corbes de fusió per als fusibles habituals



- El temps d'actuació dels fusibles es instantani (inferior a 10 ms) i per a aquest temps d'actuació la intensitat màxima admissible del cable de connexió d'MT és molt superior a la intensitat de curtcircuit esperada.

Corrents al primari (5)

- **Corrent de curtcircuit de xoc.** Es sol agafar 2,5 vegades la intensitat de curtcircuit. És el valor màxim instantani al qual arriba el corrent en cas de curtcircuit. Serveix per dimensionar certs elements com les barres per a que resisteixin les forces que hi apareixen.

$$F = 2,04 \cdot I^2 \cdot 10^{-8} \cdot \frac{L}{d}$$

- F és la força en kg.
- L és la longitud de la barra en metres.
- d és la distància entre barres en metres.
- $I = 2,5 \cdot I_{cc}$

Corrents al secundari (1)

- El càlcul de les connexions de BT es realitza a partir del màxim corrent admissible: taula 11 de la ITC-BT-07.
- Es considera un factor de correcció $f_1=0,9$ degut a temperatura de l'aire circulant de 50°C.

Potencia del trafo (kVA)	Tensión del secundario				
	B2 (400 V)				
	Composición del puente - mm ² Al (fases+neutro)	In (A)	Imáx (A)	f ₁	I _{adm} (A) <small>$I_{adm} = f_1 \cdot I_{máx}$</small>
50	3x1x240+1x240	72	420	0,9	378
100	3x1x240+1x240	144	420	0,9	378
160	3x1x240+1x240	231	420	0,9	378
250	3x1x240+1x240	361	420	0,9	378
400	3x2x240+1x240	577	840	0,9	756
630	3x3x240+2x240	909	1.260	0,9	1.134
1.000	3x4x240+2x240	1.443	1.680	0,9	1.512

- Es compleix que la intensitat admissible és superior a la nominal del transformador, pel que se conclou que el pont està adientment dimensionat.

Corrents al secundari (2)

- **Corrent de curtcircuit de BT.** Dependrà de la potència del transformador del CT, o dels transformadors si treballen en paral·lel, i de la seva impedància de curtcircuit.

$$I_{CC_BT} = I_n \frac{V_n}{V_{CC}} = I_n \frac{100}{V_{CC}\%}$$

- Com més alt sigui Vcc% més petit serà el corrent de curtcircuit. Però un valor alt de Vcc% implica una impedància alta, i per tant una major caiguda de tensió en el transformador.
- S'ha d'arribar a un compromís, de forma que es sol agafar un valor més petit per a transformadors de petita potència (I_n reduïda) i un valor més elevat per a grans transformadors (I_n elevada).

En los transformadores de distribución MT/BT de los CT, las tensiones de cortocircuito recomendadas por UNESA, son:

Transformadores:

- hasta 630 kVA y hasta 24 kV: 4%,
- hasta 630 kVA y 36 kV: 4,5%,
- de 800 hasta 2 500 kVA y hasta 36 kV: 6%.

Tensió dels dispositius de tancament i apertura

- És la tensió que necessiten els elements de maniobra i protecció (com l'interruptor automàtic) pel seu accionament, i per tant els que han de proporcionar els relés i demés circuits auxiliars.
- S'han d'elegir relés i cel·les que funcionen a la mateixa tensió.

3.4.8.- Tensión asignada de alimentación de los dispositivos de cierre y apertura y de los circuitos auxiliares

Los valores inferiores de la primera columna de la tabla 2 de la **figura 5** son tensiones entre fase y neutro y los mayores son tensiones entre fases. El valor inferior de la segunda columna es la tensión entre fase y neutro, y el valor mayor es la tensión entre líneas.

Notas:

1.- El valor 230/400 V indicado en la tabla 2 será en el futuro, la única tensión normal de CEI y se recomienda su adopción en los nuevos sistemas.

2.- El dispositivo de maniobra debe ser capaz de cerrar y abrir el aparato de conexión para todo valor de la tensión de alimentación comprendida entre el 85 y 110% del valor asignado.

3.4.9.- Frecuencia asignada de alimentación de los dispositivos de cierre y apertura y de los circuitos auxiliares

Tabla 1:
Tensión en cc
(V)

24
48
60
110 ó 125
220 ó 250

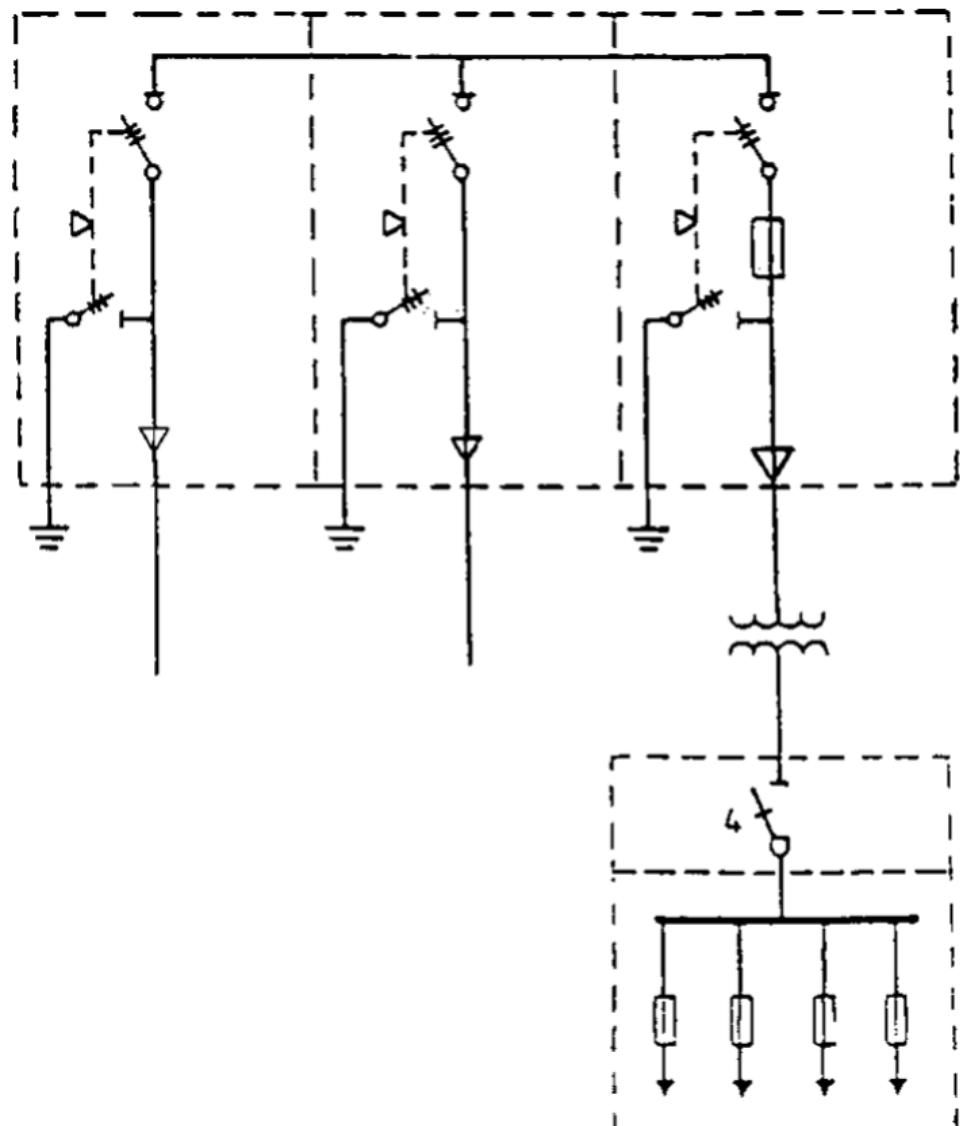
Tabla 2: Tensión en ca

Redes trifásicas de tres o cuatro hilos (V)	Redes monofásicas de tres hilos (V)	Redes monofásicas de dos hilos (V)
-	120/240	110 ó 120
(220/380)	-	(220)
230/400	-	230
(240/415)	-	(240)
277/480	-	277

Esquema i cel·les de MT

- ▶ Una vegada es sap la tensió nominal de la zona, corrent nominal i la de curtcircuit poden elegir les cel·les i l'esquema: (veure pàgina 39 esquemes del llibre *Centros de Transformación MT/BT*)
 - ▶ Nombre de cel·les de línia segons l'esquema de la xarxa.
 - ▶ Incloure autovàlvula a la cel·la de línia si la xarxa es aèria.
 - ▶ Nombre de cel·les de protecció (mínim una per transformador).
 - ▶ Tipus de cel·la de protecció (fusibles o interruptor automàtic) i altres opcions (amb transformadors d'intensitats, relé diferencial, motoritzada...)
 - ▶ Incloure cel·la de mesura i interruptor passant si és un CT d'abonat.
 - ▶ Es pot incloure un cel·la amb transformador de tensió per a alimentar els serveis auxiliars del CT com poden ser els relés de protecció, bobines de dispar dels interruptors i interruptors automàtics...

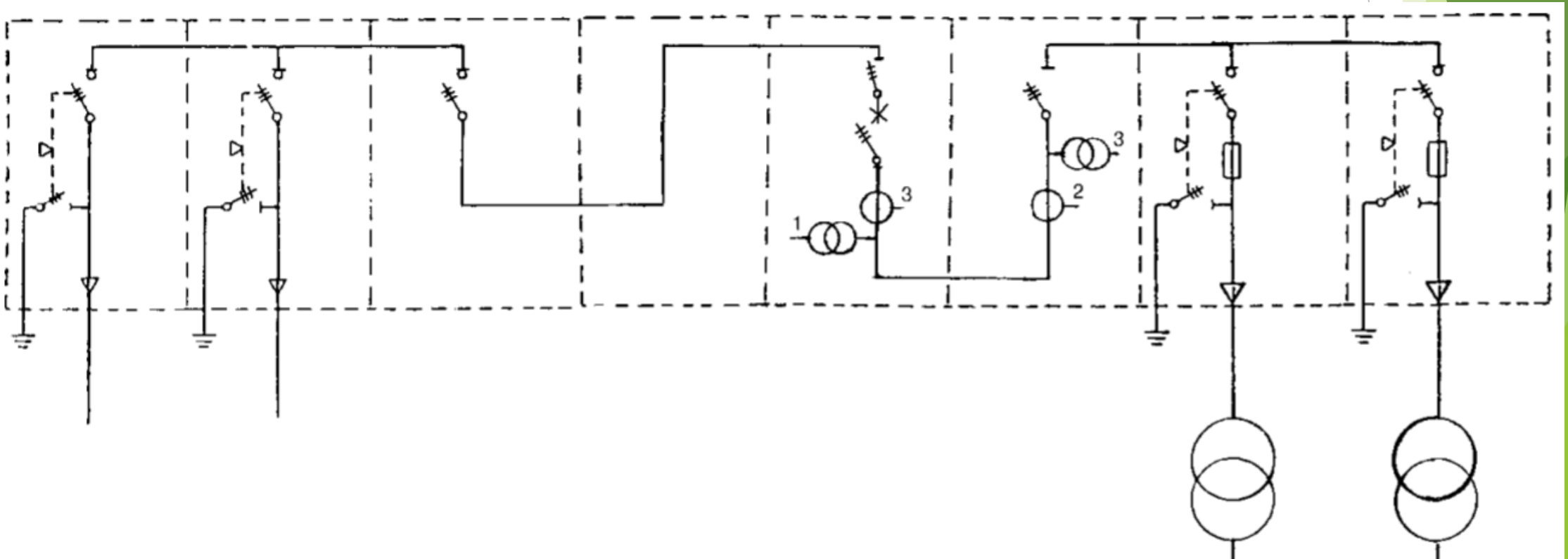
Esquema típic CT de xarxa pública



- ▶ Són senzills.
- ▶ Inclouen una, dues o tres (si surt una derivació) cel·les de línia.
- ▶ Inclouen un o dos transformadors.
- ▶ Es solen protegir amb fusibles contra curtcircuits.
- ▶ La protecció contra sobrecàrregues la sol fer el termòstat del transformador.

Esquema típic CT d'abonat

- ▶ Ha d'incloure un interruptor passant i una cel·la de mesura.
- ▶ Les empreses distribuïdores solen requerir que també hi hagi un interruptor automàtic a l'entrada.
- ▶ Els transformadors es poden protegir amb fusibles o interruptors automàtics.



Quadre de baixa tensió (1)

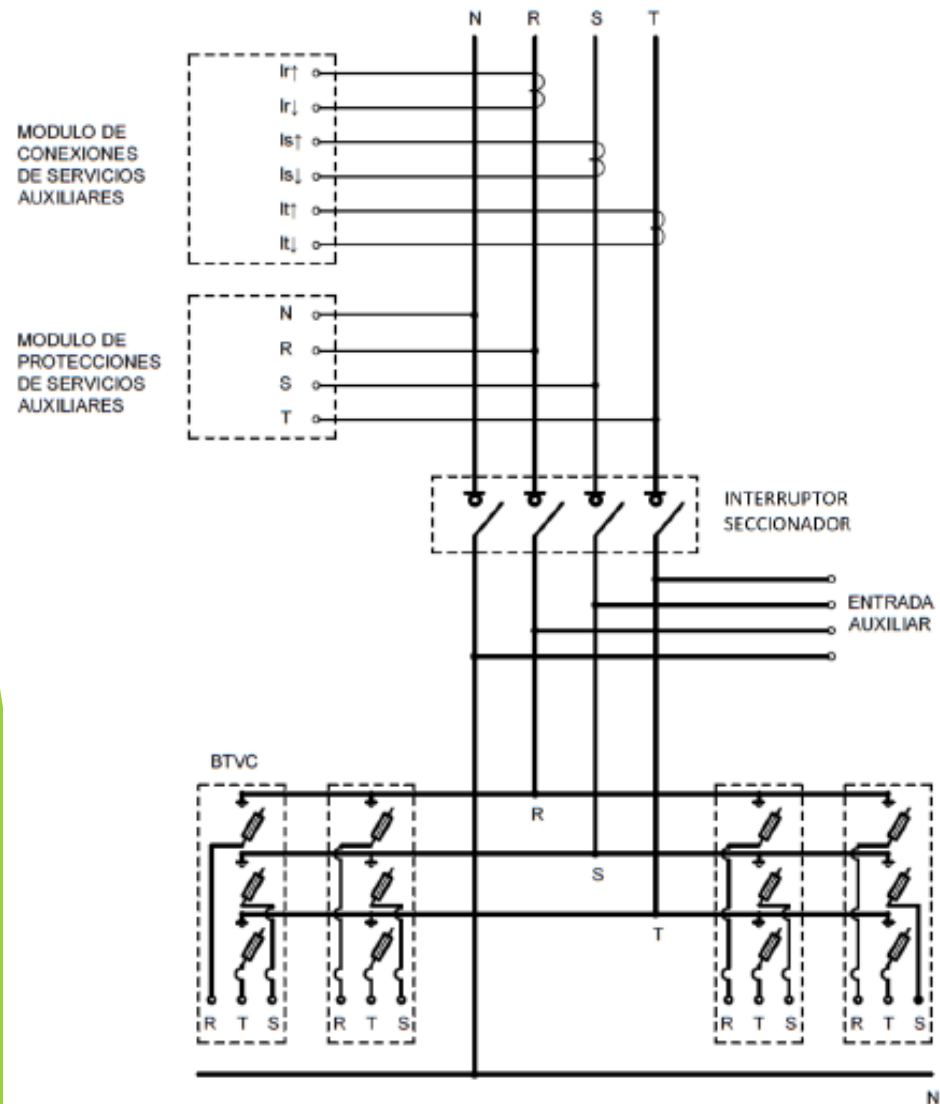
- ▶ En CT de companyies de distribució simplement és una base portafusibles, un petit quadre per als serveis auxiliars del CT (enllumenat, algun endoll, relés de protecció...) i transformadors de corrent per poder controlar la intensitat de les línies.
 - ▶ Elecció de les dimensions del quadre segons el nombre de línies de BT i els fusibles.
 - ▶ El valor nominal dels fusibles depèn de si el quadre deixa la possibilitat de posar els transformadors en paral·lel o no.
- ▶ En CT d'abonat sol ser més complexe, i la seva composició depèn de cada cas particular. Pot incloure:
 - ▶ Fusibles, interruptors automàtics i diferencials.
 - ▶ Elements de maniobra.
 - ▶ Elements de mesura.

Quadre de baixa tensió (2)

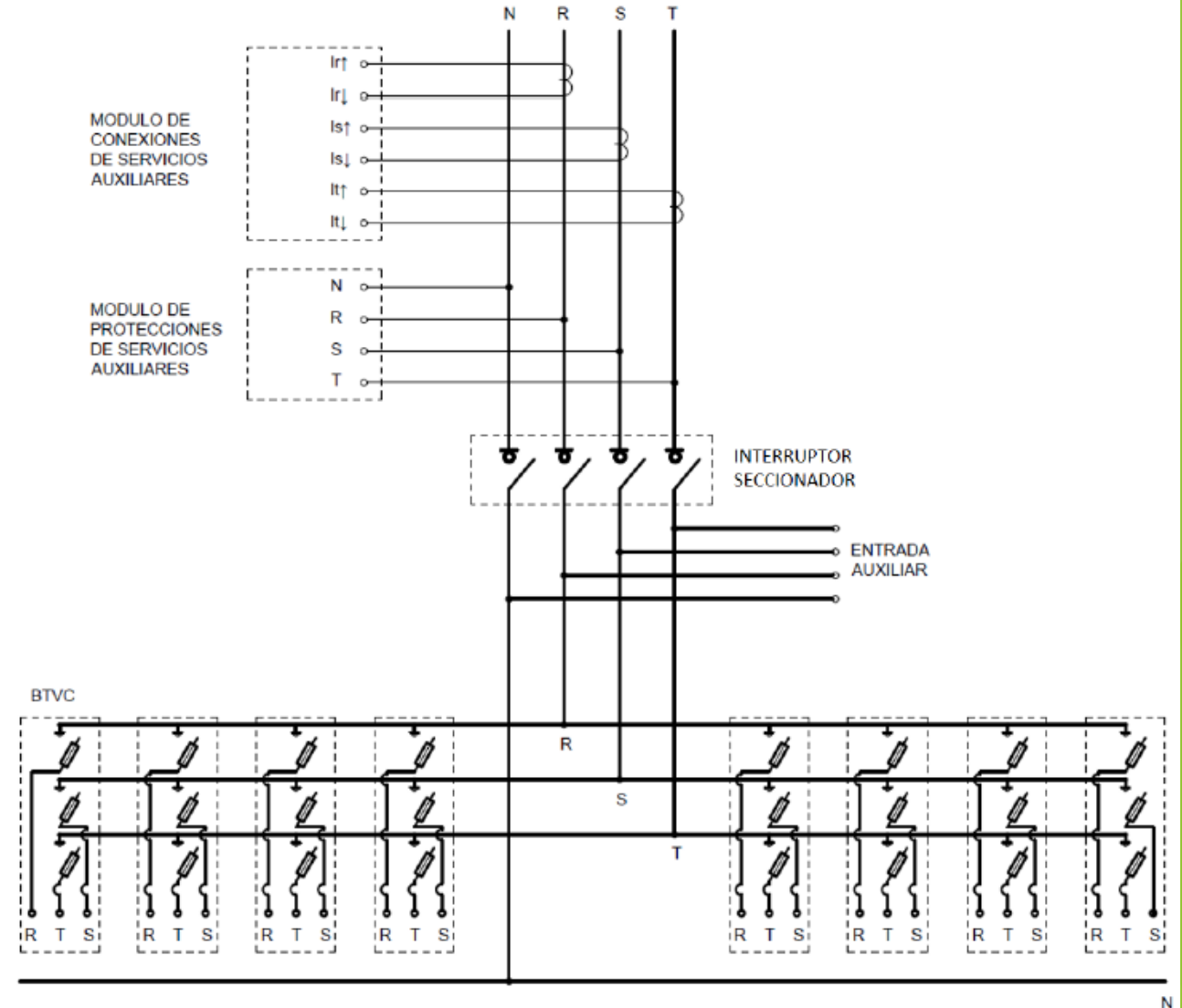
- ▶ La companyia *e-distribución* instal·la 3 models de quadre de baixa tensió.
 - ▶ El **CBTG 1600A-AC4**: incorpora fins a 4 sortides protegides amb bases portafusibles per a fusibles de tamany 2 i 400A.
 - ▶ El **CBTG-1600A-AC4P**: és un quadre previst per a la connexió de sortides de línies BT en paral·lel. Mateixes característiques, funcionalitats i requeriments que l'anterior però amb fusibles més grossos, de 630A.
 - ▶ El **CBTG-1600A-AC8**: incorpora fins a 8 sortides protegides amb bases portafusibles per a fusibles de tamany 2 i 400A.

Quadre de baixa tensió (3)

- Esquema elèctric bàsic del quadre CBTG 1600A - AC4

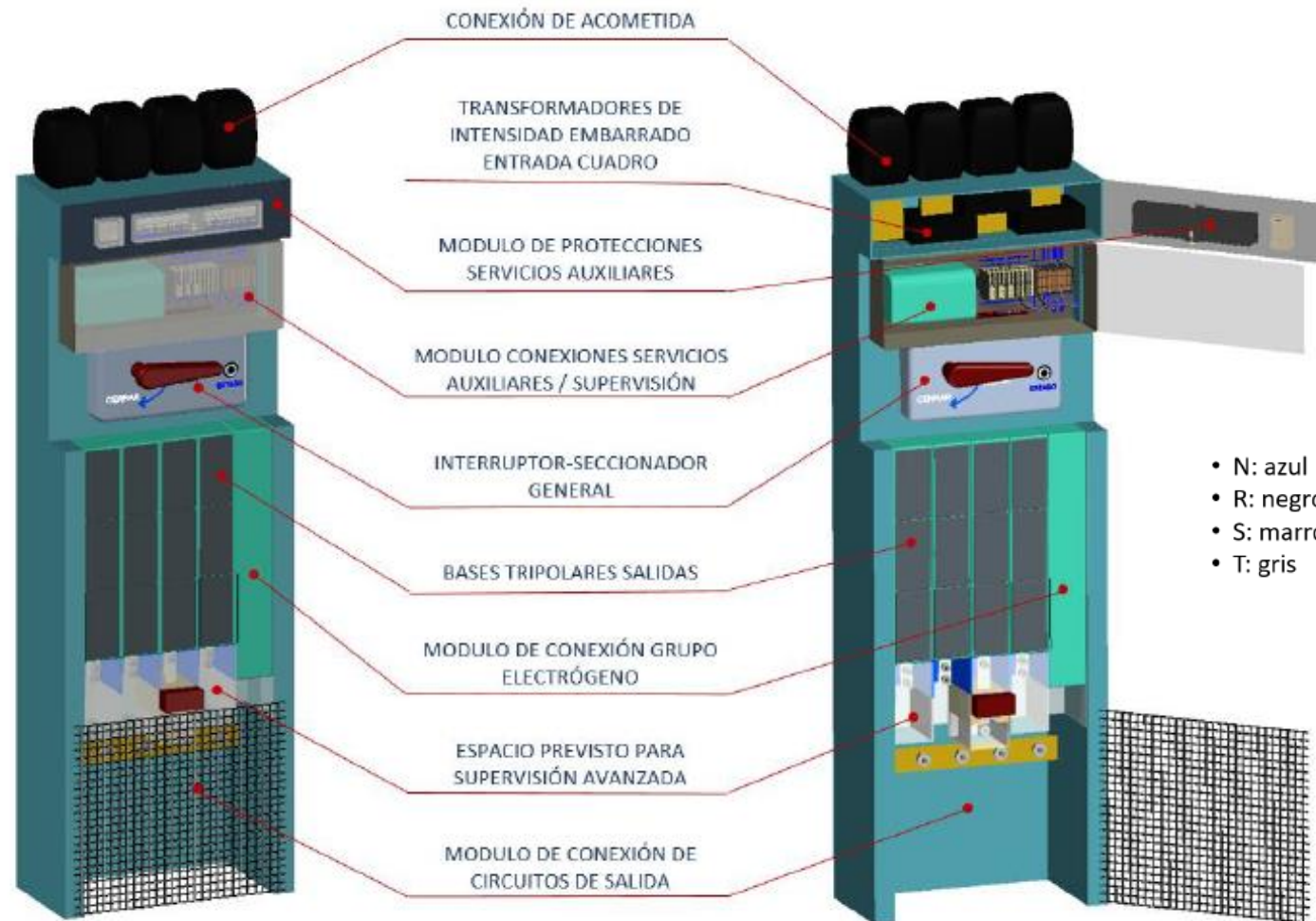


- Esquema elèctric bàsic del quadre CBTG 1600A - AC8

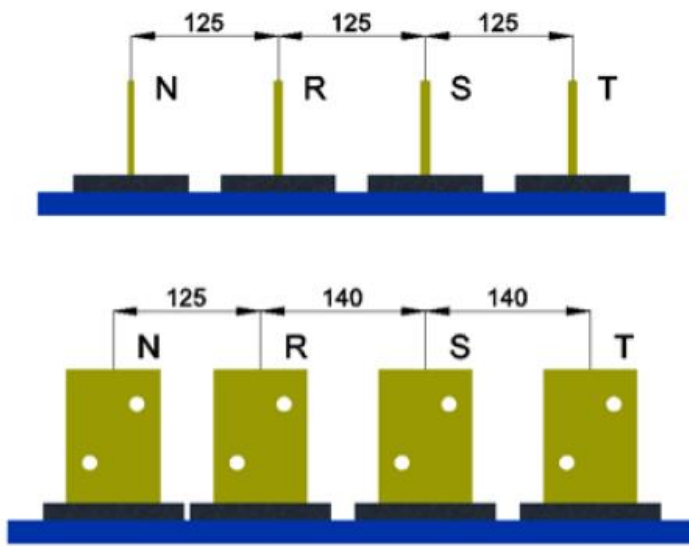


Quadre de baixa tensió (4)

► Elemets constituents del CBTG (4 sortides)

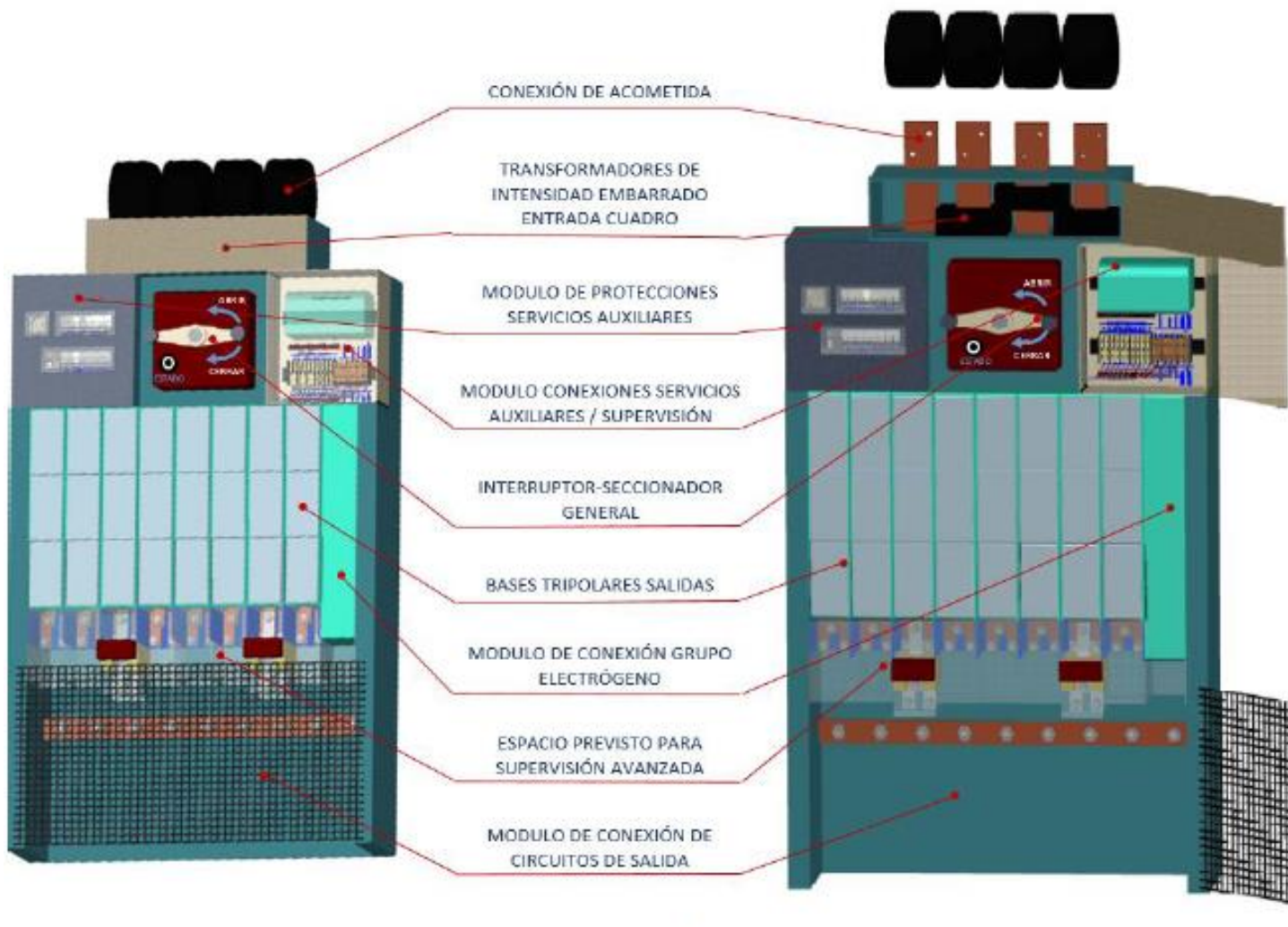


- N: azul
- R: negro
- S: marrón
- T: gris



Quadre de baixa tensió (5)

► Elements constituents del CBTG (8 sortides)



Pletina de cobre (mm x mm)	
Barras verticales	
Fase	Neutro
800 mm ² (100 x 8 ó 80x5x2)	400 mm ² (80 x 5)

► Mòdul de serveis auxiliars

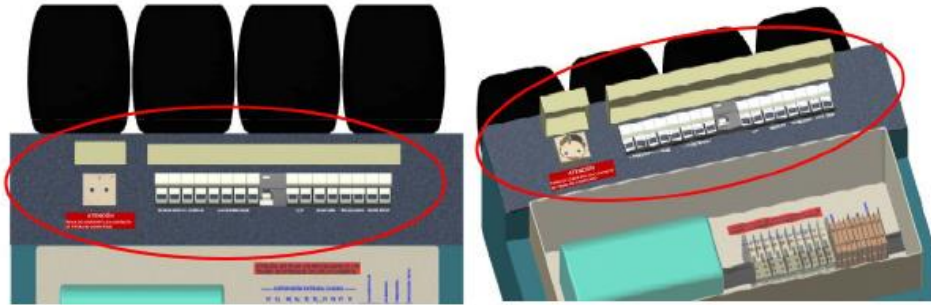


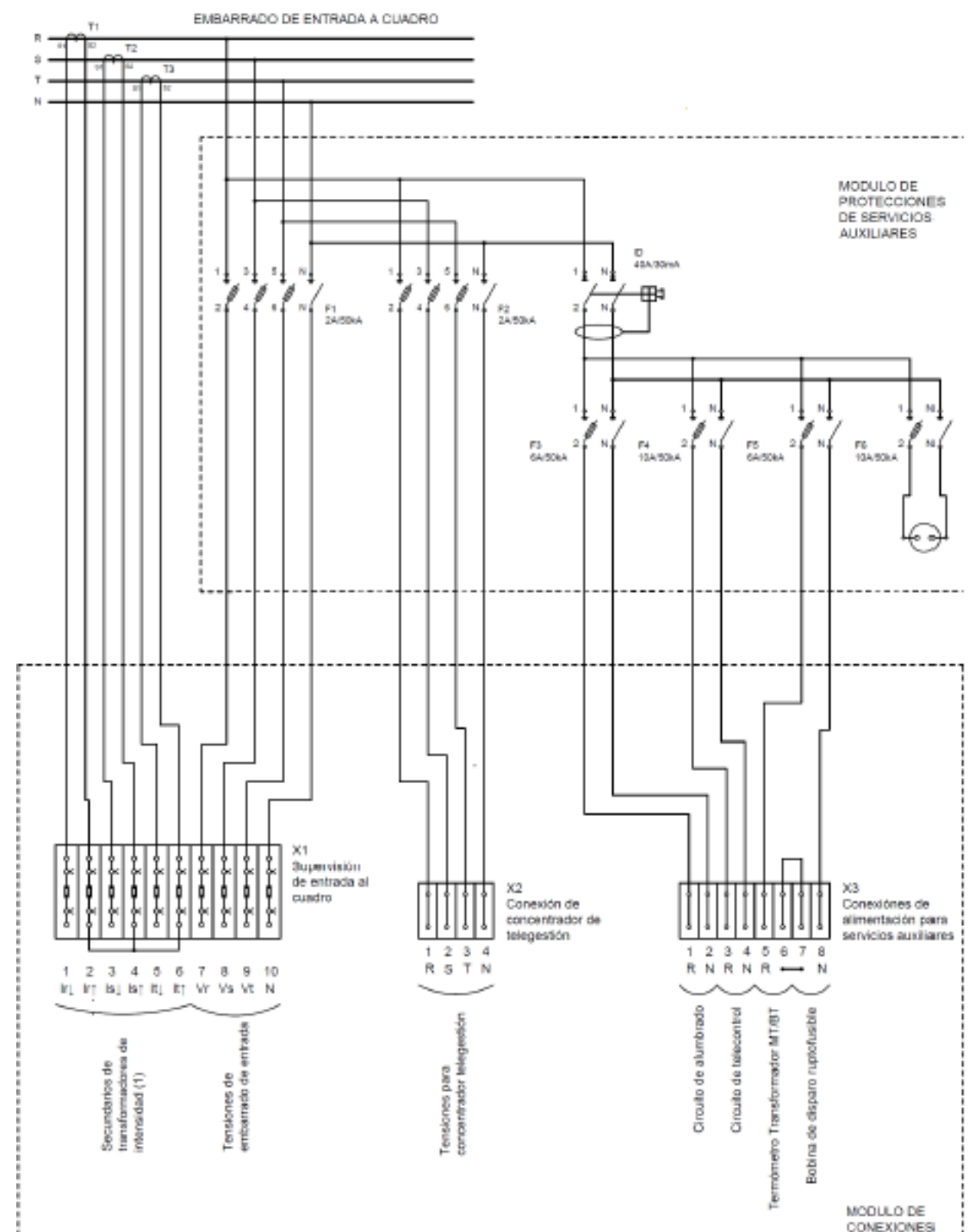
Figura 16

Ejemplo de módulo de protecciones de servicios auxiliares en cuadro de 4 salidas



Figura 18

Ejemplo de rotulación del módulo de protecciones



Posada a terra

Configuracions del mètode UNESA, càlcul dels
valors de terra i dels límits.



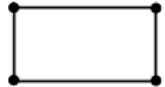
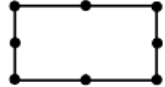
Configuracions del mètode UNESA

- ▶ El mètode UNESA és una forma simplificada de calcular la resistència a terra i les tensions de pas i contacte exteriors, utilitzant una de les configuracions que s'inclouen a les taules.
- ▶ Les configuracions més utilitzades són les següents:
 - ▶ Quadrats de 4x4 m o rectangles de 4x7 m de cable de coure nu de 50 mm² de secció enterrat a 50 a 80 cm. Mallat en el paviment del CT, com s'ha descrit en el tema anterior.
 - ▶ A més del cable enterrat, 4 o 8 piquetes de 2, 4, 6 o 8 m de longitud, de coure de 14 mm de diàmetre.
 - ▶ També, en CT en edificis d'altres usos, hi ha la possibilitat de formar una filera davall les voravies.

Taules mètode UNESA (1)

Cuadrado de 4,0 x 4,0 m

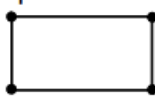
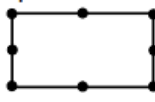
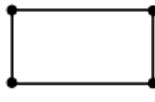

Sección conductor = 50 mm²; diámetro picas = 14 mm; L_P = longitud de la pica en m;
K_r: en Ω/Ω.m; K_p, K_c = K_{p(acc)}: en V/(Ω.m)(A)

Configuración		LP (m)	Resistencia Kr	Tensión de paso Kp	Tensión de contacto ext. Kc = Kp(acc)	Código de la configuración	
Profundidad = 0,5 m	Sin picas	-	0,123	0,0252	0,0753	40-40/5/00	
	4 picas 	2	0,092	0,0210	0,0461	40-40/5/42	
		4	0,075	0,0164	0,0330	40-40/5/44	
		6	0,064	0,0134	0,0254	40-40/5/46	
		8	0,056	0,0113	0,0205	40-40/5/48	
	8 picas 	2	0,082	0,0181	0,0371	40-40/5/82	
		4	0,063	0,0132	0,0237	40-40/5/84	
		6	0,053	0,0103	0,0170	40-40/5/86	
		8	0,045	0,0084	0,0131	40-40/5/88	
	Profundidad = 0,8 m	Sin picas	-	0,117	0,0176	0,0717	40-40/8/00
		4 picas 	2	0,089	0,0144	0,0447	40-40/8/42
			4	0,073	0,0114	0,0323	40-40/8/44
6			0,062	0,0094	0,0250	40-40/8/46	
8			0,054	0,0079	0,0203	40-40/8/48	
8 picas 		2	0,079	0,0130	0,0359	40-40/8/82	
		4	0,061	0,0096	0,0233	40-40/8/84	
		6	0,051	0,0075	0,0169	40-40/8/86	
		8	0,044	0,0062	0,0131	40-40/8/88	

Taules mètode UNESA (2)

Rectángulo 7,0 x 4,0 m

Sección conductor = 50 mm²; diámetro picas = 14 mm; L_p = longitud de la pica en m;
K_r: en Ω/Ω.m; K_p, K_c = K_{p(acc)}: en V/(Ω.m)(A)

Configuración		LP (m)	Resistencia Kr	Tensión de paso Kp	Tensión de contacto ext. Kc = Kp(acc)	Código de la configuración
Profundidad = 0,5 m	Sin picas	-	0,094	0,0184	0,0553	70-40/5/00
		2	0,076	0,0165	0,0362	70-40/5/42
		4	0,064	0,0134	0,0271	70-40/5/44
		6	0,056	0,0113	0,0215	70-40/5/46
		8	0,049	0,0097	0,0177	70-40/5/48
		2	0,068	0,0143	0,0302	70-40/5/82
		4	0,055	0,0108	0,0201	70-40/5/84
		6	0,046	0,0087	0,0148	70-40/5/86
		8	0,040	0,0072	0,0115	70-40/5/88
	Profundidad = 0,8 m	Sin picas	-	0,091	0,0129	0,0528
		2	0,073	0,0113	0,0353	70-40/8/42
		4	0,062	0,0093	0,0266	70-40/8/44
		6	0,054	0,0079	0,0212	70-40/8/46
		8	0,048	0,0068	0,0175	70-40/8/48
		2	0,066	0,0101	0,0294	70-40/8/82
		4	0,053	0,0078	0,0198	70-40/8/84
		6	0,045	0,0063	0,0147	70-40/8/86
		8	0,039	0,0053	0,0115	70-40/8/88

Taules mètode UNESA (3)

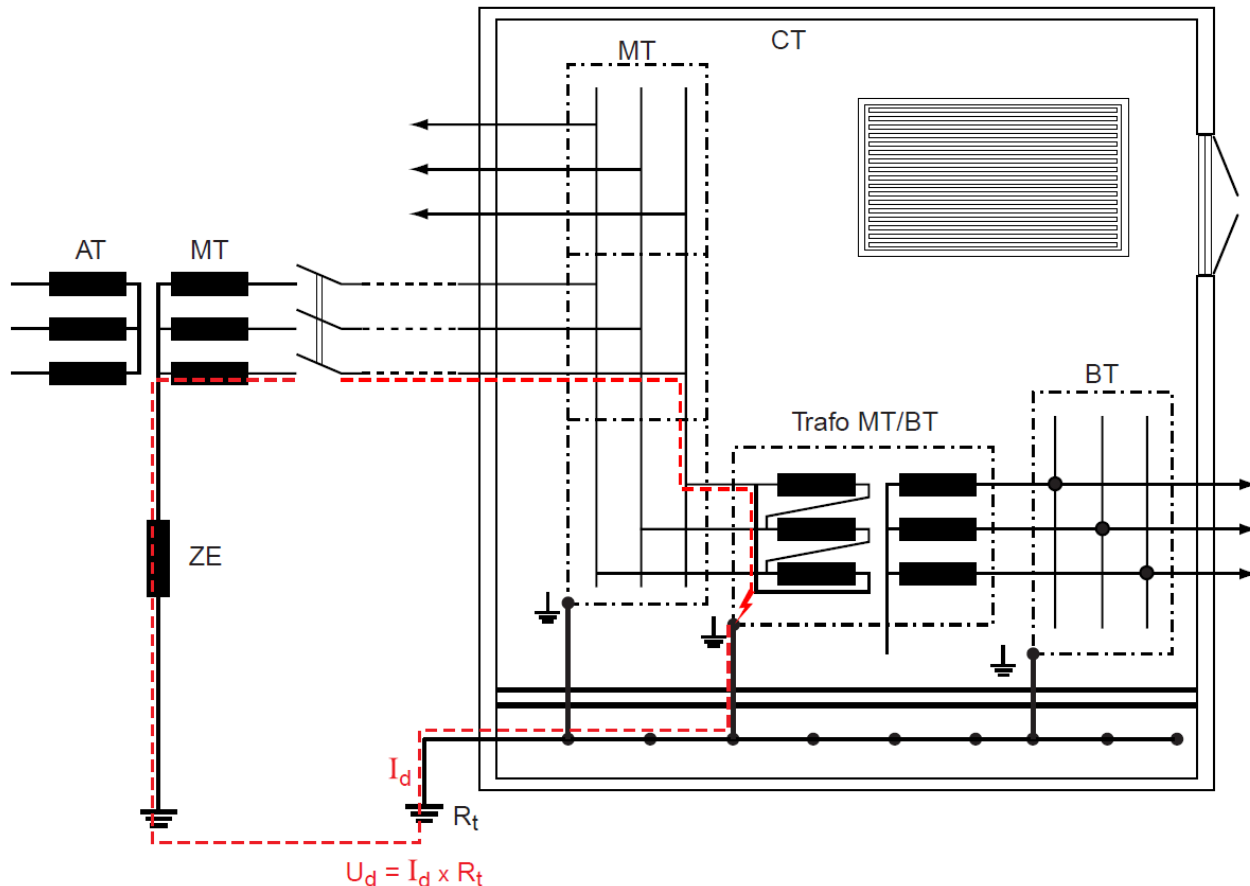
Placas en hilera, unidas por un conductor horizontal

Separación entre picas = 6 m; Longitud de la pica = 4 m; Sección conductor = 50 mm²;
diámetro picas = 14 mm; K_r : en $\Omega/\Omega.m$; K_p : en $V/(\Omega.m)(A)$

	Número de picas	Resistencia K_r	Tensión K_p	Código de la configuración
Profundidad: 0,5 m	2	0.113	0.0208	5/24
	3	0.075	0.0128	5/34
	4	0.0572	0.00919	5/44
	6	0.0399	0.00588	5/64
	8	0.0311	0.00432	5/84
Profundidad: 0,8 m	2	0.110	0.0139	8/24
	3	0.073	0.0087	8/34
	4	0.0558	0.00633	8/44
	6	0.0390	0.00408	8/64
	8	0.0305	0.00301	8/84

Corrent màxim de defecte (1)

- El màxim corrent de defecte a considerar és un curtcircuit fase-terra en la part de MT, on el neutre està connectat a terra a través d'una impedància Z_E .



Corrent màxim de defecte (2)

- Per simplificar, només en considerarà la impedància de la posada a terra del neutre Z_E i la resistència de terra R_T del centre de transformació.

$$I_d = \frac{V_n / \sqrt{3}}{\sqrt{(R_t + R_n)^2 + X_n^2}}$$

- No es tendrà en compte la impedància dels cables.
- R_n i X_n és la part resistiva i inductiva de la impedància de la posada a terra del secundari de la subestació, impedància Z_E .
- Pot ser que la companyia subministradora només proporcioni el corrent de curtcircuit fase-terra a l'origen de la línia de MT que alimenta el CT: I_{dm} . Llavors s'agafa la situació més desfavorable, la que dona el corrent de defecte més elevat, que correspon a que tota la impedància tenguí caràcter inductiu

$$R_n = 0$$

i

$$X_n = \frac{V_n / \sqrt{3}}{I_{dm}}$$

Valors de la posada a terra

- ▶ Resistència a terra:

$$R_T = K_r \cdot \rho$$

- ▶ Tensió de defecte:

$$V_d = R_T \cdot I_d$$

- ▶ Tensió de pas exterior:

$$V_p = K_p \cdot \rho \cdot I_d$$

- ▶ Tensió d'accés i contacte exterior:

$$V_{acc} = K_c \cdot \rho \cdot I_d$$

- ▶ Si la posada a terra no s'ha pogut fer davall el CT, es considerarà una tensió d'accés i de contacte exterior igual a la tensió de defecte.

Valors límit de la posada a terra (1)

- ▶ S'ha de comprovar que els valors calculats són inferiors als límits que marca el RAT-13. Els valors interiors del CT no es comproven ja que el mallat del paviment n'elimina la perillositat.
- ▶ **Tensió de defecte:** Ha de ser inferior a la tensió d'assaig V_{BT} (d'aïllament) dels elements de baixa tensió del CT:

$$V_d < V_{BT}$$

- ▶ L'assaig es fa a 50 Hz durant 1 minut. Els valors normalitzats d' V_{BT} són 4.000, 6.000, 8.000 i 10.000 V. Tot i que UNESA recomana $V_{BT} = 10.000$ V.
- ▶ Al produir-se un defecte d'aïllament a la part de MT, la tensió de defecte que apareix resulta aplicada també a les envoltants i soports dels elements de BT, atès que també estan connectats a la posada a terra de protecció.
- ▶ Per tant, durant el pas del corrent de defecte I_d apareix una sobretensió V_d entre dites envoltants i soports. Bàsicament són:
 - ▶ entre la caixa del transformador i el secundari BT del mateix.
 - ▶ entre l'armari de BT i els aparells i connexions que hi ha al seu interior.

Valors límit de la posada a terra (2)

► Tensió de pas límit:

$$V_p = \frac{10 \cdot K}{t^n} \left(1 + \frac{6 \cdot \rho}{1.000} \right)$$

- ρ és la resistivitat del terreny en $\Omega \cdot m$.
- t és el temps màxim que durarà el defecte (curtcircuit i derivació), normalment un segon.
- K i n són constants:
 $0,9 \geq t > 0,1s \Rightarrow K = 72 \quad n = 1$
 $3 \geq t > 0,9s \Rightarrow K = 78,5 \quad n = 0,18$

► Tensió d'accés i de contacte exterior límit:

$$V_{acc} = \frac{10 \cdot K}{t^n} \left(1 + \frac{3\rho_{terreny} + 3\rho_{paviment}}{1.000} \right)$$

- $\rho_{paviment}$ és la resistivitat del paviment en $\Omega \cdot m$. Per a formigó o similar es pot agafar un valor de $3.000 \Omega \cdot m$.

Terrers reunides i separades

- ▶ Per a poder tenir les **terres juntes**, el valor límit que es sol agafar de la tensió de defecte són 1.000 V (ITC-BT 017 i ITC-BT 031). És a dir, si la tensió de defecte és inferior a 1.000 V no és necessari separar les posades a terra de protecció i de servei.
- ▶ Si s'han de **separar les terres**, els electrodes de protecció i de servei s'han d'allunyar a una distància mínima donada per:

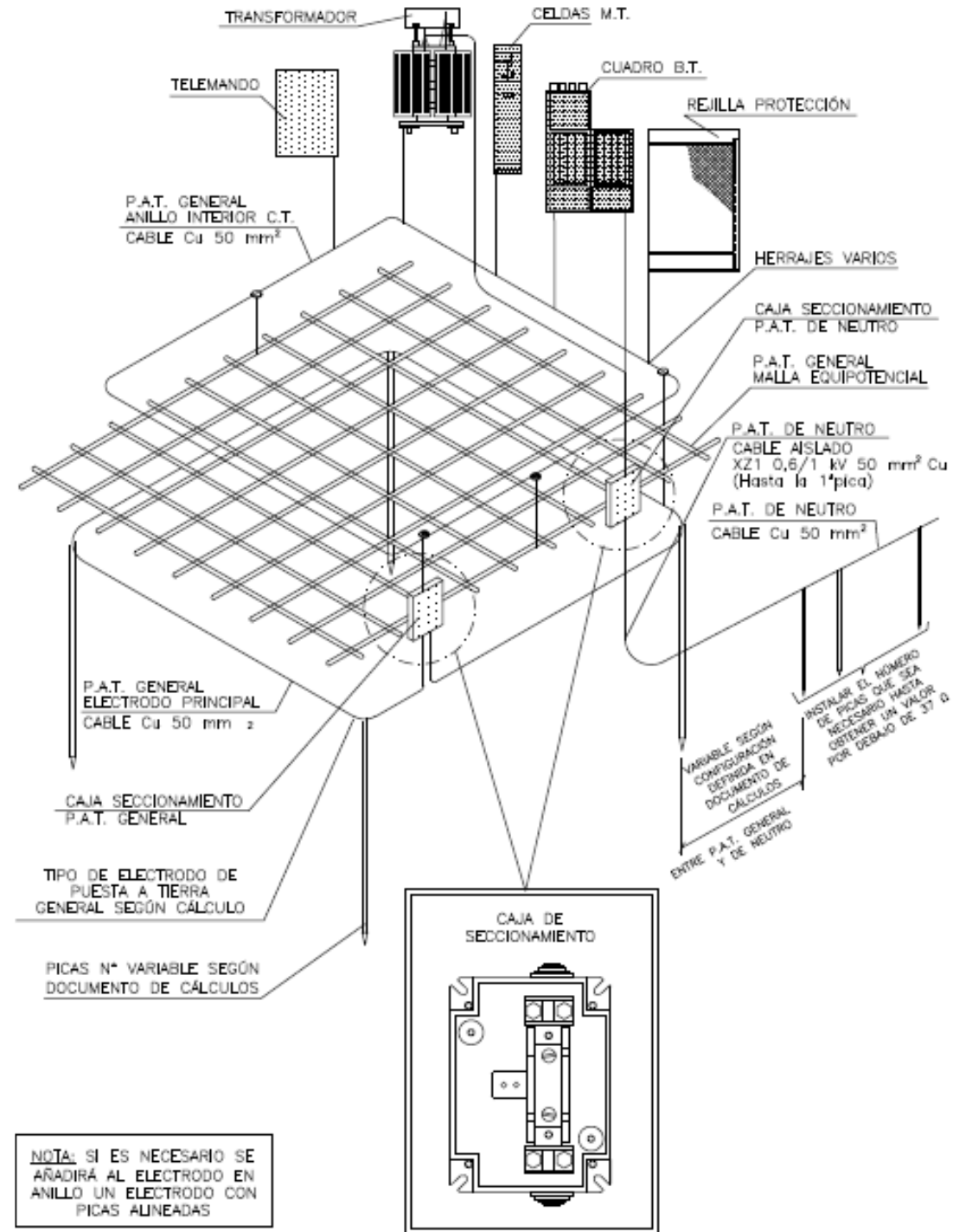
$$D \geq \frac{\rho \cdot I_d}{2 \cdot \pi \cdot 1.000}$$

- ▶ Aquesta distància assegura que la tensió transferida de la terra de protecció a la de servei és menor a 1.000 V.

Posada a terra del neutre

- ▶ Les condicions particulars d'*e-distribución* especifiquen que per a la posada a terra del neutre s'emprarà un electrode constituït per piquetes alineades d'acer courejat de 2 m de longitud i 14 mm de diàmetre, clavades a una rasa d'una profunditat mínima de 0,5 m.
- ▶ El nombre de piquetes a instal·lar estarà determinat per la condició de que la resistència de posada a terra sigui inferior a 37Ω .
- ▶ Amb aquest criteri s'aconsegueix que un defecte a terra a una instal·lació interior, protegida contra contactes indirectes per un interruptor diferencial de sensibilitat 650 mA, no ocasioni a l'electrode de posada a terra de servei una tensió superior a:
 $37 \Omega \times 0,650 \text{ A} = 24 \text{ V}$.
- ▶ Segons *e-distribución* la línia de terra s'executarà amb cable de coure aïllat 0,6/1 kV del tipus XZ1 de 50 mm^2 de secció. Partirà de la pletina del neutre del quadre de BT i discorrirà pel fons d'una rasa d'una fondària mínima de 0,5 m fins connectar amb les piquetes de posada a terra.

Posada a terra del CT



Exercicis (1)

- ▶ **Exemple 1.** Determina la configuració d'electrodes més econòmica per a realitzar la posada a terra de protecció d'un CT en edifici propi de dimensions $7\text{ m} \times 4\text{ m}$. Dades:
 - ▶ Tensió d'alimentació 26.400 V .
 - ▶ Neutre posat a terra a través d'impedància Z_n de $X_n=22,4\ \Omega$ i $R_n=12\ \Omega$.
 - ▶ Duració del pas de corrent: 1 segon .
 - ▶ Resistivitat del terreny: $= 200\ \Omega \cdot \text{m}$.

Exercicis (2)

- ▶ **Exemple 2.** Determina la configuració d'electrodes més econòmica per a realitzar la posada a terra de protecció d'un CT que forma part d'un edifici més gran. Els electrodes s'han de situar en filera i allunyats de l'accés al CT. Dades:
 - ▶ Tensió d'alimentació 20.000 V.
 - ▶ Intensitat màxima de defecte a l'origen de la línia: 500 A.
 - ▶ Duració del pas de corrent: 1 segon.
 - ▶ Resistivitat del terreny: $= 300 \Omega \cdot \text{m}$.

Exercicis (3)

- ▶ **Exemple 3.** Determina la configuració d'electrodes més econòmica per a realitzar la posada a terra de protecció d'un CT en edifici propi de dimensions $4\text{ m} \times 4\text{ m}$. Determina també la posada a terra de servei mínima, en forma de filera de piquetes i separada de la terra de protecció, sabent que la tensió de seguretat de la part de BT és de 24 V i els diferencials seran de 650 mA de sensibilitat. Dades:
 - ▶ Tensió d'alimentació 20.000 V.
 - ▶ Neutre posat a terra a través d'impedància $X_n=16\ \Omega$ i $R_n=2,5\ \Omega$.
 - ▶ Duració del pas de corrent: 0,9 segons.
 - ▶ Resistivitat del terreny: $= 400\ \Omega \cdot \text{m}$.

Serveis

Instal·lació contra incendis i ventilació.

Sistema contra incendis (1)

- ▶ El sistema passiu s'ha d'aplicar a tots els CT amb transformadors de bany d'oli. Consisteix en:
 - ▶ Pou de recollida d'oli, amb dispositiu per a apagar les flames.
 - ▶ *RAT-14: Si se utilizan aparatos o transformadores que contengan mas de 50 litros de aceite mineral, se dispondrá de un foso de recogida de aceite con revestimiento resistente y estanco, teniendo en cuenta en su diseño y dimensionado el volumen de aceite que pueda recibir. En dicho deposito o cubeto se dispondrán cortafuegos tales como: lechos de guijarros, sifones en el caso de instalaciones con colector único, etc, cuando se utilicen pozos centralizados de recogida de aceite, es recomendable que dichos pozos sean exteriores a las celdas.*
 - ▶ Obra civil, portes i reixes resistents al foc.
 - ▶ Un extintor mòbil d'eficàcia mínima 89B, si no és obligatori el sistema actiu.

Sistema contra incendis (2)

- ▶ **El sistema actiu**, que complementa al passiu (no el substitueix). S'ha d'instal·lar quan es supera una certa quantitat d'oli:
 - ▶ 600 litres per transformador individual.
 - ▶ 2.400 litres per al total dels transformadors del CT.
 - ▶ Si es tracta d'un CT ubicat en un local de publica concurrència, els anteriors valors es redueixen a 400 litres per a transformadors individuals i 1500 litres per el total dels transformadors.
- ▶ **El sistema actiu** consisteix en:
 - ▶ Equips d'extinció de foc de funcionament automàtic, activat per sensors. S'utilitzaran normalment sistemes de gas CO₂ o haló.
 - ▶ Instal·lació de comportes de tancament automàtic de les apertures de ventilació (entrades i sortides d'aire) en cas d'incendi.

Ventilació natural (1)

- ▶ El calor generat pel transformador s'evacuarà preferentment mitjançant un sistema de circulació natural d'aire (ITC-RAT 14).
 - ▶ *RAT 4.3.2.6 En los conjuntos prefabricados independientemente de su ubicación, el calentamiento máximo admisible de las partes accesibles en las zonas de maniobra respecto a la temperatura ambiente será de 40 K.*
 - ▶ *RAT 4.3.2.7 En los centros de transformación prefabricados las envolventes que tengan partes accesibles a personas ajenas al servicio, alcanzarán como máximo un calentamiento de 30 K, respecto a la temperatura ambiente.*
- ▶ El fluxe d'aire s'estableix per la diferència de temperatura entre l'aire d'entrada i el de sortida, deguda a l'encalentiment de l'aire a l'interior del CT produït per les pèrdues del transformador.
- ▶ Aquest procés s'anomena *convecció*, té lloc al voltant dels radiadors del transformador, s'estableix un corrent d'aire ascendent provocat per l'entrada d'aire més fred (pesat) per les reixes inferiors i la sortida d'aire calent (lleuger) per les reixes situades a la part més alta del CT.
- ▶ Aquestes reixes es col·locaran, en la mesura del possible, a parets oposades per tal que la circulació d'aire envolti el transformador, i també es procurarà situar-les a façanes orientades cap a la via pública o patis interiors.

Ventilació natural (2)

- Per al càlcul de la secció de les reixes farem servir la següent expressió (*condicions tècniques e-Distribución FYZ10000 i FYZ30000*). Es suposa que l'evacuació es fa per dues obertures d'igual secció (entrada i sortida) protegides mitjançant reixetes.

$$S = \frac{P}{0,24 \cdot \lambda \cdot \sqrt{H \cdot (t_i - t_e)^3}}$$

- S : Superfície de l'entrada d'aire (m²). Si hi ha varies reixetes d'entrada d'aire S representa la suma.
- P : Potència calorífica evacuada (kW). $P = P_{fe} + P_{cu}$. P_{fe} fa referència a la potència perduda al ferro, que és constant, i P_{cu} és la potència perduda al coure, la qual depèn de la càrrega.
- λ : Coeficient de forma (pèrdues) de les reixes de ventilació (es pren $\lambda=0,4$).
- H : Distància vertical (m) entre els centres geomètrics de les obertures d'entrada i sortida d'aire.
- t_i : temperatura (°C) de l'aire a la sortida.
- t_e : temperatura (°C) de l'aire a l'entrada.

Ventilació natural (3)

- Les pèrdues del transformador s'han de consultar al fabricant, a la placa de característiques o es poden estimar de taules.
 - Taula per a transformadors de bany d'oli fins a 24 kV:

Potencia asignada (kVA)		25	50	100	160	250	400	630	800	1000	1250	1600	2000	2500
Tensión primaria asignada		de 6 kV hasta el límite máximo de 24 kV incluida regulación												
Tensión secundaria	B1	231 ó 242 V												
	B2	400 ó 420 V												
Pérdidas (W)	en vacío	115	190	320	460	650	930	1300	1550	1700	2130	2600	3100	3800
	con carga a 75 °C	700	1100	1750	2350	3250	4600	6500	8100	10500	13500	17000	20200	26500
Tensión de cortocircuito (%)		4	4	4	4	4	4	4	6	6	6	6	6	6

- Exemple de càlcul. Tenim un transformador de 400 kVA a Mallorca (temperatura màxima de 32 °C), no volem que l'aire de sortida superi els 45 °C, i la diferència d'altures de les reixes és de 1,5 metres. Calcula la superfície mínima de les reixes.

Ventilació forçada (1)

- ▶ En aquells casos en què excepcionalment sigui necessària la instal·lació de ventilació forçada, aquesta haurà de ser redundant.
- ▶ Per tal de definir les característiques del sistema de ventilació es determina primer el “*punt de disseny del ventilador*”: caudal d’aire a evacuar i pèrdues de càrrega de la instal·lació de ventilació.

$$Q = \frac{P_{fe} + P_{cu}}{1,16 \cdot \theta_a}$$

- ▶ Q és el caudal d’aire a evacuar (m^3/s).
- ▶ P_{fe} i P_{cu} (en kW) són les potències perdudes al transformador.
- ▶ θ_a és la diferència entre la temperatura de sortida de l’aire i la temperatura de l’aire a l’entrada.
- ▶ Aquesta fórmula surt directament de que el calor específic de l’aire és de $0,24 \text{ cal}/(\text{g} \cdot ^\circ\text{C})$ i que la seva densitat és de $1,16 \text{ Kg}/\text{m}^3$.

Ventilació forçada (2)

- ▶ Les pèrdues de càrrega es determinen per a cada instal·lació en particular, en funció de la secció i longitud dels conductes de ventilació i dels elements emprats (colços, reduccions, comportes tallafocs, reixetes, silenciadors...).
- ▶ El “*punt de servei*” del ventilador que es seleccioni ha d’estar sempre per sobre del *punt de disseny*.

Obra civil

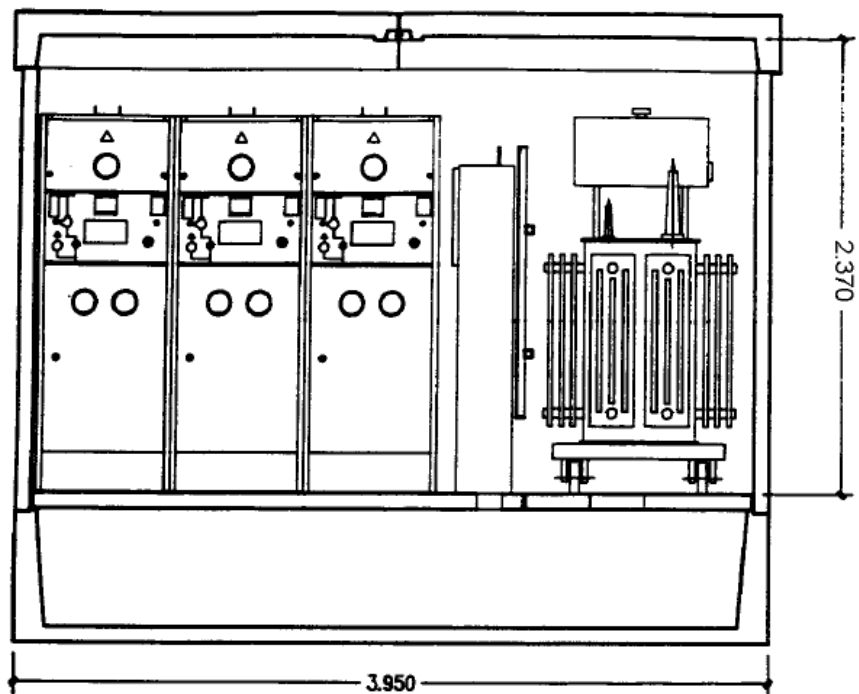
Disposició interior i altres requisits.

Disposició interior (1)

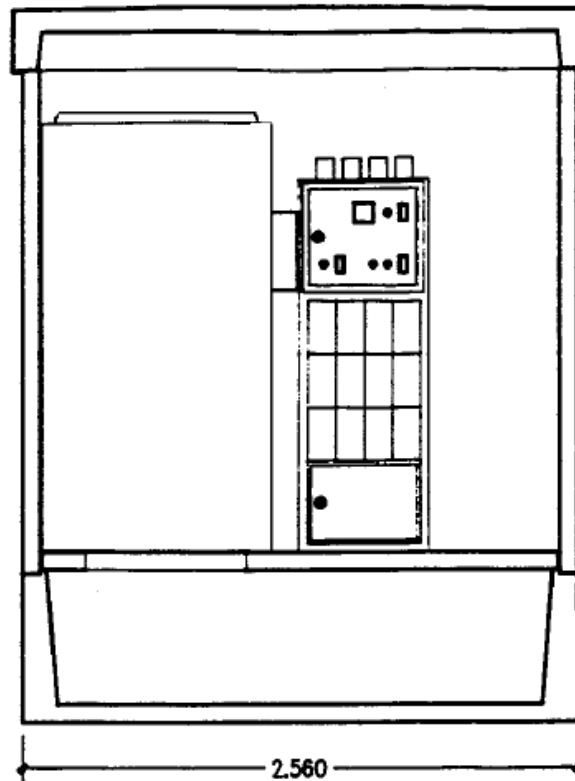
- ▶ Forma part del projecte la situació dins del centre de transformació de tots els components:
 - ▶ Transformador o transformadors.
 - ▶ Aparamenta de mitjana i baixa tensió.
 - ▶ Equipament contra incendis.
 - ▶ Ventilació.
 - ▶ Etc.

Disposició interior (2)

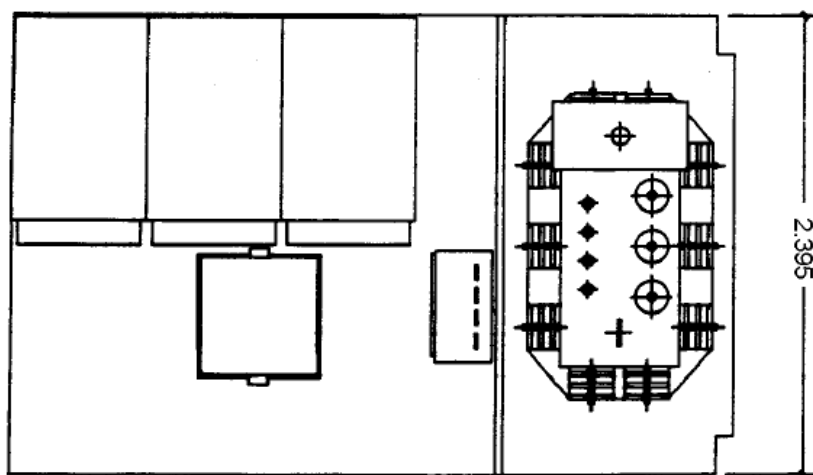
- ▶ No hi ha una única solució vàlida, però s'han de complir els requisits següents:
 - ▶ Ha de permetre substituir un component sense haver de moure la resta.
 - ▶ Les portes d'accés han de donar a la via pública, per facilitar el transport dels diferents elements.
 - ▶ Ha de tenir unes dimensions que permetin garantir el radi mínim de curvatura dels cables (entre 10 y 12 vegades el diàmetre exterior). Normalment hi ha un entresol de 60 cm davall el CT pels cables de MT.
 - ▶ És recomanable separar els transformadors de la resta del CT.



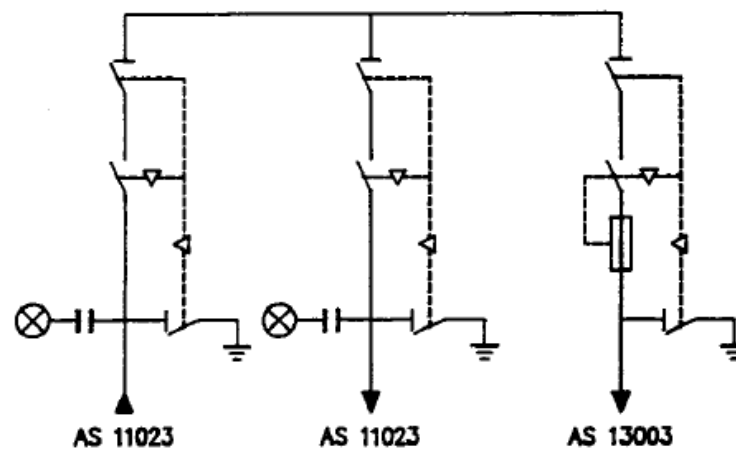
Sección longitudinal



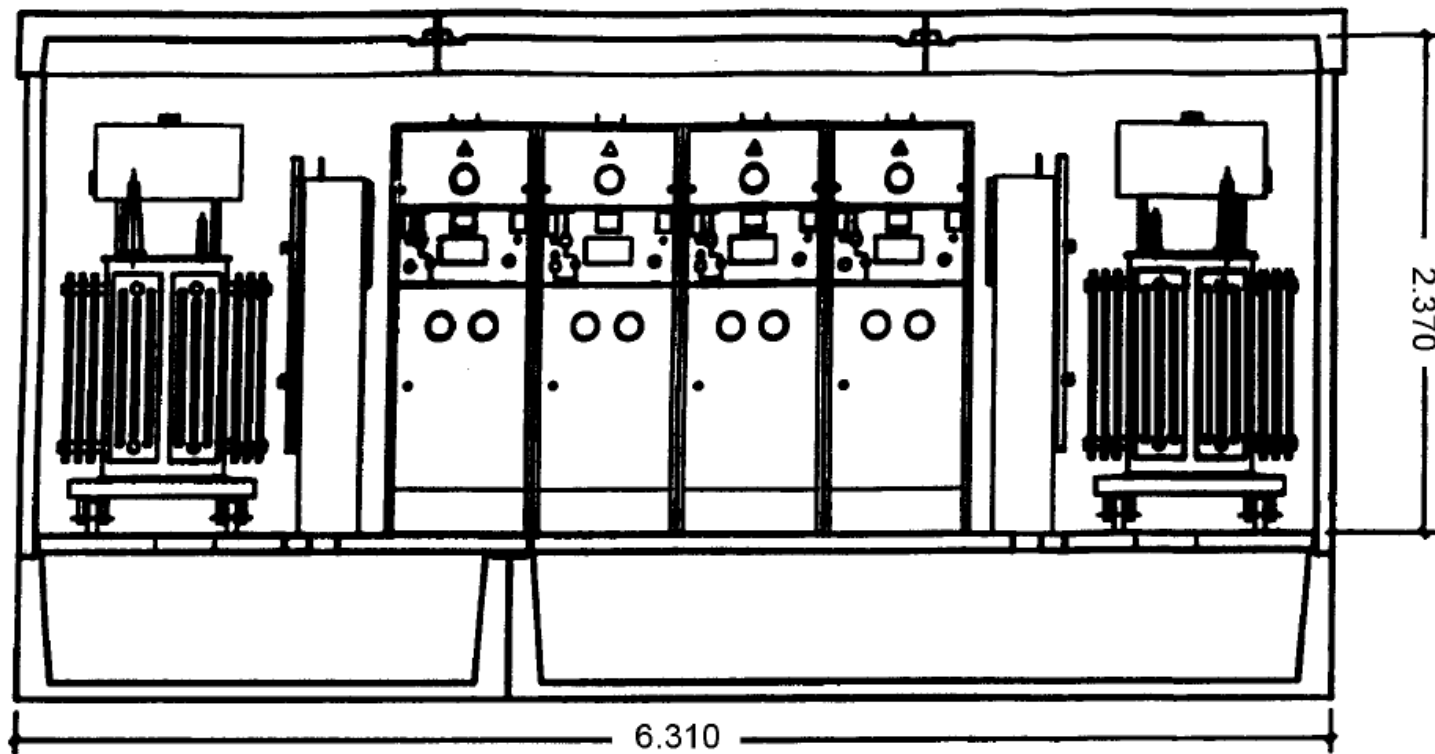
Sección transversal



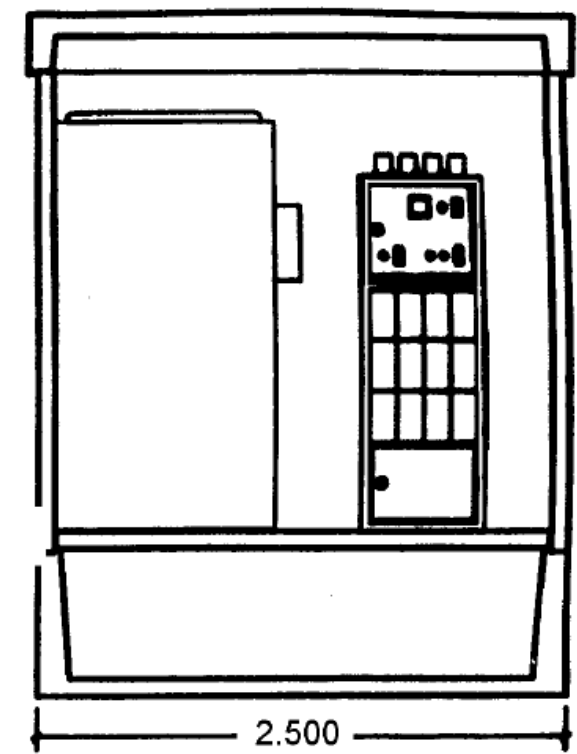
Planta de suelos



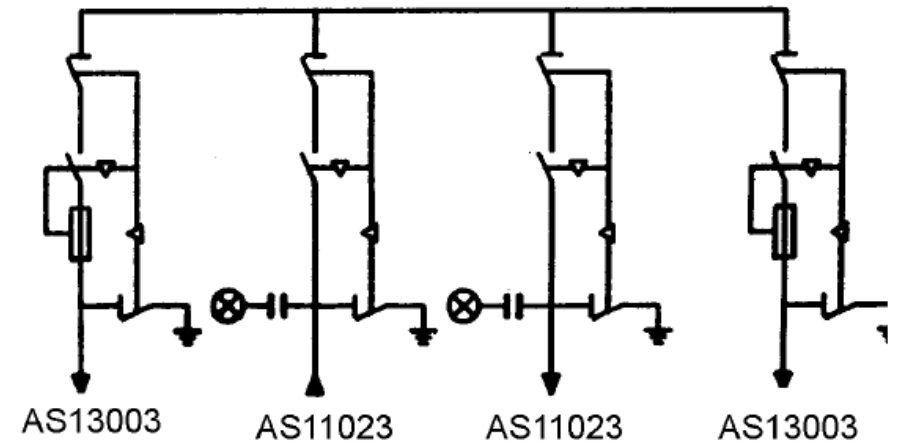
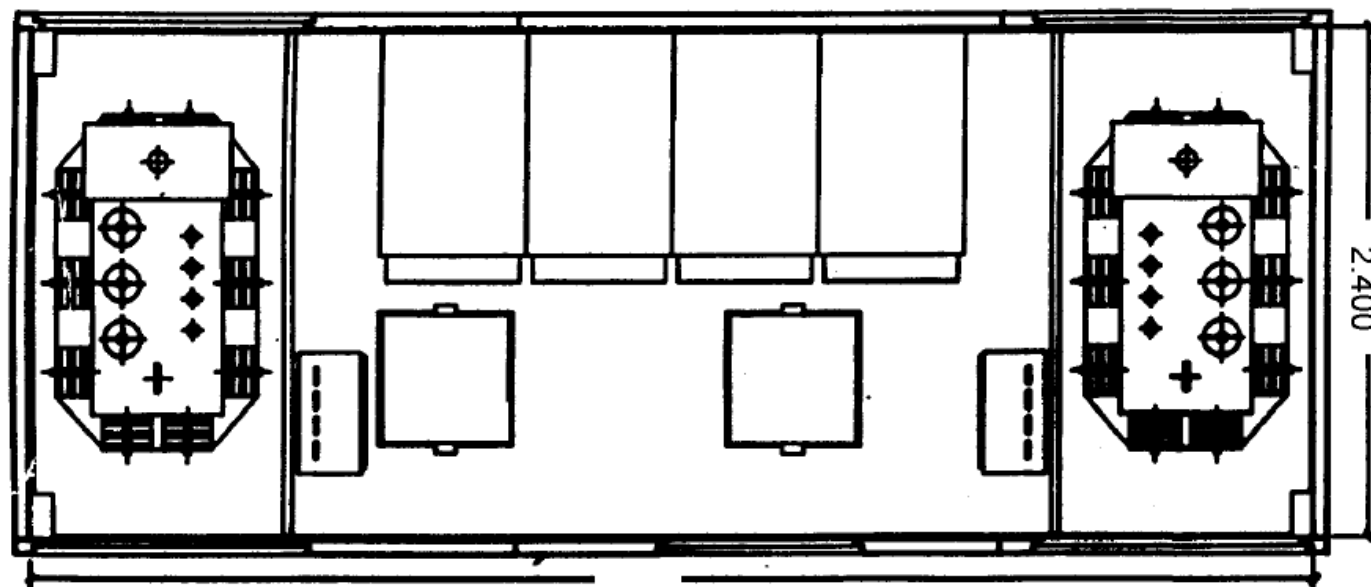
Esquema unifilar



Sección longitudinal



Sección transversal



Esquema unifilar

Altres requisits

- ▶ S'ha de tenir en compte tota la normativa d'aplicació, en especial la instrucció 14 del reglament d'alta tensió.
- ▶ Exemples:
 - ▶ *En todas las instalaciones, cuando se instalen juntos varios transformadores, y a fin de evitar el deterioro de uno de ellos por la proyección de aceite al averiarse otro próximo, se instalará una pantalla entre ambos de las dimensiones y resistencia mecánica apropiadas.*
 - ▶ *La anchura de los pasillos de servicio tiene que ser suficiente para permitir la fácil maniobra e inspección de las instalaciones, así como el libre movimiento por los mismos de las personas y el transporte de los aparatos en las operaciones de montaje o revisión de los mismos.*
 - ▶ *En cualquier caso, estos pasillos deberán estar libres de todo obstáculo hasta una altura de 230 cm.*