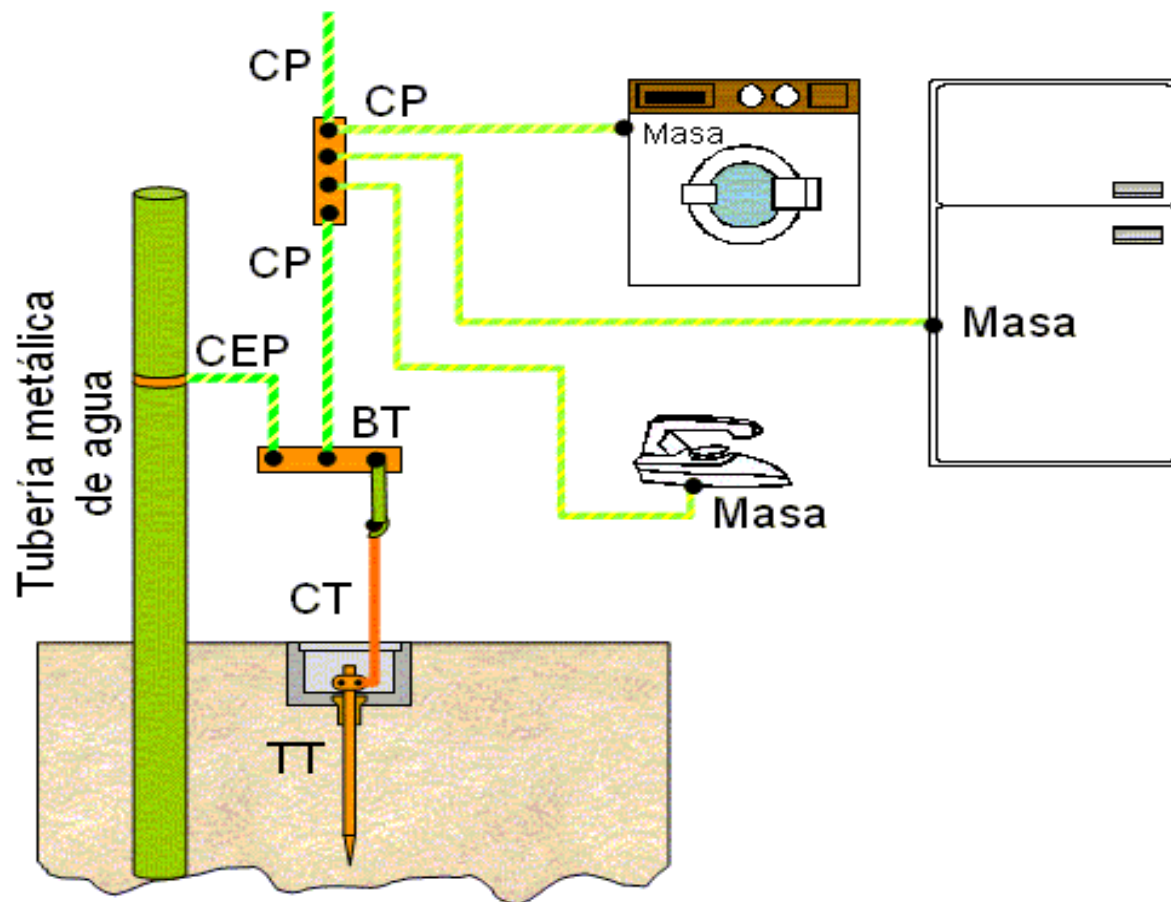


Sistemas de Puesta a Tierra



Índice

- Definiciones
- Componentes de un sistema de puesta a tierra
- Pasos a seguir para el diseño de una instalación de puesta a tierra

Función del sistema de puesta a tierra

Protección de usuarios

- Contra los efectos de las descargas atmosféricas o de los cortocircuitos
- Derivando las corrientes de defecto a tierra sin que se generen tensiones peligrosas

Protección de equipos

- Facilitando una ruta de evacuación de baja impedancia de las corrientes de defecto, que evite la presencia de sobretensiones peligrosas en dichos equipos

Definiciones

Puesta a Tierra

- Es la unión eléctrica directa, sin fusibles ni protección alguna, de una parte del circuito eléctrico o de una parte conductora no perteneciente al mismo, mediante una toma de tierra con un electrodo o grupos de electrodos enterrados en el suelo

Electrodo de tierra

- Conductor metálico o conjunto de conductores interconectados u otras piezas metálicas que actúan del mismo modo, empotradas en el suelo y en contacto eléctrico con el mismo (o empotradas en hormigón que esté en contacto con la tierra en una gran superficie)

Definiciones

Conductor de Puesta a Tierra

- Conductor que conecta una parte de la instalación eléctrica, las partes conductoras accesibles o las masas metálicas ajenas a dicha instalación a un electrodo de tierra, o que interconecta varios electrodos de tierra

Tierra de Referencia

- Parte del terreno, en especial sobre la superficie, situado fuera del área de influencia del electrodo de tierra considerado. Se considera que el potencial de la tierra de referencia es cero.

Definiciones

Tensión de Puesta a Tierra

- Tensión que aparece entre el sistema de puesta a tierra y la tierra de referencia, cuando un determinado valor de la corriente de tierra fluye a través del sistema de puesta a tierra.

Potencial Superficial de Tierra

- Diferencia de tensión entre un punto x sobre la superficie del terreno y la tierra de referencia

Tensiones de paso y contacto

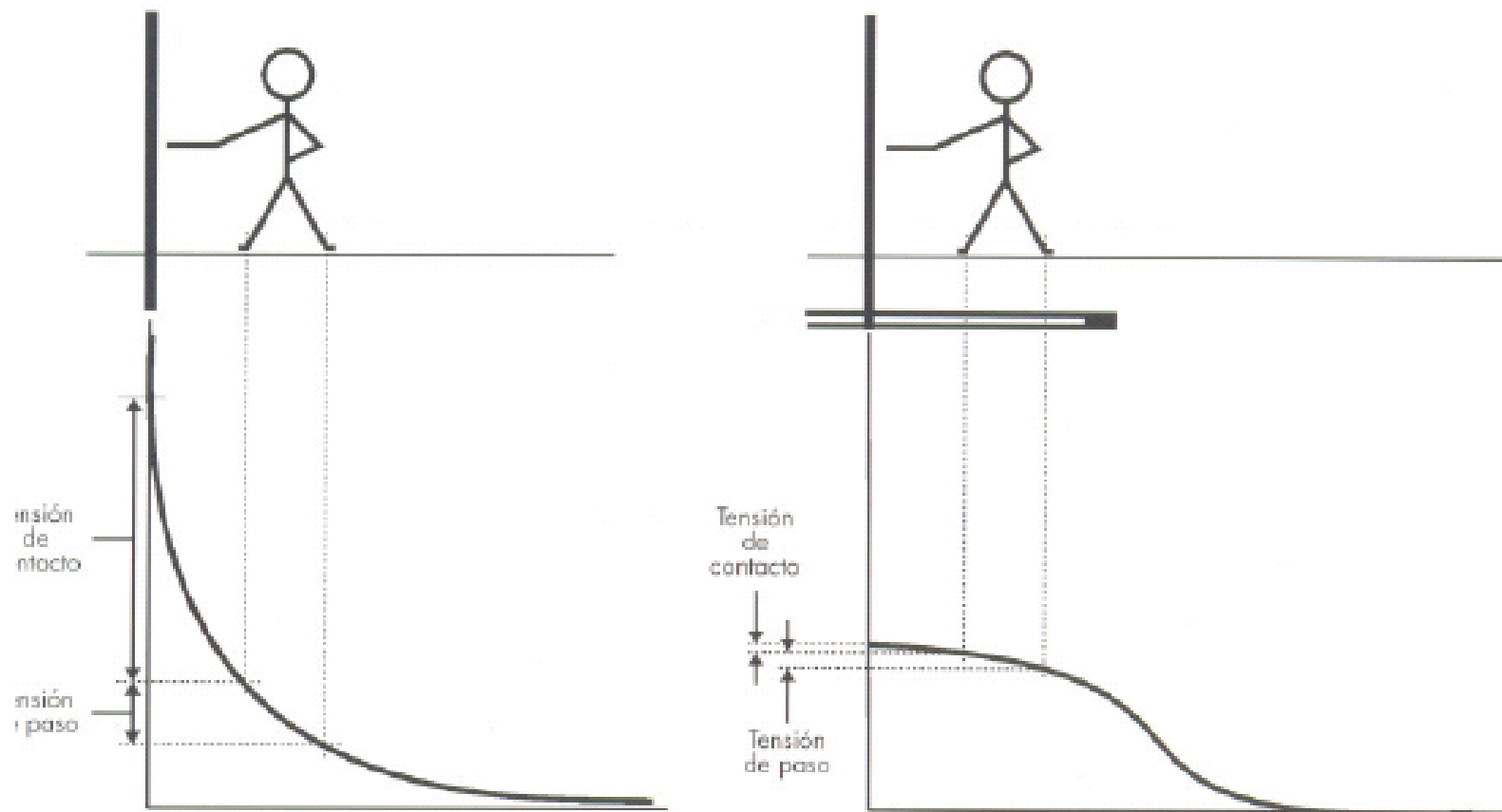


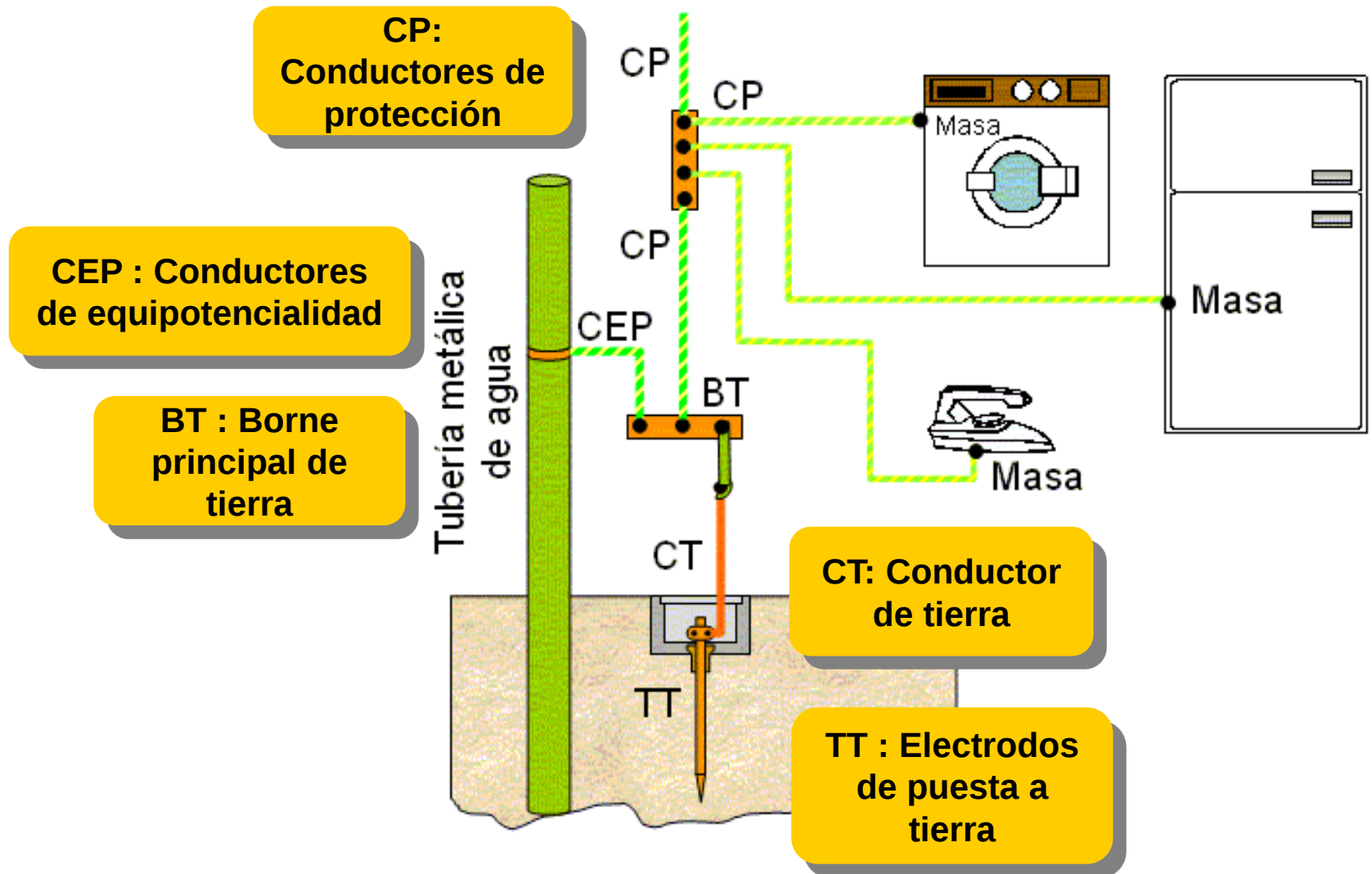
Figura 1 – Tensiones de paso y contacto

Tensiones máximas admisibles en una instalación

Duración máxima de la corriente que no crea daño permanente en el cuerpo humano

Duración de la corriente de defecto (en s)	Tensión soportada admisible (en V)
0,05	750
0,10	625
0,20	525
0,30	425
0,40	300
0,50	200
1,00	100
2,00	90
5,00	80
10,00	80
>10,00	50

Componentes de una instalación



Componentes de una instalación

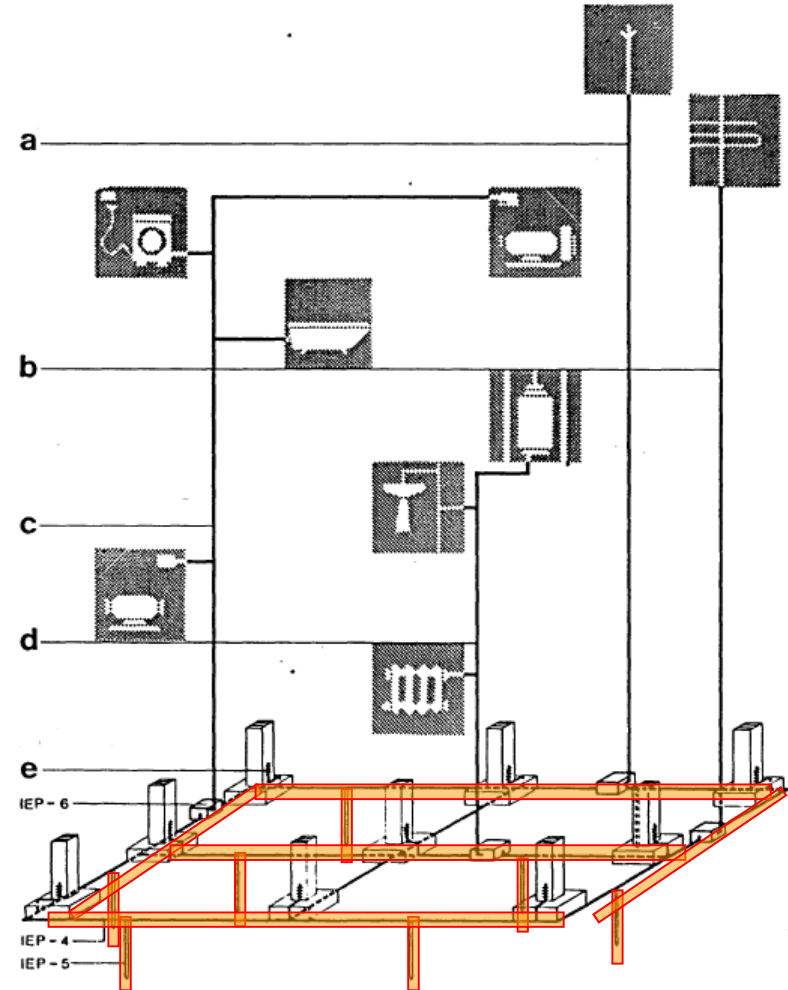
**Electrodos
de puesta a
tierra**

**Conductores
de tierra**

**Bornes
principales
de tierra**

**Conductores
de
protección**

**Conductores de
equipotencialidad**



Componentes de una instalación

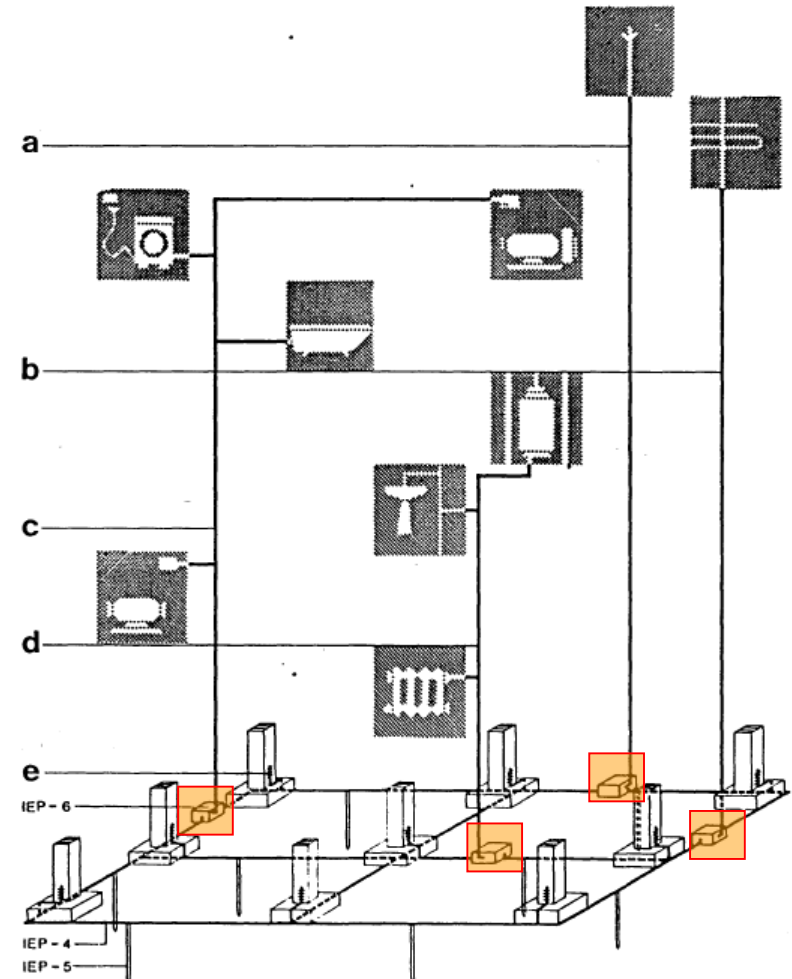
Electrodos
de puesta a
tierra

Conductores
de tierra

**Bornes
principales
de tierra**

Conductores
de
protección

Conductores de
equipotencialidad



Componentes de una instalación

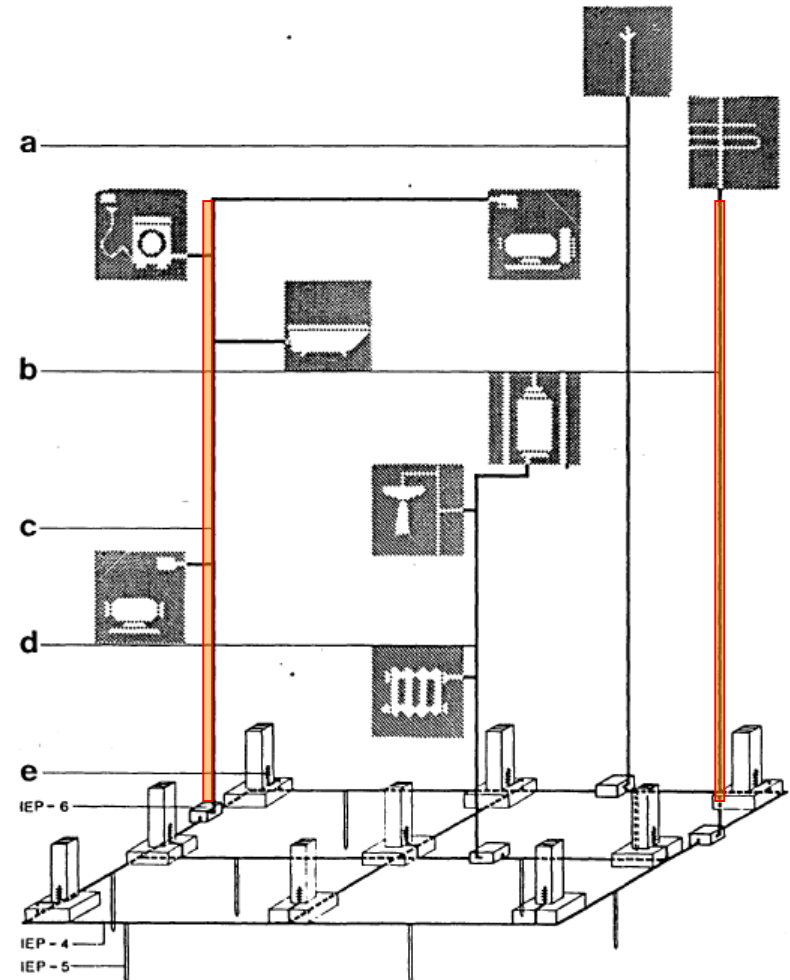
Electrodos
de puesta a
tierra

Conductores
de tierra

Bornes
principales
de tierra

Conductores
de
protección

Conductores de
equipotencialidad



Componentes de una instalación

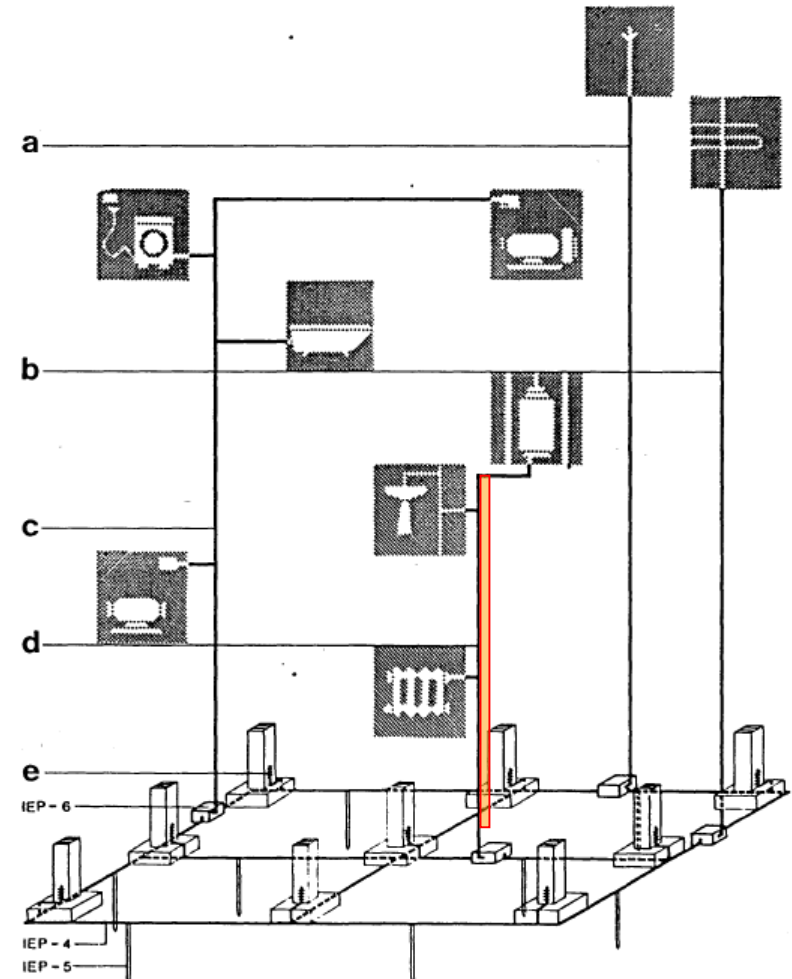
Electrodos
de puesta a
tierra

Conductores
de tierra

Bornes
principales
de tierra

Conductores
de
protección

Conductores de
equipotencialidad



Electrodos de puesta a tierra

Electrodo

Conduct
tierra

Bornes

Conduct
protecc

Conduct
equipot

Electrodos de puesta a tierra o tomas de tierra

- Elemento metálico que en **contacto directo con el terreno** disipa las corrientes de defecto o de fuga procedentes de la instalación, así como las procedentes de las descargas atmosféricas

Dimensionamiento

- Se dimensionará de forma que su **resistencia de tierra**, en cualquier circunstancia previsible, no sea superior al valor especificado para ella en cada caso
- Este valor de la resistencia de tierra será tal que ninguna masa pueda dar lugar a tensiones de contacto superiores a **24 V en locales o emplazamientos conductores, o a 50 V en los demás casos**

Resistividad del terreno

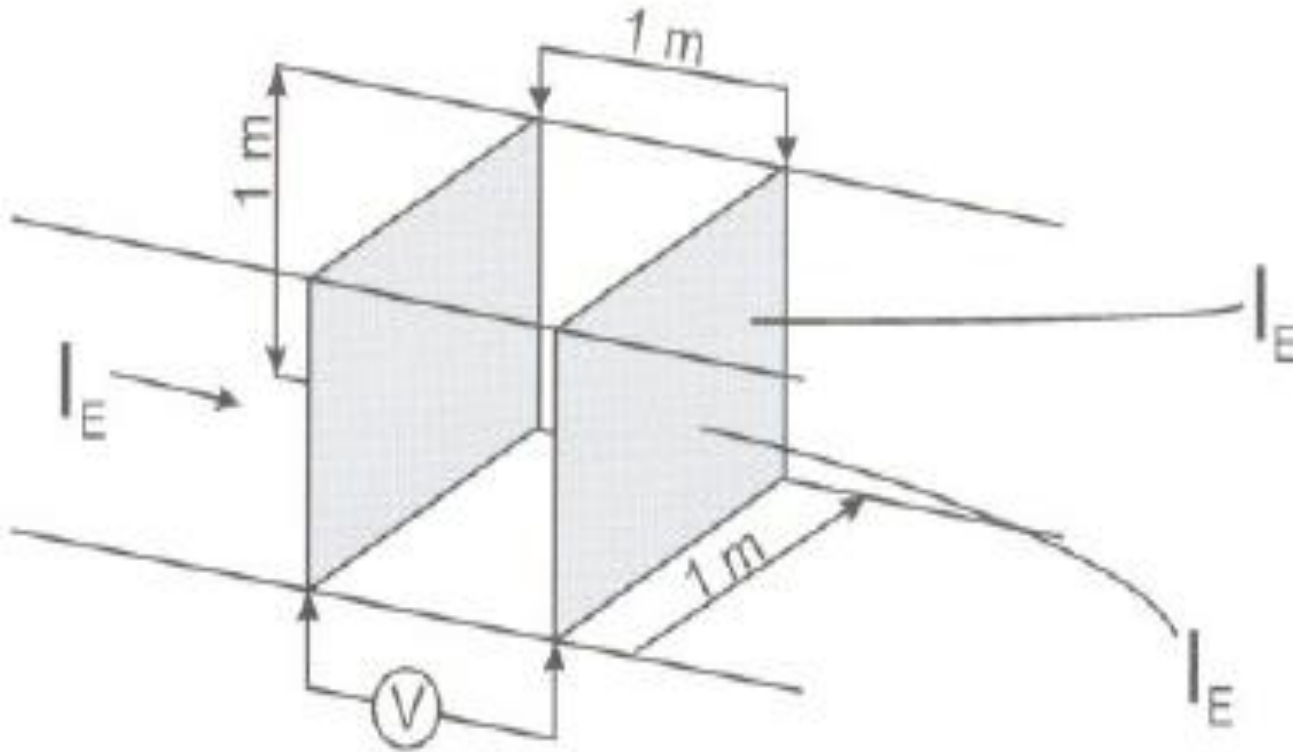
Electrod
o

Conduct
tierra

Bornes

Conduct
protecc

Conduct
equipot



- Resistencia medida entre dos caras opuestas de un cubo del terreno de un metro de arista

Resistividad del terreno

Electrod
o

Conduct
tierra

Bornes

Conduct
protecc

Conduct
equipot

Tipo de terreno	Resistividad del terreno ρ [$\Omega \cdot m$]	
	Margen de valores	Valor medio
Terreno pantanoso.	2-50	30
Barro mezclado con paja.	2-200	40
Terreno fangoso y arcilloso, humus.	20-260	100
Arena y terreno arenoso.	50-3000	200 (húmedo)
Turba.	>1200	200
Grava (húmeda)	50-3000	1000 (húmedo)
Terreno pedregoso y rocoso.	100-8000	2000
Hormigón: 1 parte cemento y 3 partes de arena.	50-300	150
Hormigón: 1 parte cemento y 5 partes de arena	100-8000	400

Resistividad del terreno en función de la humedad

Electrod
o

Conduct
tierra

Bornes

Conduct
protecc

Conduct
equipot

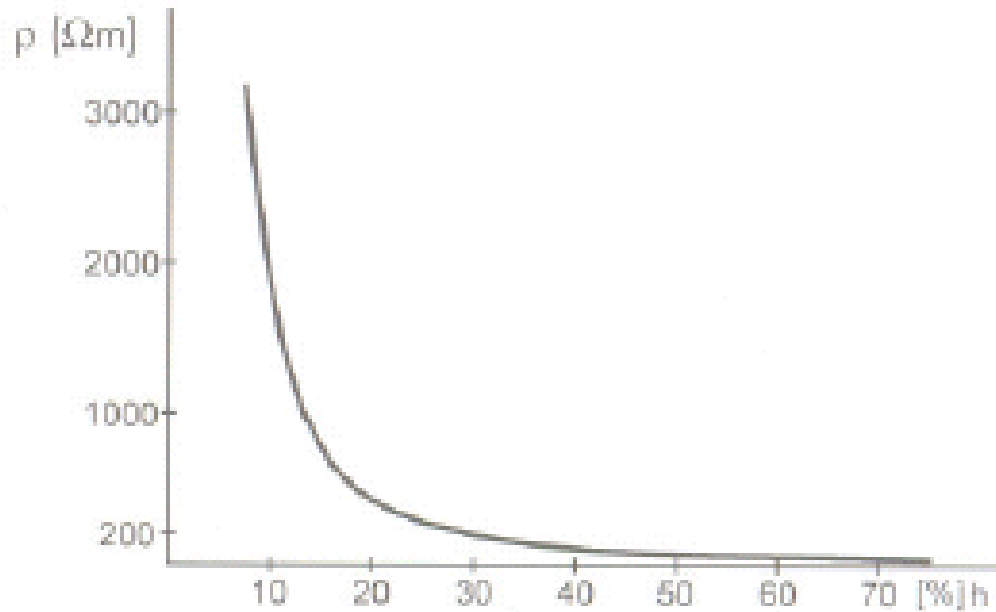


Figura 2 - Resistividad de un terreno arcilloso en función de la humedad del suelo h

Resistencia de tierra según tipo de electrodo

Electrodo

Conduct
tierra

Bornes

Conduct
protecc

Conduct
equipot

Electrodo	Resistencia de tierra en Ohmios
Placa enterrada	$R = 0,8 \cdot \rho / P$
Placa superficial	$R = 1,6 \cdot \rho / P$
Pica vertical	$R = \rho / L$
Conductor enterrado horizontalmente	$R = 2 \cdot \rho / L$
Malla de tierra	$R = \rho / 4r + \rho / L$
ρ, resistividad del terreno, en $\Omega \cdot m$. P, perímetro de la placa, en m.. L, longitud de la pica, del conductor o de la malla, en m r, radio del círculo con la misma superficie que el área cubierta por la malla, en m	

Distribución de la tensión superficial en un electrodo semiesférico

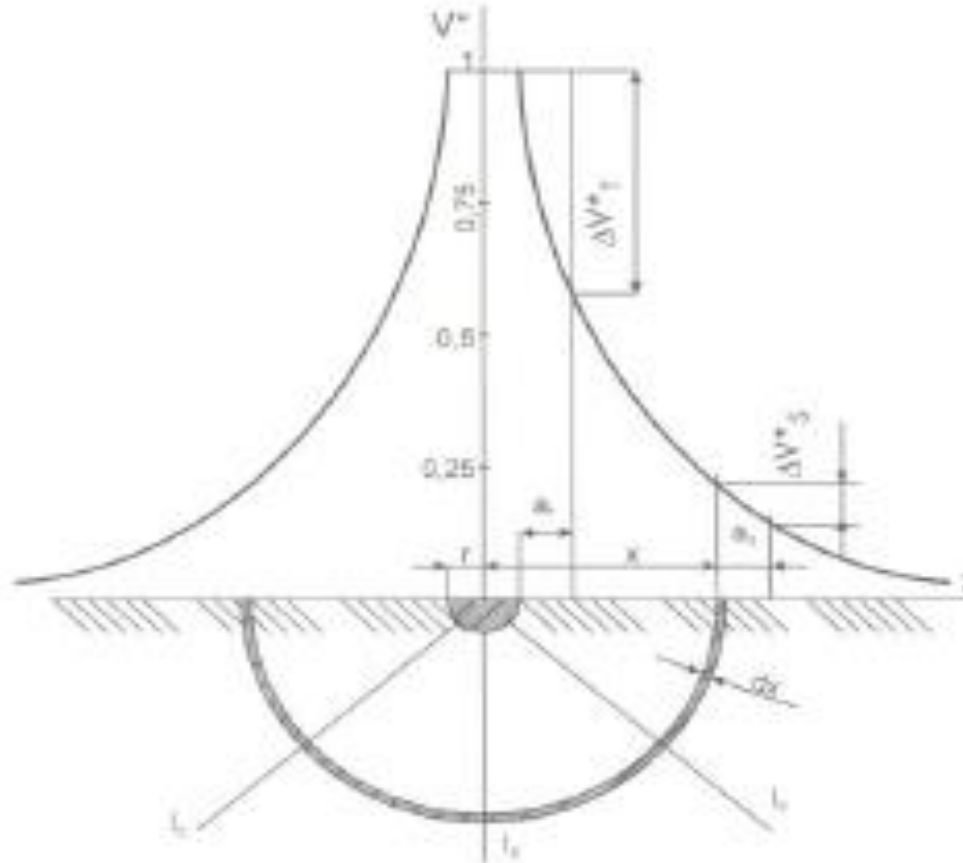
Electrod
o

Conduct
tierra

Bornes

Conduct
protecc

Conduct
equipot



Parámetros del sistema de puesta a tierra

Electrodo

Conduct
tierra

Bornes

Conduct
protecc

Conduct
equipot

Resistencia de la puesta a tierra

- **RD**, Resistencia de disipación, que es la resistencia propia del terreno, medida entre el electrodo y una tierra de referencia, y
- **RL**, resistencia de las partes conductoras del sistema (electrodo de tierra y conductores de puesta a tierra).

Configuración del electrodo de tierra

- Picas o tubos, que se clavan a una profundidad de tres, o más, metros.
- Pletinas o cables desnudos enterrados horizontalmente a poca profundidad.
- Placas
- Malla del fondo de zanja, estructurados como una rejilla colocada horizontalmente.
- Armadura de hormigón enterrado, que proporcione una gran superficie de contacto con el terreno.
- Conducciones metálicas de agua, en condiciones especiales
- Otras estructuras enterradas apropiadas

Tipos de electrodo

Electrodo

Conduct
tierra

Bornes

Conduct
protecc

Conduct
equipot

Superficial simple

**Pica o electrodo
vertical**

Mallado

En la cimentación

Distribución de potencial superficial de tierra perpendicular al tubo horizontal

Superficial simple

Pica o electrodo vertical

Mallado

En la cimentación

Electrod
o

Conduct
tierra

Bornes

Conduct
protecc

Conduct
equipot

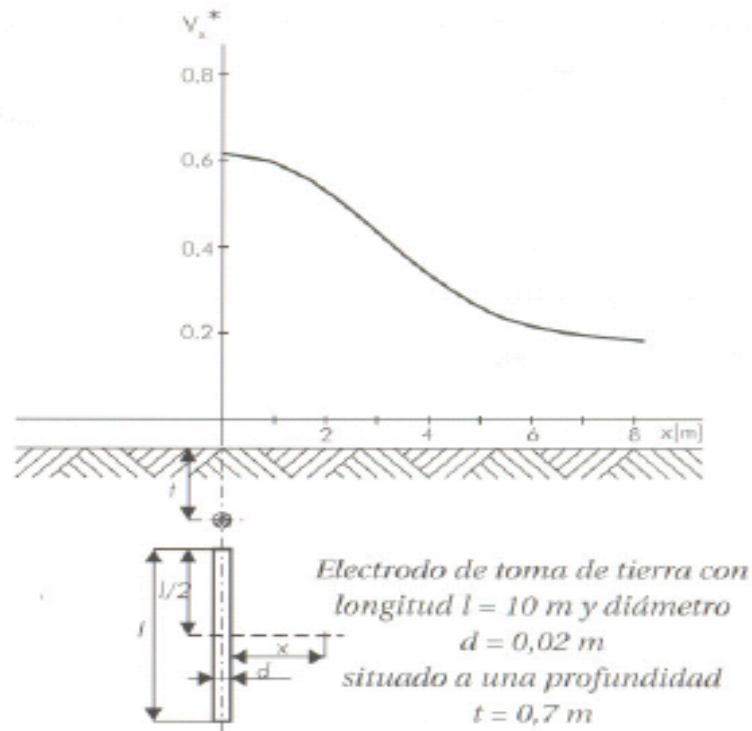


Figura 1 - Distribución de potencial superficial de tierra perpendicular al tubo horizontal

Electrodo superficial simple : resistencia

Electrod
o

Conduct
tierra

Bornes

Conduct
protecc

Conduct
equipot

Superficial simple

Pica o electrodo
vertical

Mallado

En la cimentación

$$R = \frac{V_s}{I_D} = \frac{\rho}{2 \cdot \pi \cdot l} \cdot \ln \frac{l^2}{t \cdot d}$$

d – es el diámetro de la barra

V_s - es el potencial superficial de tierra, en V.

ρ - es la resistividad del terreno, en $\Omega \cdot m$.

I_D - es la intensidad de defecto, en A.

l - longitud del electrodo de toma de tierra, en m.

t - profundidad de enterramiento, en m.

Pica : potencial superficial

Electrod
o

Conduct
tierra

Bornes

Conduct
protecc

Conduct
equipot

Superficial simple

Pica o electrodo
vertical

Mallado

En la cimentación

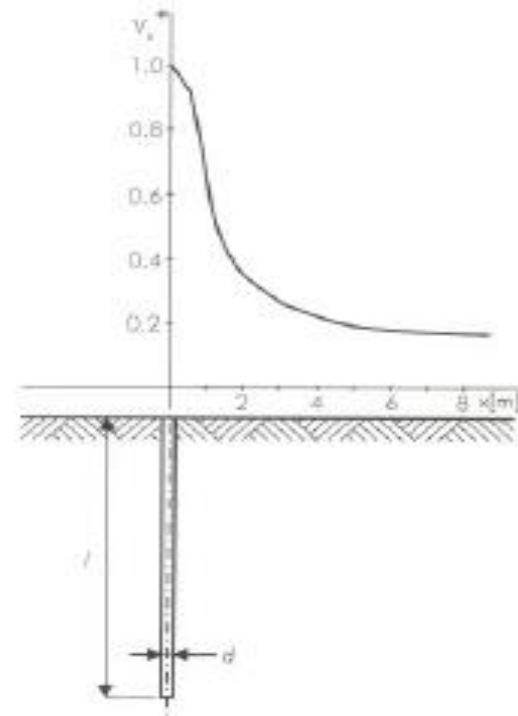


Figura 4 - Distribución del potencial en la superficie del terreno: $V_{x^*} = f(x)$, alrededor de una pica vertical de puesta a tierra, l de una longitud $l = 3 \text{ m}$ y un diámetro $d = 0,04 \text{ m}$

Pica : resistencia

Superficial simple

**Pica o electrodo
vertical**

Mallado

En la cimentación

Electrod
o

Conduct
tierra

Bornes

Conduct
protecc

Conduct
equipot

$$R = \frac{\rho}{2 \cdot \pi \cdot l} \cdot \ln \frac{4 \cdot l^2}{r^2}$$

donde r es el radio de la pica

Electrodos de barra en paralelo

Electrod
o

Conduct
tierra

Bornes

Conduct
protecc

Conduct
equipot

Superficial simple

Pica o electrodo
vertical

Mallado

En la cimentación

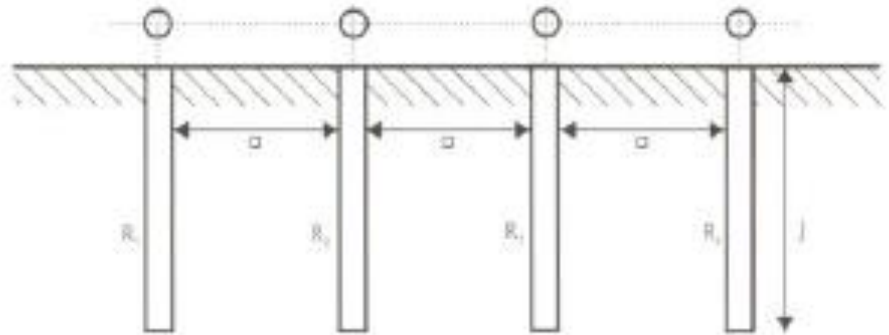


Figura 6 - electrodos de barra instalados paralelos entre si. $R_1 - R_4$ son las resistencias de cada electrodo, a - distancias entre electrodos y l - longitud de cada electrodo

Puesta a tierra provisional

Electrod
o

Conduct
tierra

Bornes

Conduct
protecc

Conduct
equipot

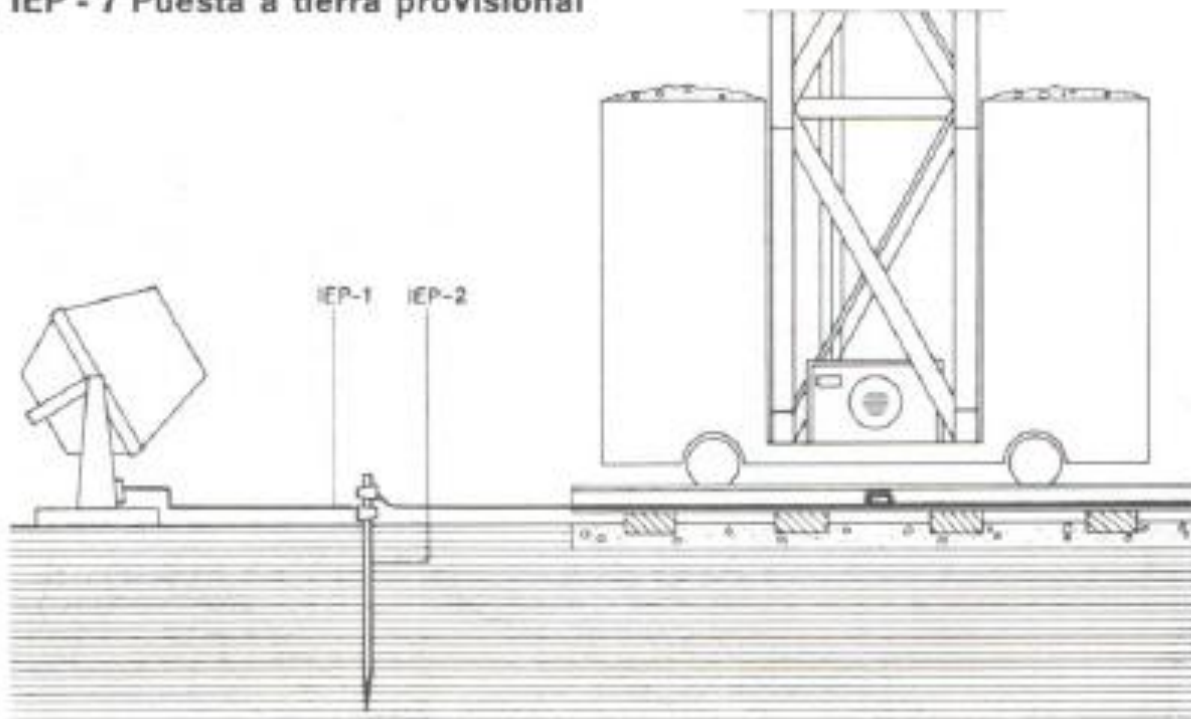
Superficial simple

Pica o electrodo
vertical

Mallado

En la cimentación

IEP - 7 Puesta a tierra provisional



Electrodo de puesta a tierra mallado

Electrod
o

Conduct
tierra

Bornes

Conduct
protecc

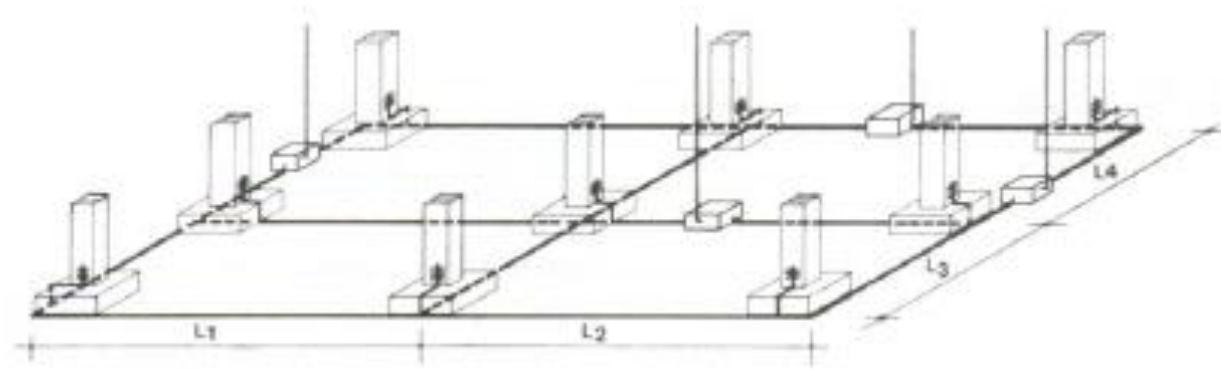
Conduct
equipot

Superficial simple

Pica o electrodo
vertical

Mallado

En la cimentación



Bt26 tabla A

Electrodo de puesta a tierra mallado : resistencia

Electrod
o

Conduct
tierra

Bornes

Conduct
protecc

Conduct
equipot

Superficial simple

Pica o electrodo
vertical

Mallado

En la cimentación

$$R = \frac{\rho}{4 \cdot r_e} + \frac{\rho}{l_{\Sigma}}$$

- r_e
- l_{Σ}

es el radio equivalente y
es la suma de la longitud de los
lados de todas las mallas de la rejilla.

Distribución superficial de la tensión de una puesta a tierra mallada

Superficial simple

Pica o electrodo vertical

Mallado

En la cimentación

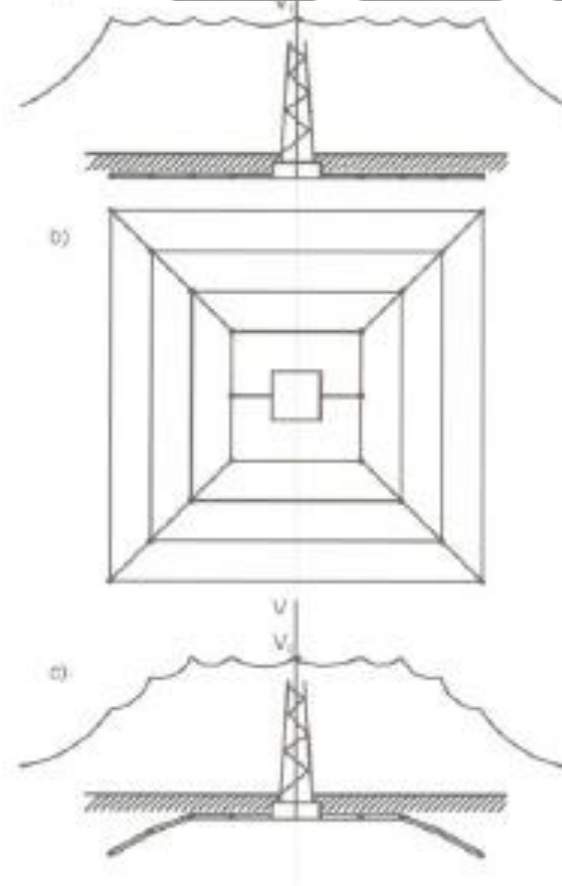
Electrod
o

Conduct
tierra

Bornes

Conduct
protecc

Conduct
equipot



Número de picas complementarias a emplear

Mallado

Electrod
o

Conduct
tierra

Bornes

Conduct
protecc

Conduct
equipot

Terrenos orgánicos, arcillas y margas		Arenas arcillosas y graveras, rocas sedimentarias y metamórficas		Calizas agrietadas y rocas eruptivas		Grava y arena silícea		Nº de picas de longitud (2 metros)
sin pararrayos	con pararrayos	sin pararrayos	con pararrayos	sin pararrayos	con pararrayos	sin pararrayos	con pararrayos	
25	34	28	67	54	134	162	400	0
^	30	25	63	50	130	158	396	1
	26	^	59	46	126	154	392	2
	^		55	42	122	150	388	3
			51	38	118	146	384	4
			47	34	114	142	380	5
			43	30	110	138	376	6
			39	^	106	134	372	7
			35		105	130	368	8
			^		98	126	364	9
					94	122	360	10
					74	102	340	15
					^	82	320	20
						^	280	30
							240	40
							200	50
							^	

^ aumentar la longitud de los conductores enterrados del anillo.

ΣL = longitud en planta de la conducción enterrada, en m

Ilustración de un anillo de puesta a tierra

Mallado

Electrod
o

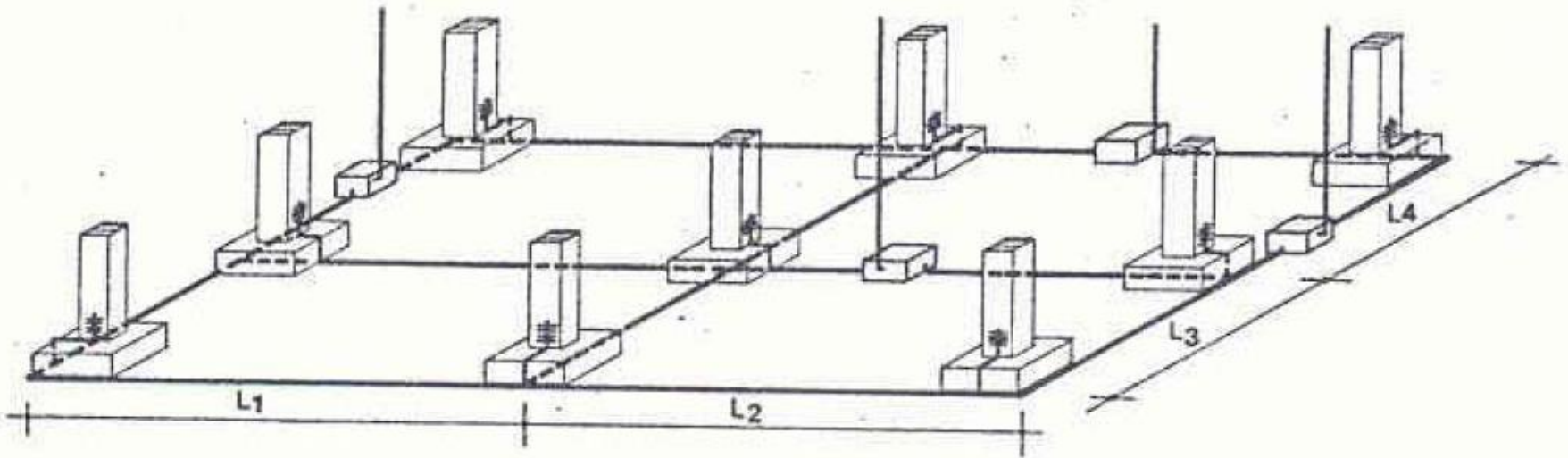
Conduct
tierra

Bornes

Conduct
protecc

Conduct
equipot

Figura A: Ejemplo de anillo enterrado de puesta a tierra



$$\Sigma L = 3L_1 + 3L_2 + 3L_3 + 3L_4$$

Ejemplo de cálculo del número de picas complementarias

- Determinar el número de picas para un edificio con pararrayos en arena arcillosa con una longitud en planta de conducción enterrada de $\Sigma L = 33\text{m}$
 - La longitud mínima de la conducción enterrada debe ser de 35 m, por lo que debemos disponer como mínimo de 2 m más de conducción
 - Además, para 35 m de conducción enterrada necesitamos colocar 8 picas

Electrodo en la cimentación : resistencia

Electrod
o

Conduct
tierra

Bornes

Conduct
protecc

Conduct
equipot

Superficial simple

Pica o electrodo
vertical

Mallado

En la cimentación

$$R = 0,2 \cdot \frac{\rho}{\sqrt[3]{V}}$$

donde V es el volumen de la
cimentación enterrada en
m³.

Conexión de la puesta a tierra con las zapatas de la cimentación

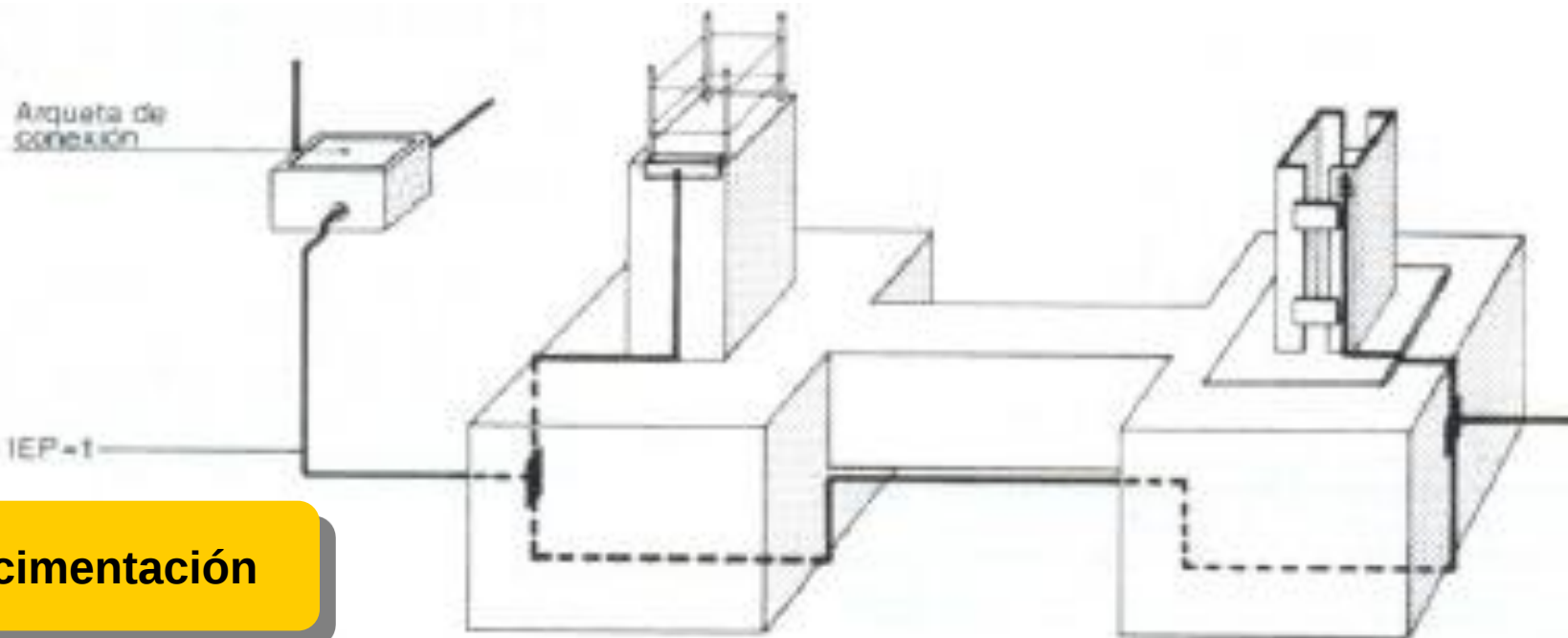
Electrod
o

Conduct
tierra

Bornes

Conduct
protecc

Conduct
equipot



Esquema de conexión con los soportes

En la cimentación

Colocación del electrodo de puesta a tierra : cimentación con armadura

Superficial simple

Pica o electrodo
vertical

Mallado

En la cimentación

Electrod
o

Conduct
tierra

Bornes

Conduct
protecc

Conduct
equipot

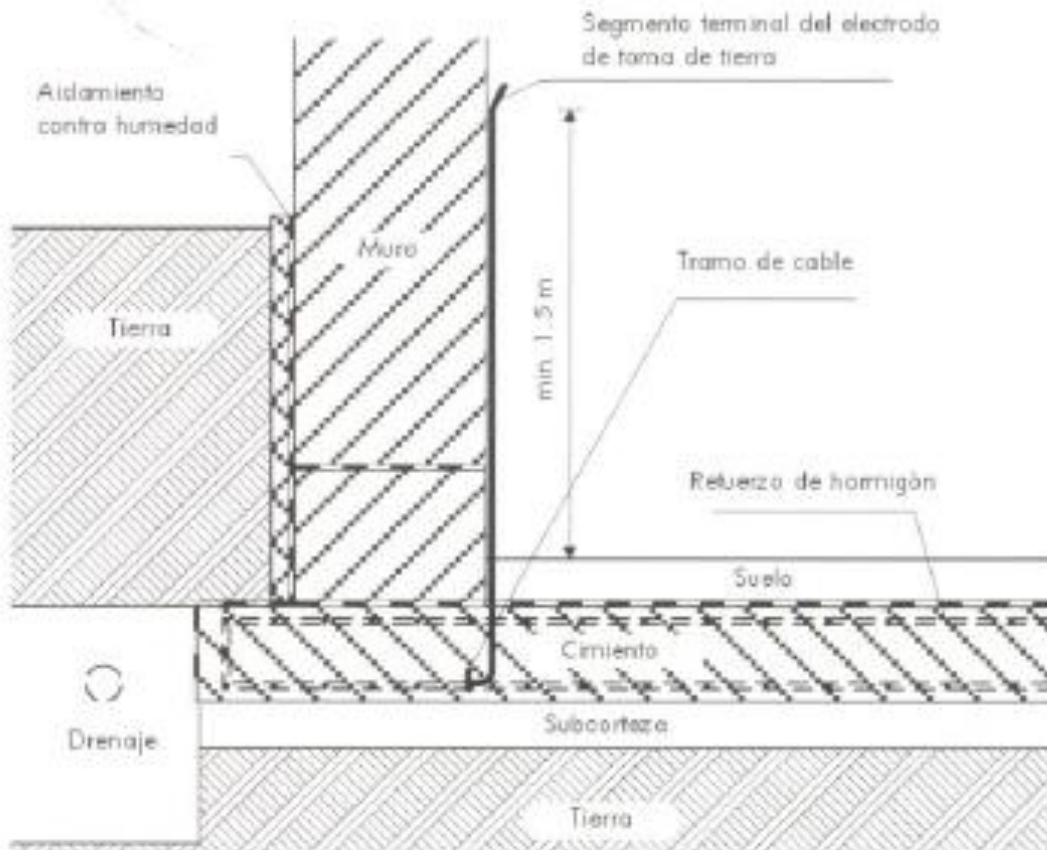


Figura 9 - Ilustración de la colocación de un electrodo de toma de tierra en una cimentación con refuerzo en el hormigón

Comparativa de la distribución de la tensión superficial para caso de pica frente a mallado

Superficial simple

Pica o electrodo vertical

Mallado

En la cimentación

Electrod
o

Conduct
tierra

Bornes

Conduct
protecc

Conduct
equipot

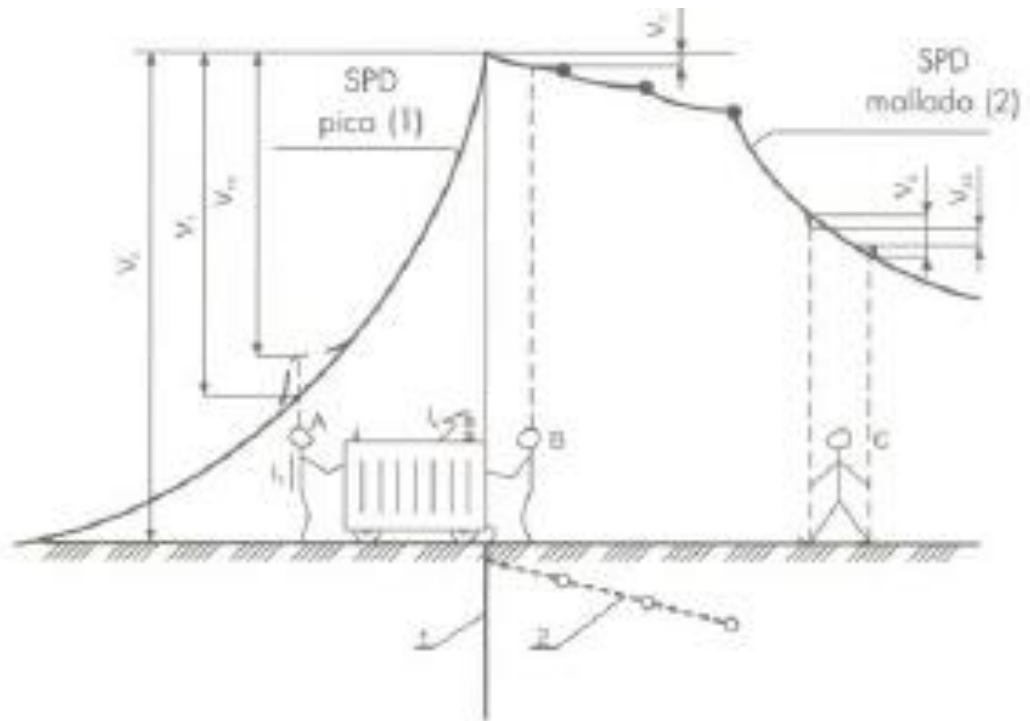


Figura 5 - Comparación de la distribución de la tensión superficial del terreno (SPD) durante un flujo de corriente en el Sistema de Puestas a Tierra, para dos tipos de electrodos de tierra

Componentes de una instalación

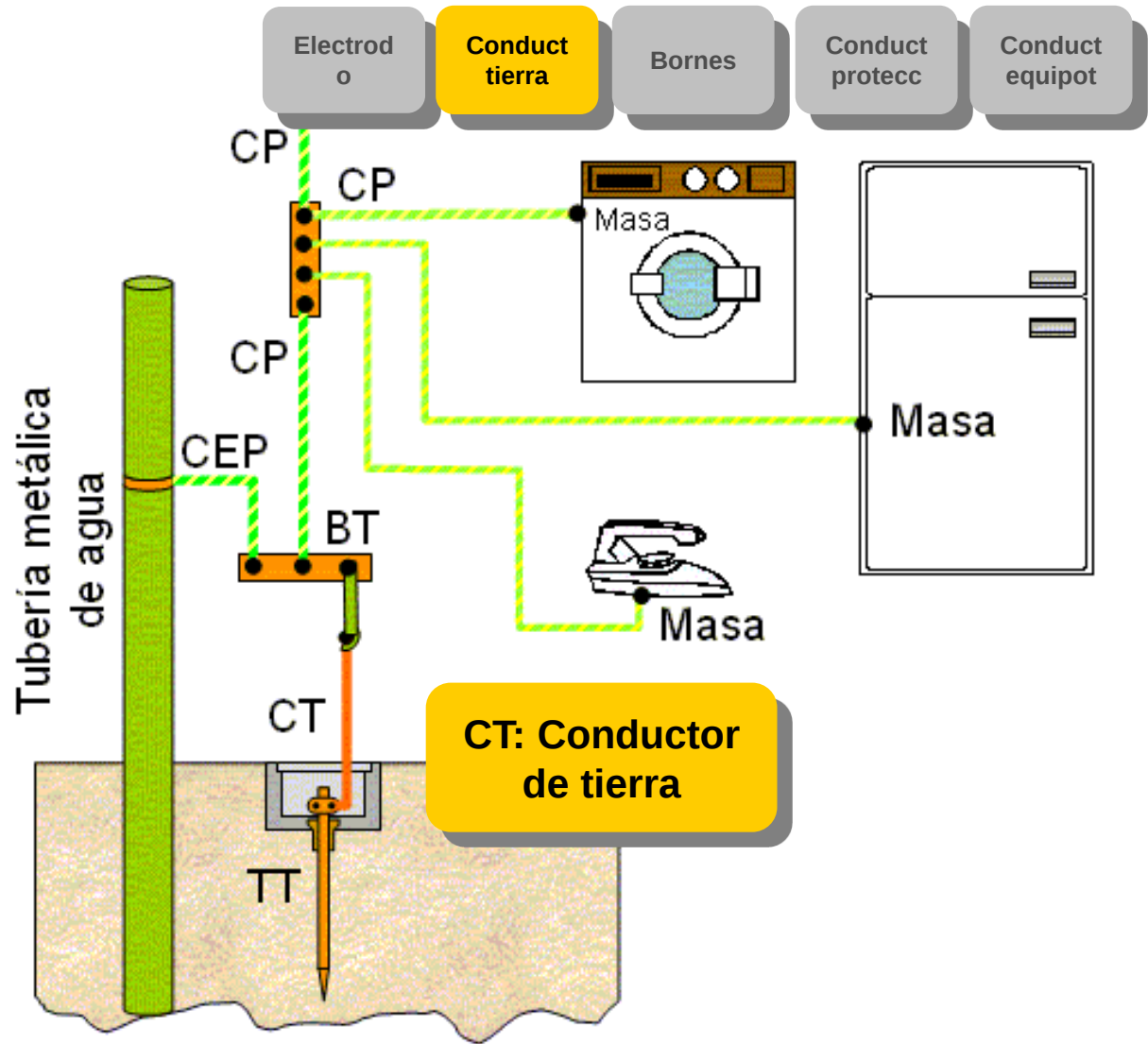
Electrodos
de puesta a
tierra

Conductores
de tierra

Bornes
principales
de tierra

Conductores
de
protección

Conductores de
equipotencialidad



Bornes principales de tierra

Electrodos
de puesta a
tierra

Conductores
de tierra

**Bornes
principales
de tierra**

Conductores
de
protección

Conductores de
equipotencialidad

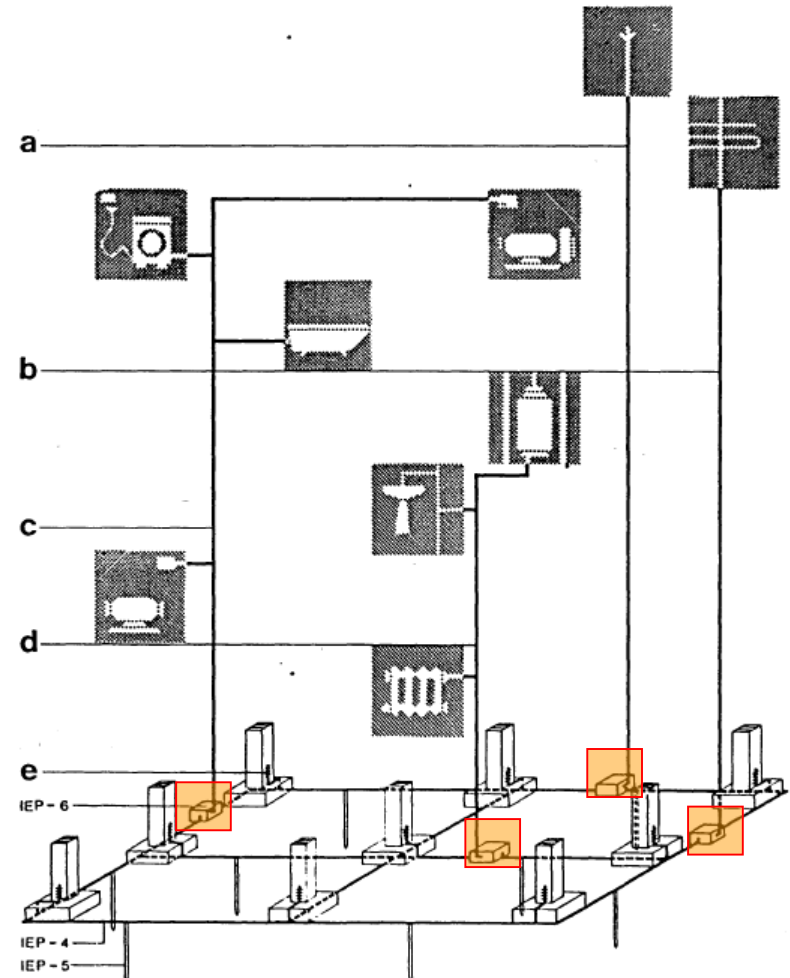
Electrodo

Conductor
de tierra

Bornes

Conductor
de protecc

Conductor
de equipot



Borne principal de tierra o punto de puesta a tierra



En toda instalación de puesta a tierra debe preverse un borne principal de tierra, al cual deben unirse los conductores siguientes:

- los conductores de tierra.
- los conductores de protección
- los conductores de unión equipotencial principal
- los conductores de puesta a tierra funcional, si son necesarios

Borne principal de tierra o punto de puesta a tierra



A la toma de tierra establecida se conectará toda **masa metálica** importante existente en la zona de la instalación, y las masas metálicas accesibles de los aparatos de los aparatos receptores, cuando su clase de aislamiento o condiciones de instalación así lo exijan.

A esta misma toma de tierra deberán conectarse las **partes metálicas** de los **depósitos de gasóleo**, de las instalaciones de **calefacción** general, de las instalaciones de **agua**, de las instalaciones de **gas canalizado** y de las **antenas de radio y televisión**".

Borne principal de tierra o punto de puesta a tierra



Los puntos de puesta a tierra se situarán:

- a) En los **patios de luces** destinados a cocinas y cuartos de aseo, etc., en la rehabilitación o reforma de edificios existentes.
- b) En el local o lugar de centralización de **contadores**.
- c) En la base de las estructuras metálicas de los **ascensores y montacargas**, si los hubiere.
- d) En el punto de ubicación de la **caja general de protección**.
- e) En cualquier local donde se prevea la instalación de elementos destinados a **servicios generales o especiales**, y que por su clase de aislamiento o condiciones de instalación, deban ponerse a tierra.

Conductores de protección

Electrodos
de puesta a
tierra

Conductores
de tierra

Bornes
principales
de tierra

Conductores
de
protección

Conductores de
equipotencialidad

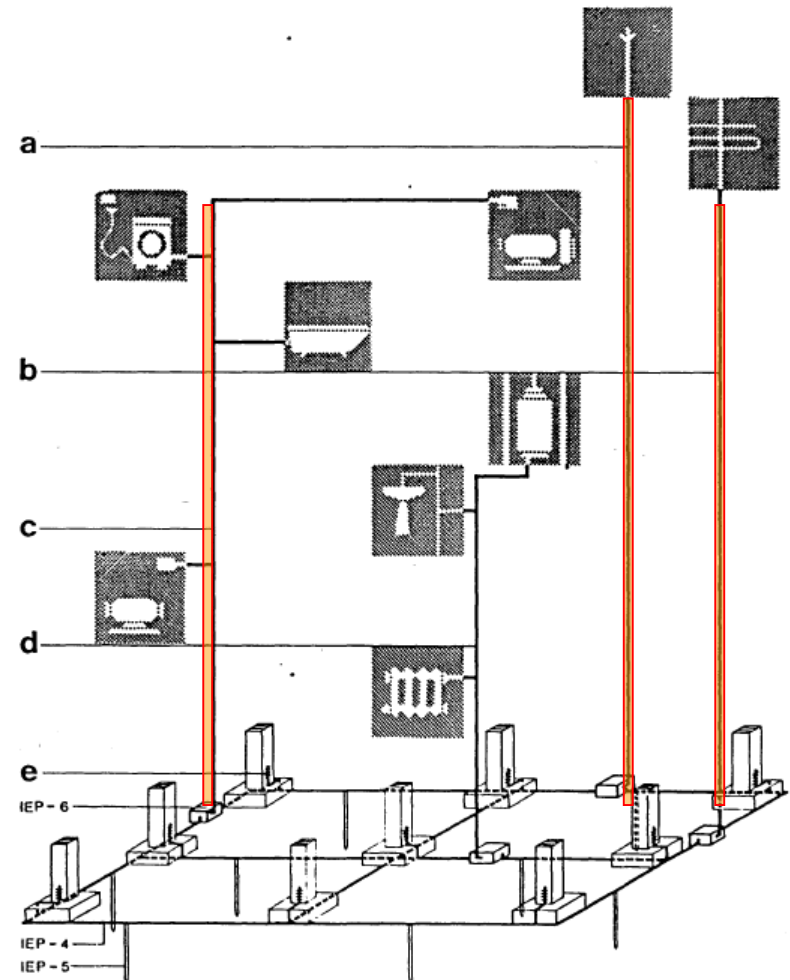
Electrod
o

Conduct
tierra

Bornes

Conduct
protecc

Conduct
equipot



Distribución de los conductores de protección de una puesta a tierra

Electrod
o

Conduct
tierra

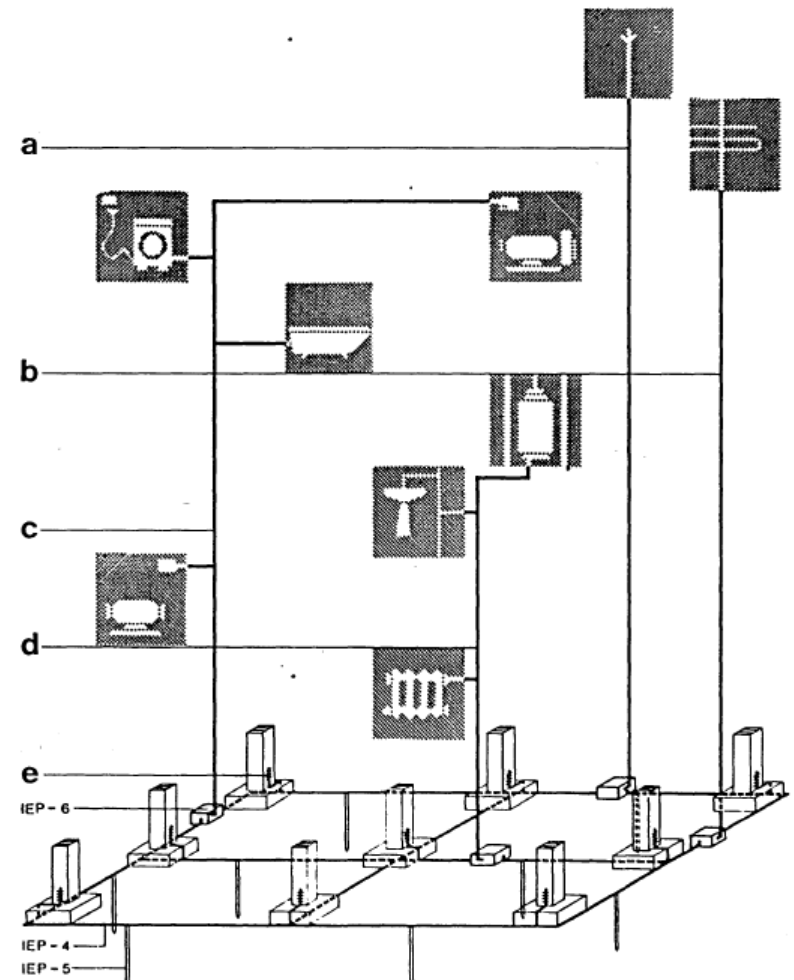
Bornes

Conduct
protecc

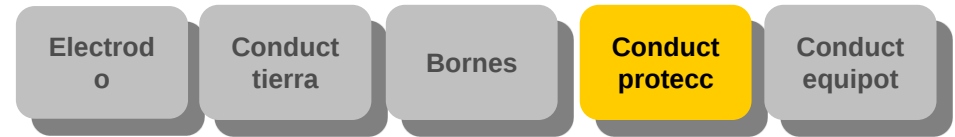
Conduct
equipot

En los edificios, se conectarán a la puesta a tierra :

- La instalación de pararrayos
- La instalación de antena colectiva de TV y FM
- Los enchufes eléctricos y las masas metálicas comprendidas e los aseos y baños
- Las instalaciones de fontanería, gas y calefacción, depósitos, calderas, guías de aparatos elevadores y en general todo elemento metálico importante
- Las estructuras metálicas y armaduras de muros y soportes de hormigón



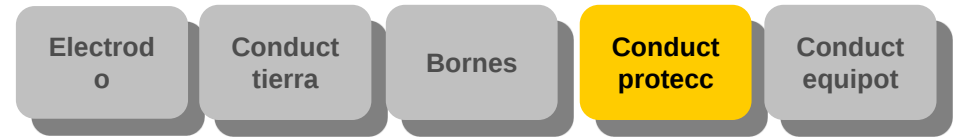
Conductores de protección



Los conductores de protección sirven para **unir eléctricamente las masas** de una instalación a ciertos elementos con el fin de asegurar su **protección contra los contactos indirectos**

En el circuito de conexión a tierra, los conductores de protección unirán las masas conductoras, susceptibles de ponerse en tensión en caso de defecto, al conductor de tierra a través del borne principal de tierra al que estarán conectados por medio de la línea principal de tierra y sus derivaciones.

Conductores de protección



Las partes conductoras encerradas en una **envolvente aislante** no deben estar conectadas a un conductor de protección

La **sección de los conductores** de protección debe ser suficiente para evacuar a tierra la máxima corriente de defecto que pueda presentarse en la instalación. La corriente máxima se producirá en caso de cortocircuito

Conductores de equipotencialidad

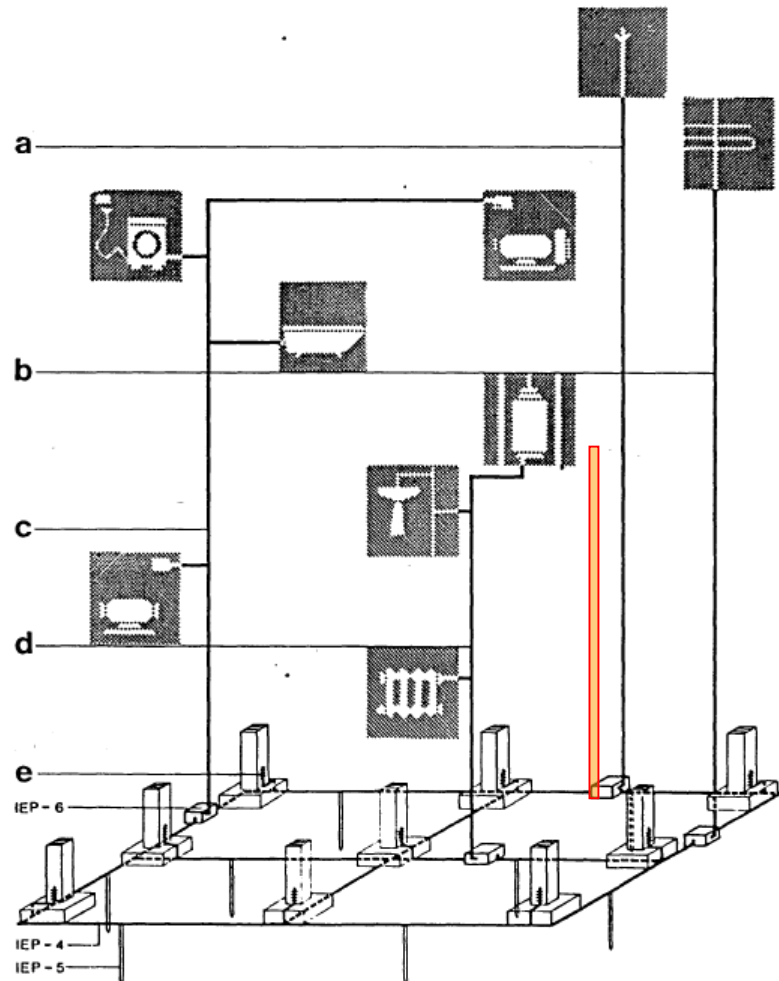
Electrodos
de puesta a
tierra

Conductores
de tierra

Bornes
principales
de tierra

Conductores
de
protección

Conductores de
equipotencialidad



Conductores de equipotencialidad

Electrod
o

Conduct
tierra

Bornes

Conduct
protecc

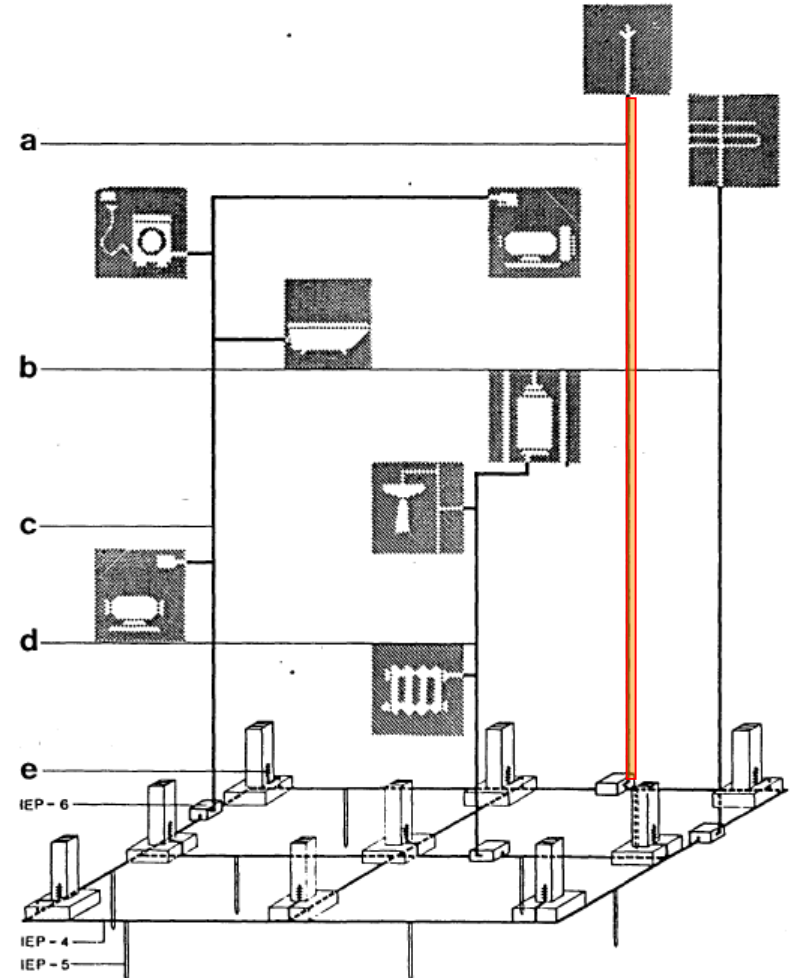
Conduct
equipot

Conductor de protección que asegura una **conexión equipotencial**, esto es, que pone al mismo potencial, o a potenciales prácticamente iguales, a partes conductoras simultáneamente accesibles. Como al resto de los conductores de protección, se identifican por la coloración amarillo-verde de su cubierta.

El conductor principal de equipotencialidad deberá tener una **sección** no inferior a la mitad del mayor conductor de protección de la instalación, con un mínimo de 6 mm². Sin embargo, su sección puede estar limitada a 2,5 mm², si es de cobre o a la sección equivalente si es de otro material conductor.

Cables de bajada del pararrayos

Cable bajada
pararrayos



Cables de bajada del pararrayos

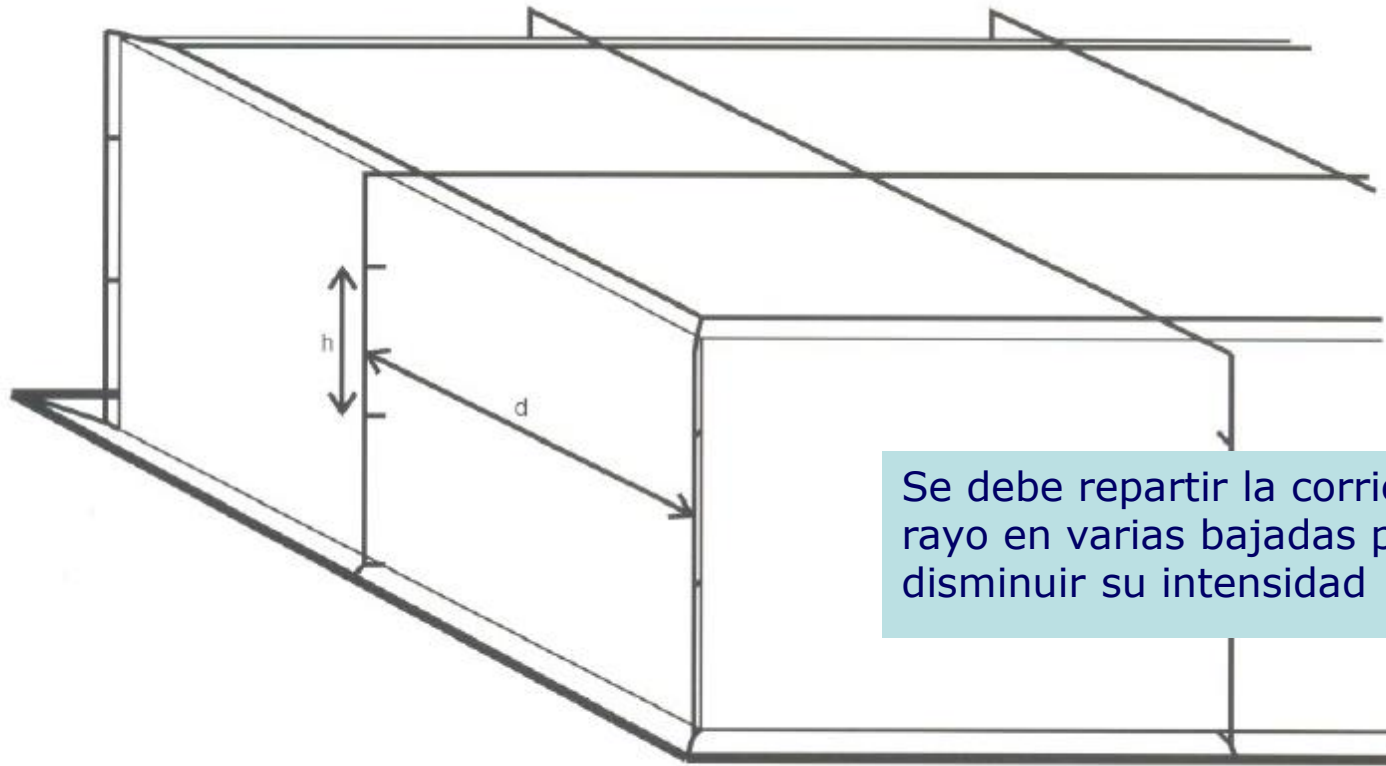


Figura 3 – Situación de los cables de bajada del pararrayos

Longitud de los electrodos de tierra frente al rayo

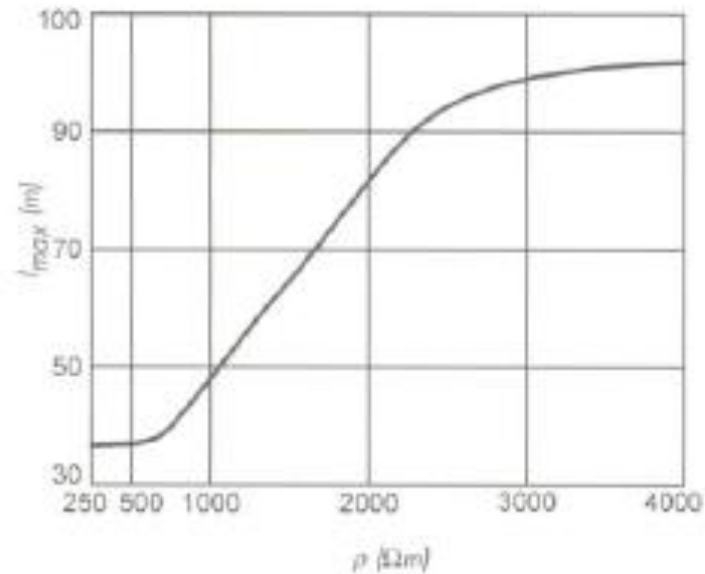


Figura 7 - Máxima longitud l_{max} de los electrodos de tierra frente al rayo en función de la resistividad del terreno y ρ

Pasos a seguir para el diseño de una instalación de puesta a tierra

1. Investigación de las características del suelo.
2. Determinación de las corrientes máximas de puesta a tierra y del tiempo máximo de eliminación del defecto.
3. Diseño provisional de la instalación de puesta a tierra.
4. Cálculo de la resistencia de esta puesta a tierra.
5. Cálculo de las tensiones de paso en el exterior de esta instalación.
6. Cálculo de las tensiones de paso y contacto en el interior de esta instalación.
7. Determinar que las tensiones de paso y contacto calculadas en los pasos 5) y 6) son inferiores a los valores máximos definidos en la tabla anterior.
8. Investigación de las tensiones transferibles al exterior por tuberías, raíles, vallas, conductores de neutro, armaduras de los cables, circuitos de señalización y de los puntos especialmente peligrosos, y estudio de las formas de eliminación o reducción.
9. Corrección y ajuste del diseño provisional estableciendo el definitivo.

Normas de Referencia

**Normas Técnicas de la
Edificación - España**

**INSTRUCCIONES
TÉCNICAS
COMPLEMENTARIAS**

**ITC-BT-18
ITC-BT-19
ITC-BT-26**