

INSTALACIONES DE PUESTA A TIERRA

- **INTRODUCCIÓN**

Normativa. MIE BT 039. MIE BT 0008

UNE 20-460

MIE RAT 13

Recomendaciones UNESA

Puesta a tierra

Toda ligazón metálica directa, sin fusible ni protección alguna, de sección suficiente, entre determinados elementos o partes de una instalación eléctrica y un electrodo o grupo de electrodos enterrados en el suelo, con objeto de conseguir que en el conjunto de instalaciones, edificios y superficie próxima del terreno no existan diferencias de potencial peligrosas y que al mismo tiempo permita el paso a tierra de las corrientes de falta o la de descargas de origen atmosférico.

Masa

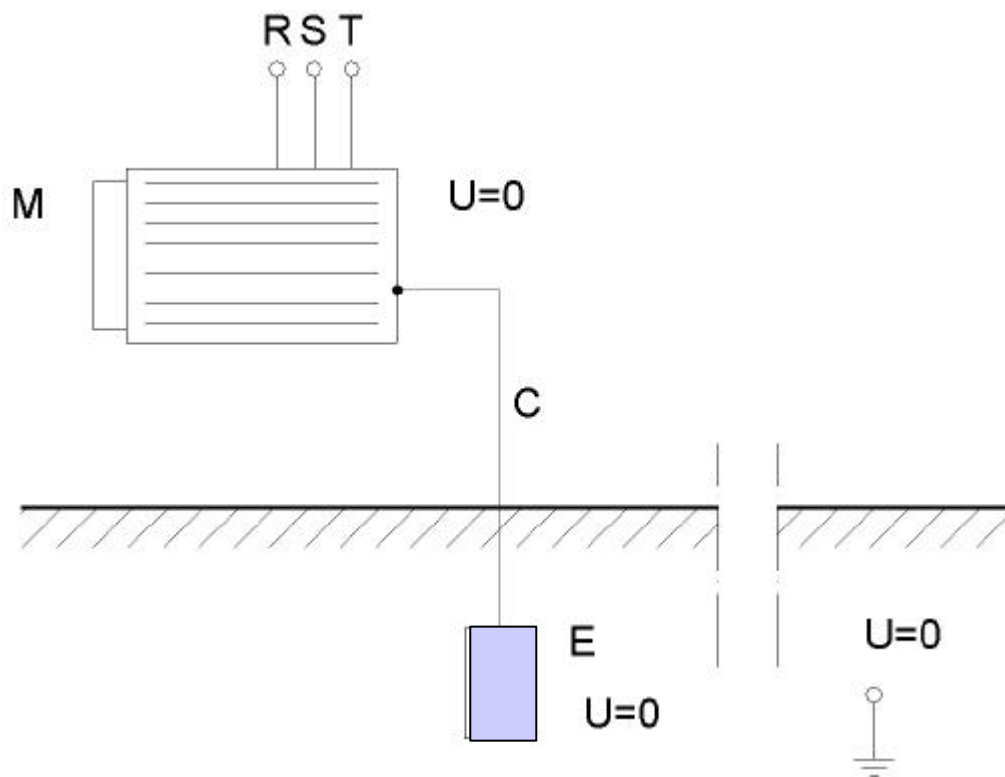
Es cualquier parte conductora accesible de un aparato o instalación eléctrica, que en condiciones normales está aislado de las partes activas, pero que es susceptible de ser puesto bajo tensión como consecuencia de un fallo en las disposiciones tomadas para asegurar su aislamiento.

Elemento conductor

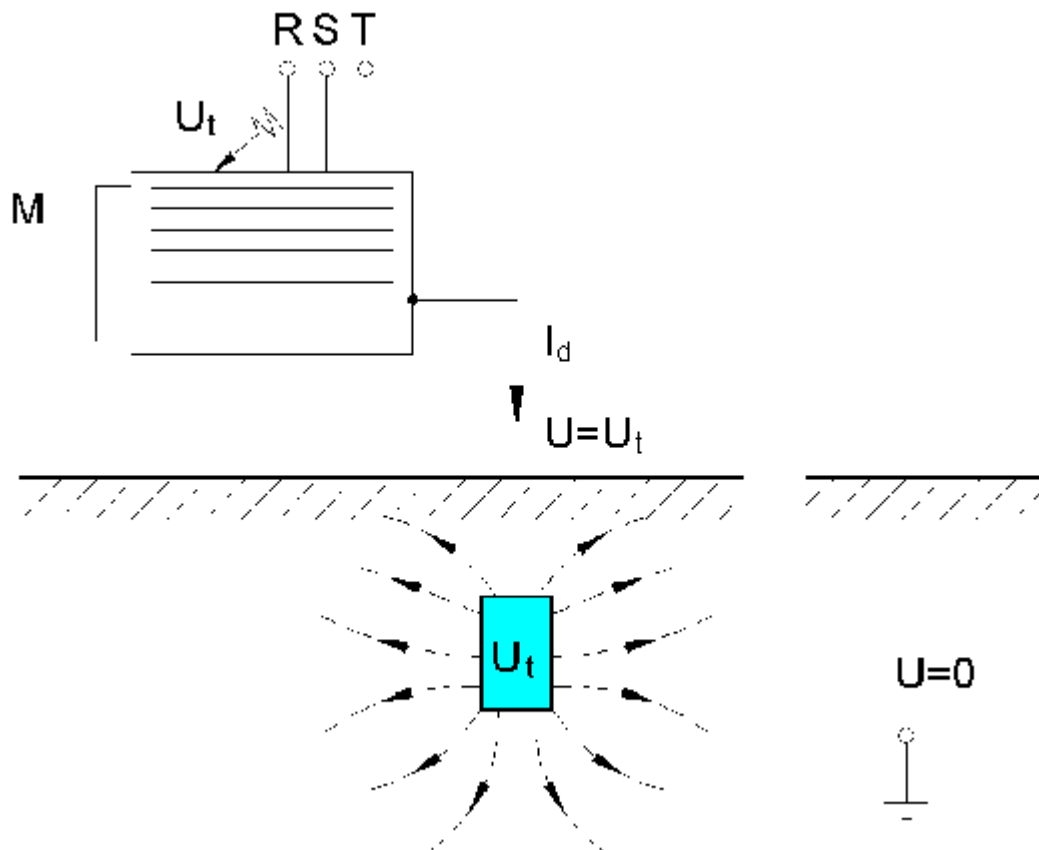
Es cualquier objeto metálico susceptible de propagar un potencial, situado en las proximidades de una instalación eléctrica pero no perteneciente a ella.

CONCEPTOS BÁSICOS

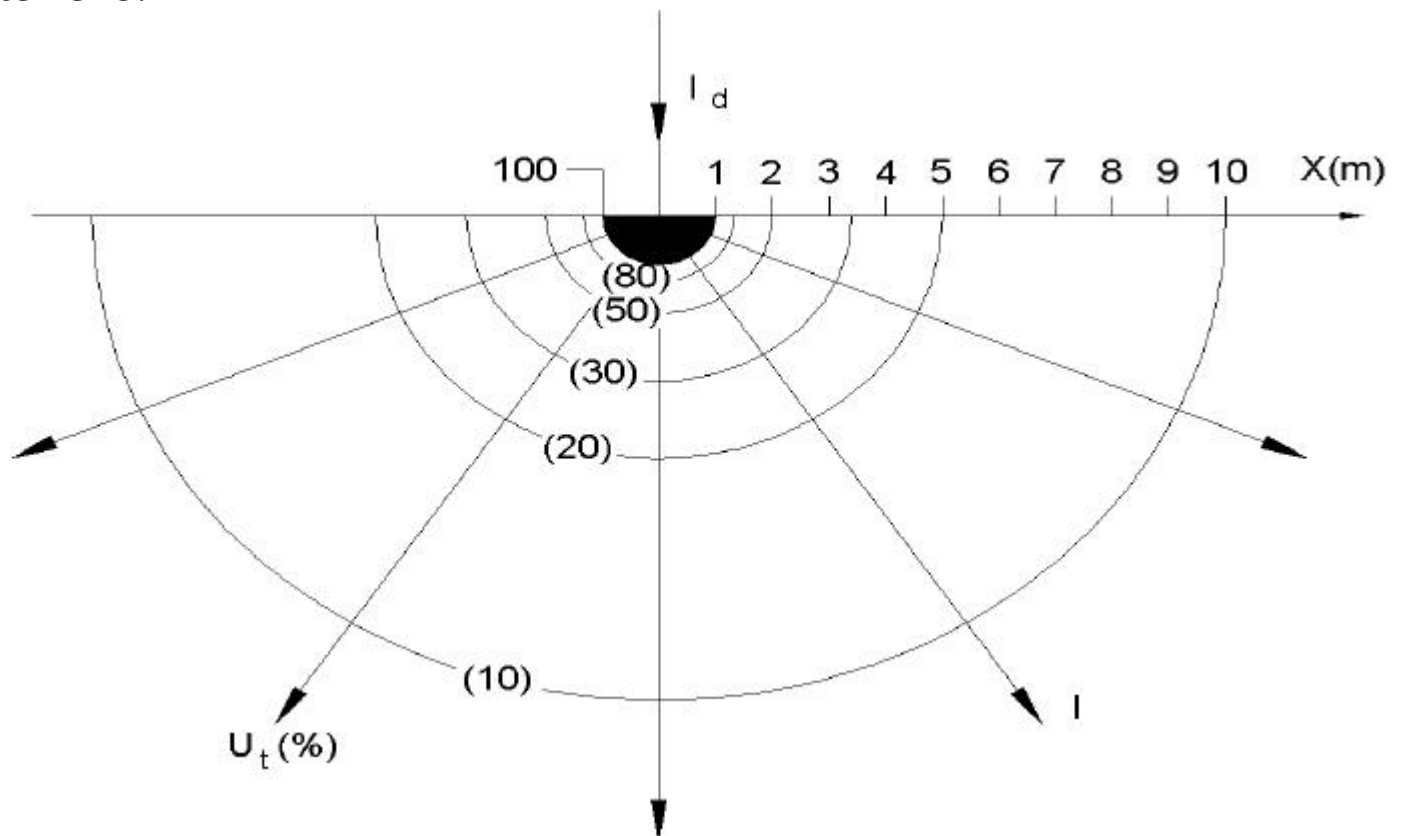
Instalación de puesta a tierra



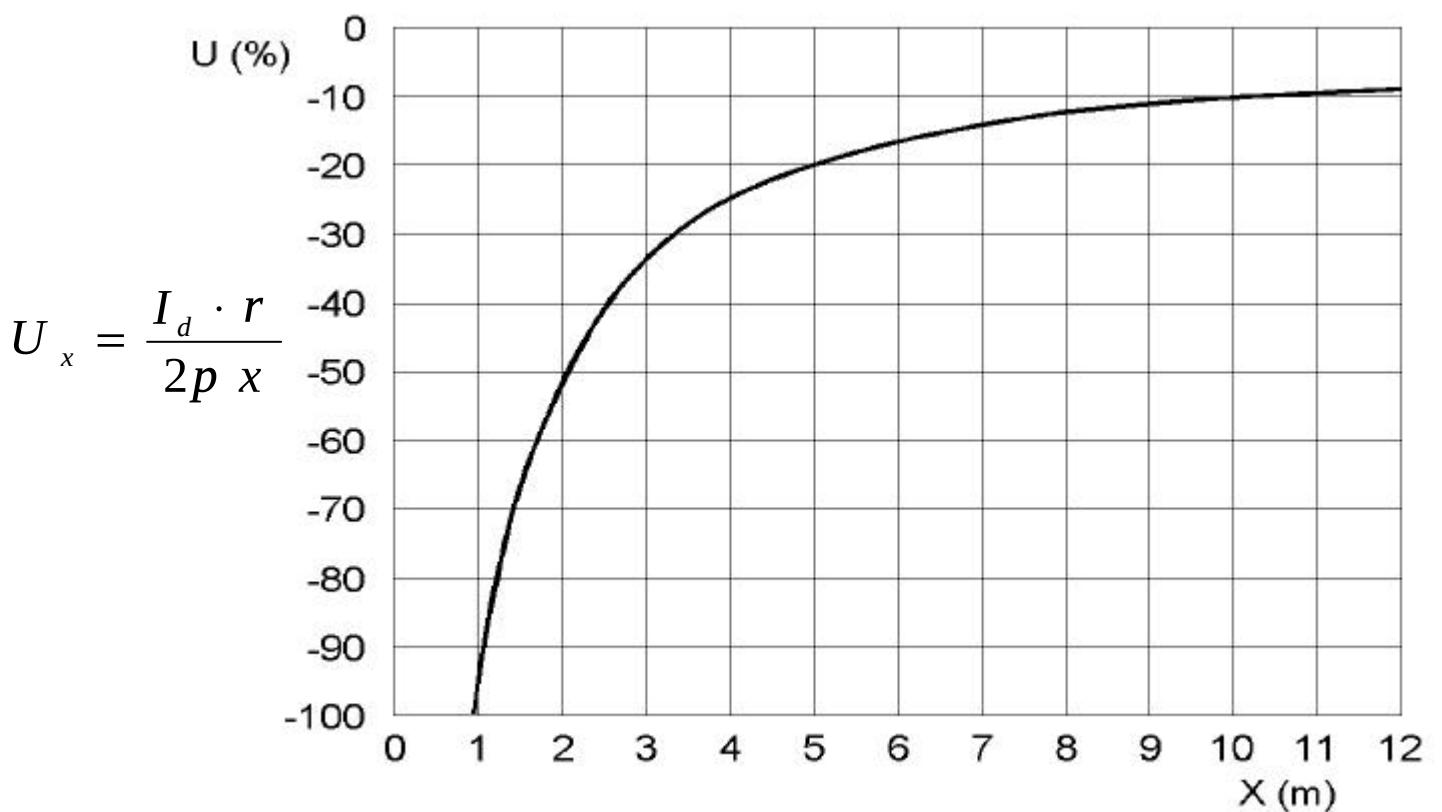
Instalación con defecto



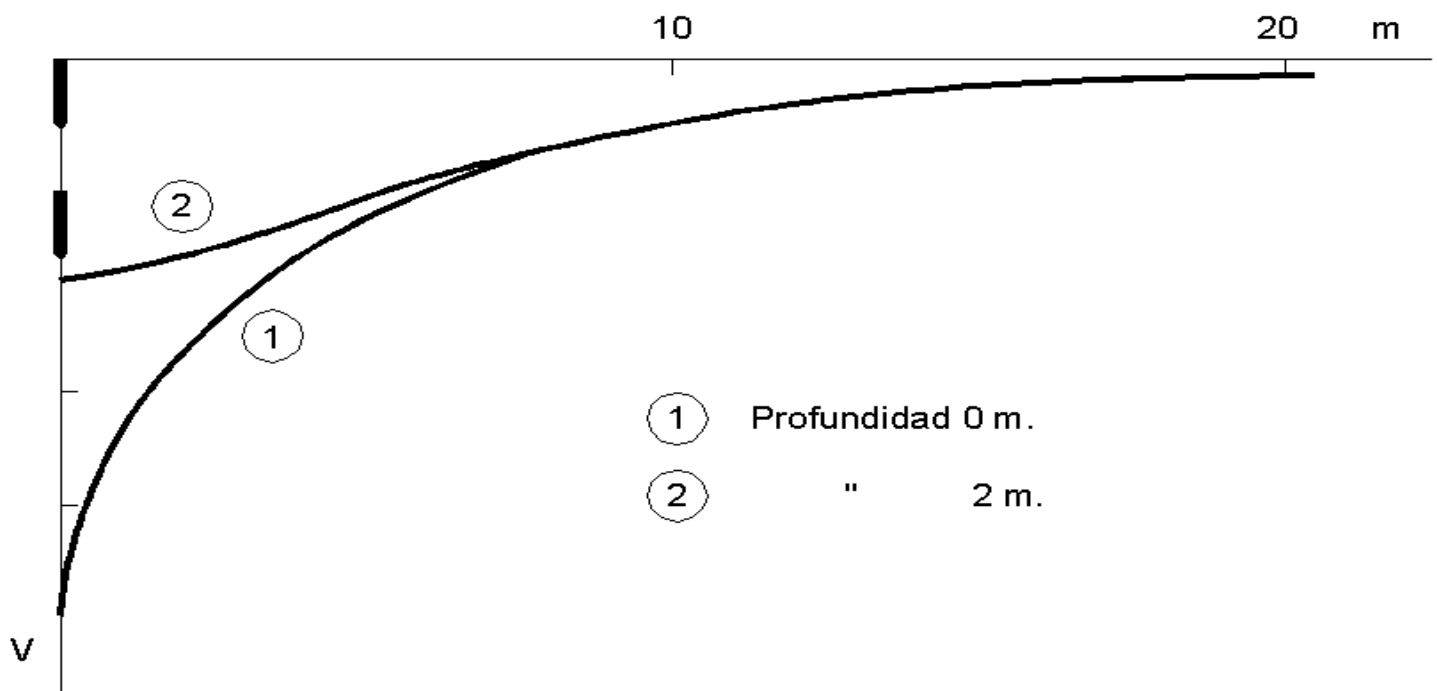
ELECTRODO SEMIESFÉRICO: Distribución de potenciales en el terreno.



ELECTRODO SEMIESFÉRICO: Variación del potencial en la superficie del terreno.



PICA VERTICAL: Variación de la tensión en la superficie del terreno.



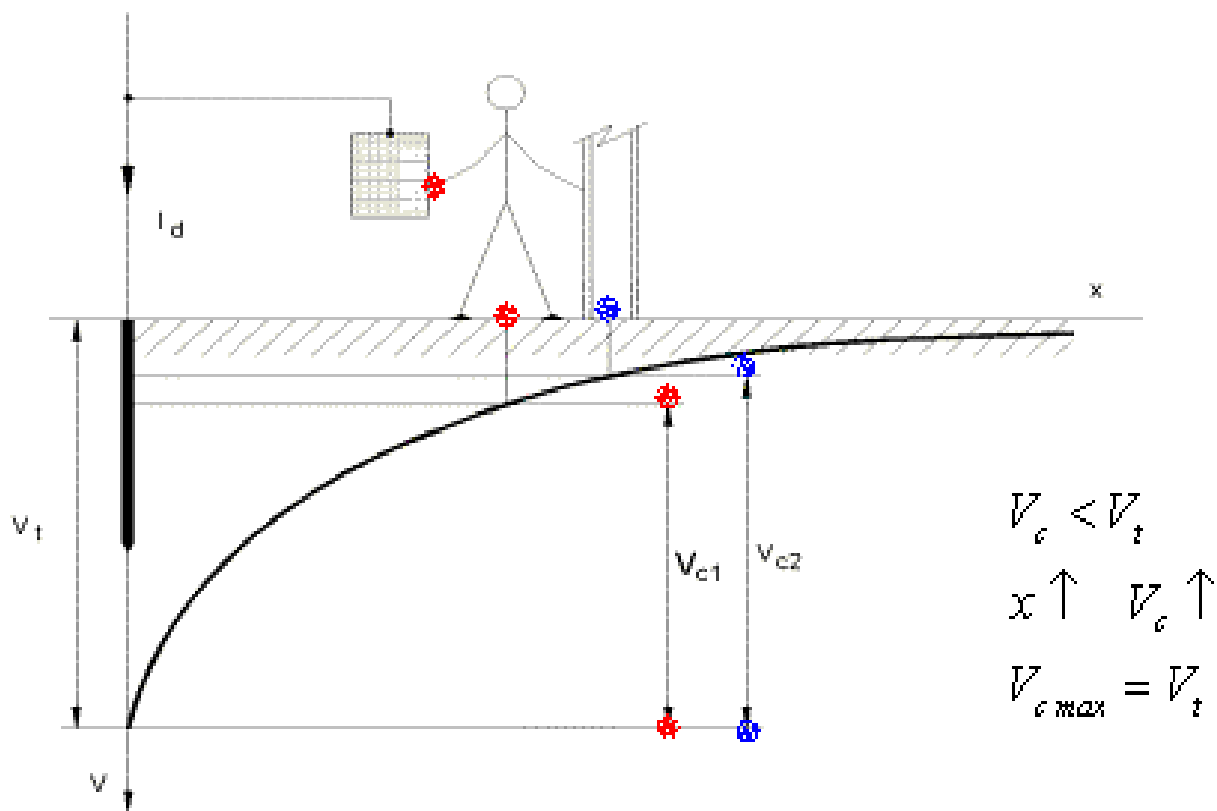
PARÁMETROS CARACTERÍSTICOS DE UNA P.T.

Resistencia de tierra R_t

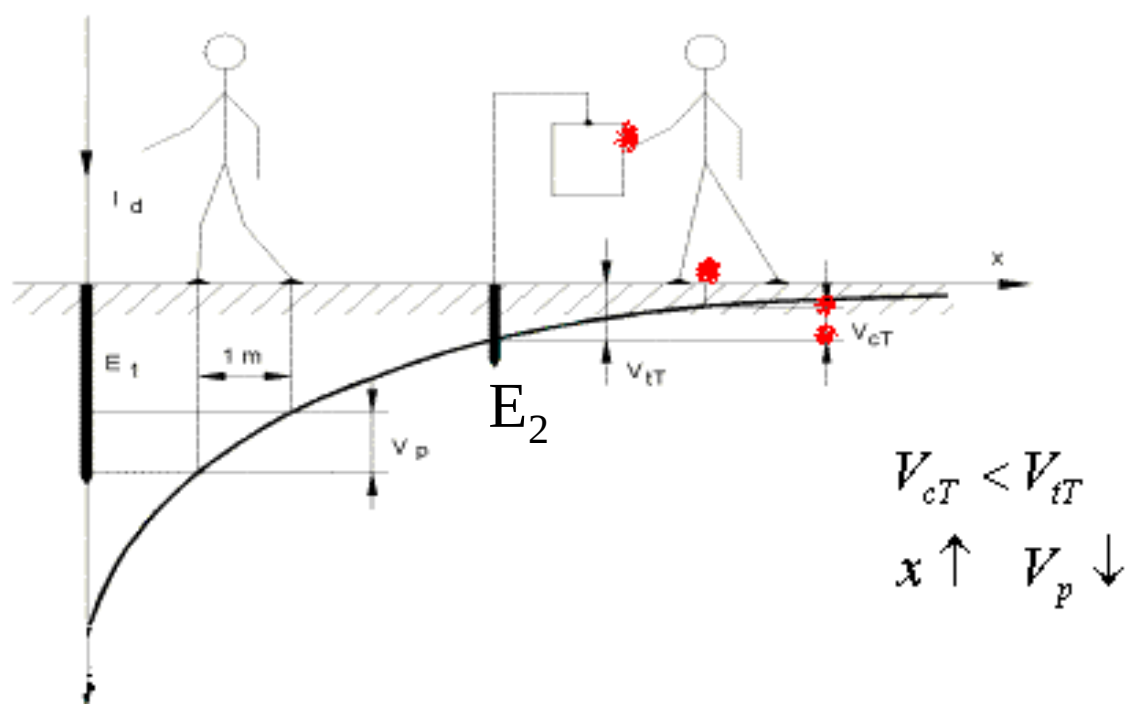
$$R_t = \frac{V_t}{I_d}$$

PARÁMETROS CARACTERÍSTICOS DE UNA P.T.

Tensión a tierra V_t , de contacto V_c



Tensión de paso V_p , Ten. a tierra transf. V_{tT} , Ten de contacto transf. V_{cT}

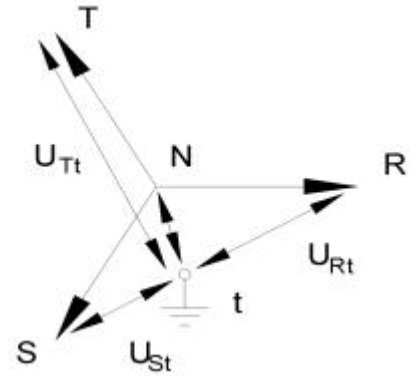
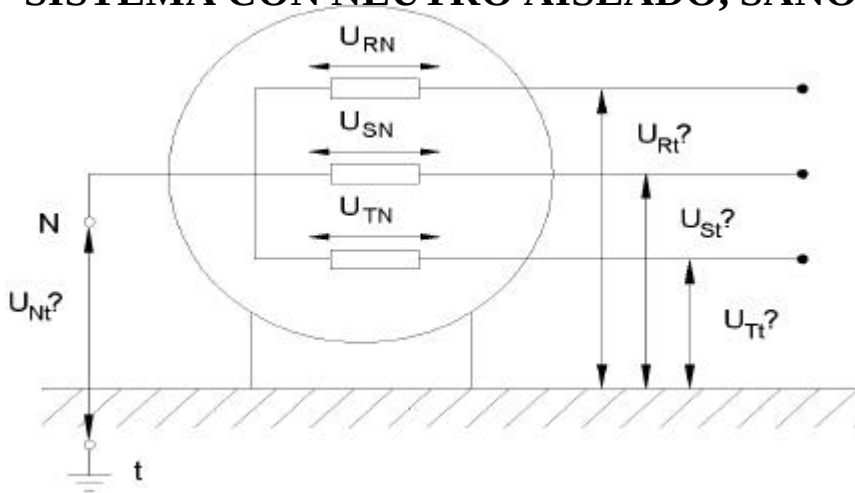


FINALIDAD DE LA PUESTA A TIERRA

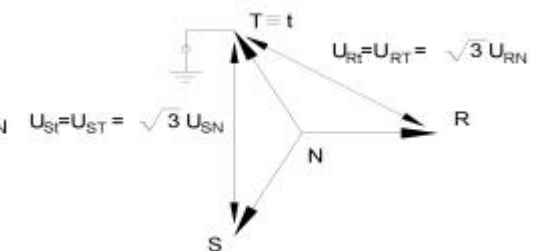
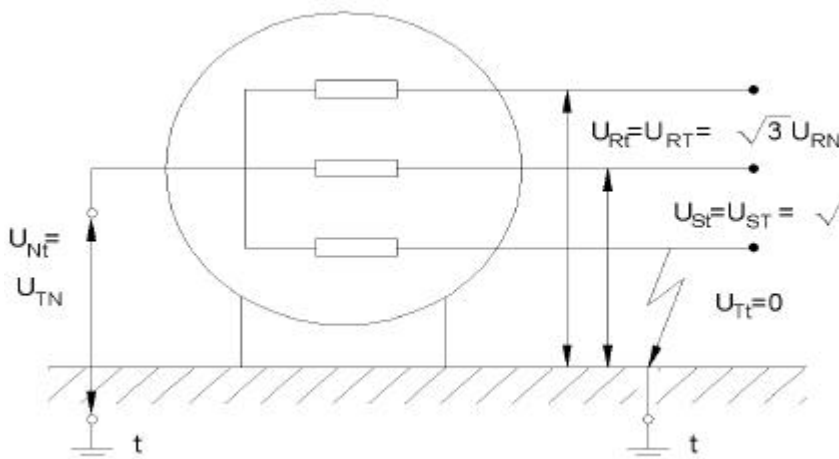
P.T. NEUTRO A.T. → FIJAR $V_{\text{Fase-Masa}} = V_{\text{Fase-Neutro}}$

(A.T., M.T.)

SISTEMA CON NEUTRO AISLADO, SANO

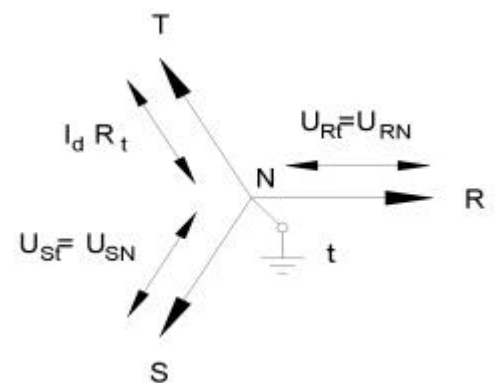
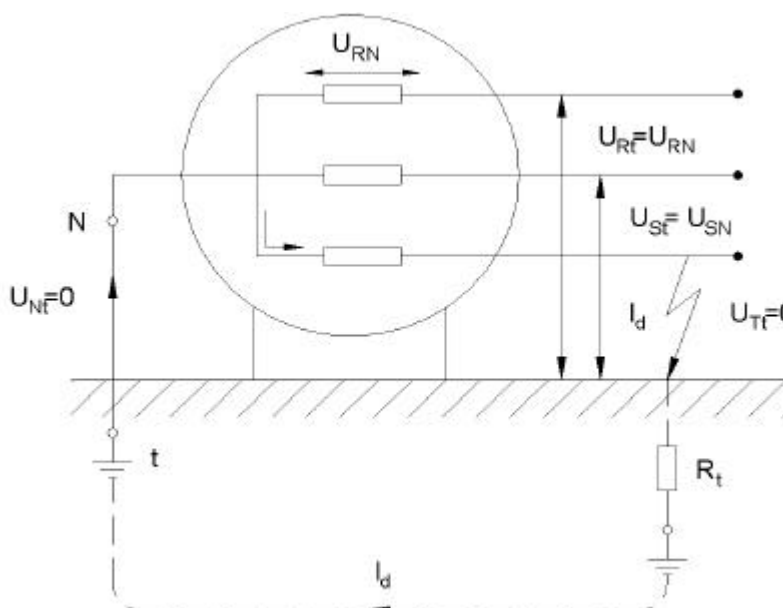


SISTEMA CON NEUTRO AISLADO, CON DEFECTO



Aislamientos dimensionados para V_{comp}

SISTEMA CON NEUTRO A TIERRA



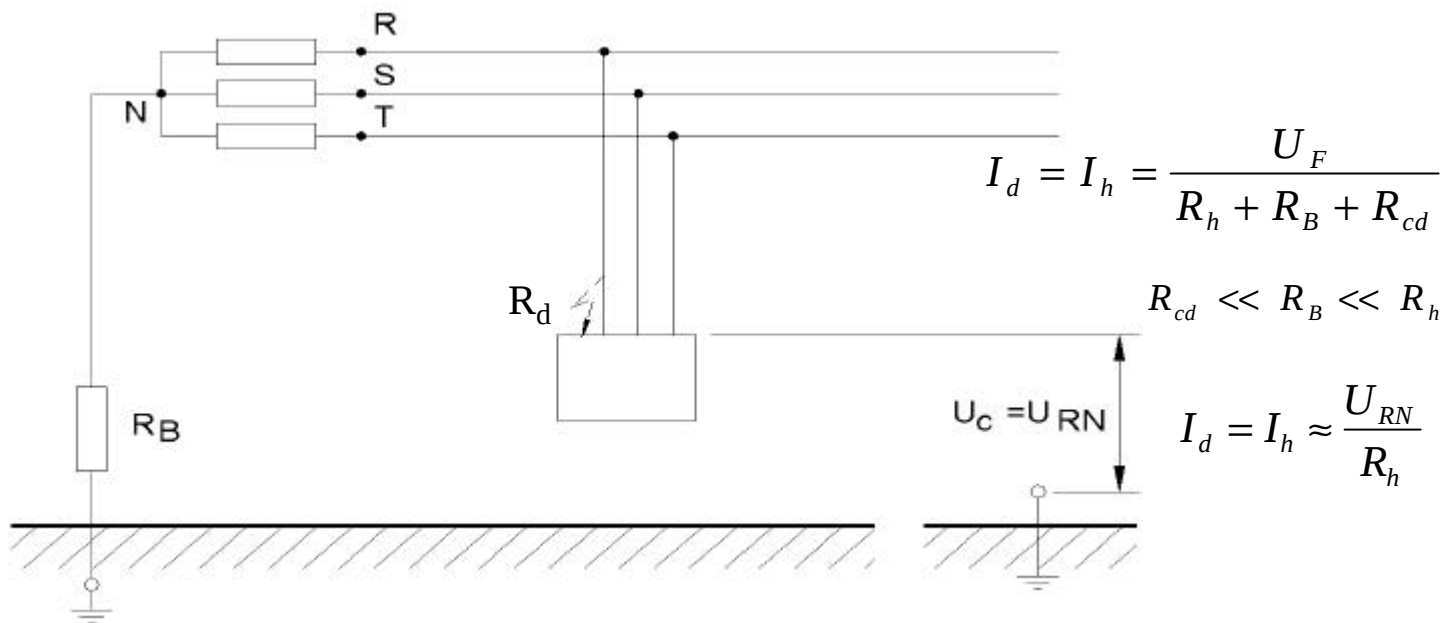
Aislamientos dimensionados para V_F

FINALIDAD DE LA PUESTA A TIERRA

P.T. DE LAS MASAS → PROTECCIÓN DE LAS PERSONAS

(Disminuir U_c , U_d)

MASA AISLADA DE TIERRA



MASA CONECTADA A TIERRA

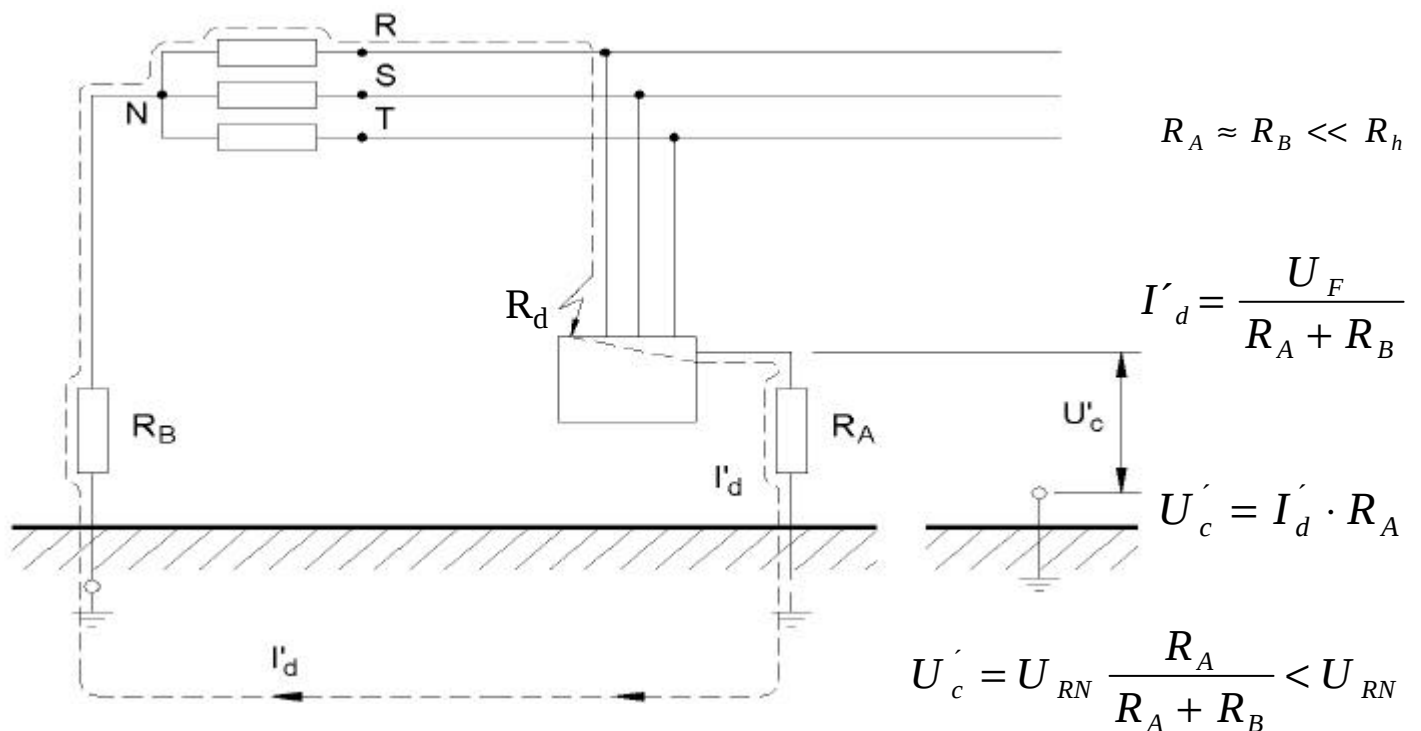
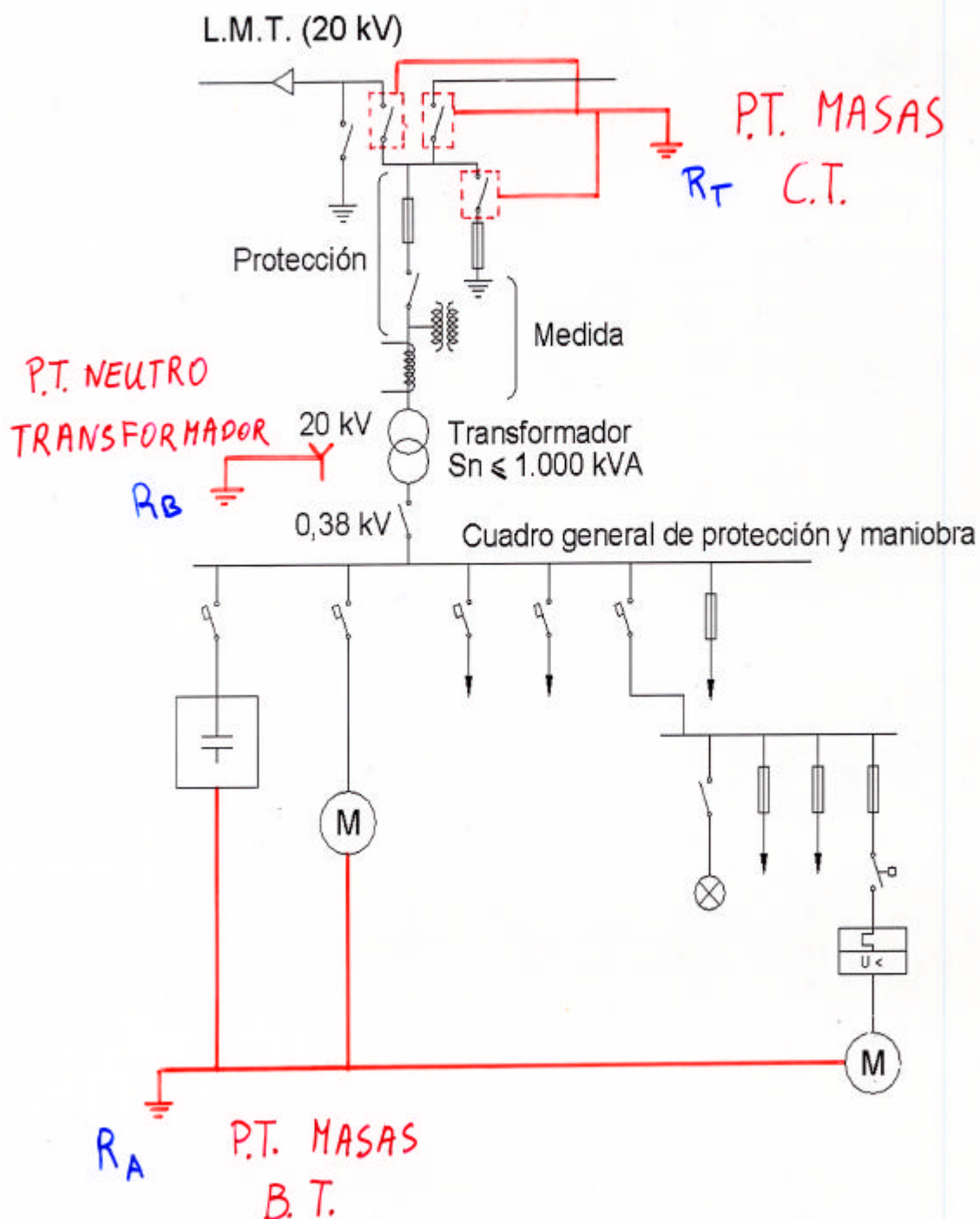
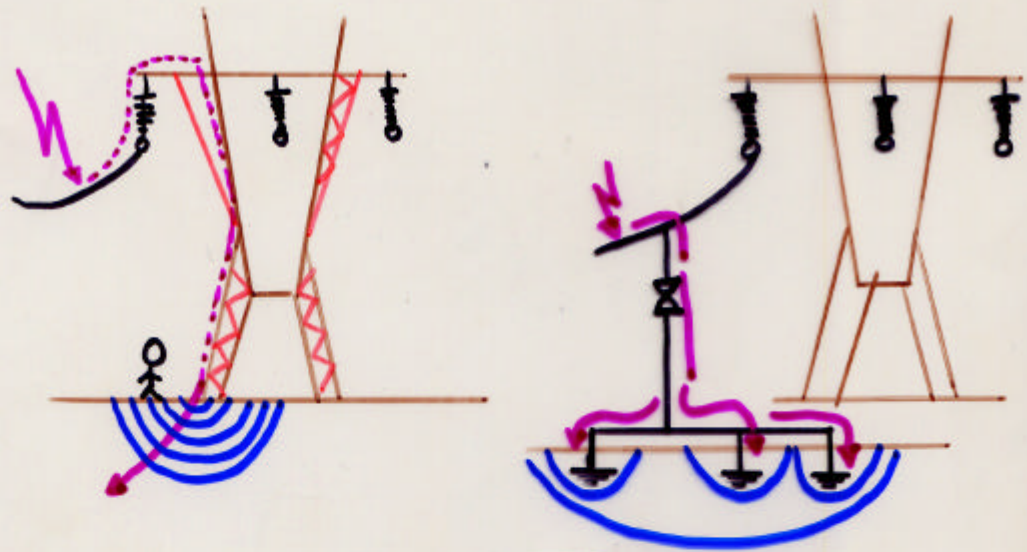


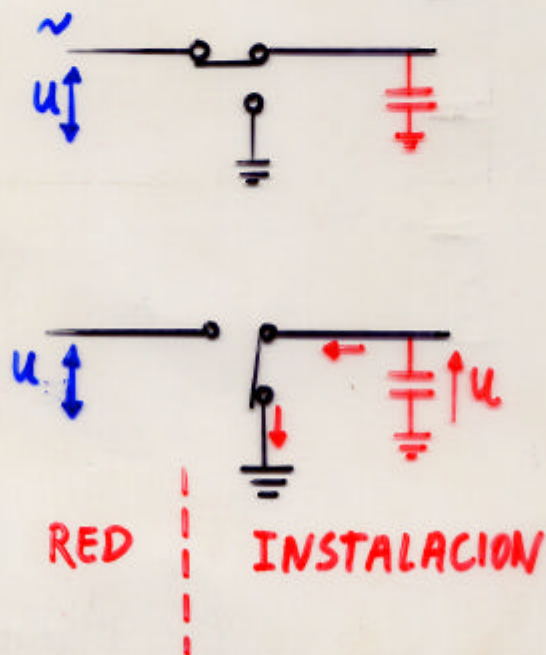
DIAGRAMA UNIFILAR DE PLANTA



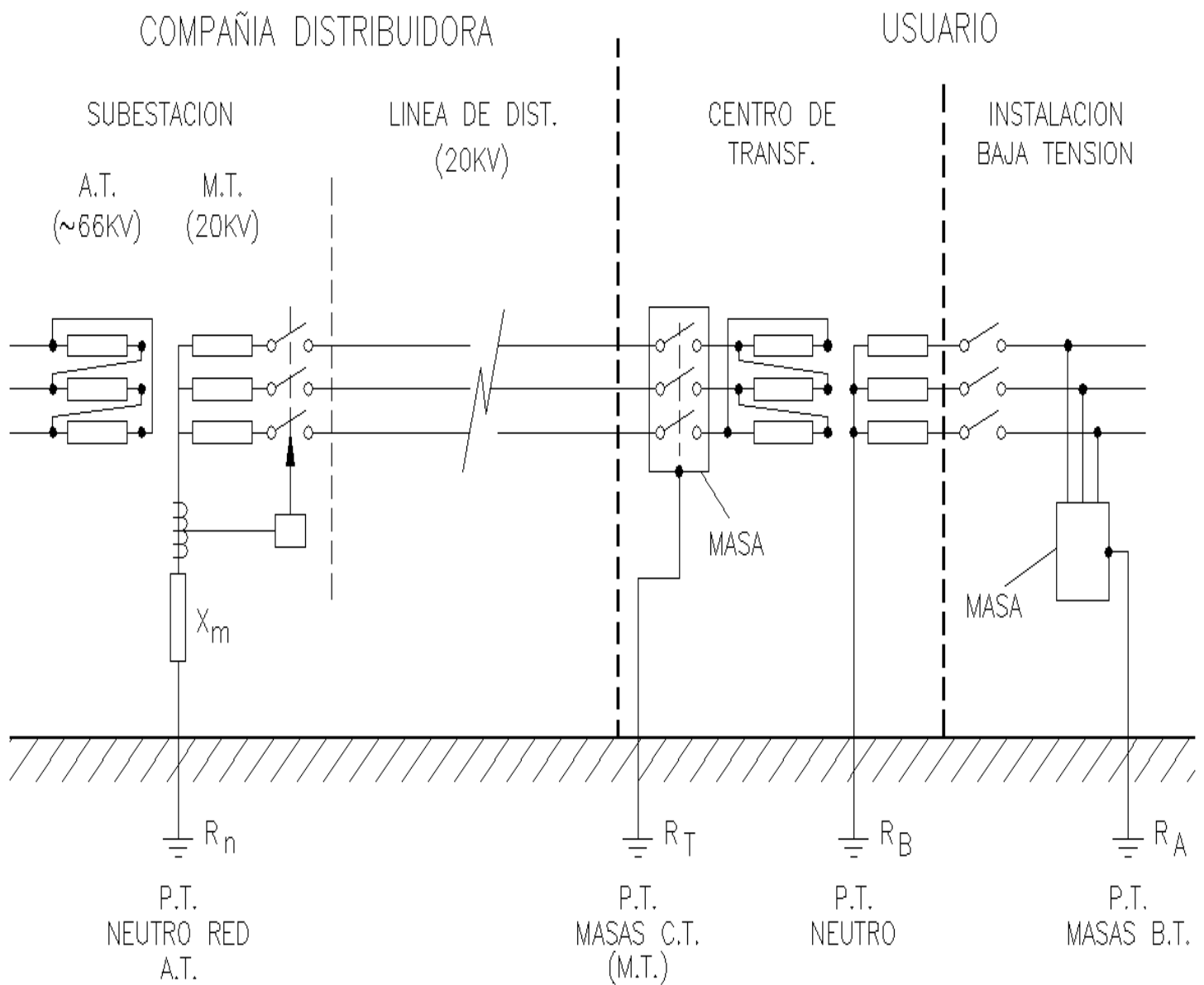
Pararrayos (autorátrulas)



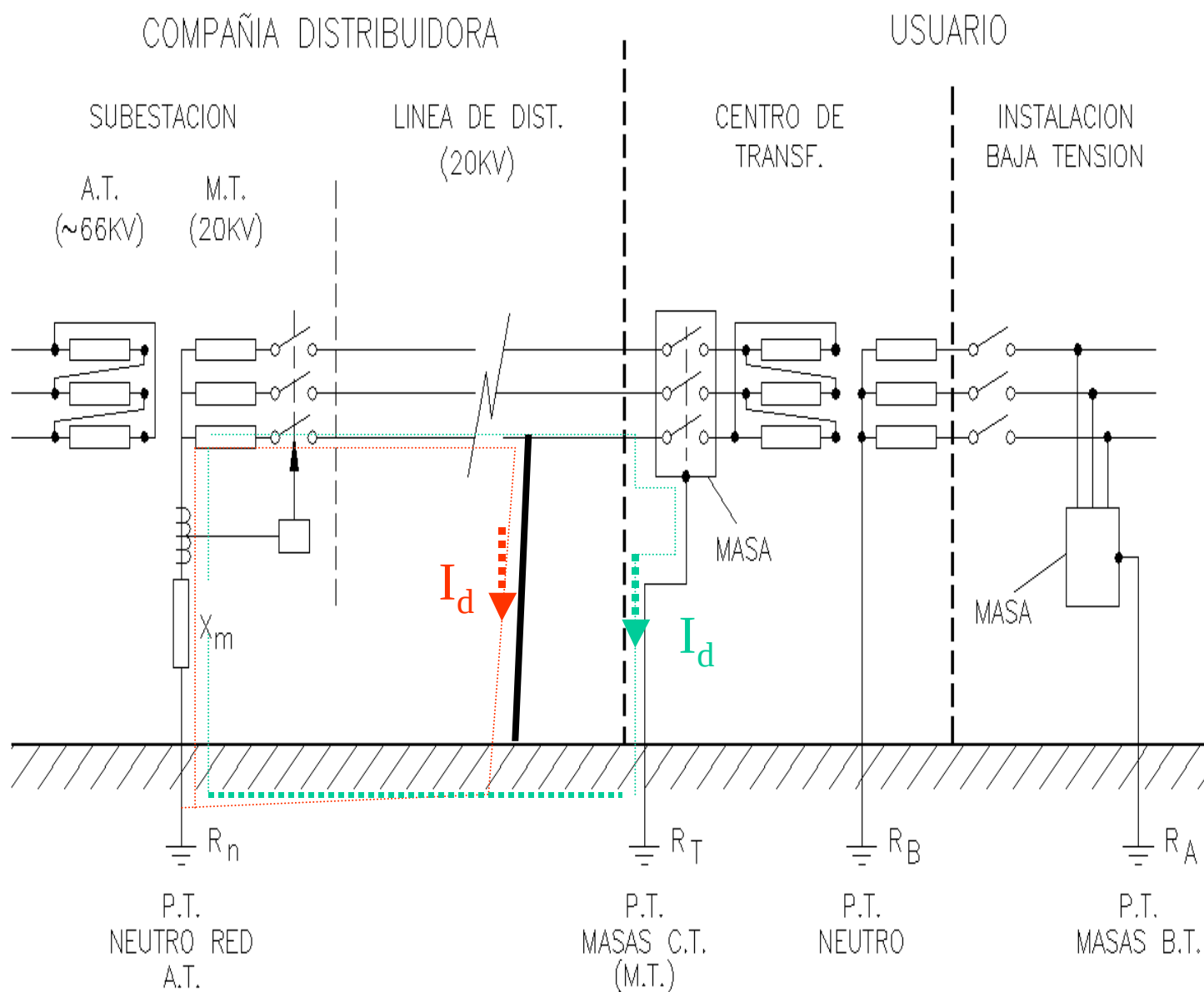
Seccionador de Puesta a Tierra



INSTALACIONES DE PUESTA A TIERRA A CONSIDERAR EN EL DISEÑO DE UNA PLANTA INDUSTRIAL



I_d , t_a , x_n , R_n , caract I/t



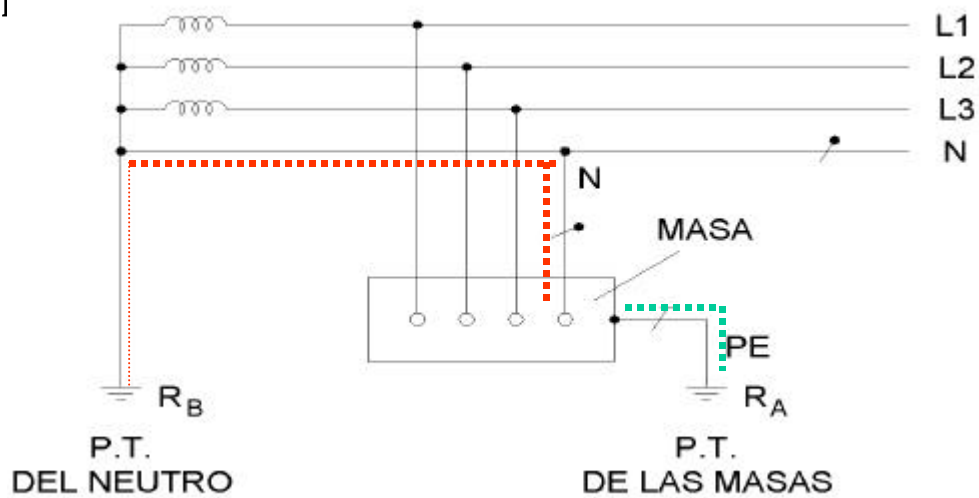
Fallo fase-masa

Fallo fase-tierra

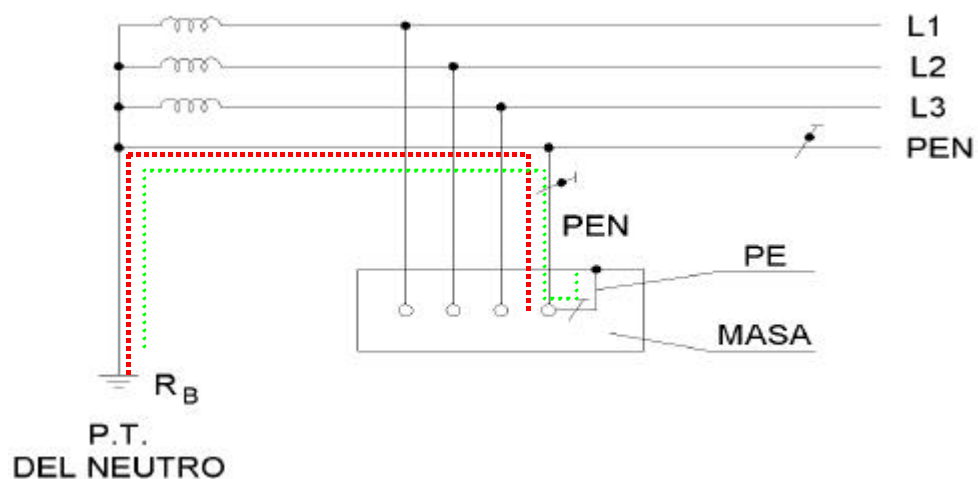
ESQUEMAS DE DISTRIBUCIÓN EN BAJA TENSIÓN (MIE BT 008)

(UNE 20-460)

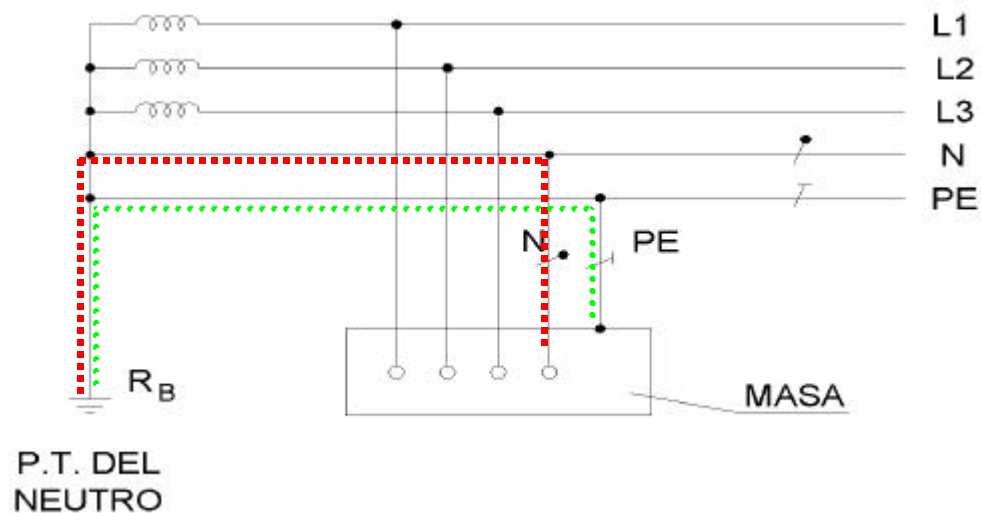
Esquem

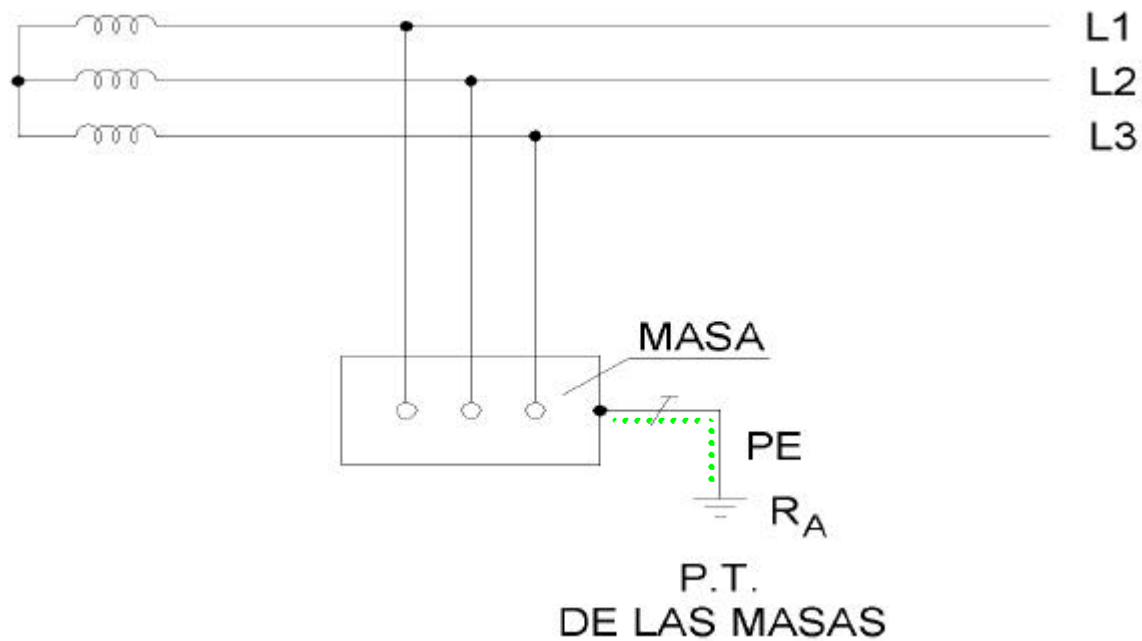


Esquema de distribución TN-C



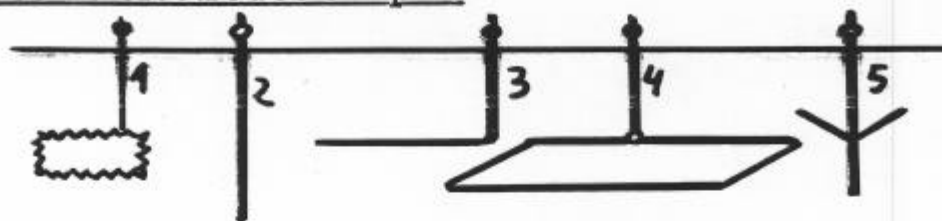
Esquema de distribución TN-S





CÁLCULO DE LA RESISTENCIA DE UNA PUESTA A TIERRA

Tipos de electrodos simples



1. Placa enterrada

2. Pica vertical

3. Conductor horizontal

4. Conductor en anillo

5. Conductores radiales

Resistencia de P.T. de distintos electrodos

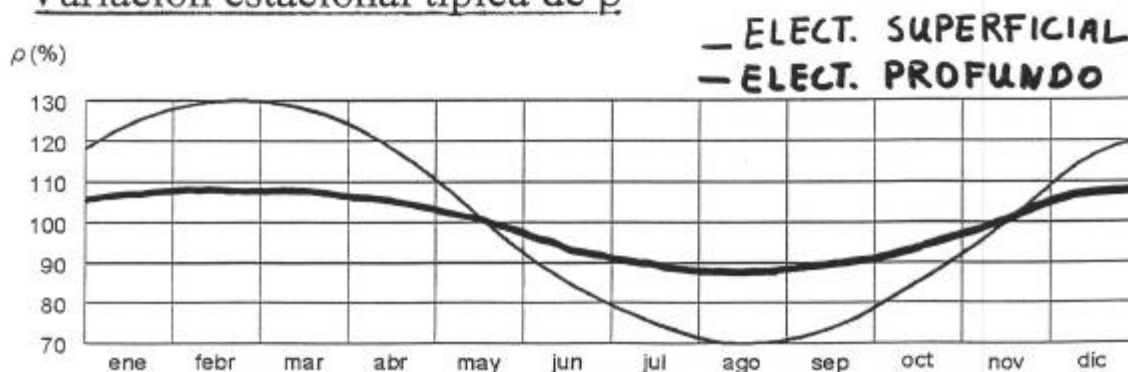
Electrodo	Resistividad de tierra en Ohm
Placa enterrada	$R = 0.8 \frac{\rho}{P}$
Pica vertical	$R = \frac{\rho}{L}$
Conductor enterrado horizontalmente	$R = \frac{2 \cdot \rho}{L}$

ρ resistividad del terreno (Ohm·m)

P perímetro de la placa (m)

L Longitud de la pica o del conductor (m)

Variación estacional típica de ρ



(MIE BT 039) Resistividades (valores Orientativos)

Tabla I

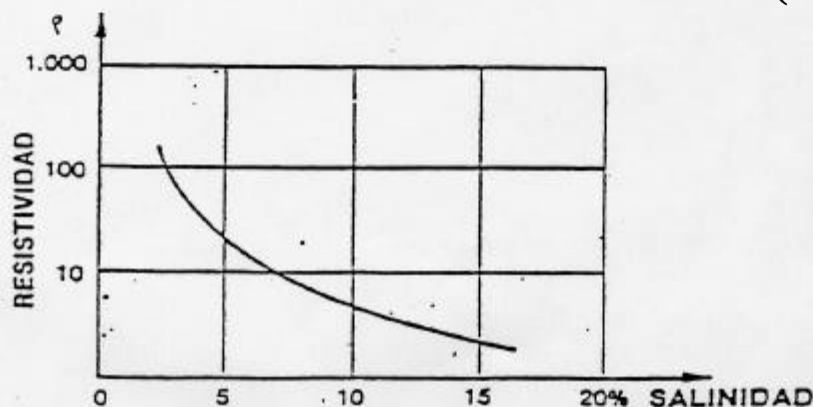
Naturaleza del terreno	Resistividad en Ohm.m
Terrenos pantanosos	de algunas unidades a 30
Limo	20 a 100
Humus	10 a 150
Turba húmeda	5 a 100
Arcilla plástica	50
Margas y arcillas compactas	100 a 200
Margas del jurásico	30 a 40
Arena arcillosa	50 a 500
Arena silíceas	200 a 3.000
Suelo pedregoso cubierto de césped	300 a 500
Suelo pedregoso desnudo	1.500 a 3.000
Calizas blandas	100 a 300
Calizas compactas	1.000 a 5.000
Calizas agrietadas	500 a 1.000
Pizarras	50 a 300
Rocas de mica y cuarzo	600
Granitos y gres procedentes de alteración	1.500 a 10.000
Granitos y gres muy alterados	100 a 600
HORMIGÓN	2.000 a 3.000
BALASTO O GRAVA	3.000 a 5.000

(Valores medios de ñ)

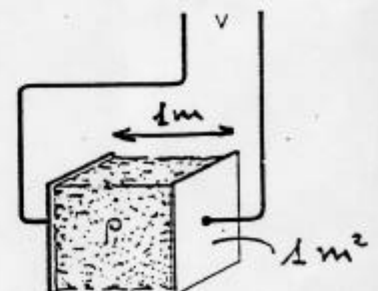
Tabla II

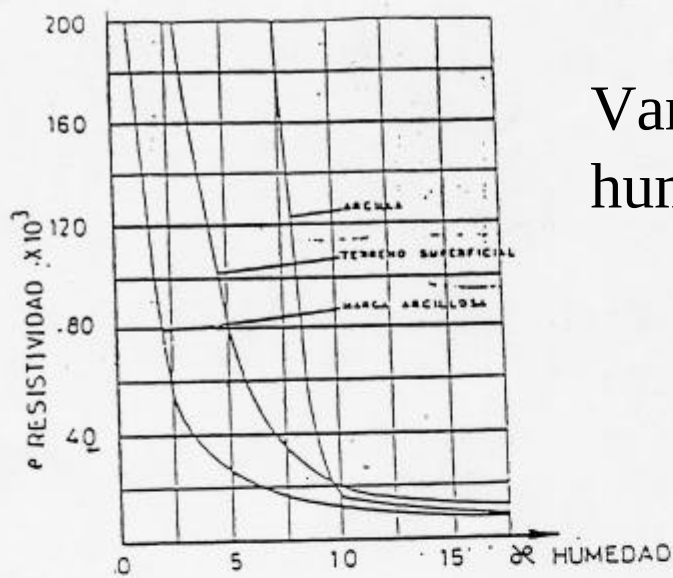
Naturaleza del terreno	Valor medio de la resistividad en Ohm.m
Terrenos cultivables y fértiles, terraplenes compactos y húmedos	50
Terrenos cultivables poco fértiles, terraplenes	500
Suelos pedregosos desnudos, arenas secas permeables	3.000

Valoración de ñ con la salinidad



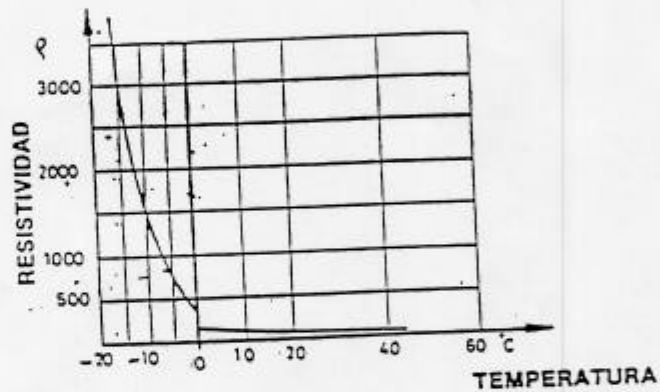
Resistividad (conceptos)



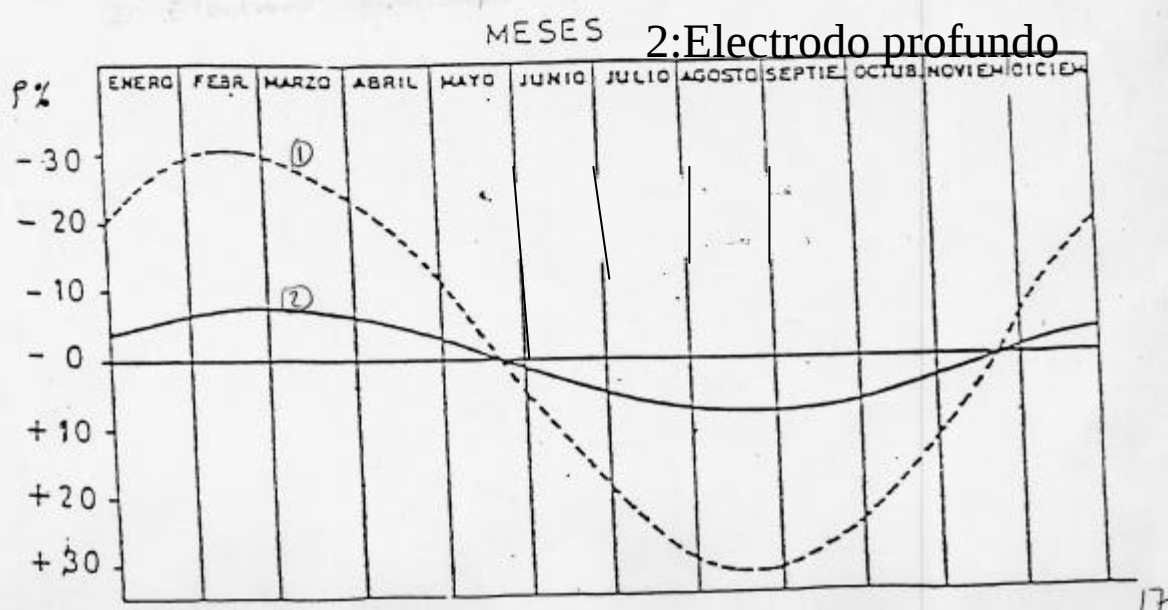


Variación de ρ con la humedad

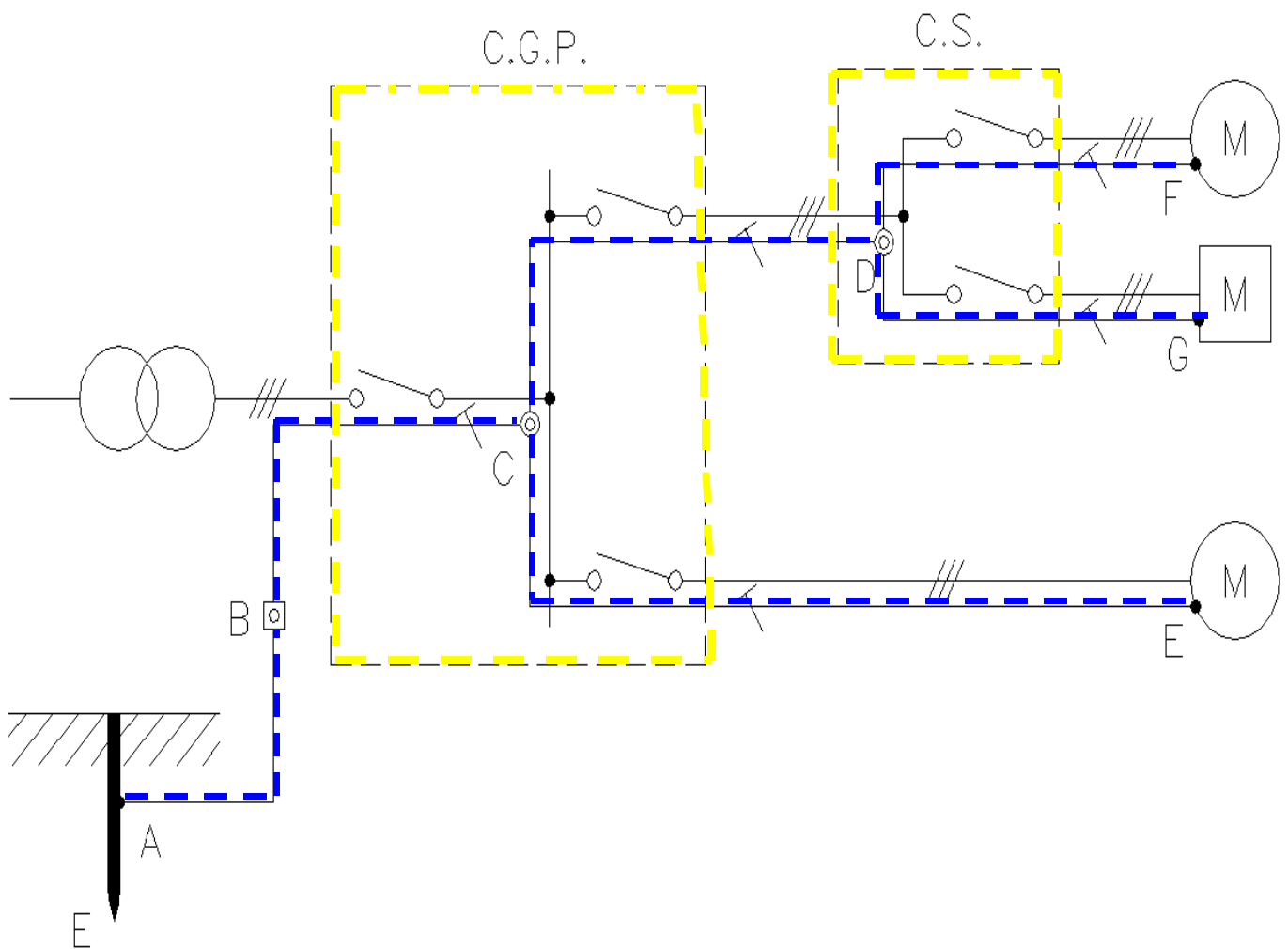
Variación de ρ con la temperatura



Variación estacional típica de ρ : 1: Electrodo superficial



ESTRUCTURA Y DIMENSIONADO DE LA INSTALACIÓN DE PUESTA A TIERRA DE LAS MASAS DE BAJA TENSIÓN



E: Electrodo

AB: Línea de enlace a tierra

B: Punto de puesta a tierra

BC: Línea principal de tierra

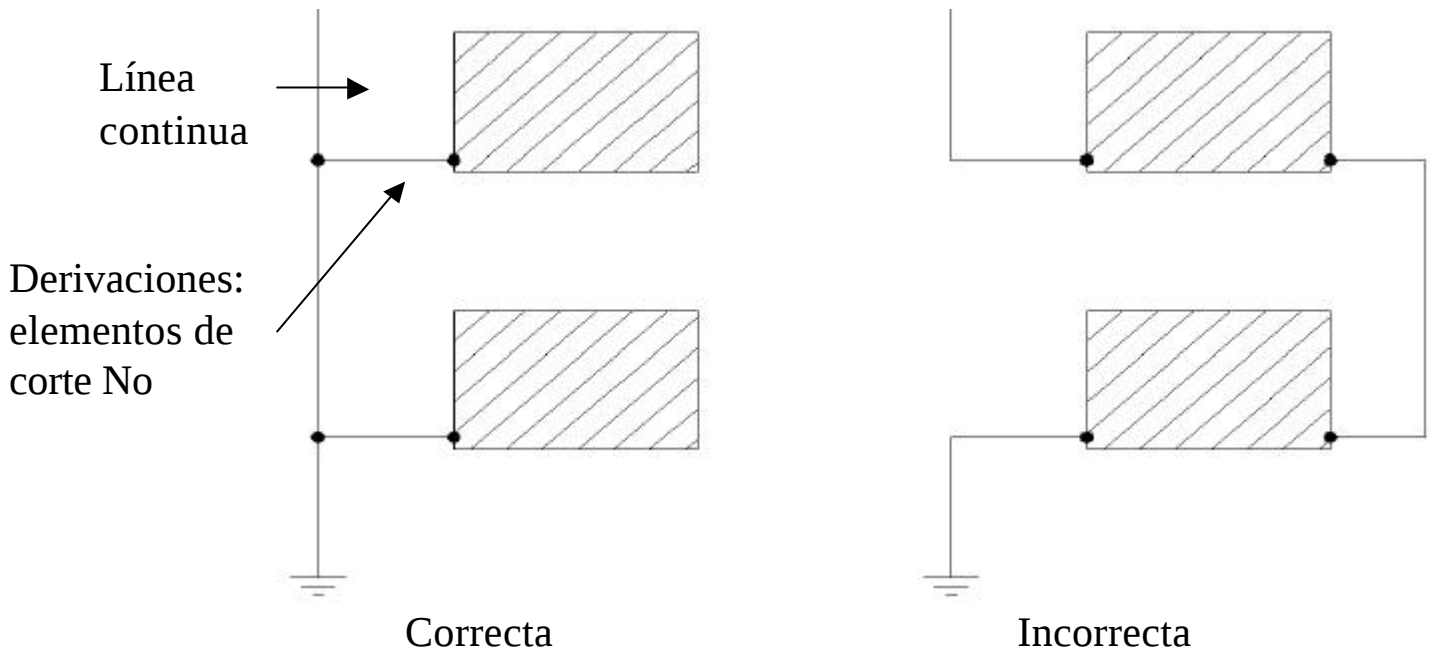
CD: Derivación de la línea principal de tierra

CE, DF, DG: Conductores de protección

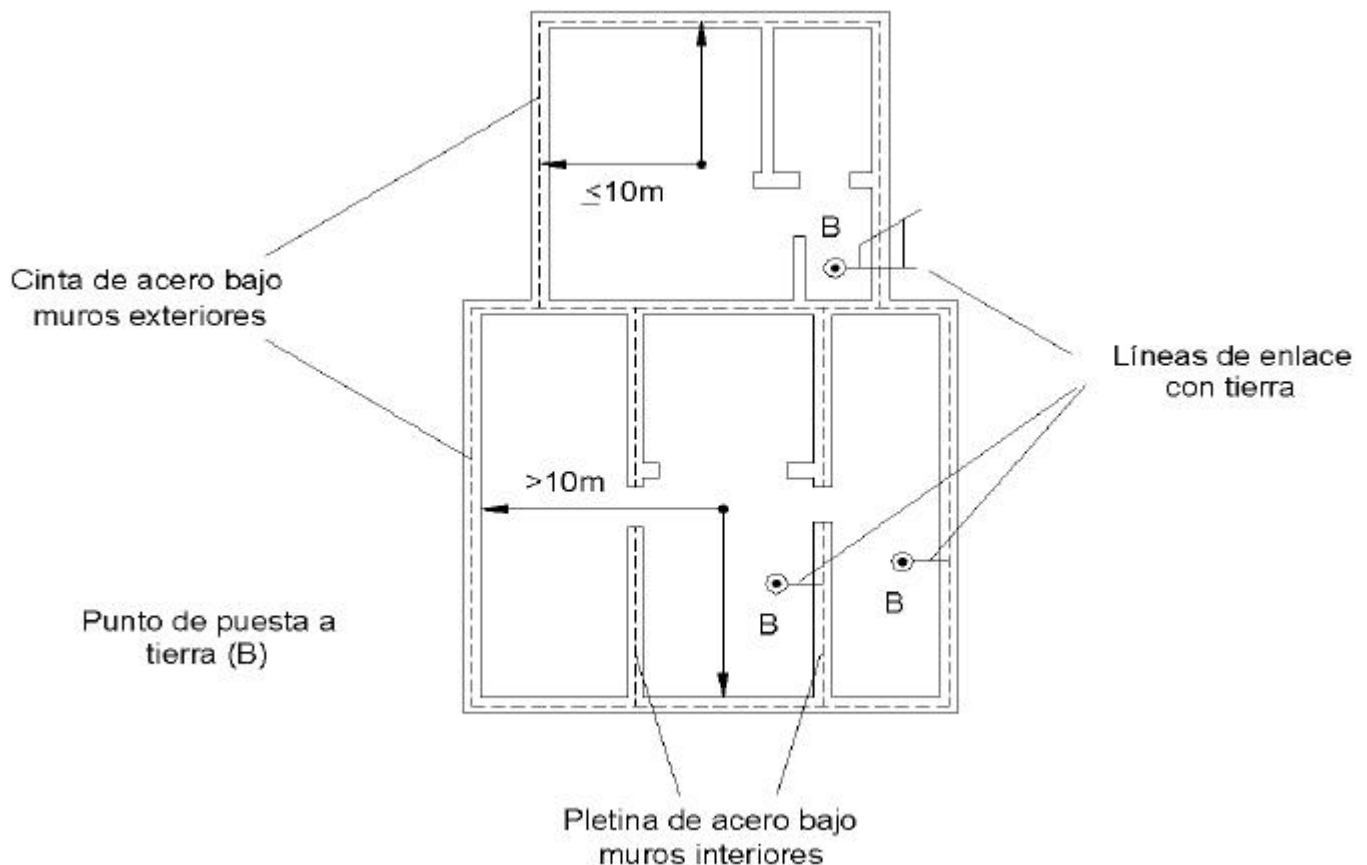
C, D: Bornas o regletas de conexión

ESTRUCTURA Y DIMENSIONADO DE LA INSTALACIÓN DE PUESTA A TIERRA DE LAS MASAS DE BAJA TENSIÓN

Forma de conectar las masas

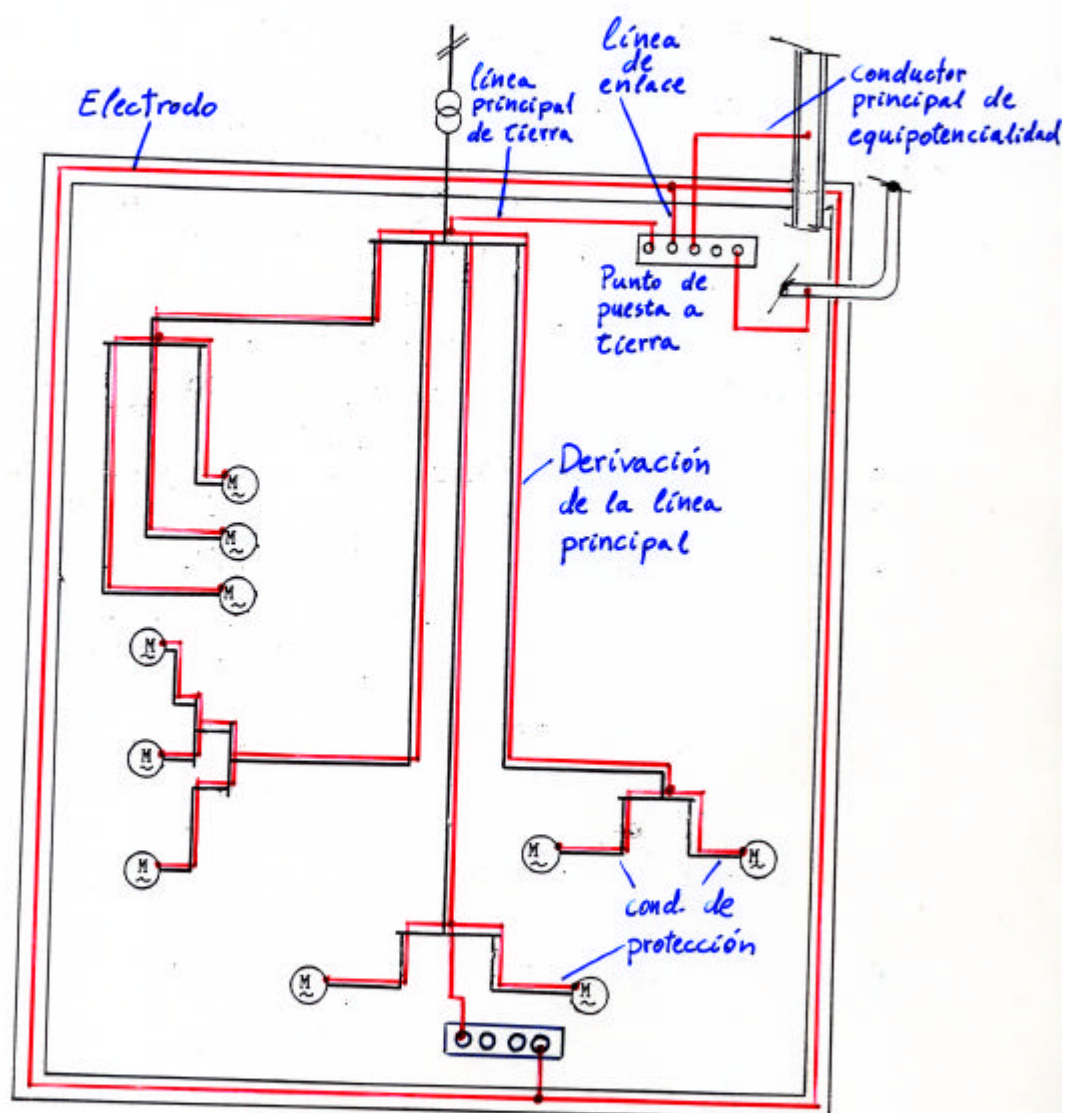


Estructura típica del electrodo en un edificio o nave industrial



ESTRUCTURA Y DIMENSIONADO DE LA P.T. DE LAS MASAS DE B.T.

Configuración práctica



ESTRUCTURA Y DIMENSIONADO DE LA INSTALACIÓN DE PUESTA A TIERRA DE LAS MASAS DE BAJA TENSIÓN

Dimensionado del electrodo

$$R_t \approx \rho \cdot F \text{ (dimensiones)} \ll R_{adm}$$

Esquema TN: $R_{adm} = 2 \, \Omega$

Esquema TT: $R_{adm} = \frac{U_L}{I_{AN}}$

Ej: Electrodo a base de conductor enterrado, $\rho = 200 \, \Omega \cdot m$, esquema TN

$$R_t = 2 \frac{200}{L} \leq 2 \rightarrow L > 200 \, m$$

Dimensionado de conductores

Conductores de protección, derivaciones de la línea principal de tierra
(MIE BT 017)

Secciones de los conductores de fase o polares de la instalación (mm ²)	Secciones mínimas de los conductores de protección (mm ²)
$S \leq 16$	S (*)
$16 < S \leq 35$	16
$S > 35$	S/2
(*) Con un mínimo de: 2,5 mm ² si los conductores de protección no forman parte de la canalización de alimentación y tienen una protección mecánica. 4 mm ² si los conductores de protección no forman parte de la canalización de alimentación y no tienen una protección mecánica.	

ESTRUCTURA Y DIMENSIONADO DE LA INSTALACIÓN DE PUESTA A TIERRA DE LAS MASAS DE BAJA TENSIÓN

Dimensionado de conductores

Línea de enlace con tierra ($S > 35 \text{ mm}^2$)

Línea principal de tierra ($S > 16 \text{ mm}^2$)

UNE 20 460

$$S > \frac{\sqrt{I^2 t}}{k}$$

Obtención de k para cables desnudos que no presentan riesgos de dañar a materiales próximos

CONDICIONES		Visibles y en los emplazamientos reservados	Condiciones normales	Riesgo de incendio
Material conductor	$T_{\text{máx}} (^{\circ}\text{C})$	500	200	150
	k	228	159	138
ALUMINIO	$T_{\text{máx}} (^{\circ}\text{C})$	300	200	150
	k	125	105	91
ACERO	$T_{\text{máx}} (^{\circ}\text{C})$	500	200	150
	K	82	58	50

(temperatura inicial del conductor se supone igual a 30°)

Ej: $R_A + R_B = 1$, $I = 220 \text{ A}$, $t = 0.1 \text{ seg} \rightarrow S > 0.5$

Otras tablas para determinar k:

Conductores aislados y cond. Desnudos en contacto con cables aislados.

Conductores de protección en cable multiconductor.

Conductores de protección constituidos por armaduras o envoltantes de cables.

ESTRUCTURA Y DIMENSIONADO DE LA INSTALACIÓN DE LA P. T. DE LAS MASAS DEL C.T. (MIE RAT 13)

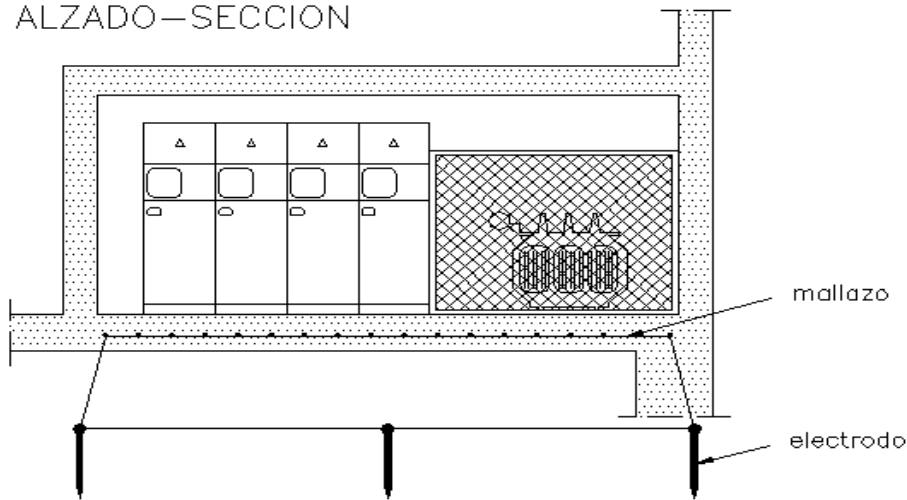
Líneas de tierra ($\delta \leq 160 \text{ A/mm}^2$) $S \geq 25 \text{ mm}^2$ cobre

60

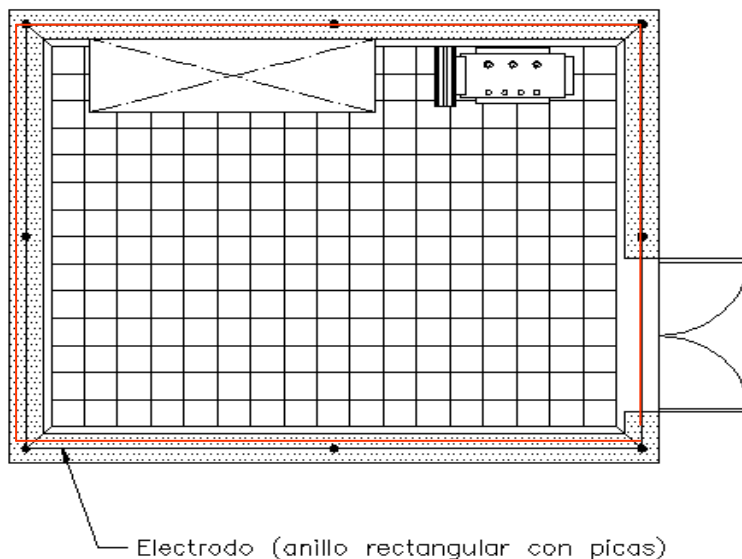
60

acero

Electrodos → Electrodos tipo (cond. Longitudinal enterrado, anillos rectangulares cuadrados, con o sin picas, (ALZADO—SECCION



PLANTA



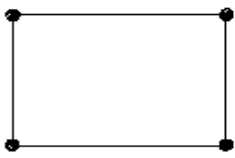
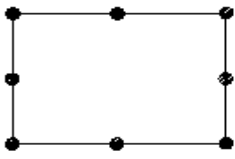
PARÁMETROS CARACTERÍSTICOS DE LOS ELECTRODOS P.T.

RECTANGULO DE 4.0 X 3.0 m

Sección del conductor = 50 mm²

Diámetro de picas = 14 mm

Profundidad: 0,5 m L_p : Longitud de las picas (m)

Configuración	Lp (m)	Resistencia Kr	Tensión de paso Kp	Tensión de contacto ext. Kc=Kp (acc)
Sin picas	-	0,137	0,0287	0,0858
4 picas 	2	0,100	0,0231	0,0506
	4	0,080	0,0178	0,0355
	6	0,067	0,0143	0,0270
	8	0,058	0,0119	0,0217
8 picas 	2	0,088	0,0200	0,0402
	4	0,067	0,0143	0,0252
	6	0,055	0,0110	0,0179
	8	0,047	0,0089	0,0137

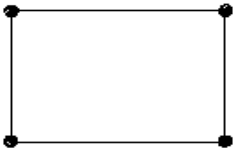
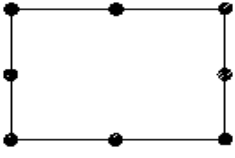
$R_t = K_r \cdot r$

$V_{pm} = k_p \cdot r \cdot I_d$

$V_{cm} = k_c \cdot r \cdot I_d$

$I_d = \frac{U}{\sqrt{3} \sqrt{(R_n + R_t)^2 + x_n^2}}$

Profundidad: 0,8 m

Configuración	Lp (m)	Resistencia Kr	Tensión de paso Kp	Tensión de contacto ext. Kc=Kp (acc)
Sin picas	-	0,131	0,0200	0,0816
4 picas 	2	0,096	0,0160	0,0491
	4	0,077	0,0124	0,0347
	6	0,065	0,0101	0,026
	8	0,056	0,0084	0,0214
8 picas 	2	0,084	0,0143	0,0389
	4	0,065	0,0104	0,0247
	6	0,054	0,0081	0,0178
	8	0,046	0,0066	0,0138

$r (\Omega \cdot w)$

ESTRUCTURA Y DIMENSIONADO DE LA P.T. DE LAS MASAS DEL C.T.

a- condiciones relativas a la seguridad de las personas

$$\left. \begin{array}{ll} a-1 & V_{pm} \leq V_{pad} \\ a-2 & V_{cm} \leq V_{cad} \end{array} \right\} \begin{array}{l} \text{o bien, medidas} \\ \text{adicionales de seguridad} \end{array}$$
$$a-3 \quad I_d \geq I_a \quad (R_t \leq R_{tmax})$$

b- condiciones relativas a la seguridad del material

$$V \geq V_{dm} = I_d \cdot R_t$$

└─> tensión nominal de aislamiento material de B.T. en el C.T.

$$I_d = \frac{U}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{(R_n + R_t)^2 + X_n^2}} \quad (A)$$

$$(V_{bt} \approx 4000, 6000, 8000, 10\,000 \text{ V})$$

$$R_t \leq R_{ad}$$

VALORES MÁXIMOS ADMISIBLES PARA LAS TENSIONES DE PASO Y DE CONTACTO (MIE RAT 13)

Tensión de paso admisible (V):

$$V_{pad} = \frac{10 \cdot K}{t^n} \left(1 + \frac{6 \cdot r}{1000} \right)$$
$$V_{p(acc)ad} = \frac{10 \cdot K}{t^n} \left(1 + \frac{3 \cdot r + 3 \cdot r'}{1000} \right)$$

Tensión de contacto admisible (V):

$$V_{cad} = \frac{K}{t^n} \left(1 + \frac{1.5 \cdot r}{1000} \right)$$

Siendo:

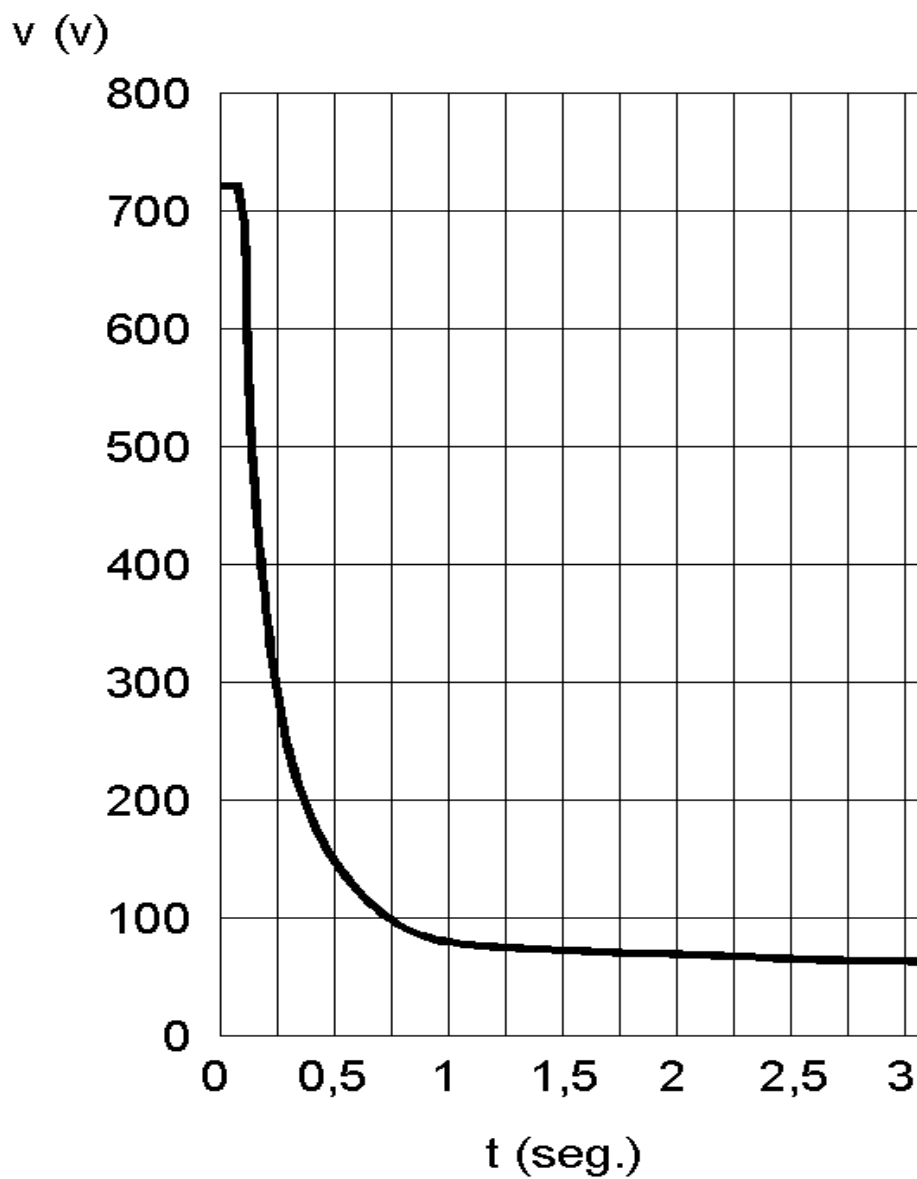
t : duración de la falta en segundos

K,n: constantes que dependen de t

t (seg)	K	n
$0.9 \geq t > 0.1$	72	1
$3 \geq t > 0.9$	78.5	0.18
$5 \geq t > 3$	64	0
$t > 5$	50	0

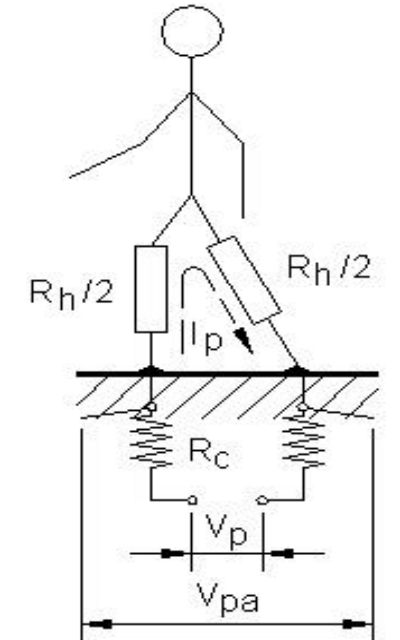
CURVA DE VIDA: MÁXIMA TENSIÓN APLICADA EN FUNCIÓN DE t

$$V_a \leq \frac{K}{t^n} \begin{cases} 0.1 < t < 0.9 & \Rightarrow K = 72 \quad n = 1 \\ 0.9 < t < 3 & \Rightarrow K = 78.5 \quad n = 0.18 \\ 3 < t < 5 & \Rightarrow V \leq 64 \\ 5 < t & \Rightarrow V \leq 50 \end{cases}$$



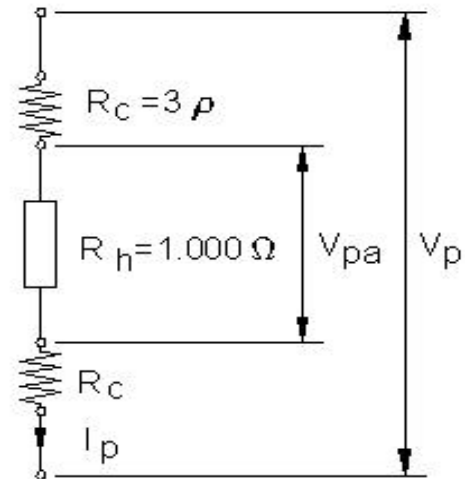
MEDIDAS DE LAS TENSIONES DE PASO Y DE CONTACTO APLICADAS

CONCEPTO DE TENSIONES APLICADAS

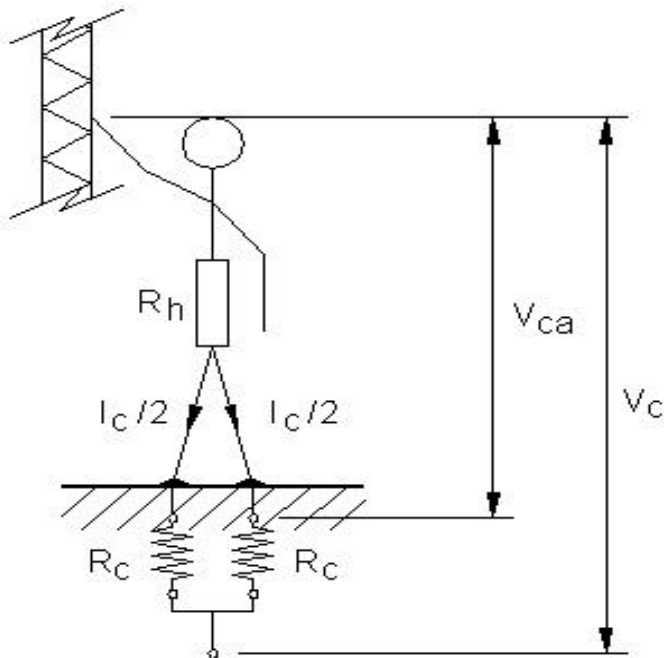


Tensión de paso y tensión de paso aplicada

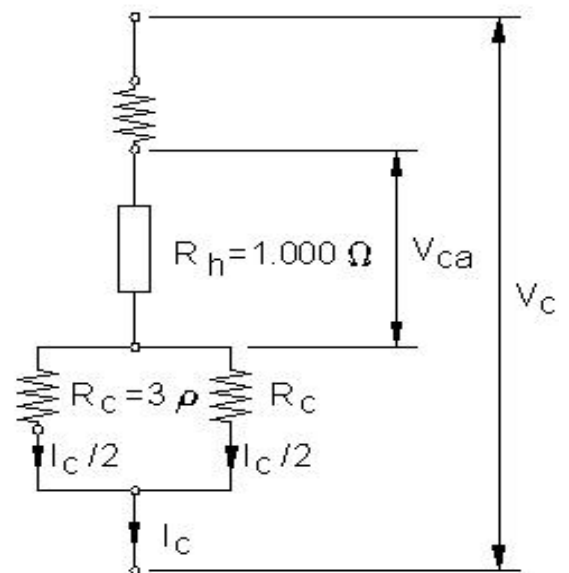
$$V_{pa} = \frac{1000}{1000 + 6 \cdot r} V_p$$



Circuito equivalente



Tensión de contacto y tensión de contacto aplicada



Circuito equivalente

$$V_{ca} = \frac{1000}{1000 + 1.5 \cdot r} V_c$$

ESTRUCTURA Y DIMENSIONADO DE LA P.T. DE LAS MASAS DEL C.T.

Medidas adicionales de seguridad

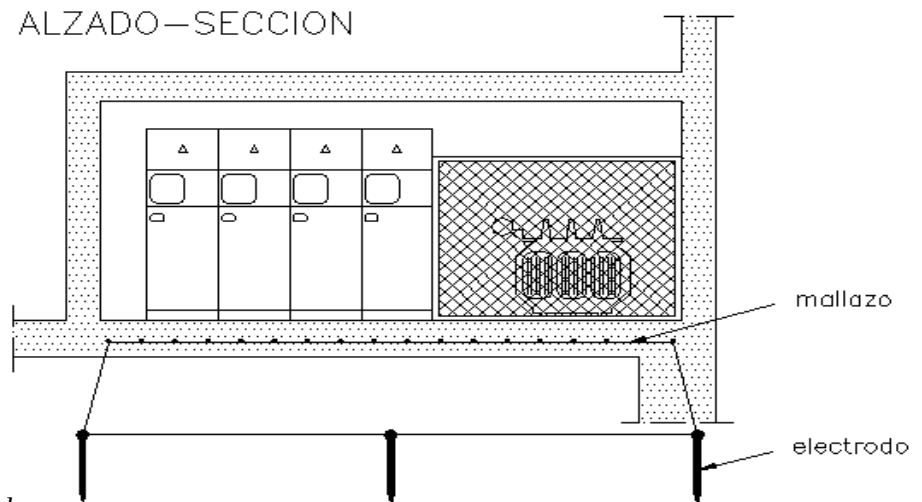
- Las puertas y rejillas metálicas que den al exterior del centro no tendrán contacto eléctrico con masas conductoras susceptibles de quedar a tensión debido a defectos o averías.
- En el piso del C.T. se instala un mallazo electrosoldado constituido con redondos de diámetro no inferior a 4 mm², formando una retícula no superior a 0.3 x 0.3 m. Este mallazo se conecta como mínimo a dos puntos opuestos del electrodo de la puesta a tierra de las masas y se cubre con una capa de hormigón de espesor no inferior a 10 cm.

$$V_{pm,ex} \leq V_{pad}$$

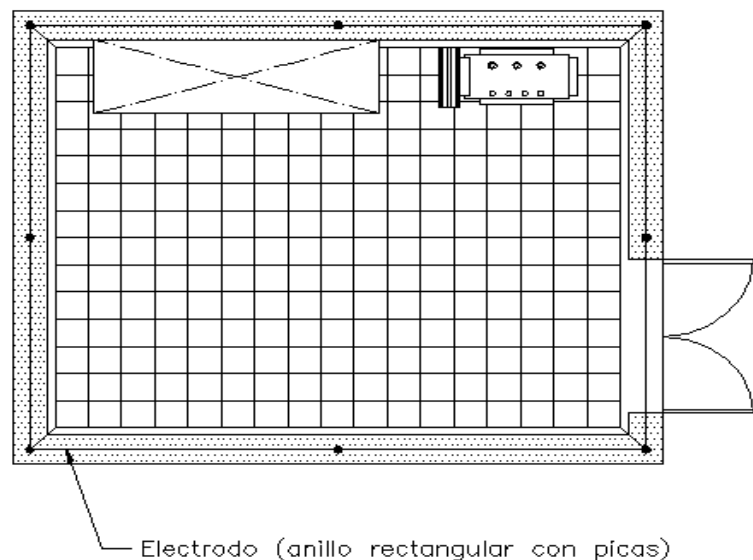
$$V_{p(acc)m} = V_{cm,ex} \leq V_{p(acc)ad}$$

$$I_d \geq I_a \quad (R_t \leq R_{tmax})$$

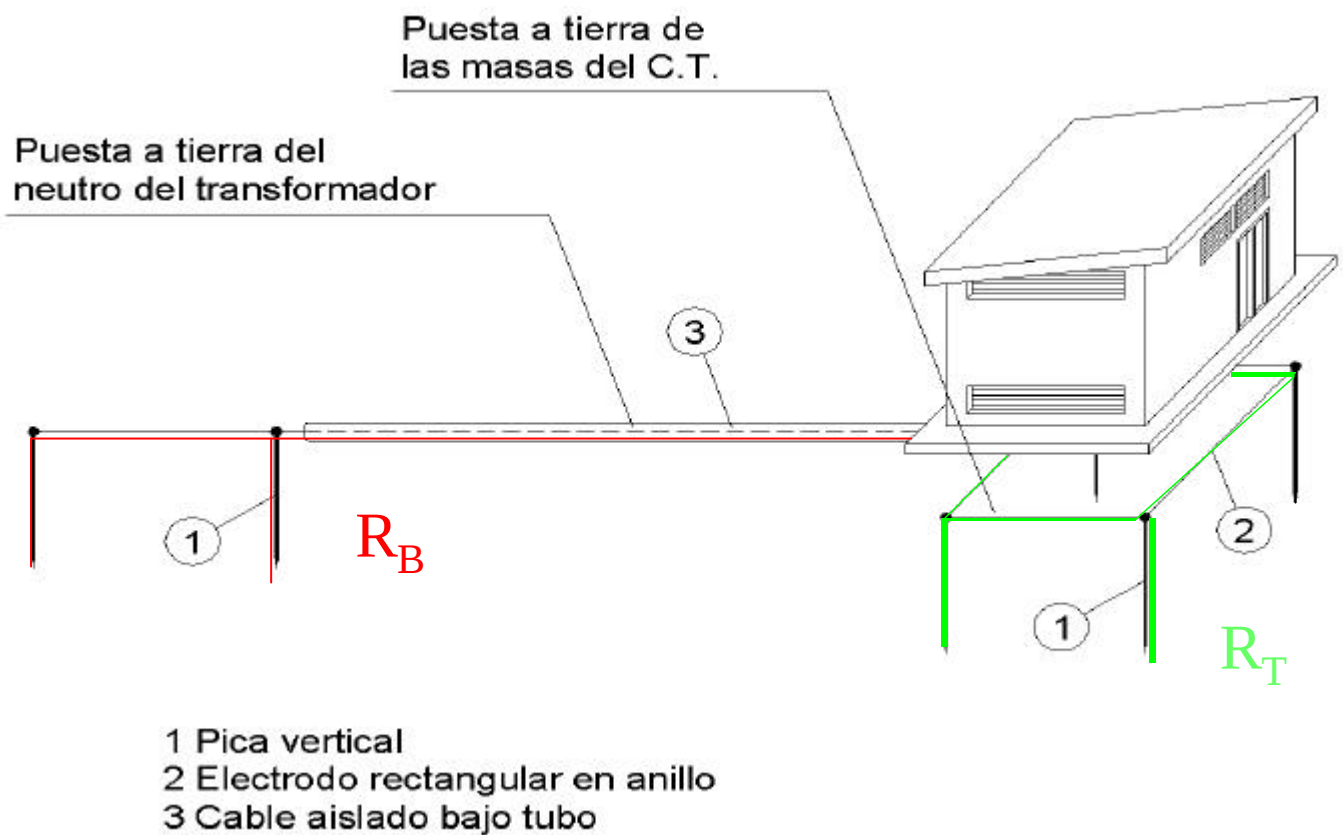
ALZADO—SECCION



PLANTA



ESTRUCTURA Y DIMENSIONADO DE LA P.T. DEL NEUTRO DEL TRANSFORMADOR



Línea de enlace con tierra: cable aislado 0.6/1 KV
protegido con tubo PVC

Electrodos

TT $R_B \approx F(\rho, \text{dimensiones}) \ll 37 \Omega$

si $I_d = 650 \text{ mA (BT)} \rightarrow V_N \leq 24 \text{ V}$

TN $R_B \leq 2 \Omega$

PUESTA A TIERRA (MIE RAT 13)

CÁLCULO

$$V_p \leq V_{p, ad}$$

$$V_c \leq V_{c, ad}$$

MEDIDA

$$V_{pa} \leq V_{pa, ad} = \frac{10 \cdot K}{t^n}$$

$$V_{ca} \leq V_{ca, ad} = \frac{K}{t^n} \rightarrow \begin{cases} \text{Curva de} \\ \text{Seguridad} \end{cases}$$

RELACIONES

$$V_{p ad} \leq V_{pa, ad} \left(1 + \frac{6 \cdot r}{1000} \right)$$

$$V_{c ad} \leq V_{ca, ad} \left(1 + \frac{1.5 \cdot r}{1000} \right)$$

TIERRAS INDEPENDIENTES; SEPARACIÓN ENTRE LAS DISTINTAS TOMAS DE TIERRA

MIE BT 039:

P.T. B independiente de A $\rightarrow U_{\text{trans. de B a A}} \leq 50 \text{ V}$

RELACIÓN ENTRE LAS P.T. DE LAS MASAS DE B.T. Y M.T.

P.T. masas B.T. independiente P.T. masas M.T. $\rightarrow$

$U_{\text{tr de M.T. a B.T.}} \leq 50 \text{ V}$ o CONDICIONES (MIE BT 039 9)

- No existe canalización metálica que una la zona de tierras del CT con la zona donde están los aparatos de utilización.
- La distancia entre las tomas de tierra de las masas del CT y la toma de tierra de las masa de BT es $\geq 15 \text{ m}$ si $\rho = 100 \text{ } \Omega \cdot \text{m}$, si el terreno es mal conductor la distancia aumenta
- El CT está situado en un recinto aislado de los locales de utilización o está construido de tal manera que sus elementos metálicos no están unidos eléctricamente a los elementos metálicos constructivos de los locales de utilización

RELACIÓN ENTRE LA P.T. DEL NEUTRO Y DE LAS MASAS DE M.T.

$$\begin{array}{l}
 U_{\text{tr de M.T. a Neut.}} \leq 1000 \text{ V} \rightarrow V_{\text{ft}} = V_{\text{fn}} + V_{\text{n,trans}} \\
 \text{MIE BT 017} \rightarrow 2U + 10000 \geq 1500 \text{ V}
 \end{array}
 \left. \vphantom{\begin{array}{l} U_{\text{tr de M.T. a Neut.}} \leq 1000 \text{ V} \\ \text{MIE BT 017} \end{array}} \right\} \begin{array}{l} V_{\text{n,trans}} \leq 1000 \text{ V} \\ D \geq D_{\min} = \frac{r \cdot I_d}{2000 \cdot p} \end{array}$$

TIERRA ÚNICA EN EL C.T.

$$U_{\text{D mt}} = I_{\text{D}} \cdot R_{\text{t MT}} \leq 1000 \text{ V} \rightarrow D_{\min} = 0 \text{ Puesta a tierra común}$$

PROYECTO DE INSTALACIÓN DE PUESTA A TIERRA DE LAS MASAS DEL C.T. (R_T)

- 1) Investigación de las características del suelo.
- 2) Determinación de las corrientes máximas de defecto a tierra y del tiempo máximo de eliminación del defecto.

(I_d , t_a , característica i/t del relé, X_n , R_n)

- 3) Diseño preliminar de la instalación.
 - Determinar los elementos que hay que conectar a tierra y el punto de conexión.
 - Determinar las secciones de los conductores.
 - Definir la forma y composición del electrodo. (Normalizado)
- 4) Cálculo de la resistencia de la puesta a tierra.
- 5) Cálculo de las tensiones de paso y de contacto.
- 6) Cálculo de las tensiones de paso y de contacto admisibles.
- 7) Comparación; en su caso tomar medidas adicionales.
- 8) Investigación de las tensiones transferidas.
- 9) Corrección y ajuste del diseño inicial.
- 10) Una vez hecha la instalación : Medidas y contrastación de los resultados
(Medidas: R_t ; $V_{p,ap}$; $V_{c,ap}$).