

SISTEMA DE PUESTA A TIERRAS

1. OBJETIVOS DEL SISTEMA DE PUESTA A TIERRAS

Bajo condiciones NORMALES de funcionamiento y de DEFECTO A TIERRA

Los principales objetivos a cumplir en las Instalaciones de puesta a tierra en las Centrales, Subestaciones y Centros de Transformación son

- ✓ Garantizar la seguridad y protección de las personas.
- ✓ Proteger los equipos y las instalaciones.
- ✓ Garantizar un camino rápido a las corrientes de defecto sin exceder los límites de operación de la red eléctrica. Perturbaciones del sistema:
 - Descargas atmosféricas.
 - Faltas trifásicas asimétricas.
 - Transitorios

2. PARTES QUE COMPONEN LAS INSTALACIONES DE PUESTA A TIERRA

- ✓ La Tierra (terreno)
- ✓ Se considera a potencial cero.
- ✓ Proporciona el camino de dispersión de las corrientes de falta o defecto.
- ✓ Se caracteriza por su resistividad " ρ " (naturaleza del terreno).
- ✓ Electrodo de puesta a tierra
- ✓ Pueden ser de Cobre, Aluminio o Acero, (Generalmente de cobre)
- ✓ Deben mejorar la equipotencialidad del suelo evitando que se produzcan gradientes de tensión elevados. • Estarán constituidos por una malla (tierras inferiores) enterrada a una determinada profundidad que permita reducir las tensiones de paso y contacto a niveles admisibles



Elementos que componen las instalaciones de puesta a tierra:

- **Electrodos de puesta a tierra**
 - Estarán constituidos por:
 - Picas
 - Cables
 - Placas
 - Mallas
 - Barras químicas



- **Arquetas y registros**



- **Uniones:**

Soldaduras aluminotérmicas (Cadweld)



Disposiciones más usadas en las instalaciones de puesta a tierra:

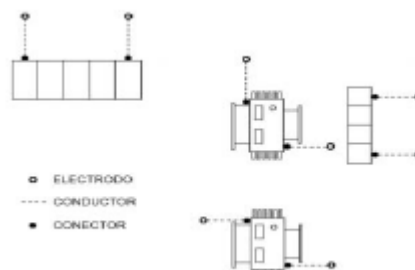
- **Zanjas**

Electrodo horizontal enterrado en el suelo a una profundidad variable



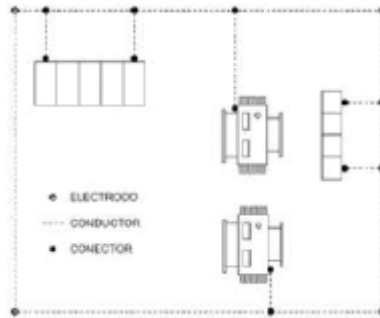
- **Radial**

Ramificaciones en ángulos de 60°, con longitudes de hasta 30 m
Se emplea en torres de comunicaciones



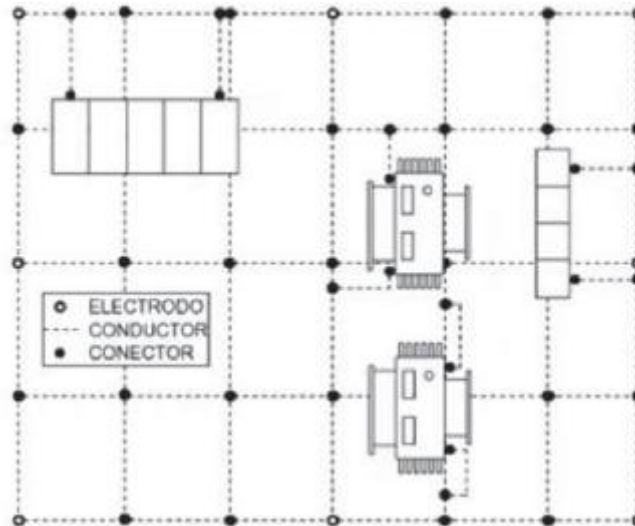
- **Anillo**

Habitual en los apoyos
Se pueden conectar electrodos en paralelo



• Mallas

- ✓ Electrodo horizontal enterrado con cables dispuestos horizontal y longitudinalmente, formando una cuadrícula.
- ✓ Se pueden conectar electrodos en paralelo.
- ✓ Limita los potenciales en el área de la subestación.
- ✓ Valores bajos de resistencia a tierra.
- ✓ Es la más habitual en las subestaciones



3. TIPOS DE PUESTA A TIERRA SEGÚN SU FUNCIÓN

Según la AEA y atendiendo a la función que desempeñan se distinguen:

- Tierras de PROTECCIÓN.
- Tierras de SERVICIO.

Tierras de PROTECCIÓN:

Une todas las partes metálicas de una instalación que no están en tensión normalmente, pero que pueden estarlo como consecuencia de averías, descargas atmosféricas o sobretensiones.

Se unirán a la malla metálica (al menos dos conductores).

Se conectarán a la tierra de protección:

- Chasis y bastidores de aparatos de maniobra.
- Bastidores de armarios metálicos.
- Puertas metálicas, vallas y cercas metálicas, columnas, bastidores, pórtico, etc.
- Las estructuras y armaduras metálicas de los edificios que alberguen instalaciones.
- Hilos de guarda, blindajes de los conductores.

- Carcasa de los transformadores,...

Tierras de PROTECCIÓN:

Une todas las partes metálicas de una instalación que no están en tensión normalmente, pero que pueden estarlo como consecuencia de averías, descargas atmosféricas o sobretensiones.

Se unirán a la malla metálica (al menos dos conductores).

Se conectarán a la tierra de protección:

- Chasis y bastidores de aparatos de maniobra.
- Bastidores de armarios metálicos.
- Puertas metálicas, vallas y cercas metálicas, columnas, bastidores, pórtico, etc.
- Las estructuras y armaduras metálicas de los edificios que alberguen instalaciones.
- Hilos de guarda, blindajes de los conductores.
- Carcasa de los transformadores,...



Tierras de SERVICIO:

Conectarán directamente los siguiente elementos:

- Neutros de transformadores de potencia o redes con neutro.
- Circuitos de B.T. de los transformadores de medida.
- Dispositivos de protección de sobretensiones y/o descargas atmosféricas; limitadores, descargadores, autoválvulas, etc.
- Seccionadores de PaT.

Se unirán a la malla metálica (sin uniones desmontables). Puede ser:

- ✓ Directa: conexión a tierra sin ningún elemento.
- ✓ Indirecta: a través de resistencias o impedancias limitadoras

Las tierras de PROTECCIÓN y de SERVICIO estarán unidas a la misma malla de tierras inferiores, constituyendo un único sistema de puesta a tierra general (Sistema de tierras interconectadas)

Tierras de TRABAJO O MANTENIMIENTO:

Para la protección del personal en operaciones de mantenimiento o reparaciones.



4. CONSIDERACIONES BÁSICAS DE SEGURIDAD EN LAS INSTALACIONES DE PUESTA A TIERRA

AEA establece como de obligado cumplimiento a fin de garantizar la seguridad y protección de las personas y equipos las siguientes prescripciones básicas referentes a:

- Corrientes tolerables por el cuerpo humano.
- Tensiones máximas aplicables al cuerpo humano.
- Dimensionamiento.

Corrientes tolerables por el cuerpo humano:

Se considera que un valor seguro para un corazón sano es de $I < 25 \text{ mA}$ con tiempos de aplicación de 0.03 a 3 sg

El diseño de la puesta a tierra debe garantizar que no se alcancen.

Tensión de contacto aplicada admisible (valor máximo), Uca:

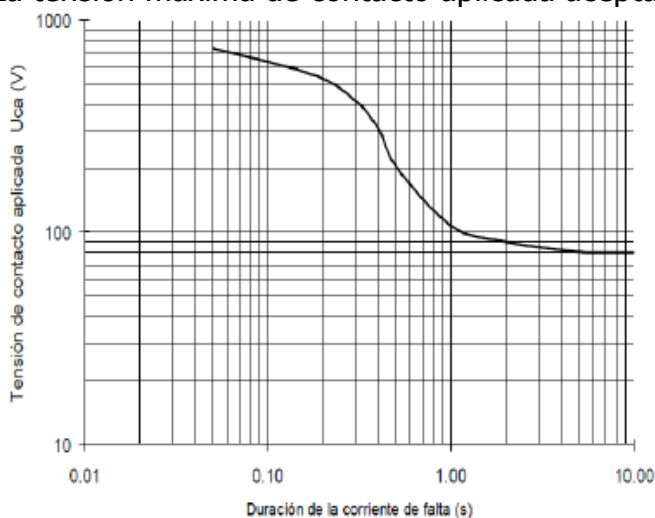
Valores máximos de Uca a los que puede estar sometido el cuerpo humano entre la mano y los pies

Tensión de contacto aplicada admisible

Según AEA

Tensión de contacto aplicada admisible (valor máximo), Uca:

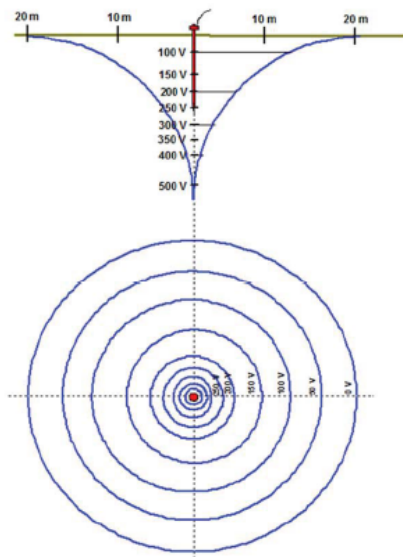
La tensión máxima de contacto aplicada aceptable, en función de la duración de la falta:



Duración de la corriente de falta, t: (s)	Tensión de contacto aplicada admisible, Uca (V)
0.05	735
0.10	633
0.20	528
0.30	420
0.40	310
0.50	204
1.00	107
2.00	90
5.00	81
10.00	80
> 10.00	50

5. TENSIONES DE PASO Y CONTACTO

CONO DE TENSIONES DE UN ELECTRODO VERTICAL

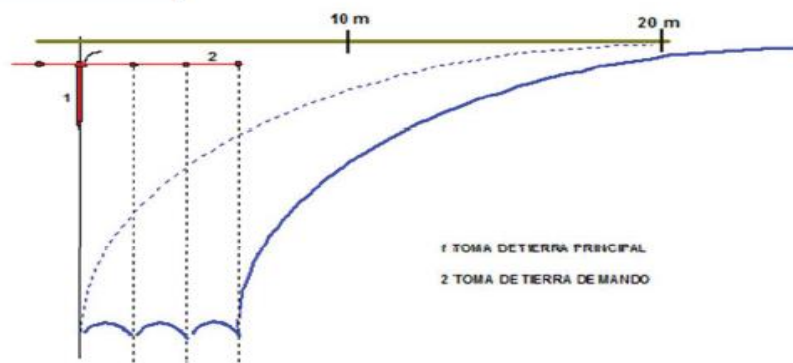


En las proximidades circundantes al electrodo, la caída de tensión es máxima en la vertical de la toma de tierra y disminuye a medida que aumenta la distancia radial desde la toma de tierra.

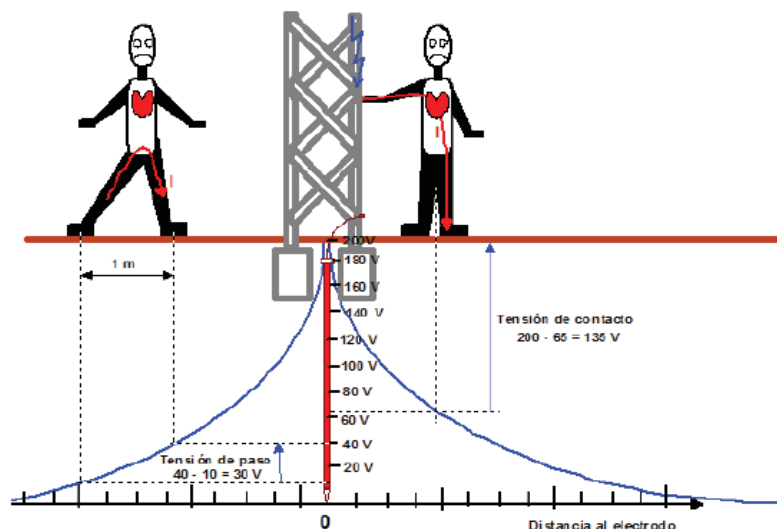
Se forma un “cono de tensión”

- Las **tensiones de contacto** ocasionan los mayores gradientes de tensión.
 - Interior de las subestaciones
 - Pie de las estructuras
 - Soportes de las líneas eléctricas.
- Las **tensiones de paso** originan menores gradientes de tensión. Pueden ser mayores en
 - La periferia
 - Estructuras o soportes de las líneas eléctricas.

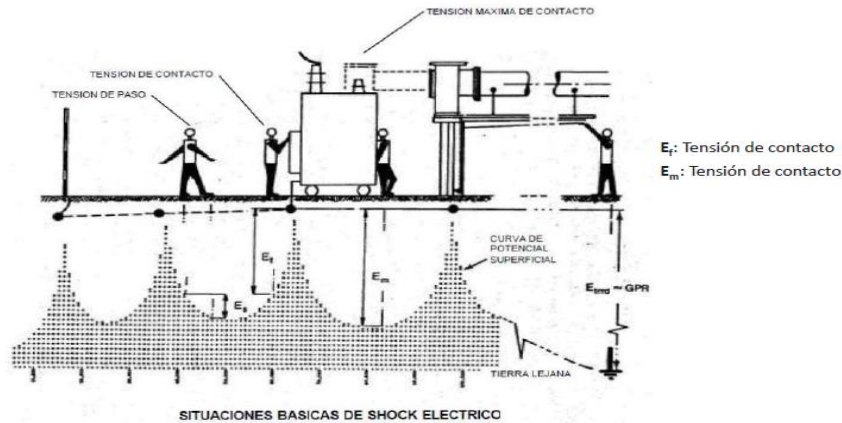
PUESTA A TIERRA DE MANDO



Valores de las Tensiones de Paso (V_p) y Contacto (V_c) en el caso de producirse una intensidad de falla en un apoyo de una línea aérea.

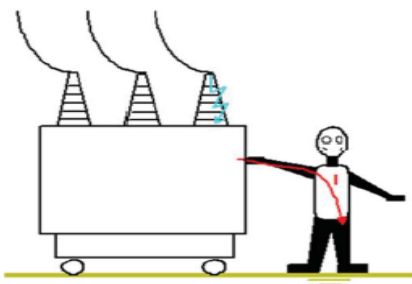


SITUACIONES BÁSICAS DE SHOCK ELÉCTRICO



Fuente: Norma IEEE-Std 80-2000

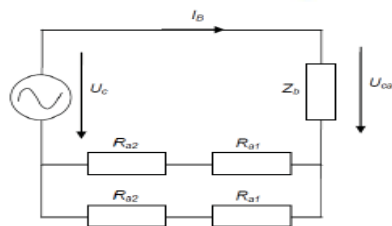
TENSIÓN DE CONTACTO



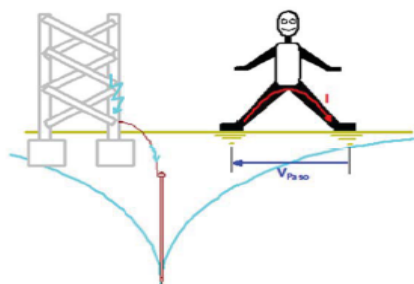
Diferencia de potencial existente entre la mano y el pie de una persona que este momento está en contacto con el electrodo de tierra y pisando el terreno a cierta distancia del mismo.

Tensión máxima de contacto admisible:

$$U_c = U_{ca} \left[1 + \frac{R_{a1} + R_{a2}}{2Z_B} \right] = U_{ca} \left[1 + \frac{\frac{R_{a1}}{2} + 1,5\rho_S}{1000} \right]$$



TENSIÓN DE PASO



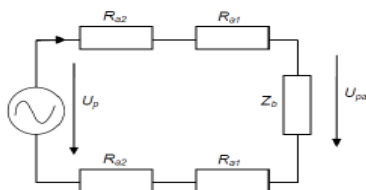
Diferencia de potencial existente entre dos puntos del terreno situados a 1,0 m de distancia entre sí en dirección al electrodo de tierra.

Afectaría a una persona que se encuentra caminando en las cercanías del electrodo de tierra en el momento de la avería.

Es tanto mayor cuanto más cerca se encuentre del electrodo.

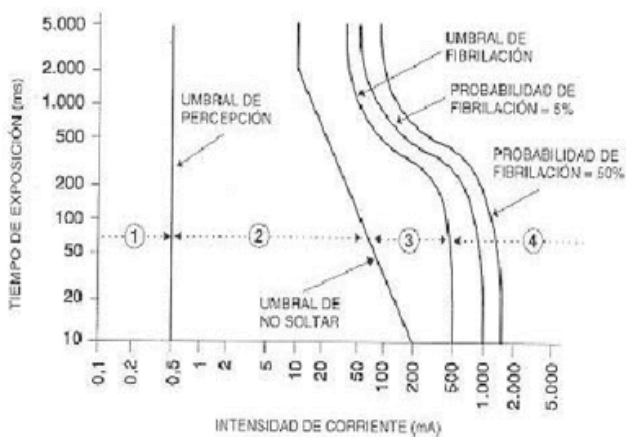
Tensión máxima de paso admisible:

$$U_{pa} = 10 \cdot U_{ca}$$



$$U_p = U_{pa} \left[1 + \frac{2R_{a1} + 2R_{a2}}{Z_B} \right] = 10U_{ca} \left[1 + \frac{2R_{a1} + 6\rho_S}{1000} \right]$$

EFFECTOS FISIOLÓGICOS EN EL CUERPO HUMANO



(1) Umbral de Percepción

Percepción: 1mA

Corriente de soltar: 1 mA ÷ 6 mA

(2) Umbral de No Soltar

Corriente de NO soltar: 9 mA ÷ 25 mA; Dolorosa.

Corriente mayores: Contracciones musculares, dificultar respiratoria.

(3) Umbral de fibrilación ventricular:

Corriente de fibrilación: 60 mA ÷ 100 mA.

Paro cardíaco y/o respiratorio.

Se debe mantener por debajo de estos valores mediante un diseño adecuado del sistema de Puesta a tierra.

Corriente que circula por el cuerpo

$$I_B = \sqrt{\frac{S_B}{t_s}} = \frac{K}{\sqrt{t_s}}$$

I_B : Valor eficaz de la corriente que circula por el cuerpo (A)

t_s : Duración de la corriente circulante (s)

K: Variable empírica determinada en función del peso de la persona:

$$K = \sqrt{S_B}$$

Para una persona de 70 Kg; K = 0,157

6. CÁLCULO DE LA RESISTENCIA DE LA MALLA DE TIERRA

Según UNE, IEEE Std. 80-2000

Ecuaciones de Schwarz; Cálculo de la Resistencia considerando adicionales (picas, placas, etc.)

Resistencia combinada (Malla + Picas):
$$R_{combinada} = \frac{R_1 \cdot R_2 + R_m^2}{R_1 + R_2 - 2R_m} (\Omega)$$

Resistencia de tierra de la malla (R1):
$$R_1 = \frac{\rho}{\pi \cdot L_m} \cdot \left[\ln \left(\frac{2L_m}{a'} \right) + \frac{K_1 \cdot L_m}{\sqrt{A}} - K_2 \right] (\Omega)$$

Resistencia de tierra de las picas (R2):
$$R_2 = \frac{\rho}{2\pi \cdot n_p \cdot L_p} \cdot \left[\ln \left(\frac{4L_p}{b} \right) - 1 + \frac{2K_1 \cdot L_p}{\sqrt{A}} \cdot (\sqrt{n_p} - 1)^2 \right] (\Omega)$$

Resistencia mutua (Rm):
$$R_m = \frac{\rho}{\pi \cdot L_m} \cdot \left[\ln \left(\frac{2L_m}{L_p} \right) + \frac{K_1 \cdot L_m}{\sqrt{A}} - K_2 + 1 \right] (\Omega)$$

Es necesario conocer datos de Potencias de cortocircuito o Intensidades de cortocircuito, y valores de impedancias características de las líneas.

Para el cálculo de las corrientes de defecto y de puesta a tierra, se ha de tener en cuenta la forma de conexión del neutro a tierra, así como la configuración y características de la red durante el periodo subtransitorio.

Es necesario conocer los valores de las impedancias equivalentes de los cables de tierra de las líneas aéreas y/o de las pantallas de los cables subterráneos.

En el caso de redes con neutro a tierra (rígido o a través de impedancia), se considera el valor de la **Intensidad de la corriente puesta a tierra (IE)** que provoca la elevación del potencia de la instalación a tierra.

