

# Característiques dels centres de transformació

Desenvolupament de xarxes elèctriques i centres de transformació

CFGS Sistemes electrotècnics i automatitzats



**Pau Casesnoves**

Centre Integrat de Formació Professional

# Parts fonamentals d'un CT

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

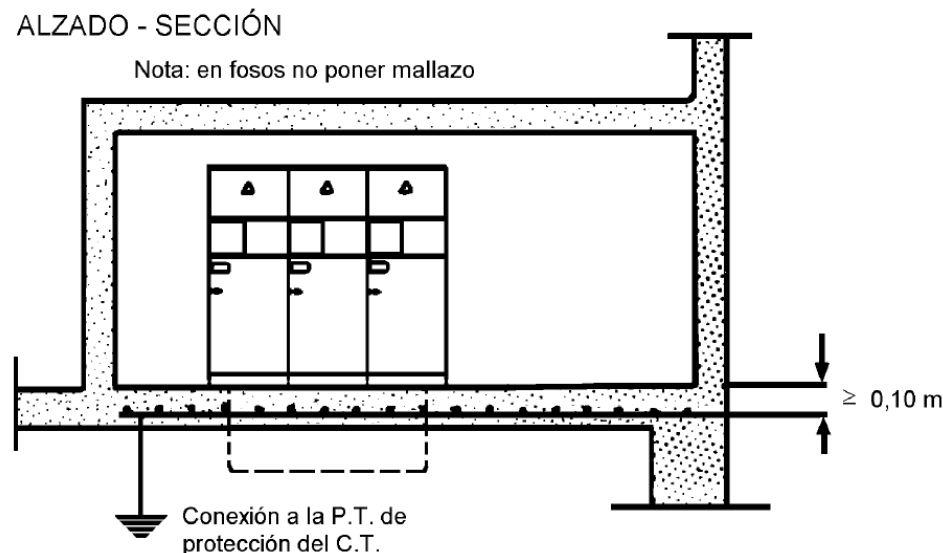


# Sistemes de posada a terra

Consisteix en unir elèctricament a terra totes les masses metàl·liques i el neutre de baixa tensió.

# Posada a terra en un CT

- ▶ La posada a terra dels centres de transformació serveix per garantir la seguretat tant de les persones que hi puguin accedir a dins com dels usuaris de la xarxa de baixa tensió.
- ▶ En un centre de transformació s'han de distingir dues posades a terra: la de protecció i la de servei.
- ▶ Anem a estudiar primer com circula el corrent pel sòl i com es distribueix la tensió.



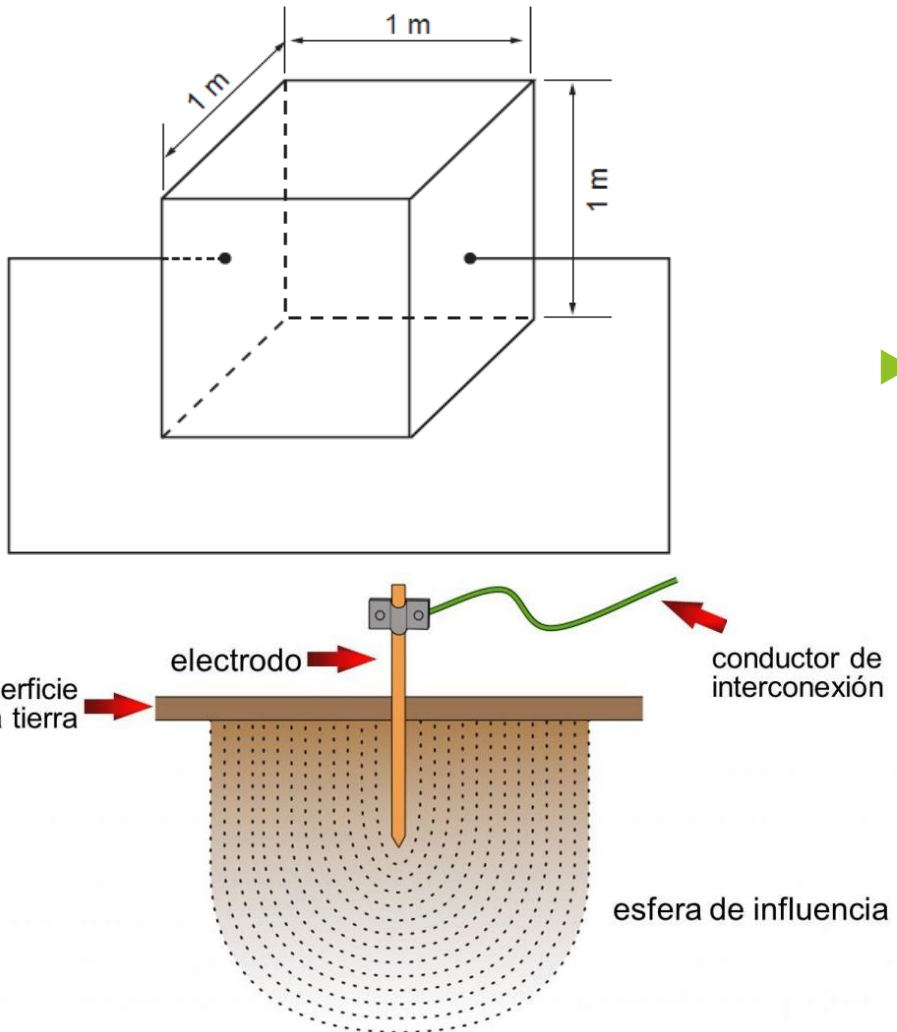
# Circulació del corrent elèctric pel sòl (1)

- ▶ Els terrenys tenen diferent resistivitat elèctrica  $\rho$  segons la seva naturalesa i contingut d'humitat.
- ▶ Aquesta resistivitat varia entre amplis marges i és molt més elevada que la dels metalls i el carboni. En aquest sentit pot dir-se que la terra és, en general, un mal conductor elèctric.
- ▶ Ara bé, quan un corrent circula pel terreny, la secció de pas  $S$  pot ser tan gran, que a pesar de que la seva resistivitat sigui elevada, la resistència pot arribar a ser menyspreable.

Material	Resistivitat ( $\Omega \cdot m$ )
Coure	$1,72 \cdot 10^{-8}$
Carboni	$3,5 \cdot 10^{-5}$
Terreny fèrtil	50
Vidre	$10^{12}$

$$R = \rho \cdot \frac{L}{S}$$

# Circulació del corrent elèctric pel sòl (2)



- ▶ La resistivitat dels terrenys, s'expressa en Ohms per  $\text{m}^2$  de secció i metre de longitud, per tant en  $\Omega \cdot \text{m}^2 / \text{m} = \Omega \cdot \text{m}$ . La resistivitat així expressada correspon a la resistència entre dues cares oposades d'un cub d'un metre d'aresta.
- ▶ Si bé, quan el corrent ha penetrat en el terreny aquest presenta una resistència menyspreable a causa de la gran secció de pas, no succeeix el mateix en el punt de pas del corrent de l'elèctrode al terreny, perquè aquí la superfície de contacte entre tots dos està limitada segons la forma, configuració i dimensions de l'elèctrode.



# Circulació del corrent elèctric pel sòl (3)

- ▶ A continuació s'indiquen les resistències a terra per als tipus d'elèctrodes més utilitzats, en funció de la resistivitat del terreny.

Elèctrode	Resistència ( $\Omega$ )
Placa enterrada horitzontal	$R = 0,8 \cdot \frac{\rho}{P}$
Placa enterrada vertical	$R = 1,6 \cdot \frac{\rho}{P}$
Pica vertical	$R = \frac{\rho}{L}$
Conductor enterrat horitzontal	$R = 2 \cdot \frac{\rho}{L}$
Malla de terra	$R = \frac{\rho}{4r} + \frac{\rho}{L}$

- ▶  $\rho$  és la resistivitat del terreny en  $\Omega \cdot m$ .
- ▶  $P$  és el perímetre de la placa en metres.
- ▶  $L$  és la longitud de la pica o del conductor, i en la malla, la longitud total dels conductors enterrats en metres.
- ▶  $r$  és el radi d'un cercle de la mateixa superfície que l'àrea de la malla en metres.

# Circulació del corrent elèctric pel sòl (4)

- ▶ A la següent taula es poden veure els valors mitjans de la resistivitat del terreny segons el tipus de sòl.

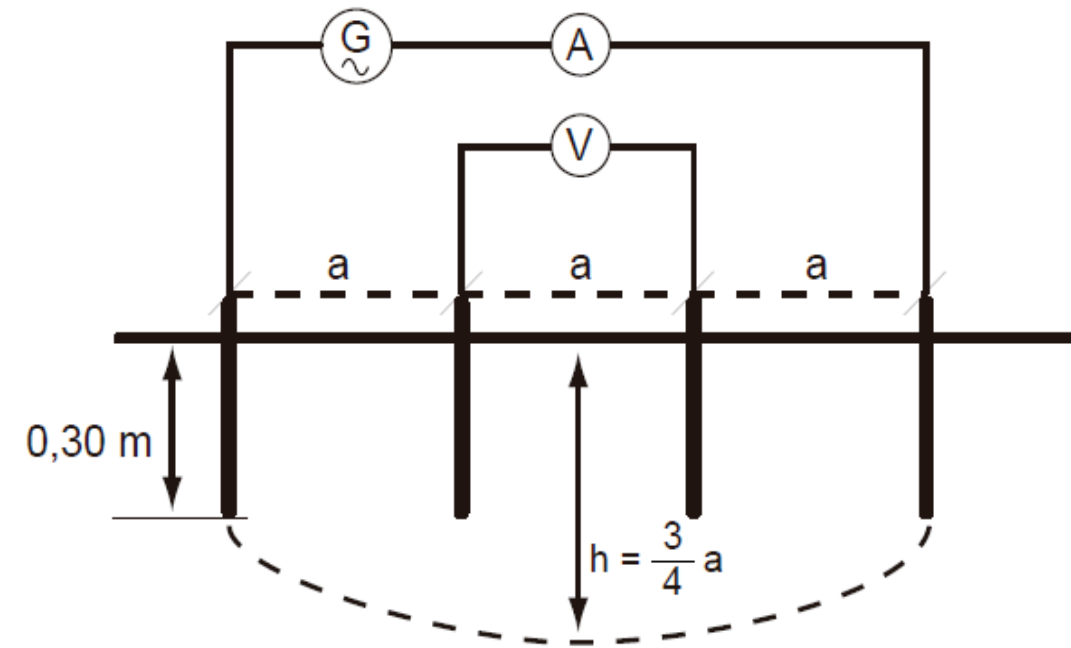
Terreny	Resistivitat ( $\Omega \cdot m$ )
Terrenys cultivables i fèrtils.	50
Terrenys poc cultivables i fèrtils.	500
Terreny pedregós i arenes seques	3.000

- ▶ Com es pot veure els valors són orientatius, ja que són molt variables, així que convé fer la mesura de la resistivitat del terreny. Però encara que fem la mesura, el valor variarà depenent sobretot de la humitat.



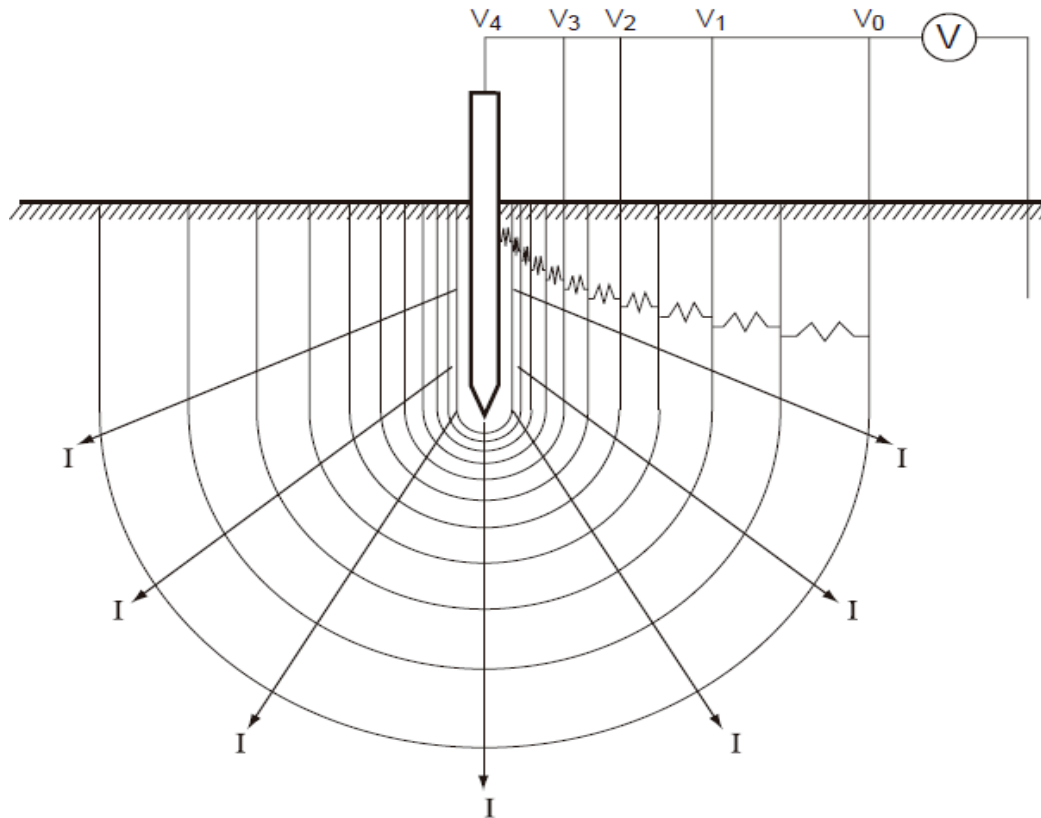
# Mesura de la resistivitat del terreny

- ▶ Per mesurar la resistivitat del terreny el mètode més utilitzat i recomanat és el mètode de Wenner.
- ▶ Es col·loquen quatre sondes alineades a intervals iguals, simètriques respecte al punt on es desitja mesurar la resistivitat del terreny. La profunditat d'aquestes sondes no cal que sobrepassi els 30 cm.
- ▶ La separació entre les sondes ( $a$ ) permet conèixer la resistivitat mitjana del terreny entre la superfície i una profunditat  $h$ , aproximadament igual a la profunditat màxima a la qual s'instal·larà l'elèctrode de posada a terra.



# Pas del corrent al terreny (1)

- El corrent passa al terreny repartint-se per tots els punts de la superfície de l'elèctrode en contacte amb la terra, per tant, en totes les direccions a partir d'aquest.



## Pas del corrent al terreny (2)

- ▶ Una vegada ja en el terreny, el corrent es va difonent per aquest. Amb terrenys de resistivitat homogènia pot idealitzar-se aquest pas suposant el terreny format per capes concèntriques al voltant de l'elèctrode, totes del mateix gruix  $L$ .
- ▶ El corrent va passant successivament d'una capa a la següent. Vegeu que cada vegada la superfície de pas és major, i per tant la resistència de cada capa va sent cada vegada menor, fins a arribar a ser menyspreable.
- ▶ La resistència de cada capa es  $R=\rho \cdot L/S$ . Aquestes resistències es sumen, ja que estan en sèrie.

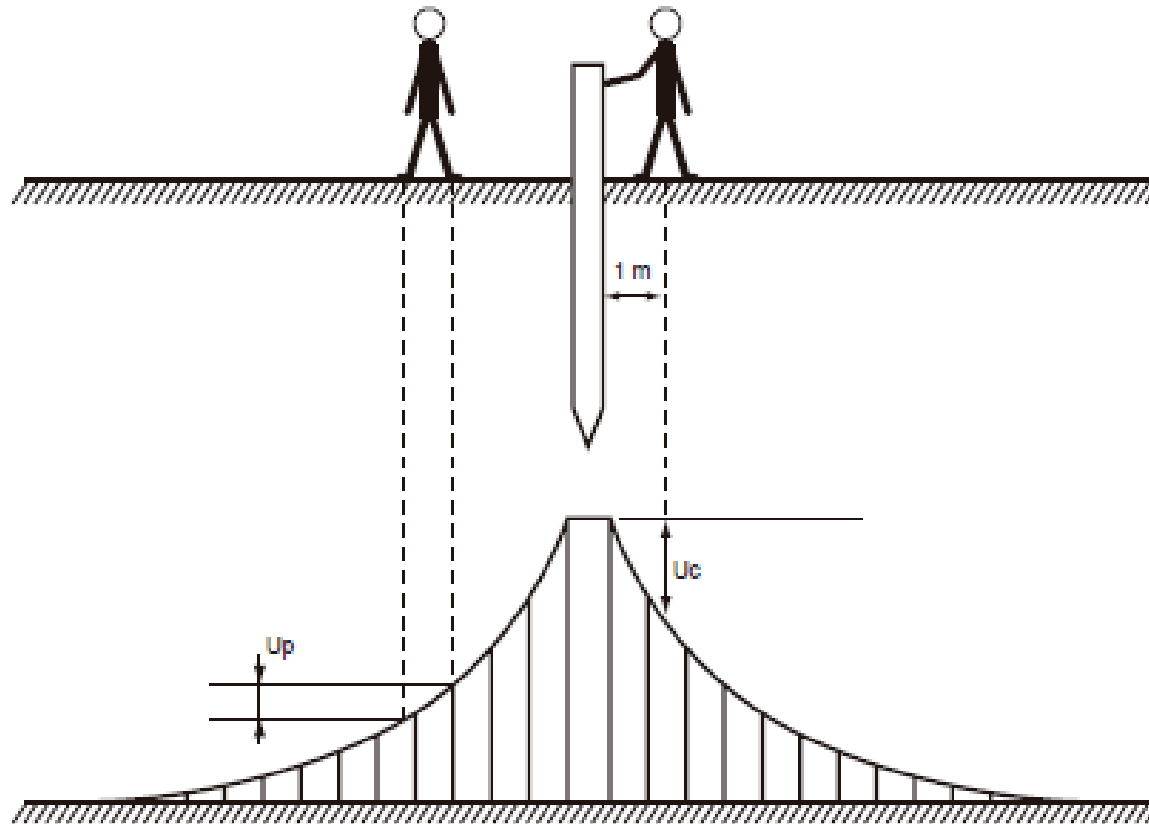
$$R = \rho \left( \frac{L}{S_1} + \frac{L}{S_2} \dots + \frac{L}{S_n} \right)$$

## Pas del corrent al terreny (3)

- ▶ Si multipliquem aquestes resistències pel valor del corrent es tindrà la caiguda de tensió  $V=R \cdot I$  en cadascuna de les successives capes concèntriques. Com la resistència és cada vegada menor, també ho serà la caiguda de tensió fins a fer-se menyspreable.
- ▶ En els sistemes de MT aquesta tensió sol ser pràcticament zero a una distancia de l'elèctrode d'uns 20 a 30 m.
- ▶ Entre dos punts de la superfície del terreny, hi haurà una diferència de tensió en funció de la distància entre ells i a l'elèctrode. Per a una mateixa distància entre aquests dos punts la diferència de tensió serà màxima quan els dos punts estiguin en un mateix radi. Per seguretat, es considera sempre aquest cas que dona el valor màxim.

# Pas del corrent al terreny (4)

- La següent imatge representa com varia la tensió a la superfície a mesura que ens allunyam de l'elèctrode.

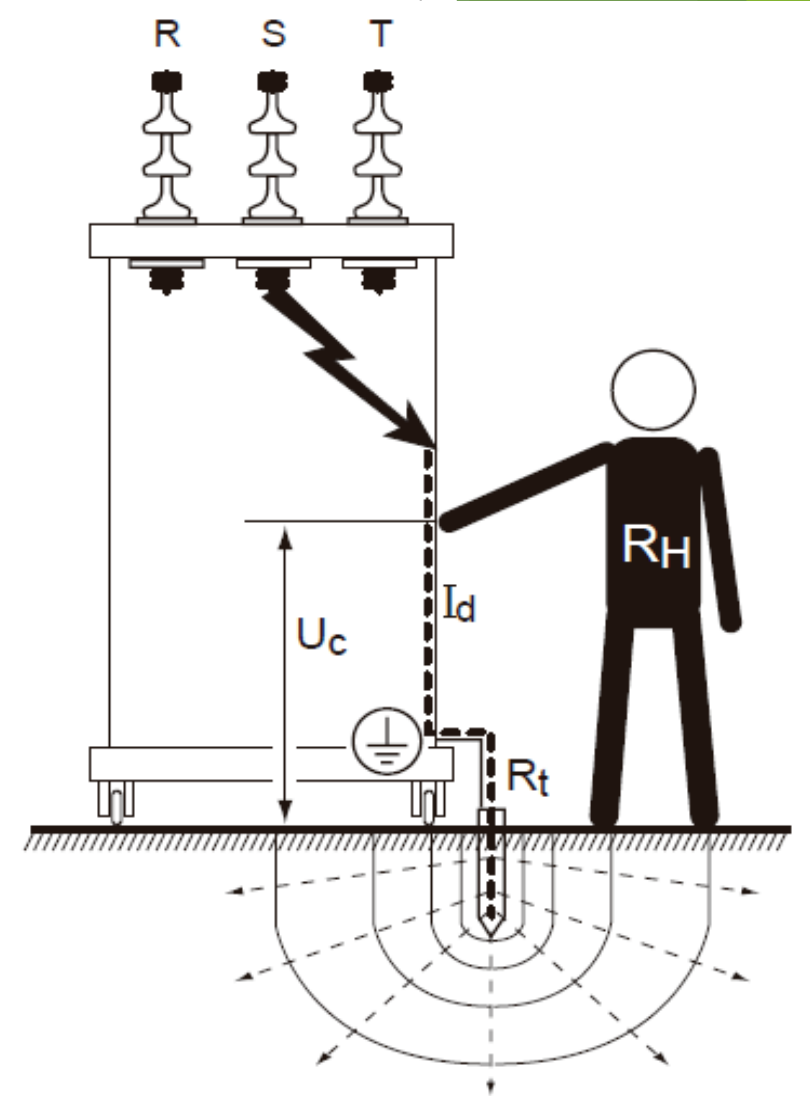


# Tensió de pas i d'accés

- ▶ La diferència de tensió entre dos punts de la superfície del terreny es denomina **tensió de pas**, perquè és la que pot quedar aplicada entre els peus d'una persona que en aquell moment es trobi trepitjant el terreny.
- ▶ La tensió de pas s'expressa per a una separació de 1 m entre els dos peus i pot arribar a ser perillosa, per la qual cosa, en el RAT 13, s'indica el valor màxim admissible en funció del temps d'aplicació.
- ▶ El **temps d'aplicació** és el que transcorre entre l'aparició del corrent a terra, i la seva interrupció per un element de tall. Sol ser de l'ordre d'un segon, incloent un cert marge de seguretat.
- ▶ També es defineix la **tensió d'accés**, com la tensió quan es tenen els peus separats un metre, però un peu està a sobre el paviment del CT i l'altre sobre el terreny sense edificar.

# Tensió de contacte

- ▶ Quan circula corrent de l'elèctrode al terreny, apareix també una denominada **tensió de contacte**, que és la diferència de tensió que pot resultar aplicada entre els dos peus junts sobre el terreny, i un altre punt del cos humà. A la pràctica el més probable és que sigui una mà.
- ▶ La perillositat de la tensió de contacte és superior a la de tensió de pas, ja la tensió té un recorregut per l'organisme que pot afectar òrgans vitals.
- ▶ Per aquest motiu les tensions de contacte màximes admissibles en funció del temps són, segons el RAT-13, deu vegades inferiors que les de pas.





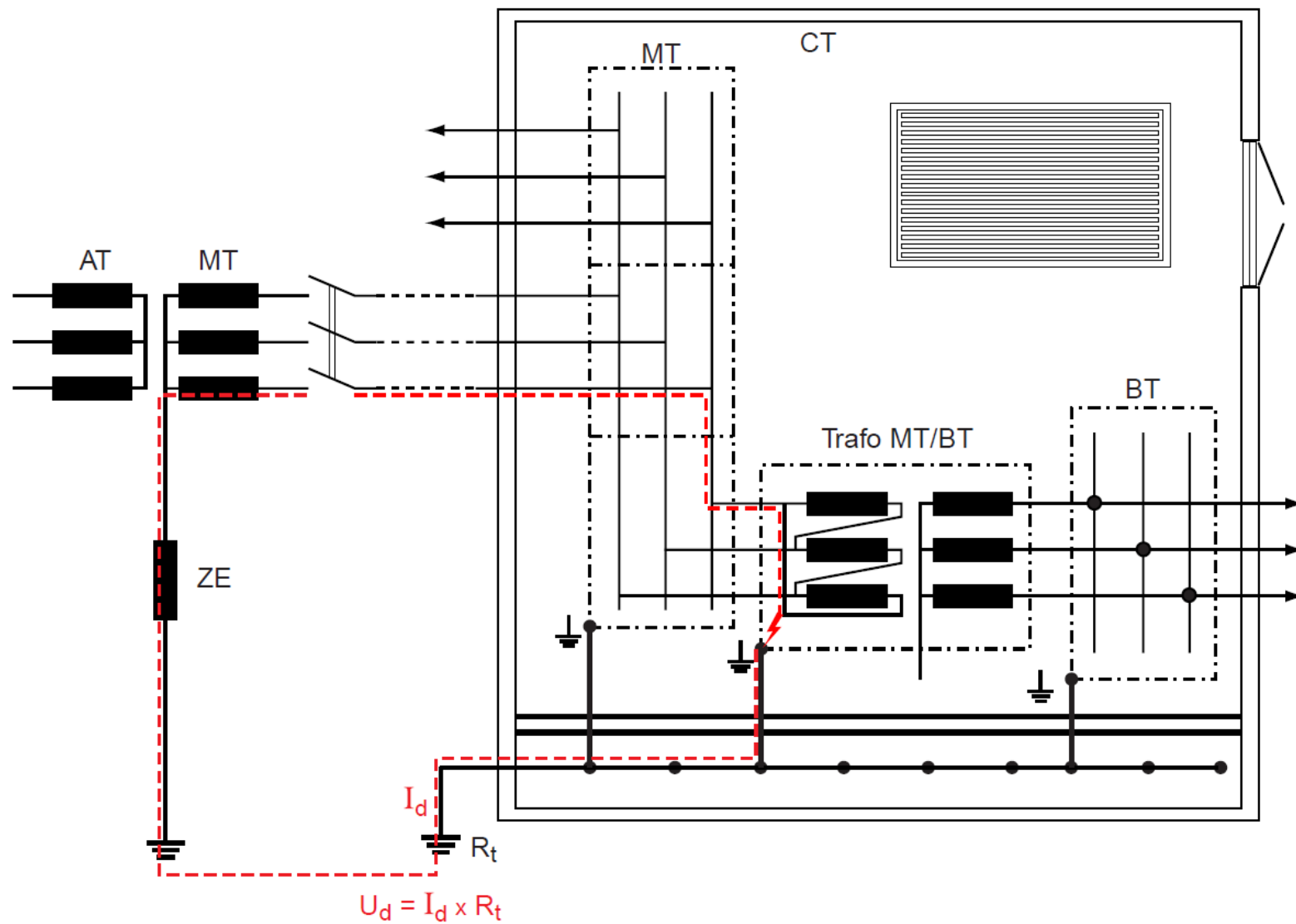
# Tensió de defecte (1)

- ▶ La **tensió de defecte** és la que apareix entre l'elèctrode de terra (i per tant les masses del CT) i un punt del terreny a potencial zero, quan hi ha un pas de corrent de defecte cap a terra.
- ▶ Aquest punt a potencial zero és qualsevol punt del terreny suficientment allunyat de l'elèctrode, que quan hi ha un corrent de defecte no varia el seu potencial.
- ▶ La tensió de defecte valdrà:

$$V_d = R_t \cdot I_d$$

- ▶ La intensitat de defecte dependrà sobretot de la impedància del bucle de terra, ja que a les subestacions es genera un neutre que es connecta a terra a través d'impedàncies (normalment bobines).

## Tensió de defecte (2)



# Posada a terra de protecció

- ▶ Consisteix en unir elèctricament a terra totes les parts metàl·liques **interiors** no destinades a conduir electricitat, però que en poden conduir degut a accidents, avaries o sobretensions. S'hi han de connectar les següents parts:
  - ▶ Carcasses i xassís dels transformadors.
  - ▶ Carcasses i xassís dels aparells de maniobra i protecció.
  - ▶ Armadures metàl·liques de l'edifici.
  - ▶ Pantalles i reixes de protecció.
  - ▶ Pantalles i armadures dels cables de MT.
  - ▶ Explosors i autovàlvules de MT.
- ▶ **No** s'hi han de connectar els elements metàl·lics accessibles des de l'exterior i que no contenen ni suporten parts actives: portes, finestres, reixes de ventilació, etc.

# Posada a terra de servei

- ▶ Consisteix en unir elèctricament parts de baixa tensió que sí condueixen electricitat en el seu funcionament normal. S'hi han de connectar les següents parts:
  - ▶ El conductor neutre, de forma obligatòria en xarxes de distribució públiques.
  - ▶ Un born del secundari dels transformadors d'intensitat i tensió per a mesura.
  - ▶ Les autovàlvules de baixa tensió, si n'hi ha.
- ▶ Aquestes dues posades a terra del CT es poder realitzar de forma conjunta o separada.
- ▶ La resistència a terra de servei ha de ser com a màxim de **37  $\Omega$** .

# Sistema de terres separades (1)

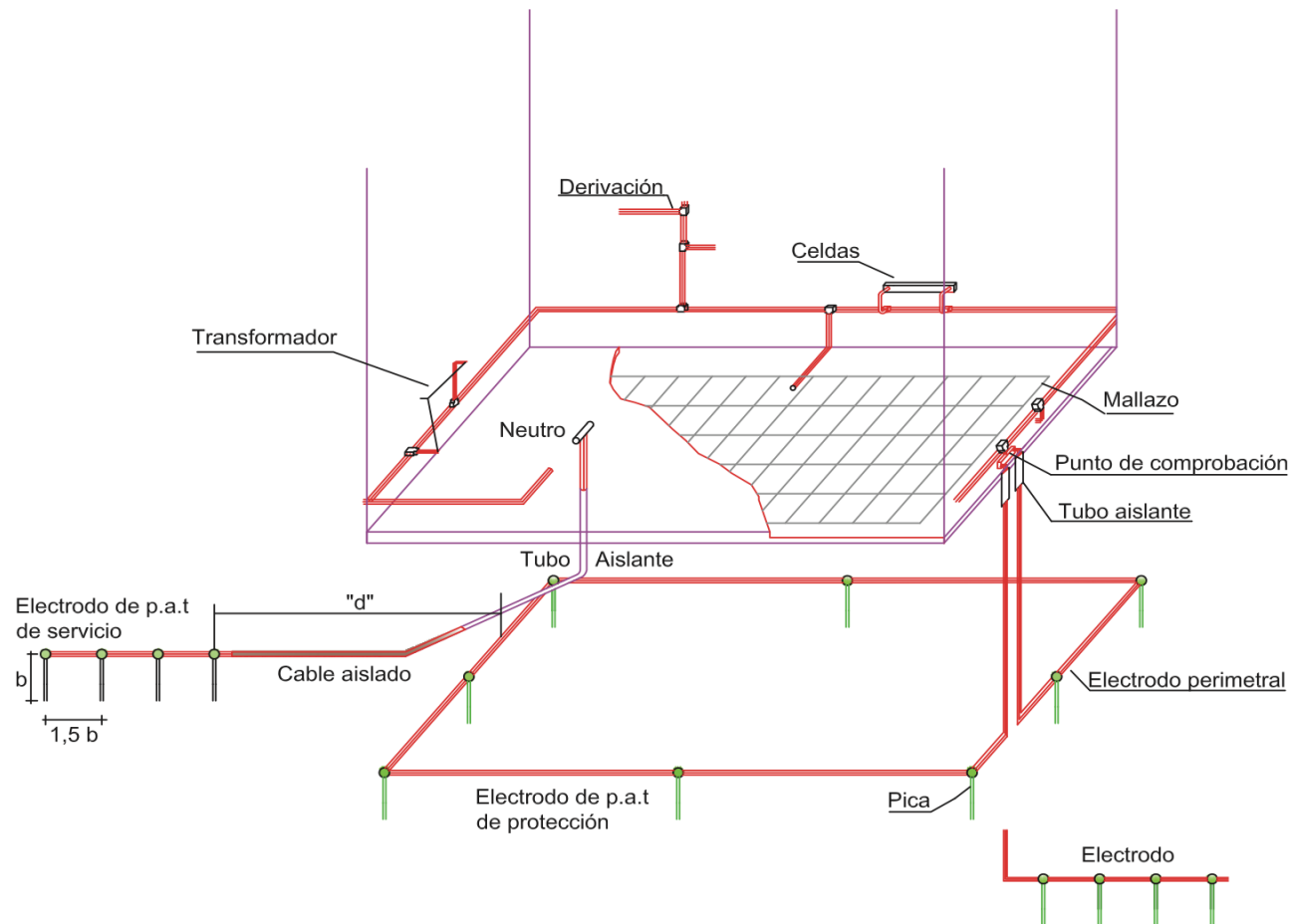
- ▶ Consisteix en tenir dues posades a terra independents per a la terra de protecció i la de servei.
- ▶ S'utilitza quan el corrent de defecte o la resistència a terra són elevats, de forma que es cas d'un defecte de la fase de MT amb terra la tensió de defecte pugui superar els 1.000 V.
- ▶ La distància mínima entre la posada a terra de protecció i la de servei depèn de la resistivitat del terreny i del corrent de defecte:

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

- ▶  $\rho$  és la resistivitat del terreny en  $\Omega \cdot m$ .
- ▶  $I_d$  és la màxima intensitat de defecte (fase MT amb terra) en Ampers.
- ▶  $D$  és la distància mínima en metres entre les posades a terra.
- ▶  $V_i = 1.000 \text{ V}$ , que és el voltatge màxim que la terra de protecció pot induir a la de servei.

# Sistema de terres separades (2)

- Per a mantenir les terres separades, la posada a terra de servei s'ha d'aïllar la distància calculada amb cable de 0,6/1 kV dins tub de PVC.



# Sistema de terres conjunes

- ▶ Amb aquesta sistema només hi ha una única posada a terra, a on s'hi connecten totes les parts de la terra de protecció i la de servei.
- ▶ Per a poder tenir-les de forma conjunta, la màxima tensió de defecte que hi pot haver ha de ser inferior a 1.000 V.

$$1.000 \geq R_t \cdot I_d$$

- ▶ Per tant, la intensitat de defecte o la resistència a terra han de ser baixes.
- ▶ En cas de cables de MT soterrats, com que duen pantalla i en els CT es connecten a terra, es pot aconseguir una resistència a terra baixa encara que la dels elèctrodes del CT sigui elevada. L'explicació és que les posades a terra de tots els CT queden connectades en paral·lel.





# Obra civil

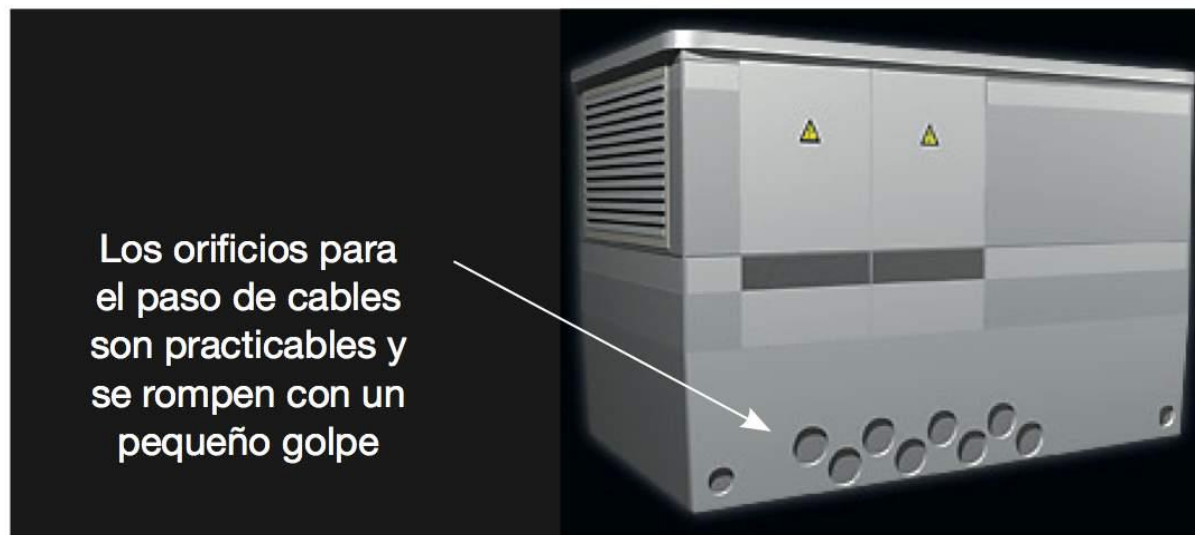
Aspectes que s'han de tenir en compte quan es fa l'obra que contendrà el centre de transformació.

# Obra civil (1)

- ▶ El lloc triat per la construcció del CT ha de permetre la col·locació i reposició de tots els elements. Els accessos al centre han de tenir les dimensions adequades per permetre el pas dels elements.
- ▶ L'emplaçament del centre ha d'estar protegit d'inundacions i filtracions d'aigua. En el cas de terrenys inundables, el sol del centre ha d'estar com a mínim 20 cm per damunt del màxim nivell d'aigües.
- ▶ El local que conté el CT ha d'estar construït amb materials incombustibles.
- ▶ Els CT estaran previstos de ventilació per evitar la condensació i refrigerar els transformadors.

## Obra civil (2)

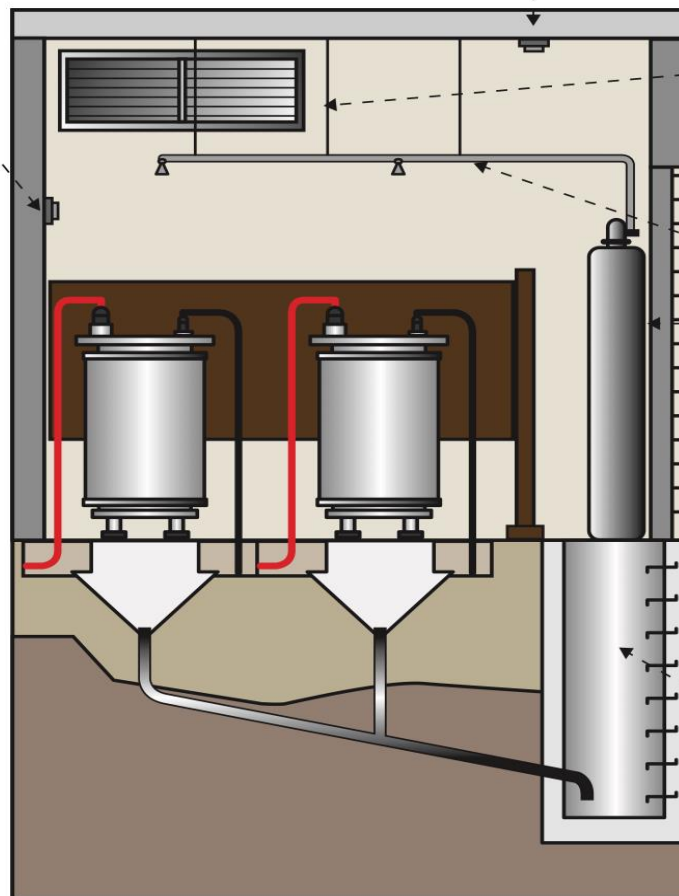
- ▶ En els edificis prefabricats de formigó es preveuran orificis practicables en la solera, per al pas de cables destinats a posada a terra, cables de BT i MT.



- ▶ S'hauran de tenir en compte també els pous d'oli, els conductes de drenatge, registres per les posades a terra i canals pels cables de BT i MT. En els pous d'oli es preveuran apagafocs superiors.

# Obra civil (3)

Sistema de detección de incendios conectado a Central. En caso de Incendio la ventilación se debe parar automáticamente.



Ventilación Forzada.  
Extracción.

Sistema de extinción  
de incendios Fijo.

Foso de recogida de  
aceite. Debe disponer  
de cortafuegos.

# Obra civil - Mallat (1)

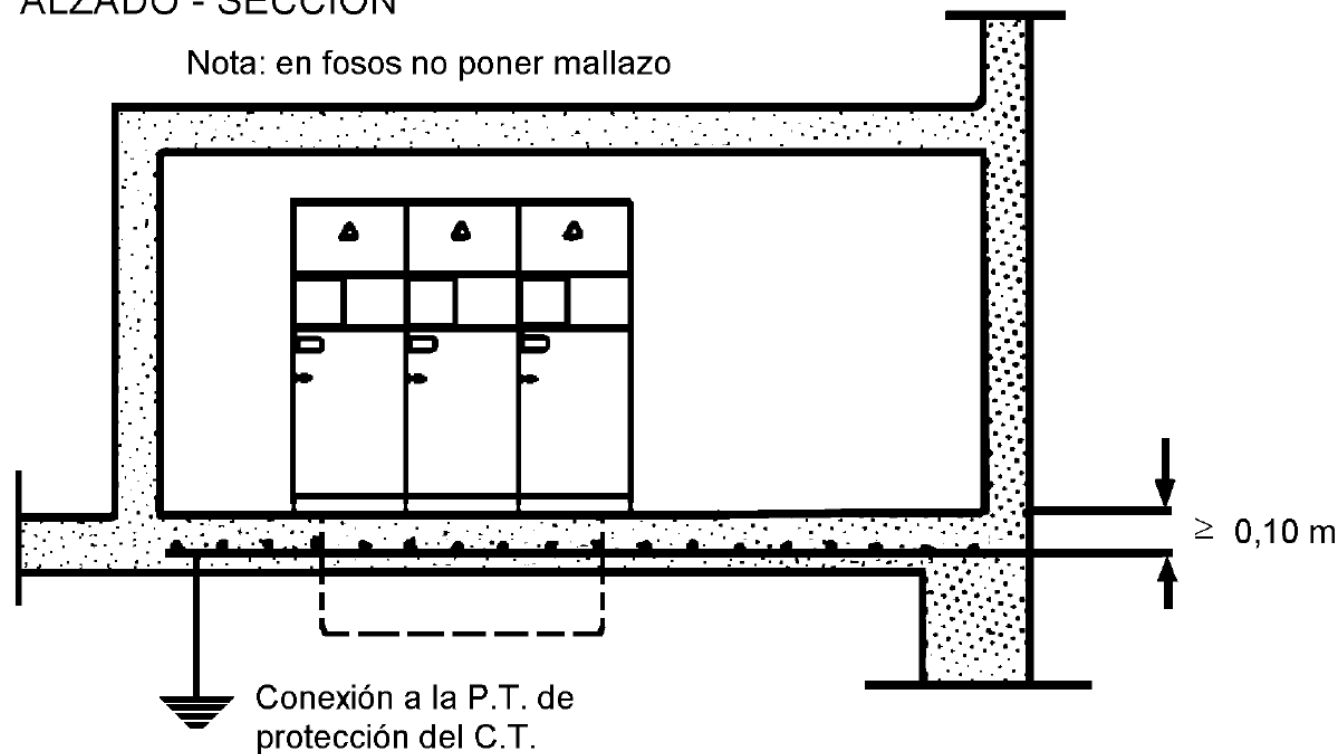
- ▶ Els CT duen un mallat conductor en el paviment, per tal de reduir al màxim les tensions de contacte i de pas.
- ▶ En els CT prefabricats, l'edifici ja ho duu incorporat.
- ▶ En els CT convencionals i els que estan dins edificis d'altres usos, s'ha de realitzar el mallat de la següent forma:
  - ▶ Amb barres electrosoldades de mínim 4 mm de diàmetre, formant retícules inferiors a 30 x 30 cm, i amb una capa mínima de formigó de 10 cm a sobre.
  - ▶ Es connectarà a terra (terra de protecció) com a mínim en dos punts oposats.

# Obra civil - Mallat (2)

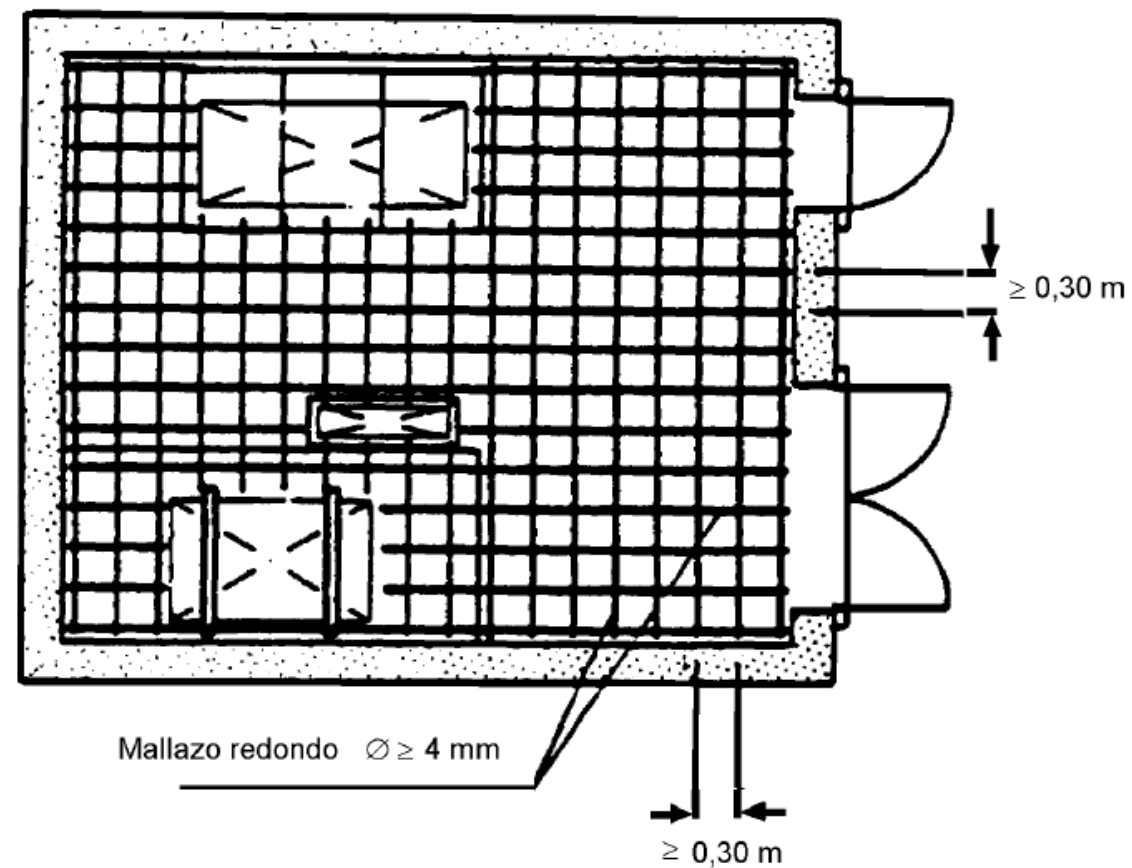
- Detall del mallat en els CT convencionals o dins d'edificis d'altres usos:

ALZADO - SECCIÓN

Nota: en fosos no poner mallazo

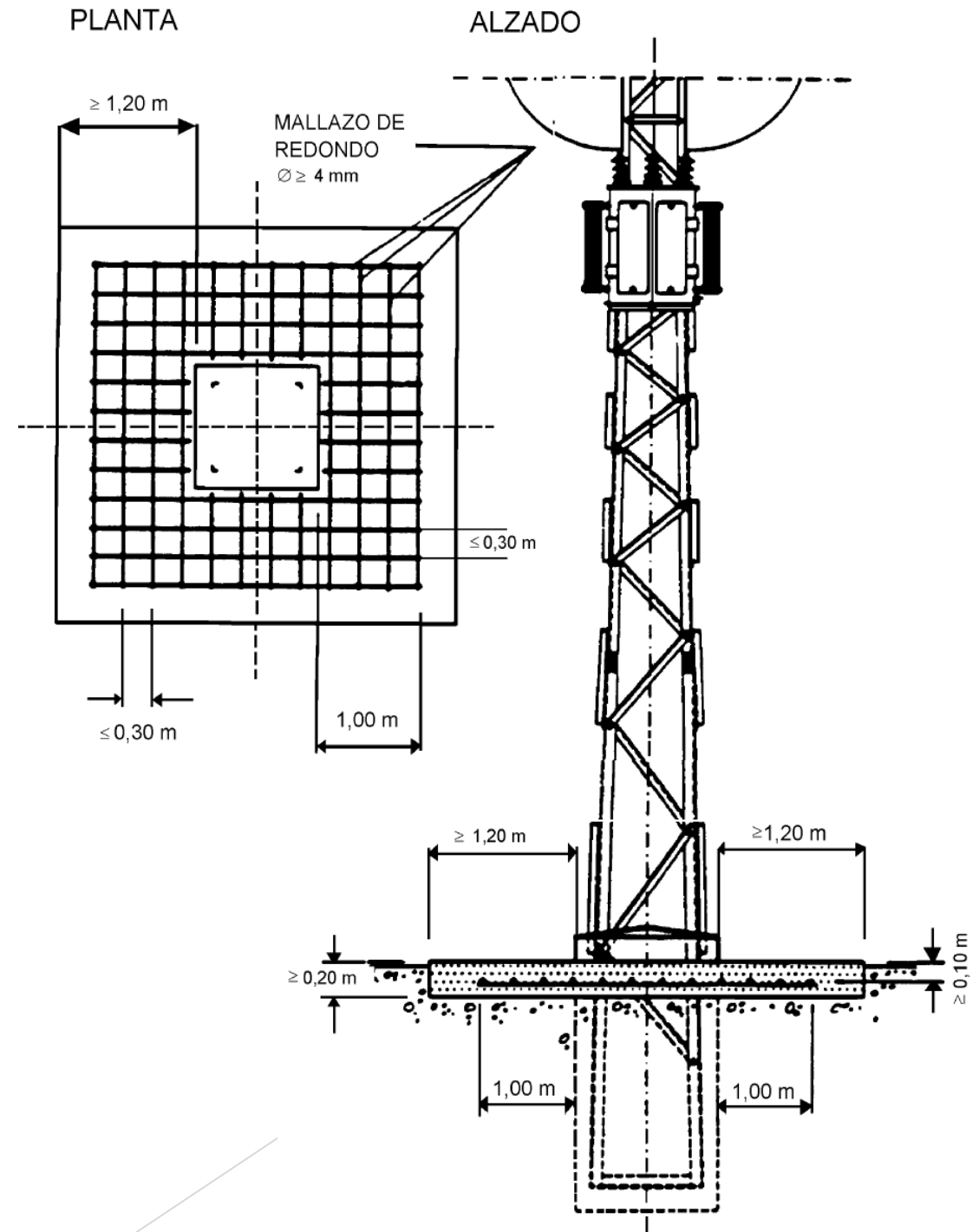


PLANTA

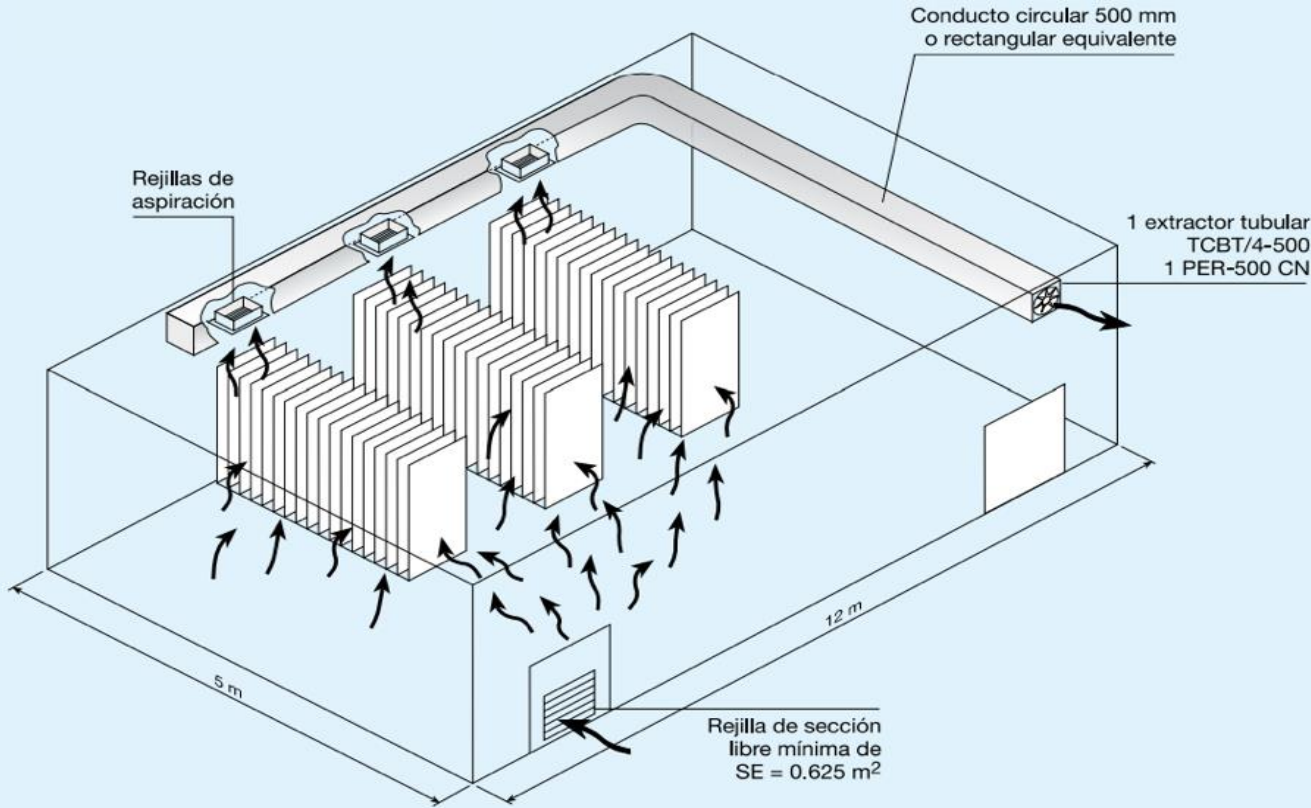


# Obra civil - Mallat (3)

- ▶ Els CT d'intempèrie també duen un mallat dins formigó per limitar les tensions, consistent en:
  - ▶ Llosa de formigó de mínim 20 cm de gruixa, que cobreixi com a mínim fins a 1,2 m respecte als fonaments del suport.
  - ▶ Dins el formigó, i com a mínim fins a 1 m dels fonaments, s'ha de col·locar un mallat com el descrit anteriorment.







# Serveis

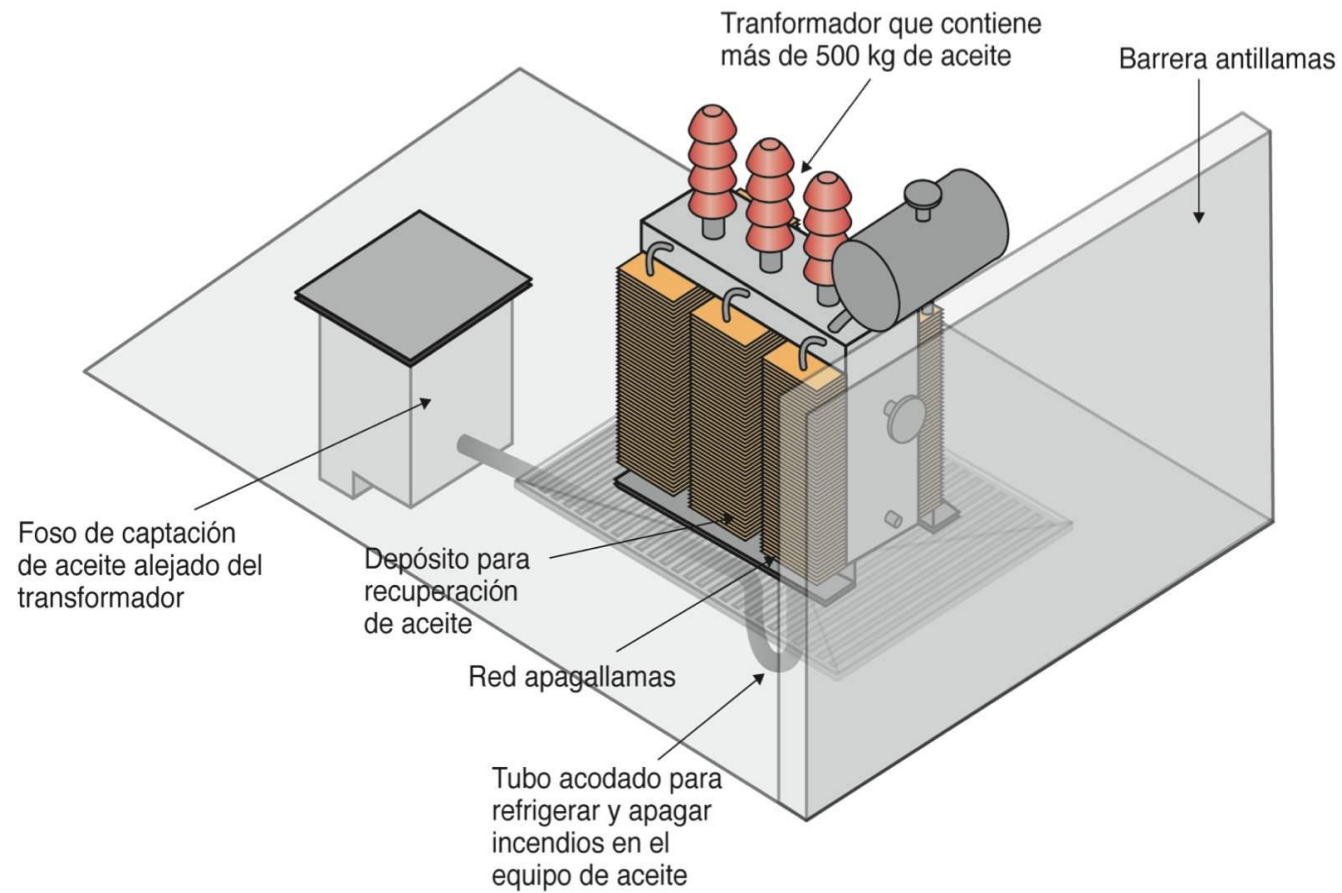
Protecció contra incendis, ventilació, il·luminació i senyalització.

# Protecció contra incendis (1)

- ▶ La protecció contra incendis es realitza en CT amb transformadors de bany d'oli. Es pot fer de forma passiva, i també quan és necessari de forma activa.
- ▶ **Sistema passiu**, que consisteix en:
  - ▶ Pous per a la recollida d'oli, un per transformador. Han de tenir capacitat per la totalitat de l'oli del transformador. L'entrada al pou ha de quedar per davall del transformador i estar equipada amb un dispositiu tallafocs.
  - ▶ Obra civil resistent al foc.
  - ▶ Portes, marcs, obertures de ventilació... de material metàl·lic.
  - ▶ Envans metàl·lics o d'obra civil resistents al foc entre el transformador i el resta del CT.

# Protecció contra incendis (2)

## ► Imatge d'un sistema passiu:



# Protecció contra incendis (3)

- ▶ **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 pública 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.
  - ▶ Instal·lació de comportes de tancament automàtic de les apertures de ventilació (entrades i sortides d'aire) en cas d'incendi.

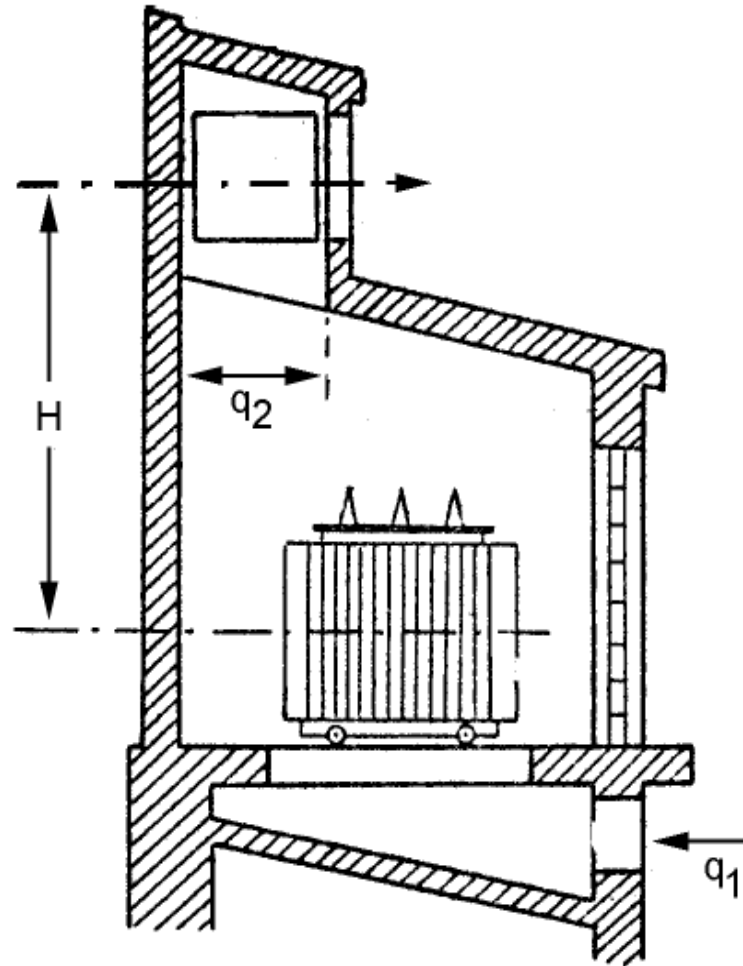
# Ventilació (1)

- ▶ La ventilació del CT es necessària per a que el transformador i la resta d'elements no arribin a una temperatura excessiva durant el seu funcionament normal.
- ▶ La renovació d'aire es pot fer per ventilació natural o forçada:
  - ▶ En la ventilació natural, l'aire circula per convecció sense necessitat de ventiladors. Com que la densitat de aire depèn de la temperatura, quan aquest s'encalenteix la seva densitat baixa i tendeix a pujar. D'aquesta forma per a ventilar disposam de dues reixes. Una en la part inferior, per on entra l'aire fresc de l'exterior i passa pel transformador refredant-lo. Quan s'ha encalentit l'aire puja i surt per una reixa superior.
  - ▶ En la ventilació forçada, l'aire circula gràcies a un extractor. Només s'utilitza si la ventilació natural no és suficient.



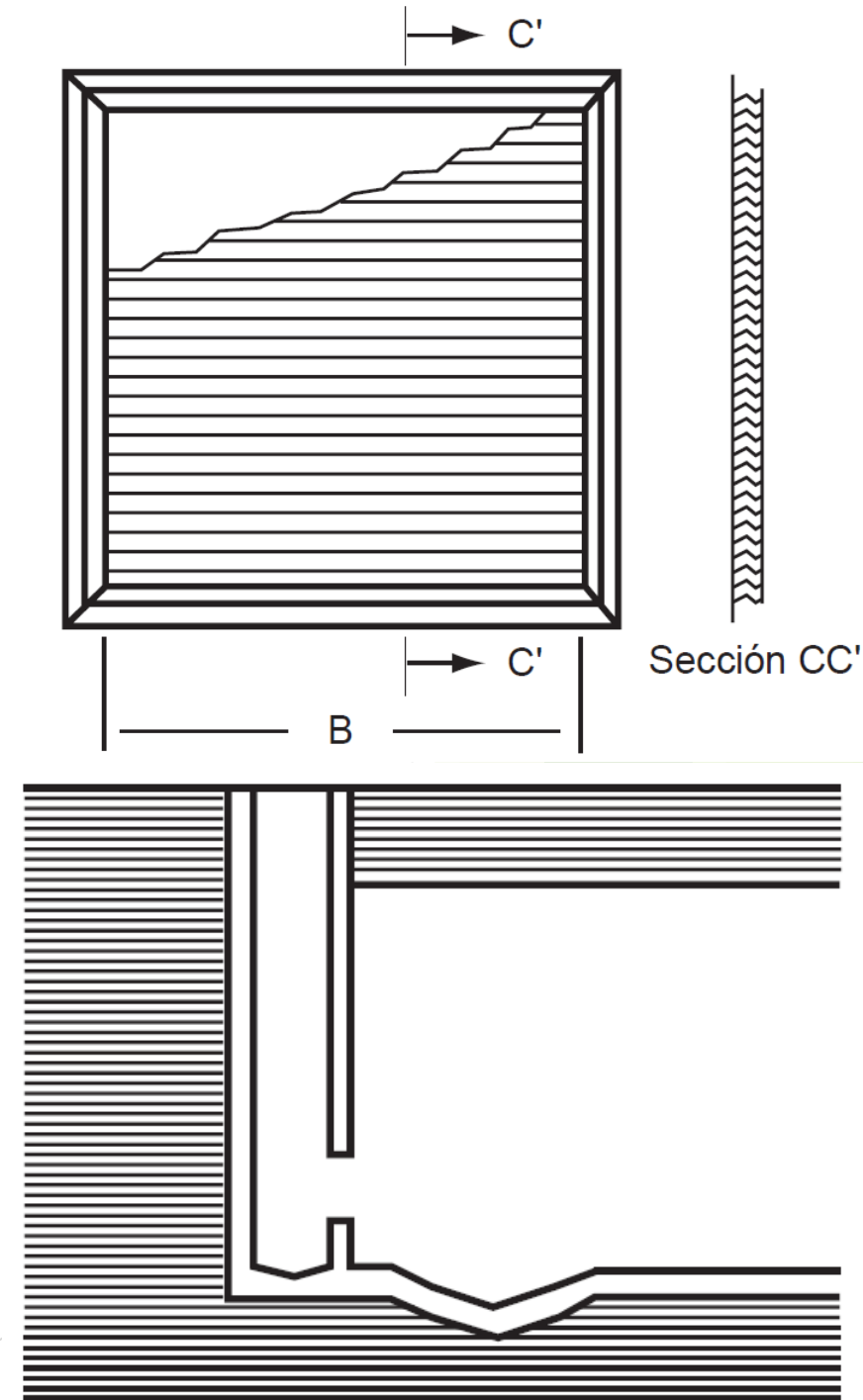
# Ventilació (2)

- ▶ El volum d'aire a renovar depèn de:
  - ▶ Les pèrdues totals (del nucli i dels enrotllaments) dels transformadors.
  - ▶ La diferència de temperatures entre l'aire d'entrada i de sortida.
  - ▶ La diferència d'altures entre l'apertura inferior i la superior.



# Ventilació (3)

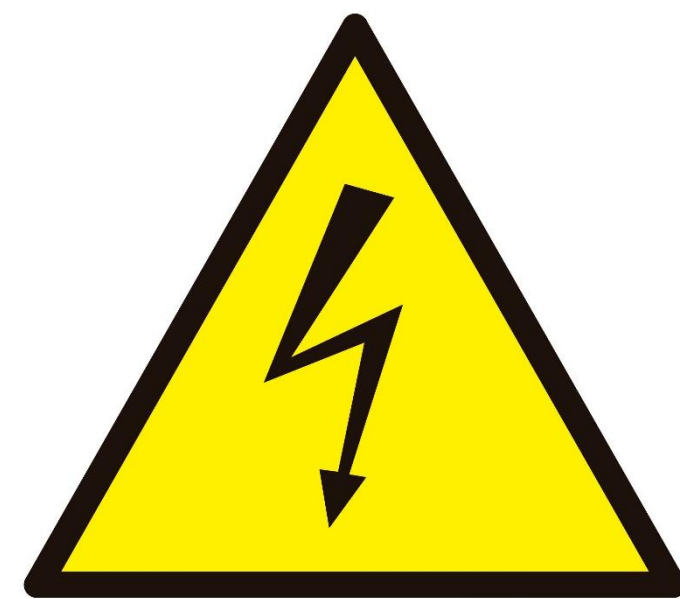
- ▶ Característiques de les apertures de ventilació:
  - ▶ Han d'estar protegides per una reixa que impedeixi el pas de petits animals i objectes de més de 12mm. A més han de tenir una disposició laberíntica per evitar l'entrada d'aigua i la introducció d'elements conductors que puguin tocar parts en tensió.
  - ▶ L'apertura inferior ha d'estar a una altura mínima de 0,3 m i la superior a 2,3 m, amb una separació vertical mínima de 1,3 m entre elles. Sempre que sigui possible s'instal·laran en parets oposades.
  - ▶ En CT soterrats, l'entrada d'aire es farà a través d'un pati de 60 cm d'amplada mínima i amb sistema de recollida d'aigua.





# Il·luminació i senyalització

- ▶ Per a la il·luminació interior del CT s'instal·laran els punts de llum necessaris per aconseguir un nivell mitjà de 150 lux, amb un mínim de 2 punts de llum.
- ▶ També s'ha d'instal·lar enllumenat d'emergència, que ha de proporcionar una autonomia mínima de 2 h amb una il·luminació superior a 5 lux.
- ▶ Les portes d'accés al CT i les portes de les cel·les duran un cartell de risc elèctric.
- ▶ S'instal·larà un cartell amb les instruccions de primers auxilis en cas de xoc elèctric, i un altre amb les cinc regles d'or.
- ▶ En les bateries de condensadors hi haurà un cartell que indiqui que s'han de curtcircuitar i connectar a terra abans de tocar.



**RIESGO  
ELÉCTRICO**