

Sistemas de puesta tierra, continuidad y protección

¿Qué función cumple el sistema
de puesta a tierra?

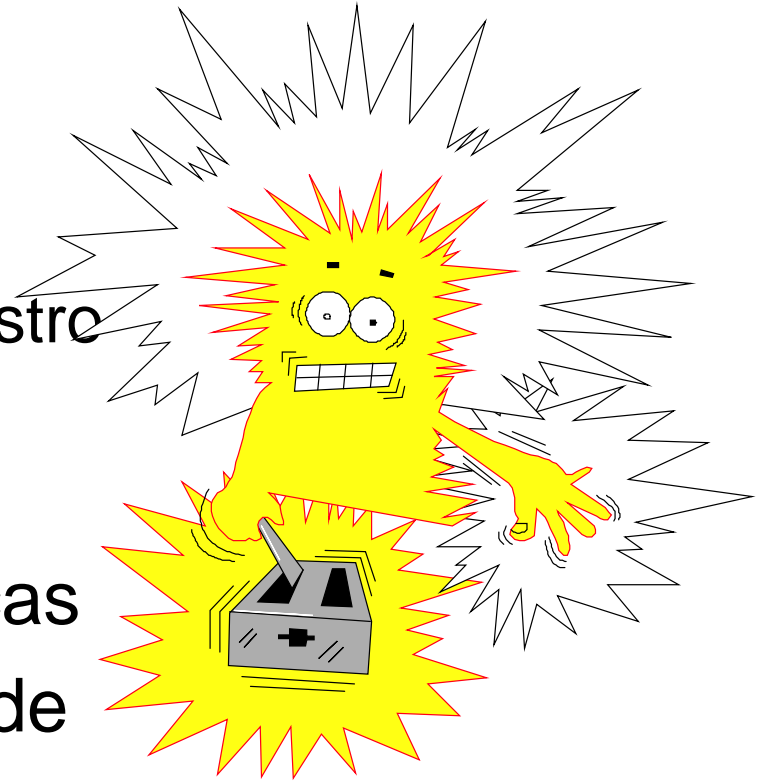
¿Grounding or bonding?

Tres razones para la puesta a tierra



Razones para la Puesta a tierra

- Seguridad Personal
- Protección contra altas tensiones
 - Fallas de la red de suministro
 - Descargas atmosféricas (Lightning)
- Disipar cargas electrostáticas
- Proporcionar la referencia de 0 Voltios



Normas de referencia para la puesta a tierra y la conexión

- ***El Código Nacional de Electricidad***

Indica requerimientos de ***seguridad mínimos.***

- ***La norma ANSI/TIA/EIA-607***

Requerimientos de puesta a tierra y conexiones para Sistemas de telecomunicaciones en edificios comerciales.

Recomendaciones para ***mejorar el desempeño.***

Normas de referencia para la puesta a tierra y la conexión

- *Serie de normas IEC 62305*

Protección contra el Rayo

1. Principios generales
2. Evaluación del riesgo
3. Daño físico a estructuras y riesgo humano
4. Sistemas eléctricos y electrónicos en estructuras

- *Norma ANSI/NFPA 780*

Sistemas de protección contra descargas atmosféricas para Edificios

Normas de referencia para la puesta a tierra y la conexión

- ***Norma ANSI/NFPA 77***

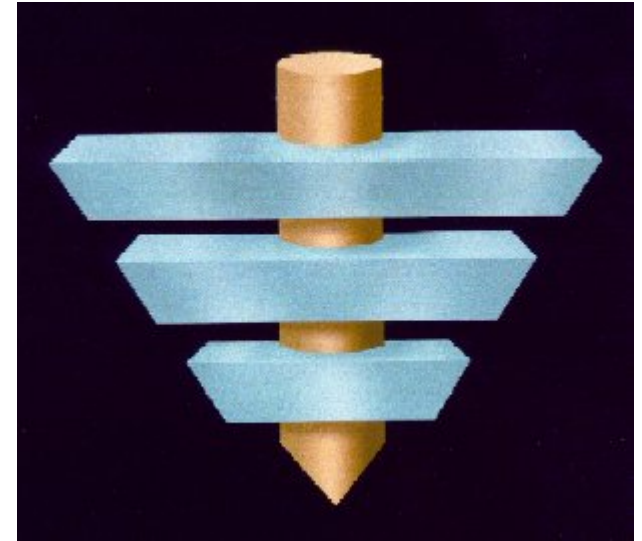
Practicas Recomendadas para la Electricidad estática

- ***Norma IEEE Standard 142-1991***

Puesta a tierra de Sistemas de energía Industriales y Comerciales

¿Que es puesta a tierra (grounding) y conexión a tierra (Bonding)?

- Se suele usar rutinariamente los términos ***puesta a tierra (grounding)*** y ***conexión equipotencial a tierra (bonding)*** intercambiándolos.
- ¿significan lo mismo?



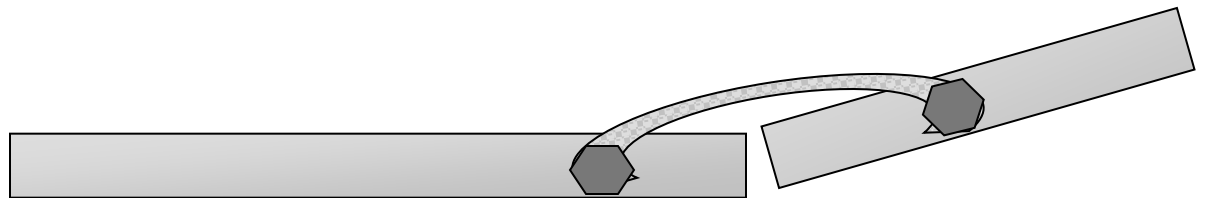
Puesta a Tierra (grounding)

- “Una conexión conductora, ya sea intencional o accidental, entre un circuito o equipo eléctrico y la tierra, o algún cuerpo conductor que sirva en su lugar de tierra.”



Conexión equipotencial a tierra (Bonding)

- “La conexión permanente de partes metálicas para formar una trayectoria conductora eléctrica que asegura la continuidad eléctrica y la capacidad de conducir de manera segura cualquier corriente que le sea impuesta.”



Puesta a tierra y conexión equipotencial en una instalación.

El sistema de puesta a tierra de la edificación se conecta a todos:

- Dispositivos de protección de los circuitos.
- Partes metálicas no conductoras de corriente de:
 - Conduits y canaletas
 - Racks de los Equipos
 - Conductores
 - Equipo Eléctrico

Sistemas de Protección

- Los sistemas de protección de la instalación son:
 - Protección del sistema de potencia.
 - Puesta a tierra y conexión equipotencial a tierra eléctrica.
 - Protección contra descargas atmosféricas.
 - Puesta a tierra y conexión equipotencial del sistema de Telecomunicaciones.

La puesta a tierra y el enlace Equipotencial - CNE

La puesta a tierra y el enlace equipotencial sirven para:

1. Proteger y cuidar la vida e integridad física de las personas de las consecuencias que puede ocasionar una descarga eléctrica, y evitar daños a la propiedad, enlazando a tierra las partes metálicas; y
2. Limitar las tensiones en los circuitos cuando queden expuestos a tensiones superiores a su diseño; y

La puesta a tierra y el enlace Equipotencial - CNE

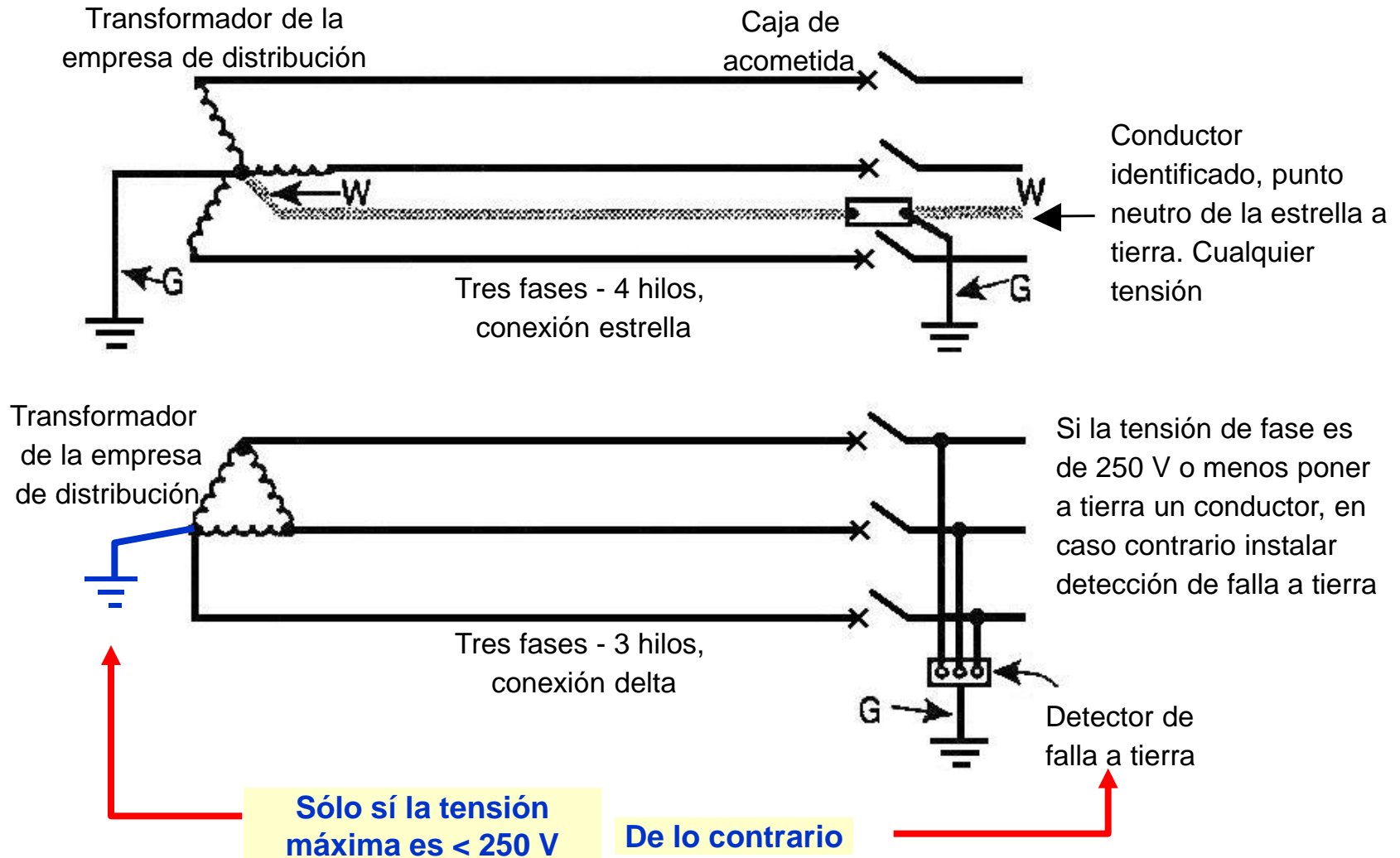
3. **Limitar las sobretensiones** por descargas atmosféricas en aquellos circuitos que están expuestos a estos fenómenos; y
4. **Facilitar la operación** segura de equipos y sistemas eléctricos.

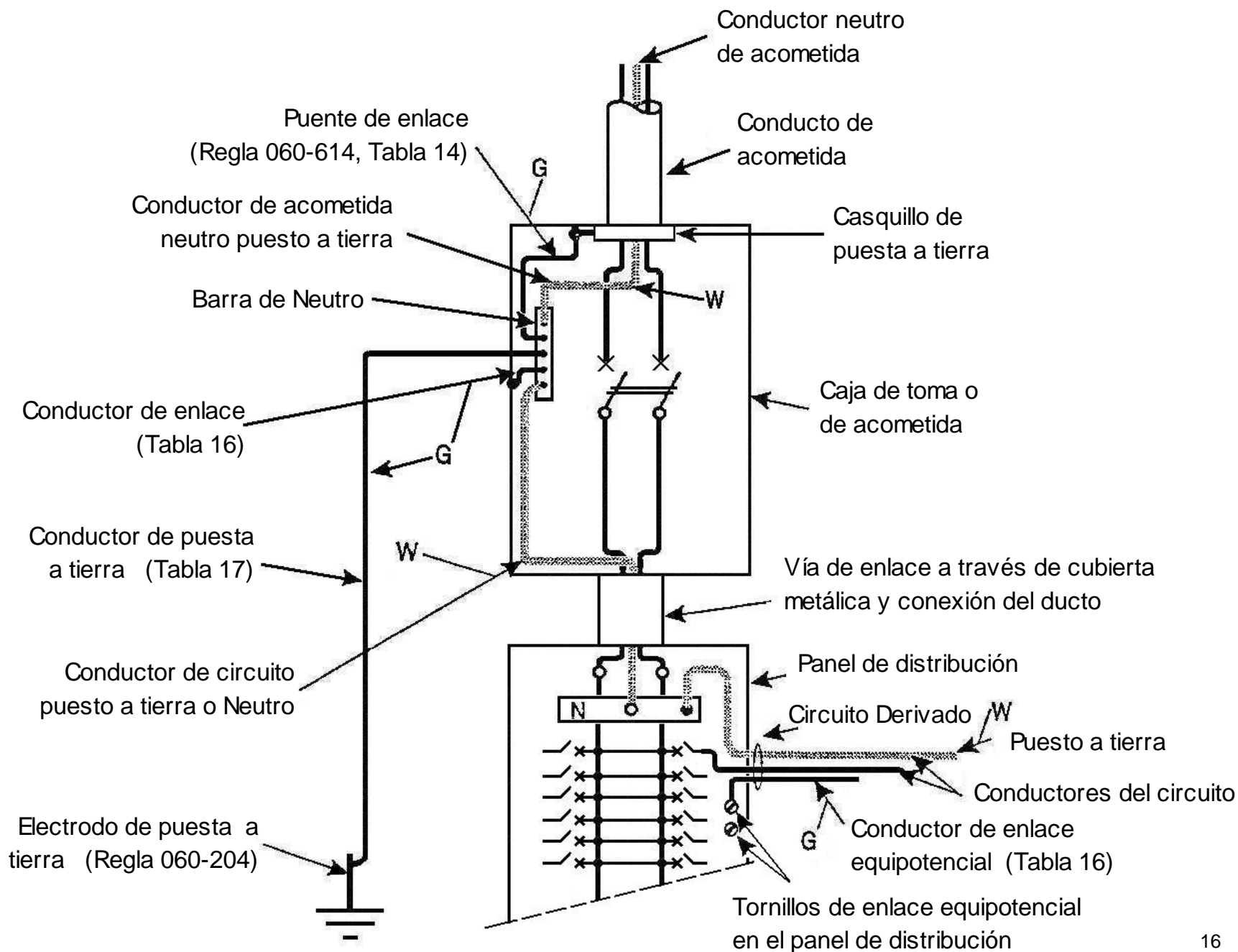
La puesta a tierra de sistemas y circuitos - CNE

Sistemas de Corriente Alterna

- Salvo que el Código establezca algo específico, los sistemas de corriente alterna deben ponerse a tierra sí:
 - Su máxima tensión a tierra no excede 250 V;
o
 - El sistema tiene conductor neutro.
- Los sistemas de alambrado interior, que son alimentados **por redes sin puesta a tierra**, deben estar equipados con un dispositivo adecuado **que detecte e indique la presencia de una falla a tierra.**

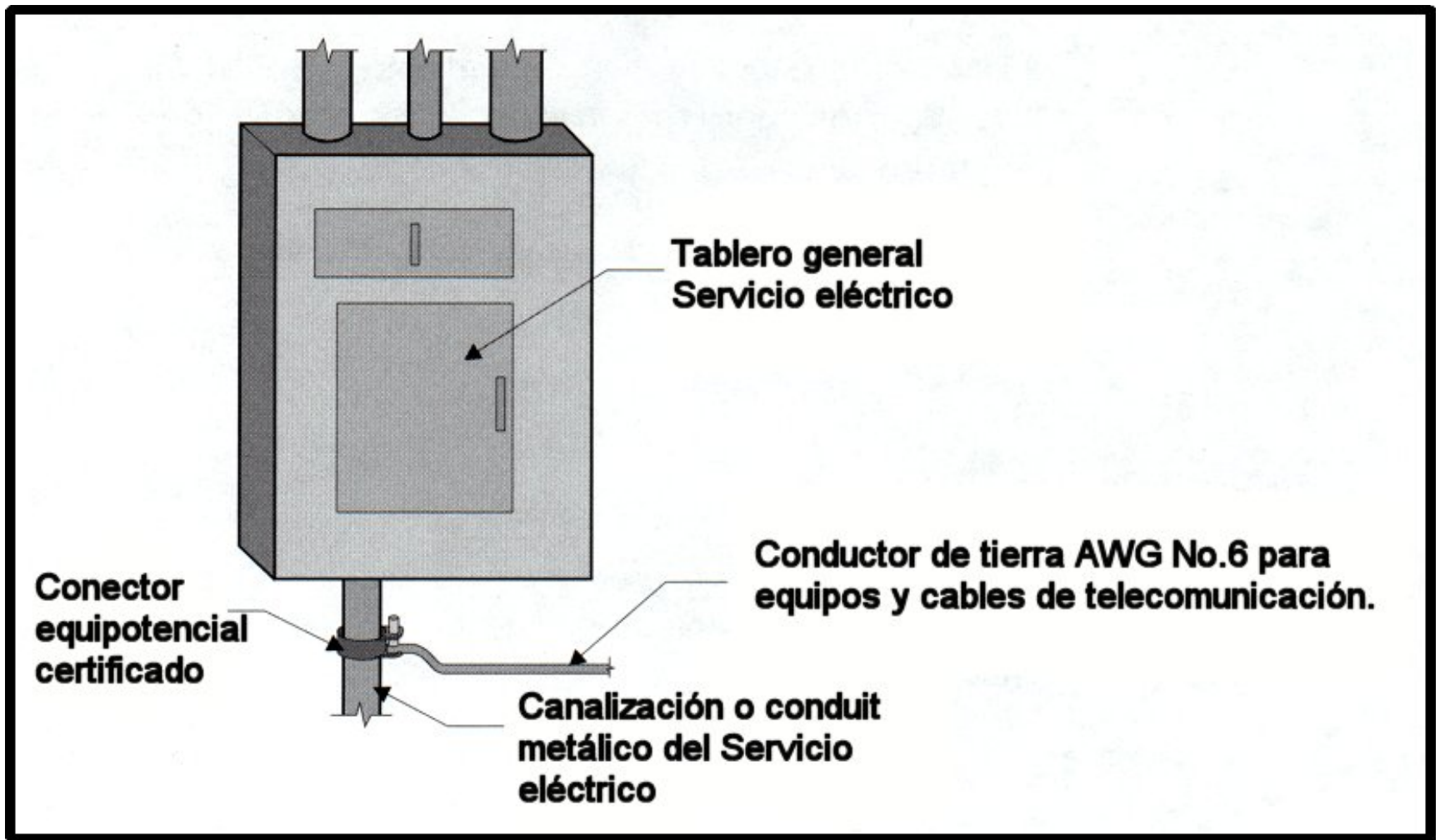
La puesta a tierra de sistemas y circuitos - CNE





Nota: No se muestra el equipo de medición

Conexión a la puesta a tierra del Servicio Eléctrico



Protección del Sistema de potencia

- Uso de pararrayos (Surge arresters o DPSs)
Los cuales desvían las corrientes de impulso que ingresan por los conductores de la alimentación. Desconexión del Servicio
- Dispositivos de protección por sobre corriente como Interruptores automáticos en los circuitos individuales.
- Dispositivos de protección contra fallas de aislamiento.

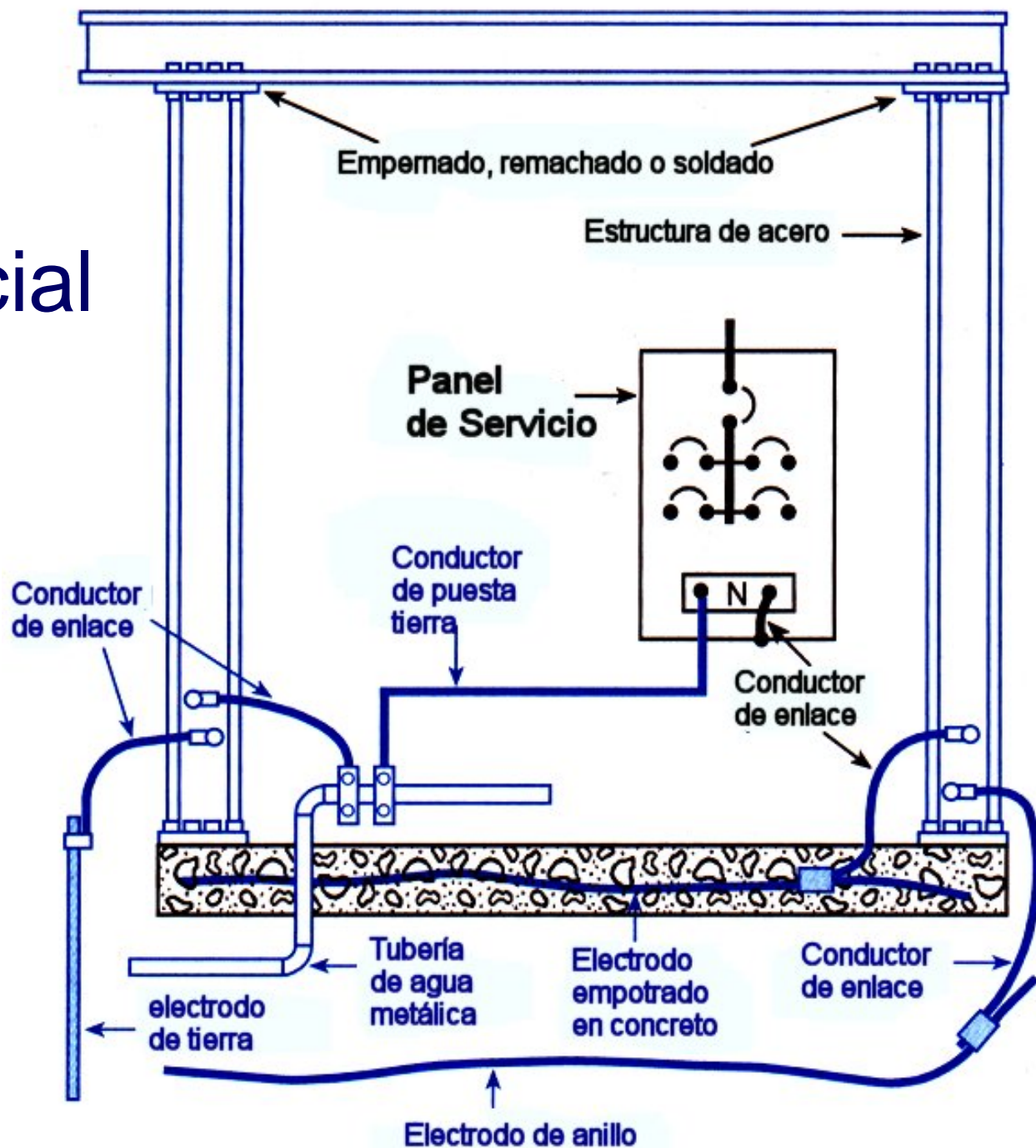
Puesta a tierra y enlace del Sistema eléctrico.

- El sistema eléctrico y los objetos metálicos son equipotencializados para limitar tensiones peligrosas debido a:
 - Fallas de la red de alimentación o de sus componentes.
 - Descargas atmosféricas
 - Otros transitorios

Puesta a tierra y enlace equipotencial del Sistema eléctrico.

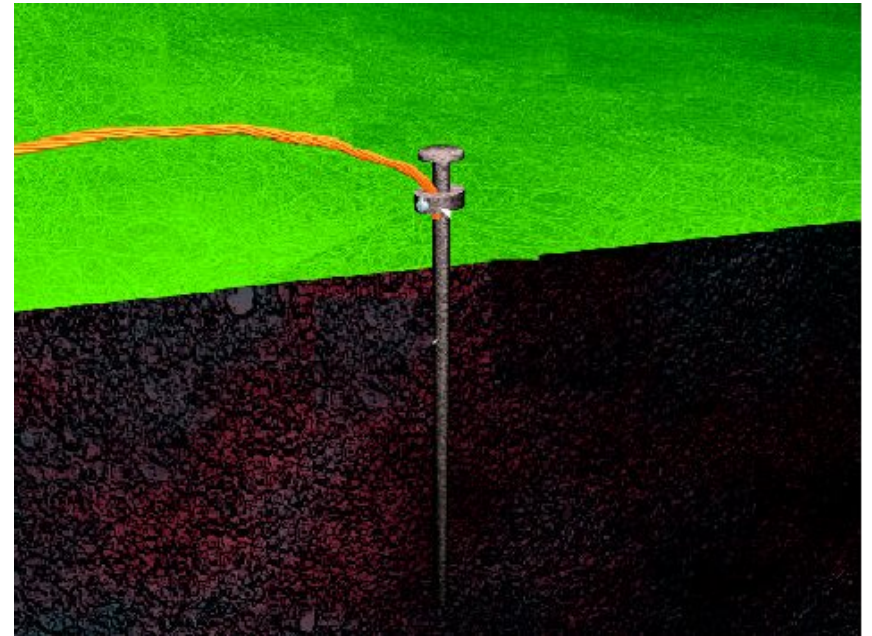
- El CNE requiere el enlace equipotencial de:
 - Paneles y bandejas de canalización metálicas
 - Los conductores de puesta a tierra de los Equipos
 - El neutro del servicio eléctrico.

Enlace equipotencial de los electrodos de puesta a tierra



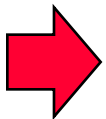
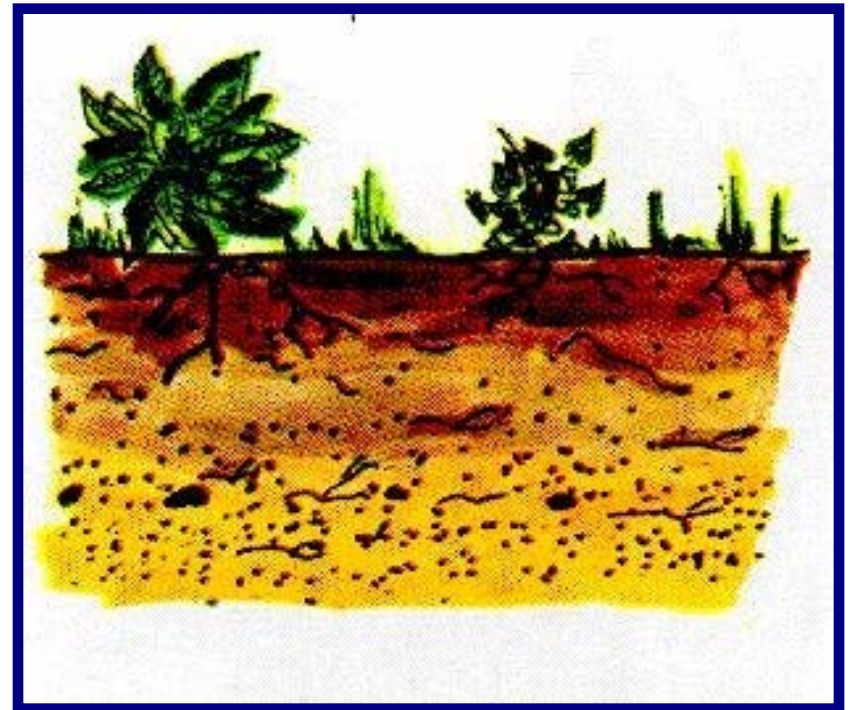
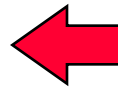
Componentes de la puesta a tierra

1. El terreno
2. El electrodo de puesta a tierra
3. El conductor de conexión a la puesta a tierra (La red de tierra)



El terreno

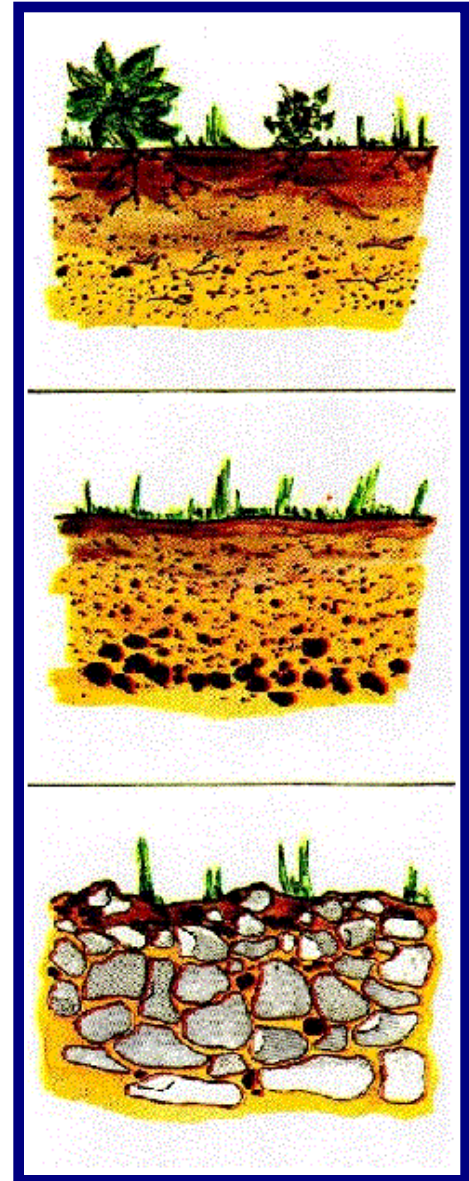
- En un sistema de puesta a tierra, *el terreno* juega un papel fundamental, ya que es el encargado de disipar las corrientes de falla ó las descargas atmosféricas.
- El comportamiento eléctrico del terreno es definido por su ***RESISTIVIDAD.***



El tipo de terreno

La resistividad del terreno puede ser:

- *Terreno orgánico, de 10 a 200 Ohm-m. (1)*
- *Terreno con piedras, de 400 a 800 Ohm-m. (2)*
- *Terreno rocoso, mayor de 1000 Ohm-m. (3)*



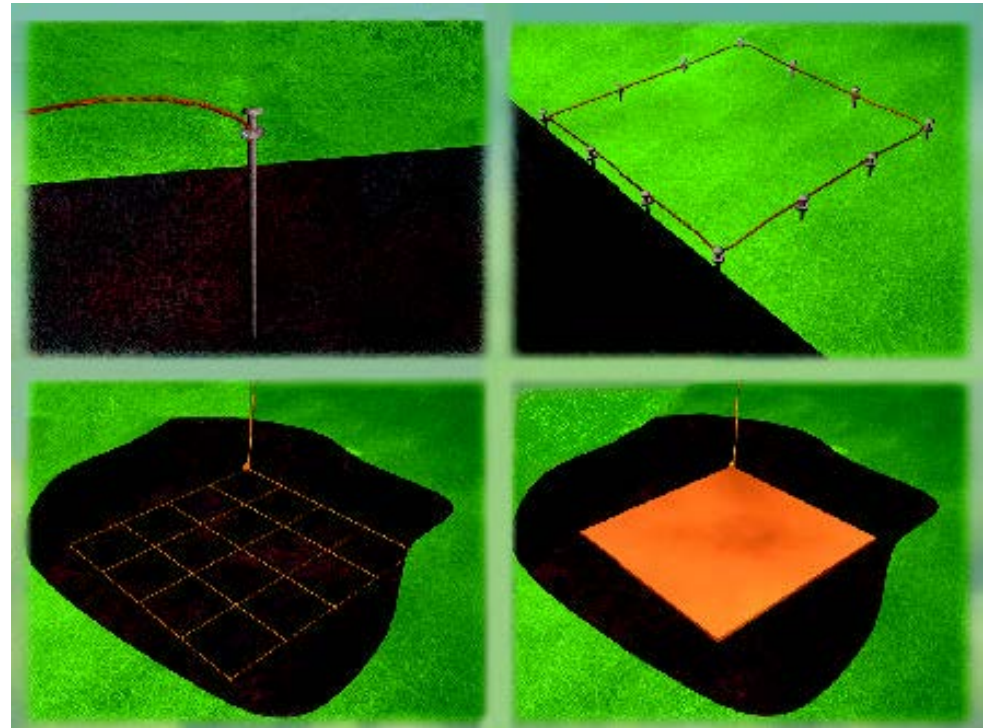
PARTES DE LA PUESTA A TIERRA

El terreno

NATURALEZA DEL TERRENO	Resistividad en Ω - m
Terrenos Pantanosos	De algunas unidades a 30
Limo	20 a 100
Humus	10 a 150
Turba Húmeda	5 a 100
Arcilla Plástica	50
Marga y Arcillas Compactas	100 a 200
Margas del jurásico	30 a 40
Arena Arcillosa	50 a 500
Arena Silícea	200 a 300
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
Roca de Mica o Cuarzo	500 a 5000
Granito y Gres procedentes de Alteraciones	1,500 a 10,000
Roca Ígnea	5,000 a 15,000

El electrodo de puesta a tierra

- Conductor metálico en contacto con la tierra, usado para establecer un camino de baja resistencia a la tierra
- La elección del electrodo a utilizar en la puesta a tierra es función de los requerimientos de diseño:
 - La resistencia de puesta a tierra deseada.
 - Las dimensiones del terreno disponible para su ejecución



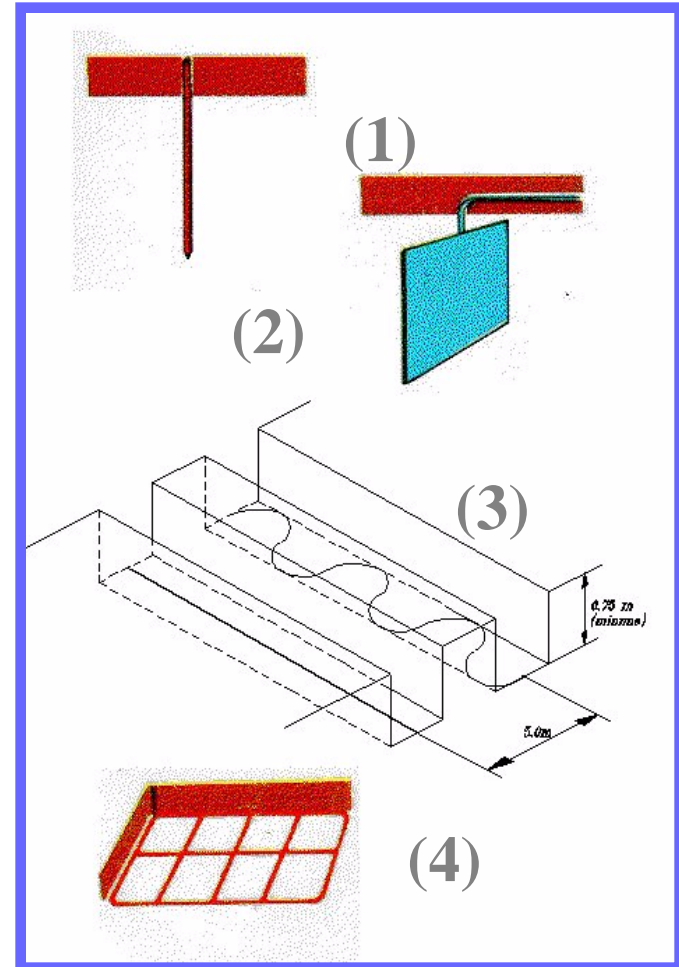
Resistencia de puesta a tierra

Protección del Sistema Eléctrico

- En general - el valor de la resistencia de la puesta a tierra debe ser tal que, cualquier masa no pueda dar lugar a tensiones de contacto superiores a las permitidas y no debe ser $> 25 \Omega$.
- Cuando un electrodo simple, tenga una resistencia a tierra mayor de 25Ω , es necesario instalar electrodos adicionales a una distancia mayor o igual a 2 m o igual a la longitud del electrodo; o se debe emplear cualquier otro método alternativo.
- En sistemas electrónicos sensibles (telecomunicaciones, control, etc) es común buscar una resistencia de puesta tierra menor a 10Ω .

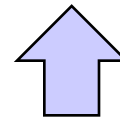
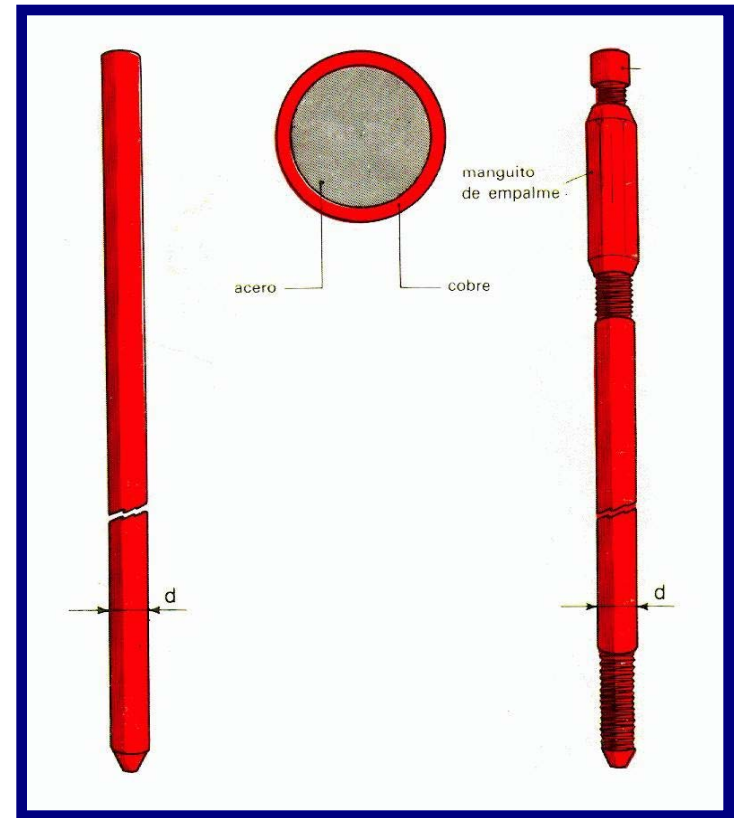
Tipos de Electrodo

- Las varillas o jabalinas (1)
- Las planchas (2)
- Los conductores enterrados (3)
- Los anillos y mallas (4)



Los electrodos de varilla

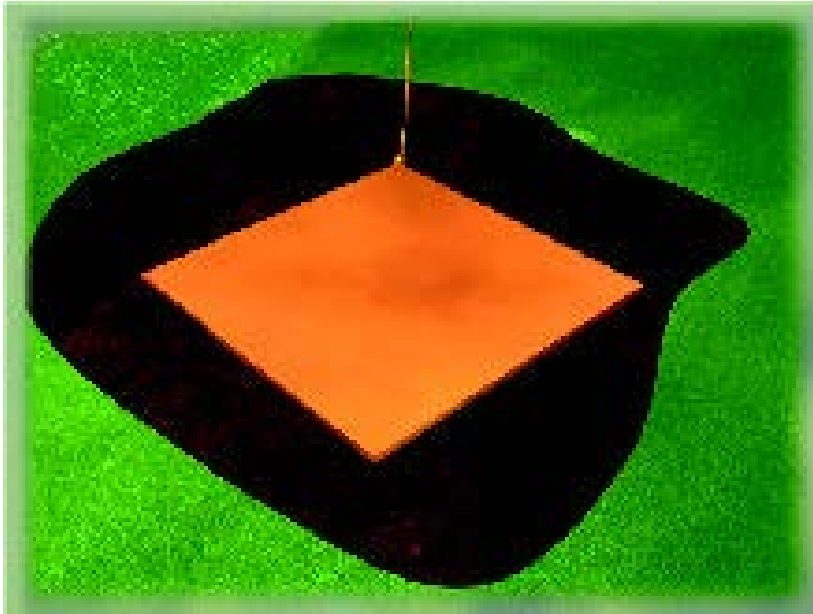
- Son electrodos cilíndricos que se introducen en el terreno en forma vertical generalmente.
- **Barras redondas de cobre o acero recubierto con cobre** (12 mm ó 1/2" de diámetro o más)
- Barras redondas de acero galvanizado (25 mm ó 1" de diámetro exterior como mínimo)



Los electrodos de varilla (CNE)

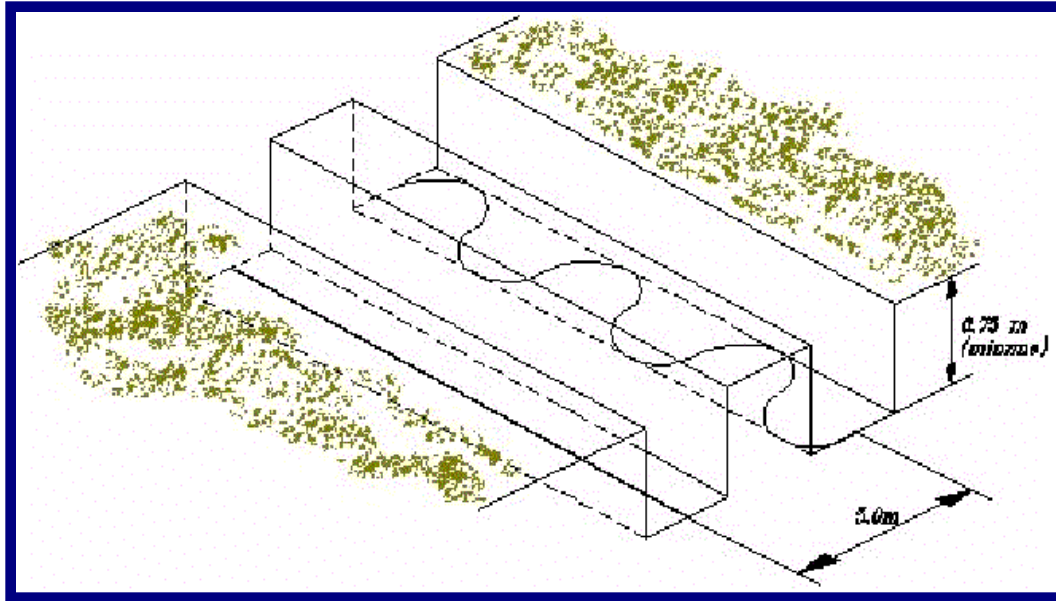
- Diámetro no menor de 16 mm de Cu o metal ferroso revestido con Cu; y
- Longitud no menor de 2 m; y
- Superficie metálica limpia que no esté cubierta con pintura, esmalte u otro material; y
- Profundidad no menor de 2,5 m para cualquiera que sea el tamaño o número de varillas, excepto que:
 1. Donde se encuentre **roca 1,2 m**, y el resto de la varilla debe ser **enterrado a no menos de 600 mm**; o
 2. Roca a una **profundidad < 1,2 m**, la varilla debe ser enterrada por lo menos a **600 mm bajo el piso terminado**, en una zanja horizontal.

Las Planchas



- Son electrodos de forma rectangular que ofrecen una gran superficie de contacto con el terreno.
- En nuestro país, no se suele utilizar este tipo de electrodo.
- ***Las planchas suelen ser de cobre, se recomienda usar una área de 0,5 m² y espesor de 1,5 mm***

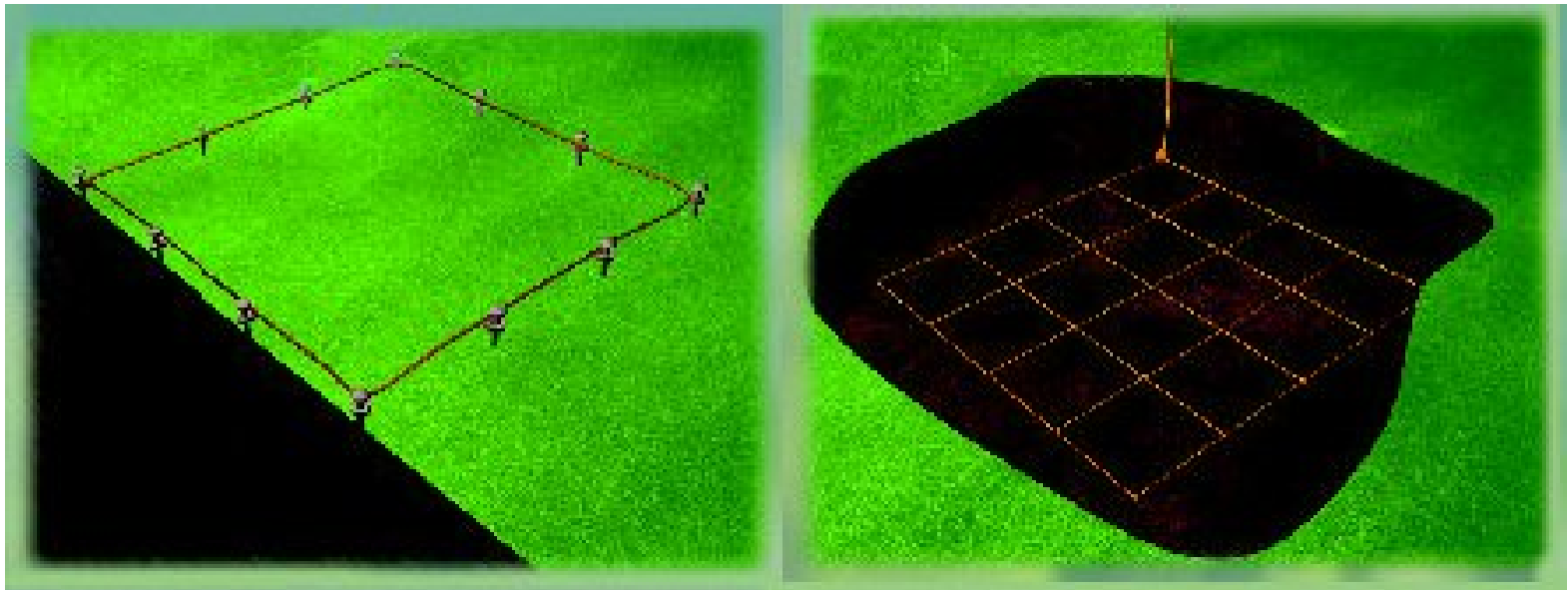
Los Conductores enterrados



- Electrodos enterrados horizontalmente debajo de las cimentaciones de los edificios. Longitud mínima es 6 m y el material.
 - **Conductores alambrados de cobre desnudo, sección mínima es 35 mm^2**
 - **Cintas de cobre de $1/20'' \times 38$ o $50 \text{ mm} \times$ Longitud**

Las Mallas y los anillos

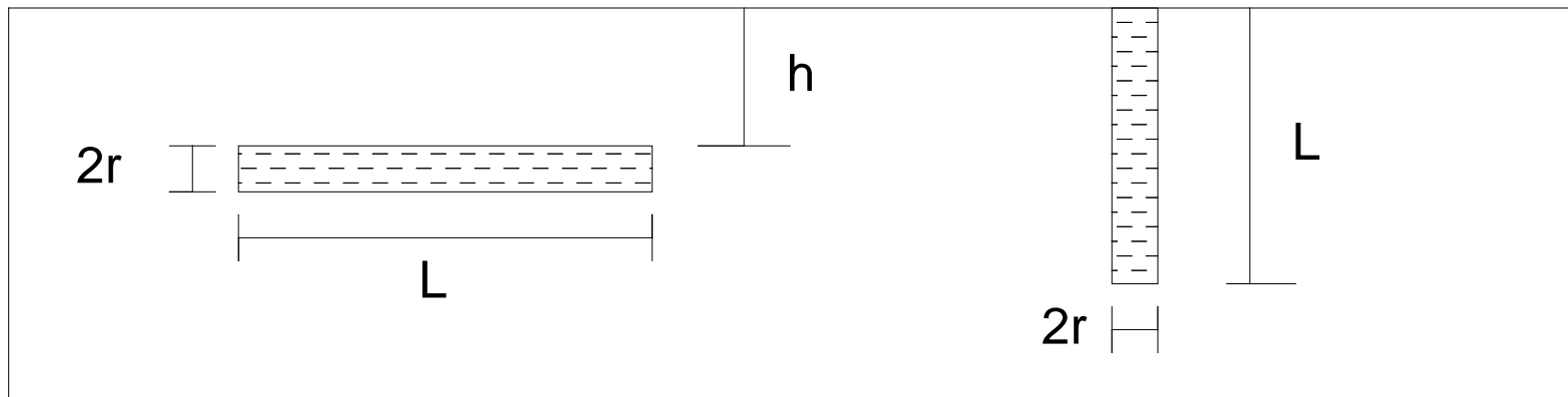
- Malla de electrodos de puesta tierra conectados para alcanzar una resistencia de tierra muy baja.
- Una forma de crear una malla de puesta a tierra es aprovechar la estructura y cimentación del edificio.
- Las mallas se suelen usar en sistemas de protección contra las descargas electrostáticas, p.e. Instalaciones de combustibles, de manejo de gases, en lugares peligrosos.



Cálculo de la resistencia de puesta a tierra

CABLE (HORIZONTAL)

VARILLA (VERTICAL)



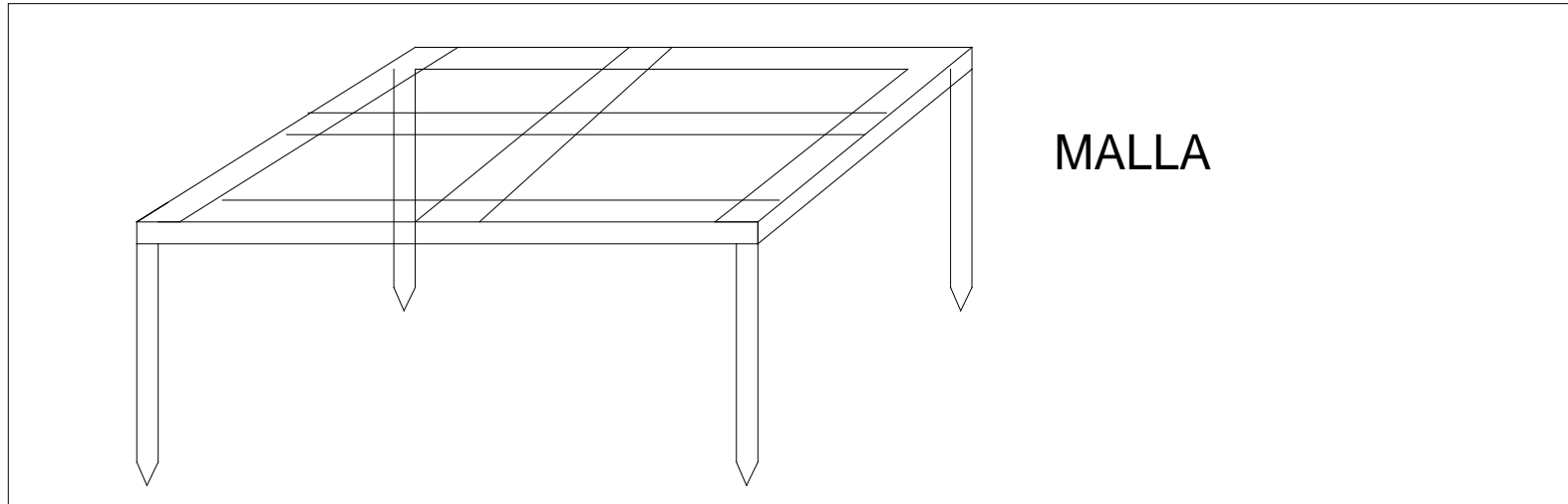
$$R = \frac{\rho}{2\pi L} \left(\ln \frac{L}{r} + \ln \frac{L}{2h} \right)$$

$$h \geq 6r$$

$$R = \frac{\rho}{2\pi L} \left(\ln \frac{2L}{r} \right)$$

ρ : Resistividad del terreno en Ohmio - metro

Cálculo de la resistencia de puesta a tierra – Expresión de Laurent y Niemann



$$R = \frac{\rho}{4} \sqrt{\frac{\pi}{A}} + \frac{\rho}{L}$$

A= Área total ocupada por la malla

L= Longitud total del conductor en la malla, incluyendo la longitud de los electrodos

Cálculo de la resistencia de puesta a tierra de la malla – Expresión de Sverak

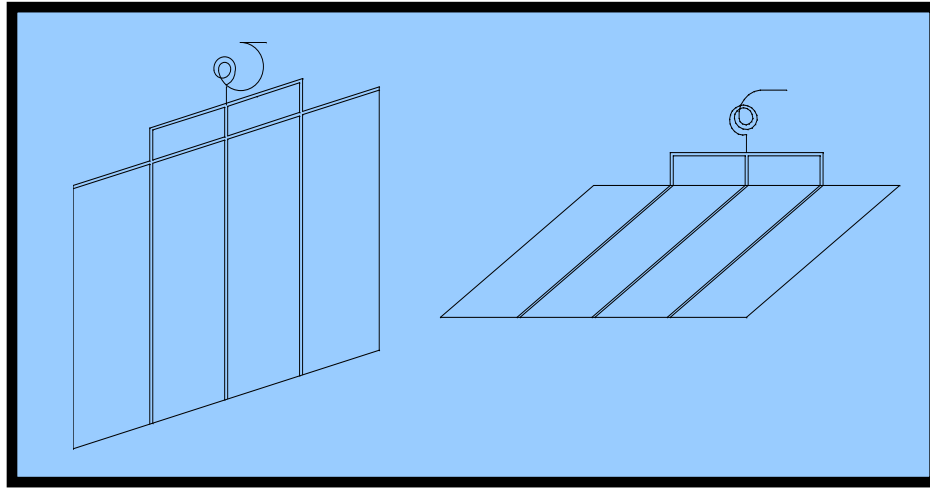
$$R = \frac{\rho}{L} + \frac{\rho}{\sqrt{20A}} \left(1 + \frac{1}{1 + h\sqrt{\frac{20}{A}}} \right)$$

A= Área total ocupada por la malla

L= Longitud total del conductor en la malla, lo que incluye la longitud de las varillas.

h= Profundidad de instalación de la malla de tierra

Cálculo de la resistencia de puesta a tierra



$$R = \frac{\rho}{4} \sqrt{\frac{\pi}{2A}}$$

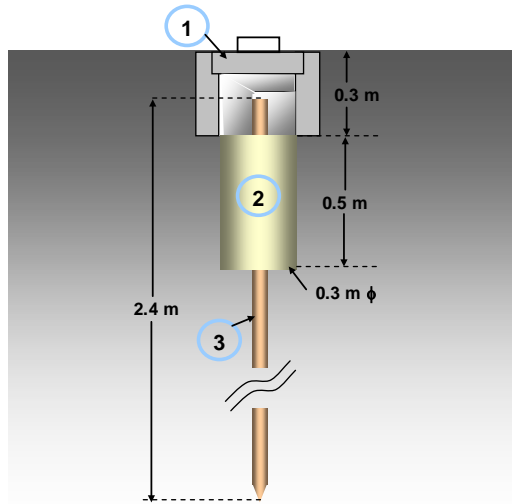
A= Area de plancha

Plancha 600 mm o 900 mm de lado espesor 1/16" o menos.

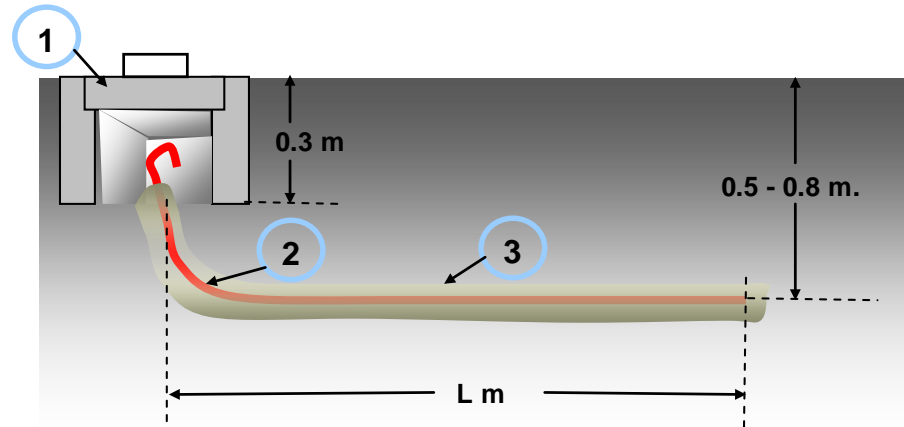
Electrodos de puesta a tierra según IEC 60364-5-54

- La norma internacional IEC 60364-5-54 Instalaciones eléctricas de baja tensión. Parte 5-54: Instalaciones de puesta a tierra y conductores de protección permite el uso de electrodos de puesta a tierra de otros materiales adicionales a los usados en el Perú.
 - Acero desnudo o galvanizado en caliente.
 - Acero recubierto de cobre.
 - Acero inoxidable.
 - Cobre
 - Aluminio
- Para mayor detalle vease la Tabla 54.1 de la norma.

Disposiciones del pozo de tierra



Vertical

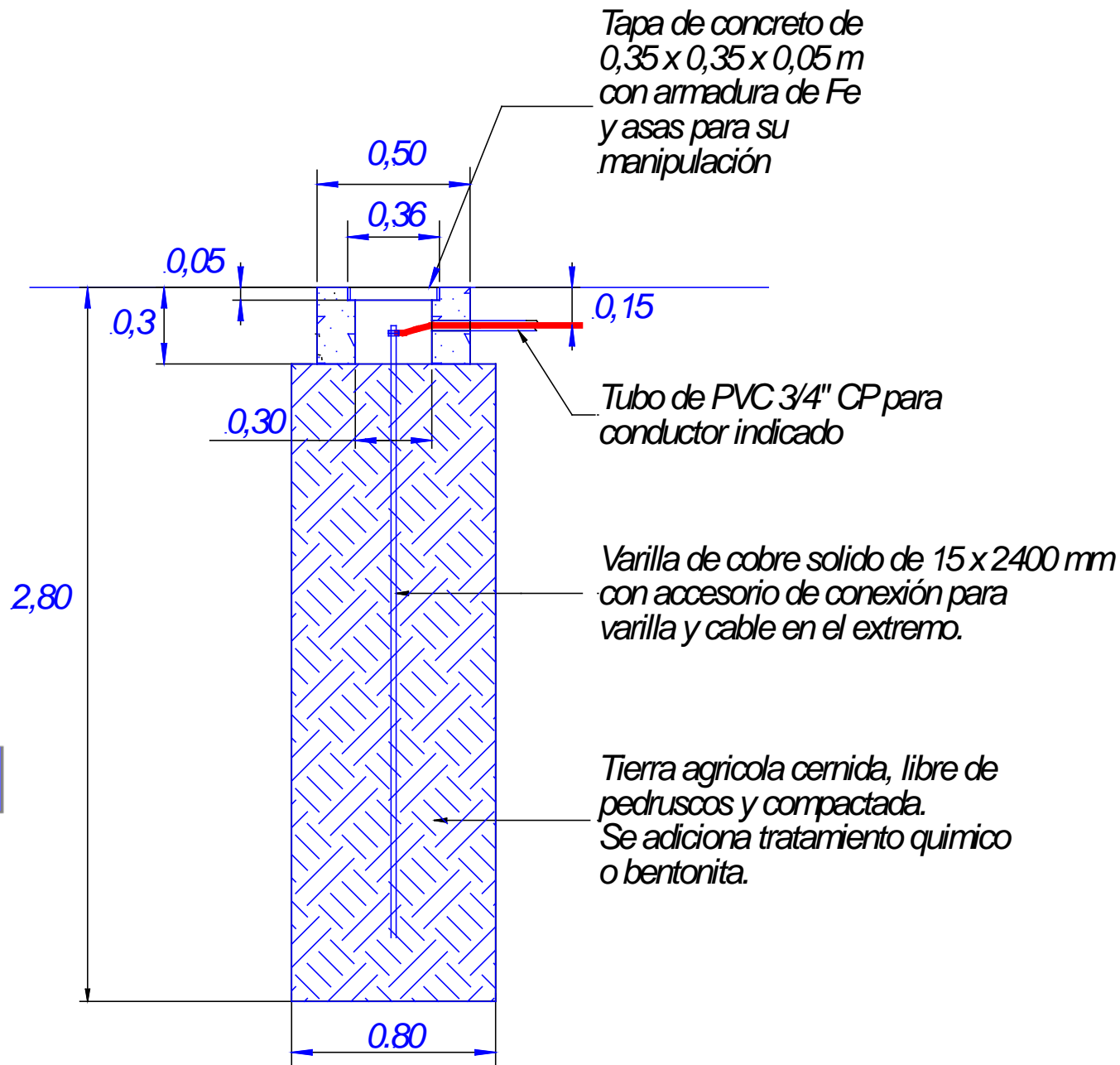


Horizontal

1. Caja de Registro
2. Mejorador de puesta a tierra
3. Electrodo de PAT (Cable, varilla, cinta, etc.)

Cortesía: Ing. Jorge Noe

Pozo de tierra vertical

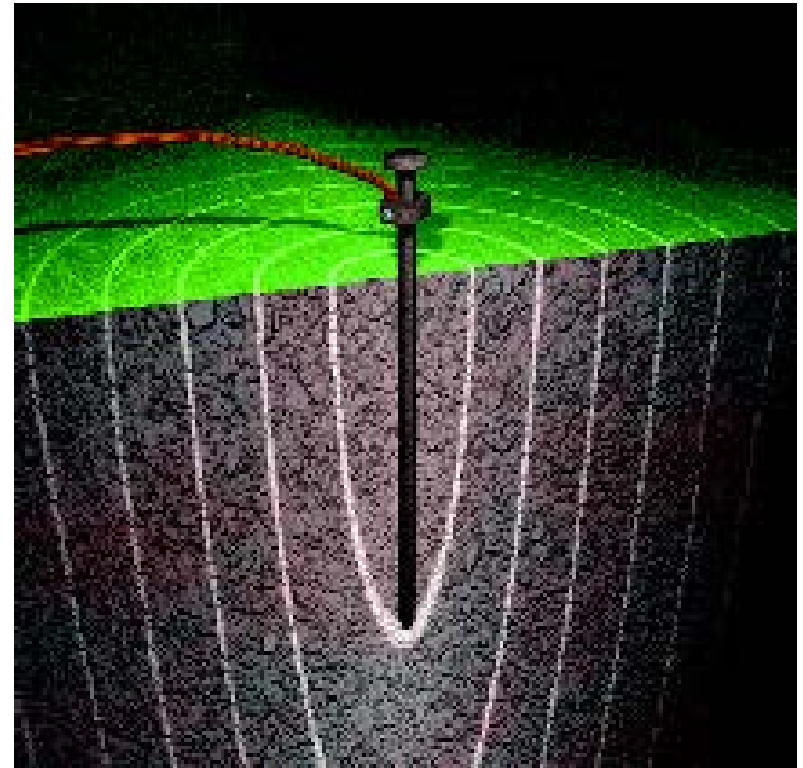


Puesta a tierra horizontal

- La disposición horizontal es recomendada cuando *se dispone de suficiente área libre*. Ejemplo: Viviendas o edificios con jardines amplios.
- Esta disposición requiere de una excavación poco profunda y con ello menos mano de obra.

Factores que afectan la resistencia de puesta tierra

- Contenido de humedad del suelo y las capas
- Cantidad y tipo de electrolitos presentes en la composición del suelo.
- Conductores adyacentes.
- La temperatura ambiente
- La profundidad de los Electrodo
- El diámetro de los electrodos (+/-)
- La distancia entre electrodos



¿Como mejorar la resistencia de puesta a tierra?

- Longitud y diámetro del electrodo de puesta a tierra
- Uso múltiples electrodos conectados entre sí, ya sea formando o no una malla.
- Tratamiento químico del suelo

Efecto del Longitud y diámetro del electrodo

- **Longitud:** Colocando un electrodo de mayor longitud (profundidad) reduce su resistencia
Aumentar la longitud del electrodo al doble reduce su resistencia en un 40% por lo general.
- **Diámetro:** El incremento del diámetro tiene un efecto muy pequeño y no se suele hacer.
Aumentando el diámetro al doble, se traduce en una reducción del 10% de la resistencia.

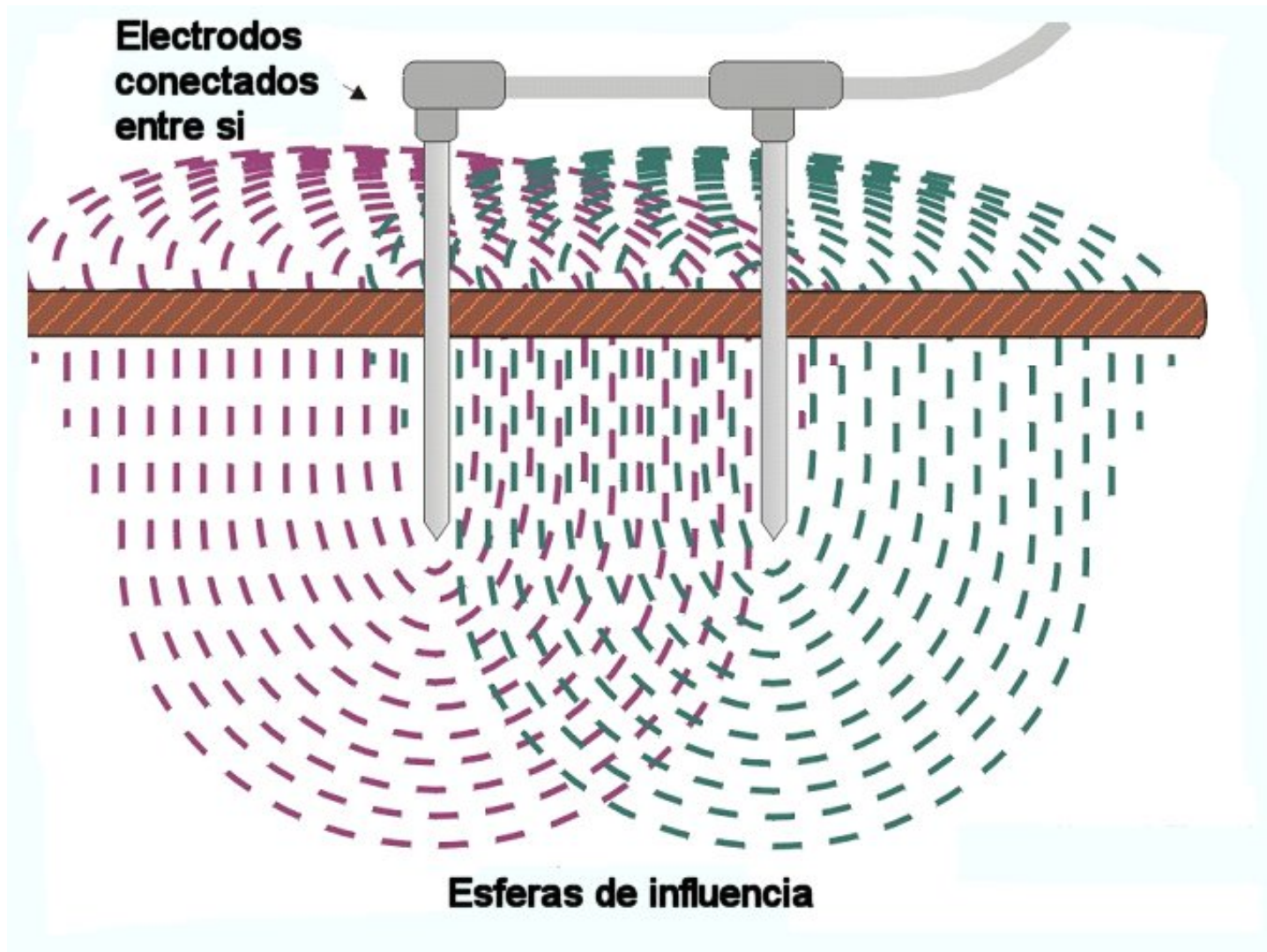
Uso de Múltiples Electrodo (Varillas)

- El uso de muchas varillas bien espaciadas en la tierra conectadas proporcionan una baja resistencia. La resistencia con relación a una sola varilla se reduce en:
 - 40% con una segunda varilla.
 - 60% con una tercera varilla.
 - 66% con una cuarta varilla.
- La disposición en forma de malla proporciona las resistencias más bajas.

Uso de Múltiples Varillas

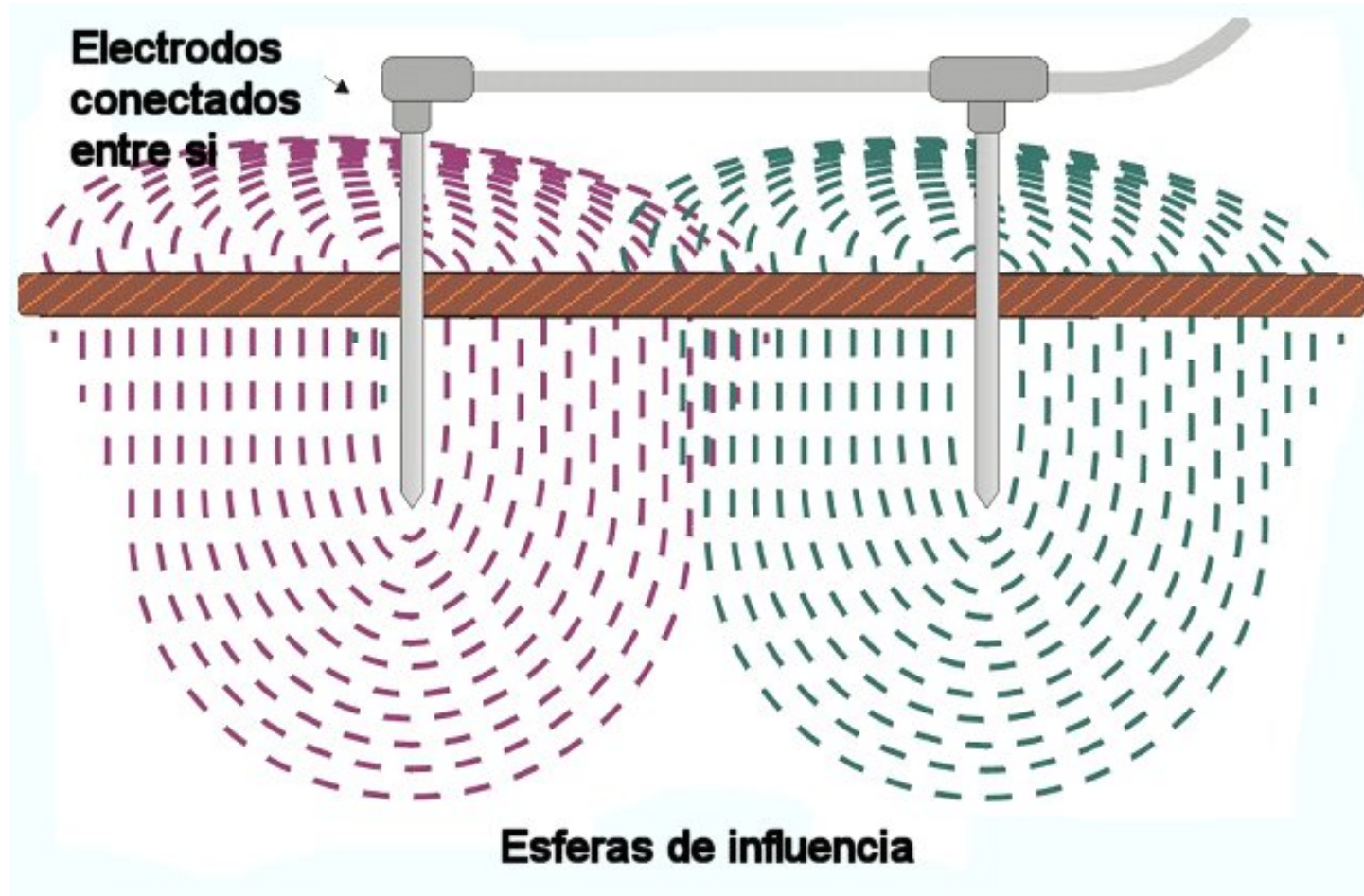
- La longitud del espacio entre varillas debe ser mayor que la longitud de la varilla para:
 - Maximizar la esfera de influencia de cada varilla.
 - Reducir la resistencia total del conjunto.

Efecto de un distancia corta



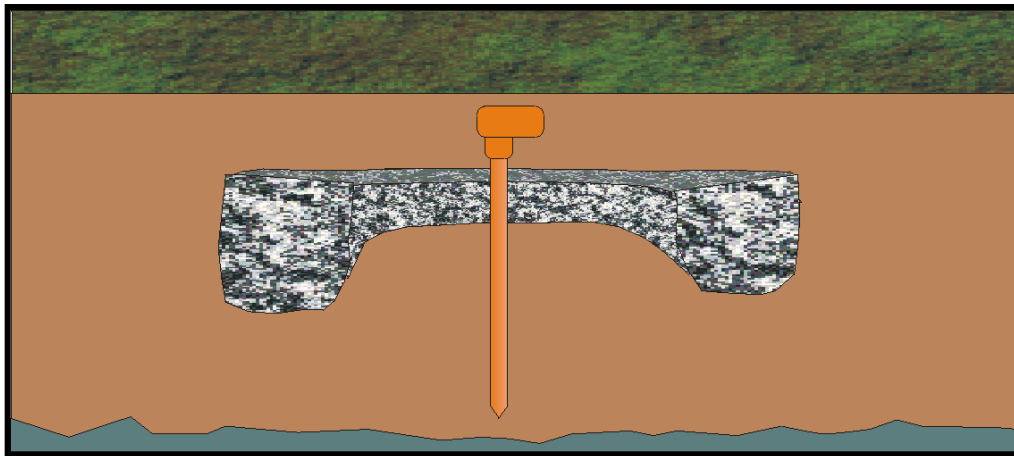
Distancia adecuada entre electrodos

2,4 m como mínimo



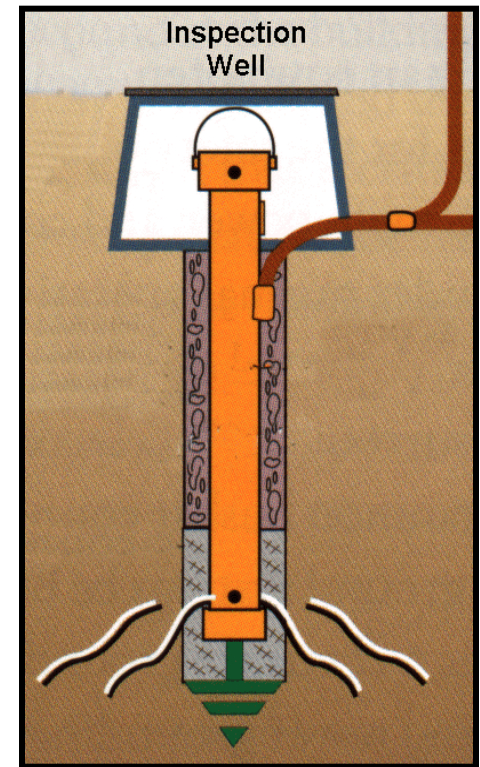
Tratamiento químico del suelo

- Las formulaciones usadas se basan en la utilización de sales, bentonita o sustancias que retienen la humedad en los alrededores del electrodo; así como aumentar la conductividad del terreno.
- Proporcionan una resistencia de puesta tierra estable a lo largo del tiempo



Electrodos tubulares y tratamientos químicos.

- Electrodos tubulares rellenos con compuestos electrolitos para mejorar la conductividad al
 - Adicionar una gran cantidad de sustancias químicas en el suelo.
 - Los compuestos pueden ser colocados dentro o en el exterior del electrodo.
 - Area de contacto con el suelo es mayor.
 - El costo con relación a otros sistemas es el mayor.



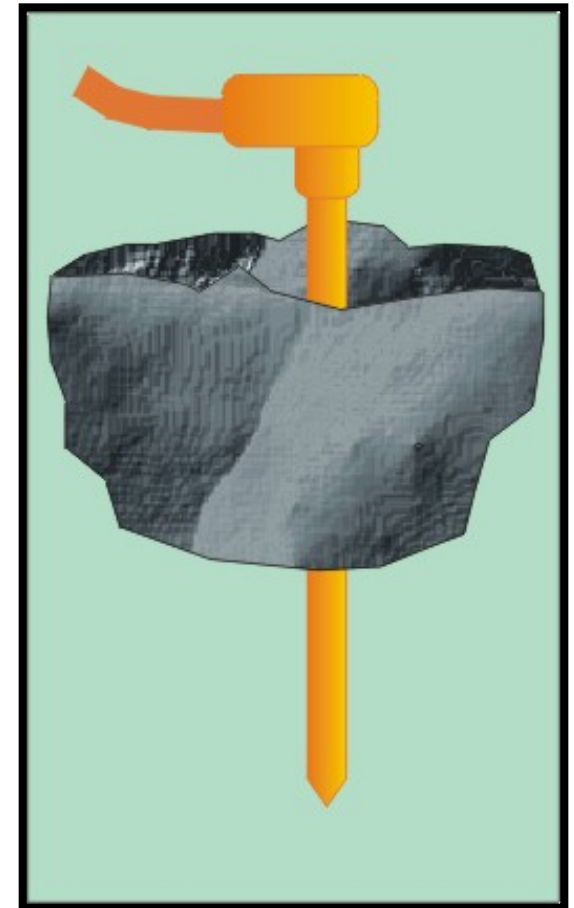
Tratamientos químicos del suelo

- Desventajas:

- Sustancias químicas pueden causar la corrosión del electrodo.
- Sustancias químicas se disipan en el terreno, disolviéndose y desapareciendo.
- Se requiere plan de mantenimiento programado, al menos 1 vez por año.
- Deben ser ambientalmente amigables (no venenosos o contaminantes)

Alternativas al tratamiento químico

- Uso de cementos conductivos.
 - Preparación similar a la del cemento de construcción.
 - Sustancias no corrosivas
 - Conductividad relativamente alta.
 - Instalados alrededor del electrodo.
 - Instalación relativamente fácil.
 - Permanente

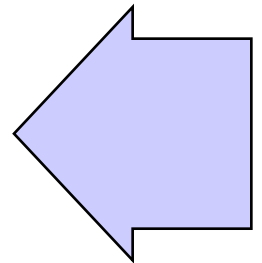


Ejemplo de instalación de puesta a tierra vertical

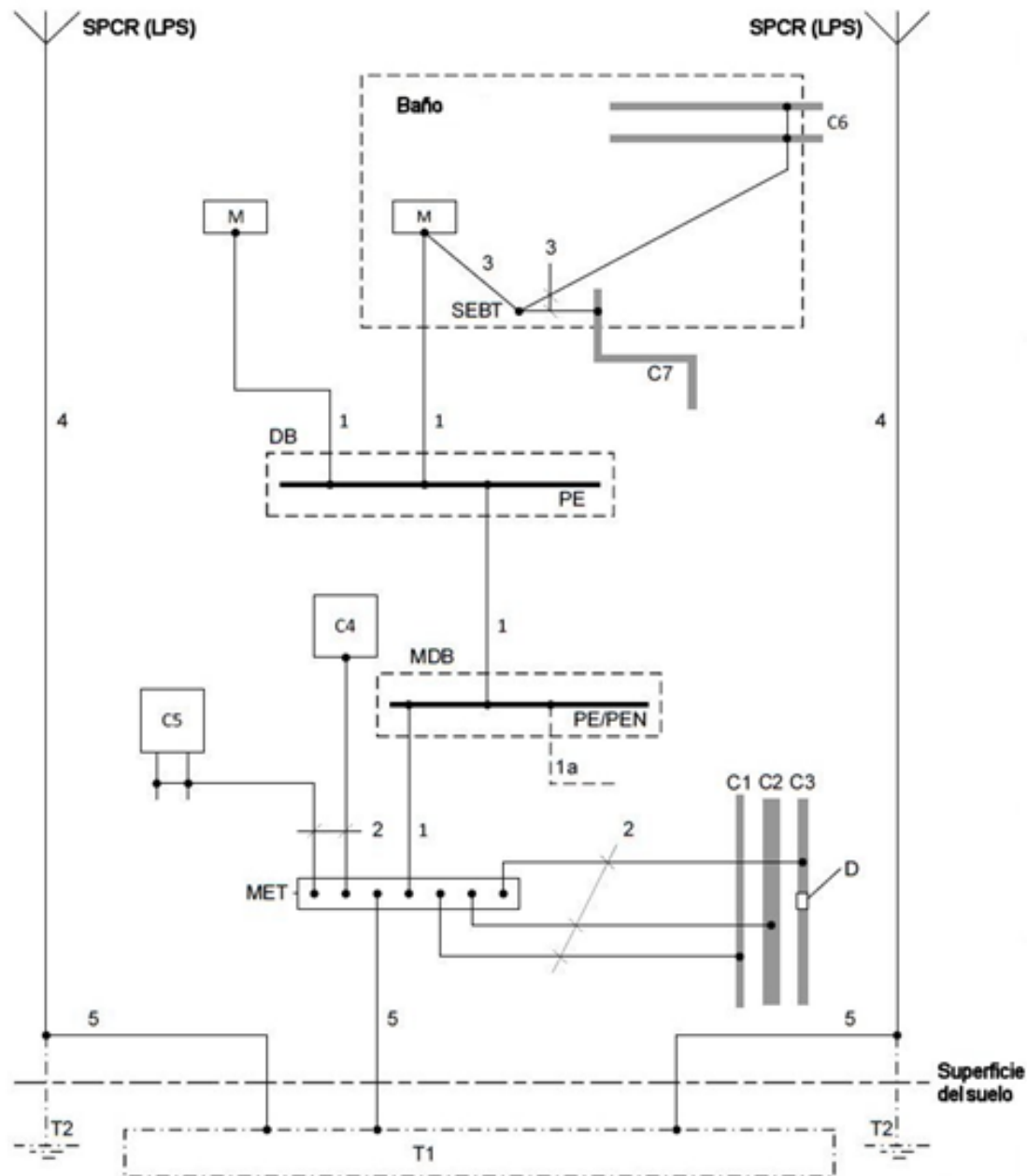
Cortesía: Para rayos S.A.C fabricante de Thor Gel
<https://www.youtube.com/watch?v=kbRnYwcb9VE>

La Red de Tierra

- La red de tierra se divide en tres partes, según el propósito y dimensiones de la misma, ya que en realidad es *una sola unidad con diferentes denominaciones*.
 - Línea principal de tierra.
 - Línea secundaria de tierra.
 - Conductor de protección individual.

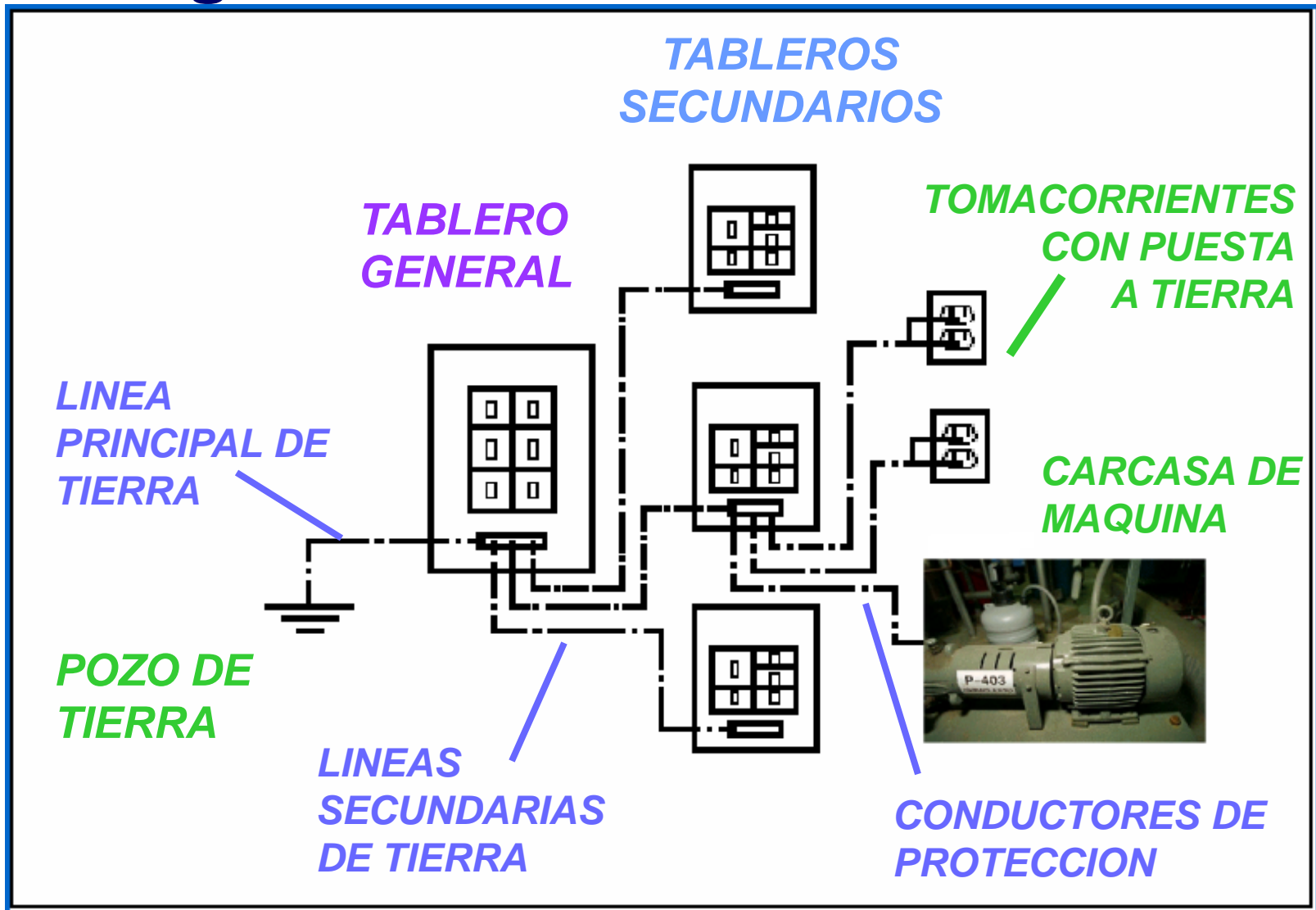


- Diagrama de Sistema de puesta a tierra general.
- Se puede ver la conexión de todos los sistemas de protección.
- No se muestran los requisitos de sistemas de telecomunicaciones.



La Red de Tierra

Seguridad eléctrica



Conductores de conexión o enlace equipotencial

- La sección del conductor esta indicada en el CNE.
- Conductores de cobre
- Con aislamiento de color verde o desnudos
- La longitud debe ser la menor posible.
- El mínimo radio de curvado posible debes ser 8 veces su diámetro
- En lo posible, no debe presentar empalmes.

La línea principal de tierra

- Los conductores de la línea principal de tierra son de cobre y se dimensionan de acuerdo a lo siguiente.
 - La sección mínima de la línea principal de tierra (S_p) es de 10 mm².
 - La sección se determina en función del conductor mayor de la acometida o su equivalente en conductores en paralelo, a partir de la siguiente tabla.

LA RED DE TIERRA

La línea principal de tierra

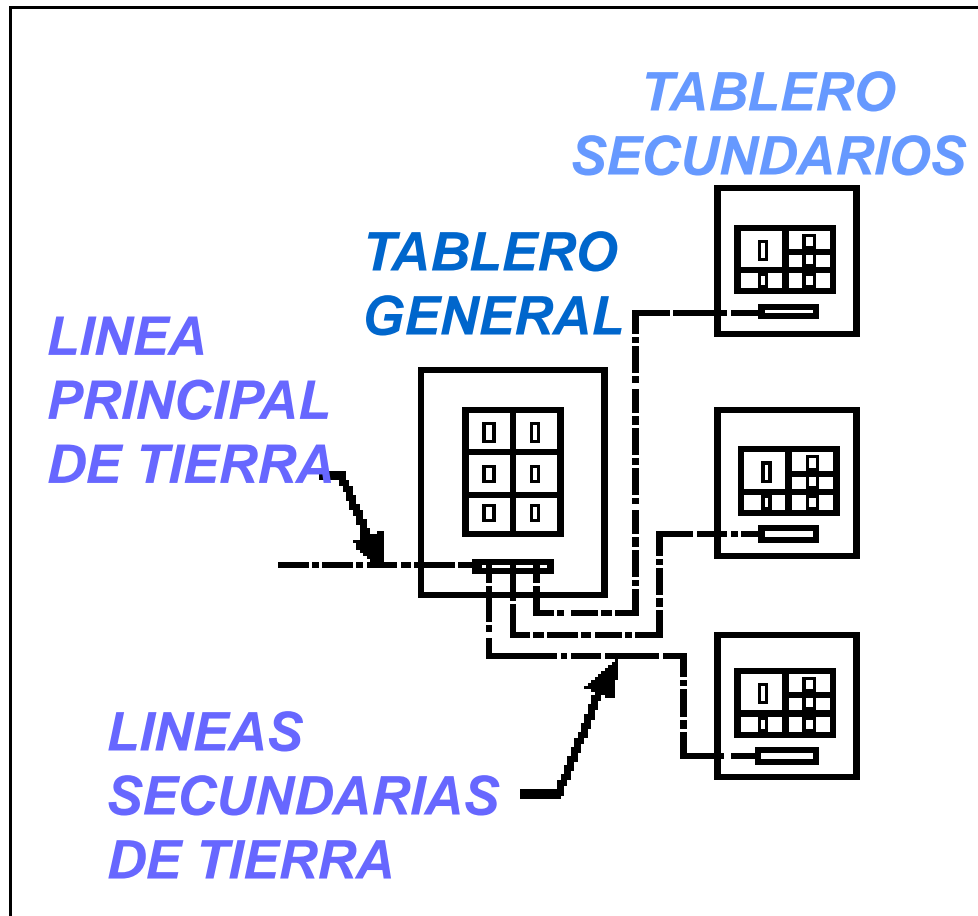
Sección mínima de conductor de puesta a tierra para sistemas de corriente alterna

Sección del conductor de la acometida de mayor sección(A)	Sección del conductor de protección, S _p (mm ²)
≤ 35	10
50	16
70	25
95 a 185	35
240 a 300	50
300 a 500	70
500 <	95

Valores tomados de la tabla 17 del Código Nacional de Electricidad - Utilización.

LA RED DE TIERRA

La línea secundaria de tierra



La línea de secundaria de tierra es una derivación de la línea principal de tierra, **conecta la línea principal con los conductores de protección de la instalación interior.**

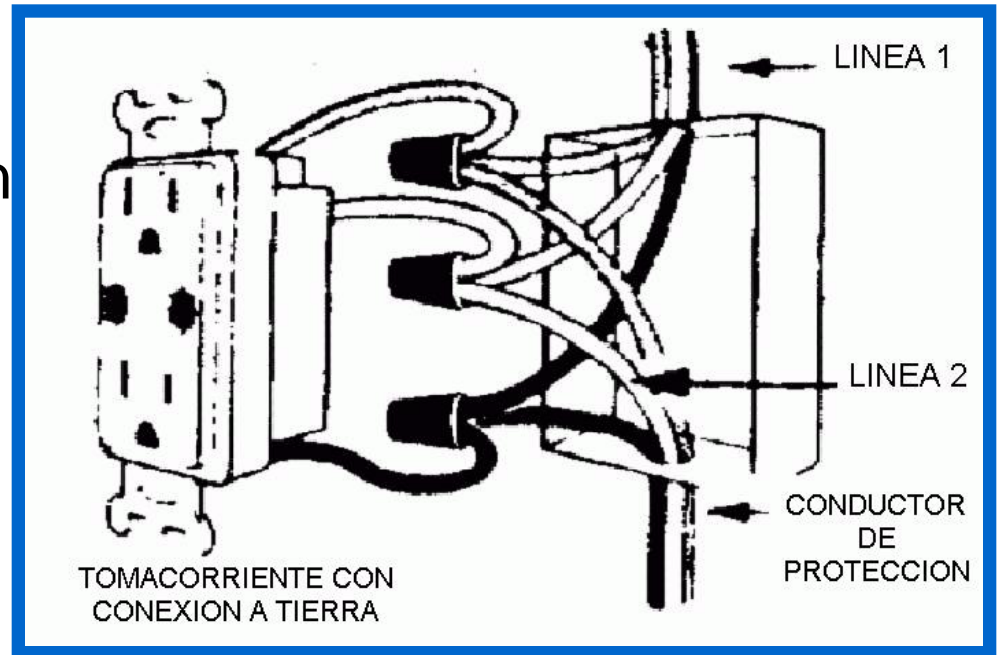
La línea secundaria de tierra

Sección mínima del conductor de protección	
Capacidad nominal del dispositivo de sobrecorriente (fusible o interruptor termomagnético) en (A).	Selección del conductor de protección, Sp (mm2)
15	2.5
20	4
60	6
100	10
200	16
400	25
800	50
1000	70
1200	95
2000	120
2500	185
4000	240
6000	400

LA RED DE TIERRA

El Conductor de Protección

- Los conductores de protección se conectan a las carcasas o envolventes de los aparatos eléctricos mediante borneras o con los tomacorrientes y enchufes con puesta a tierra adecuados.



Tomacorriente americano, fuera de norma en el país, pero de uso común.

LA RED DE TIERRA

La línea de protección

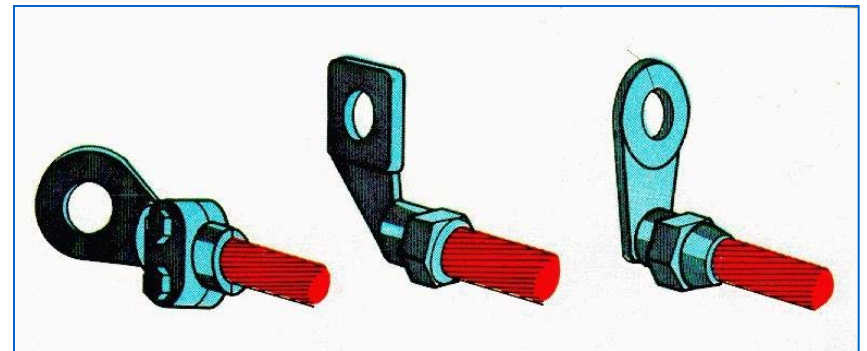
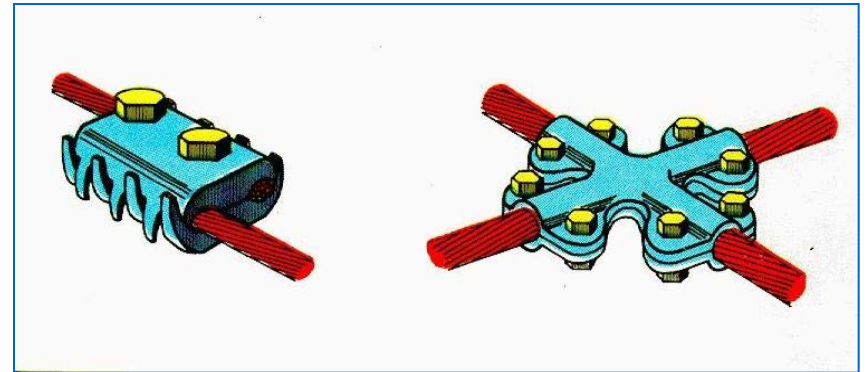
Sección mínima del conductor de protección	
Capacidad nominal del dispositivo de sobrecorriente (fusible o interruptor termomagnético) en (A).	Selección del conductor de protección, Sp (mm2)
15	2.5
20	4
60	6
100	10
200	16
400	25

El conductor de protección (enlace equipotencial)

- La sección de los conductores de protección depende de **la capacidad nominal del dispositivo automático de sobrecorriente** ubicado antes del conductor.
- La sección mínima recomendada es 2,5 mm².
- El aislante del conductor de protección sea de color **amarillo o verde**.

Las conexiones en la red de tierra

- Los conexiones o empalmes se realizan mediante:
 - Conectores empernados.
 - Conectores a presión.
 - Soldadura aluminotérmica
- Se debe asegurar que la resistencia de contacto en las juntas sea de muy bajo valor.



Accesorios de conexión para puesta a tierra



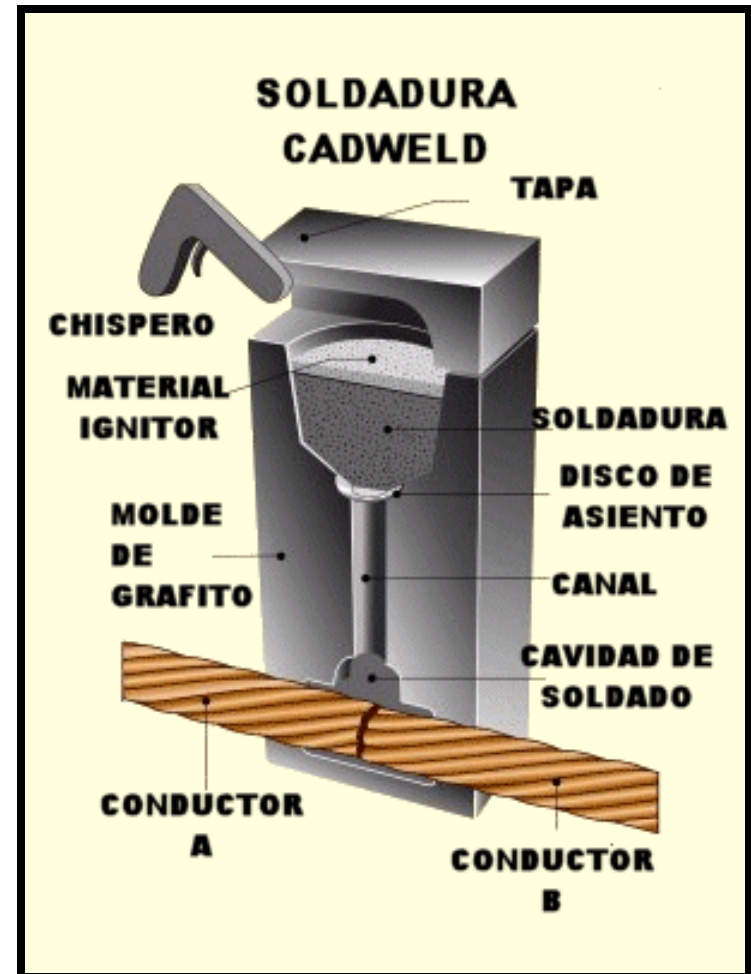
- Accesorios de tipo tornillo y a presión.
- Accesorios a presión cortesía [Blackburn® EZ Ground Compression Connector System.mp4](#)
- Norma IEEE Std. 837-2002

Conexiones con accesorios de presión

Cortesía: Accesorios y video cortesía de Thomas & Betts
https://www.youtube.com/watch?v=eO3gC-cET_U

Las conexiones en la red de tierra

- Las juntas soldadas se realizan mediante soldadura aluminotérmica y son las más usadas en las mallas de tierra industriales.
- La disposición de la junta depende del tipo de elementos que una.
 - Cable con cable.
 - Cable con electrodo.
 - Estructuras con la red
 - Puertas, etc.



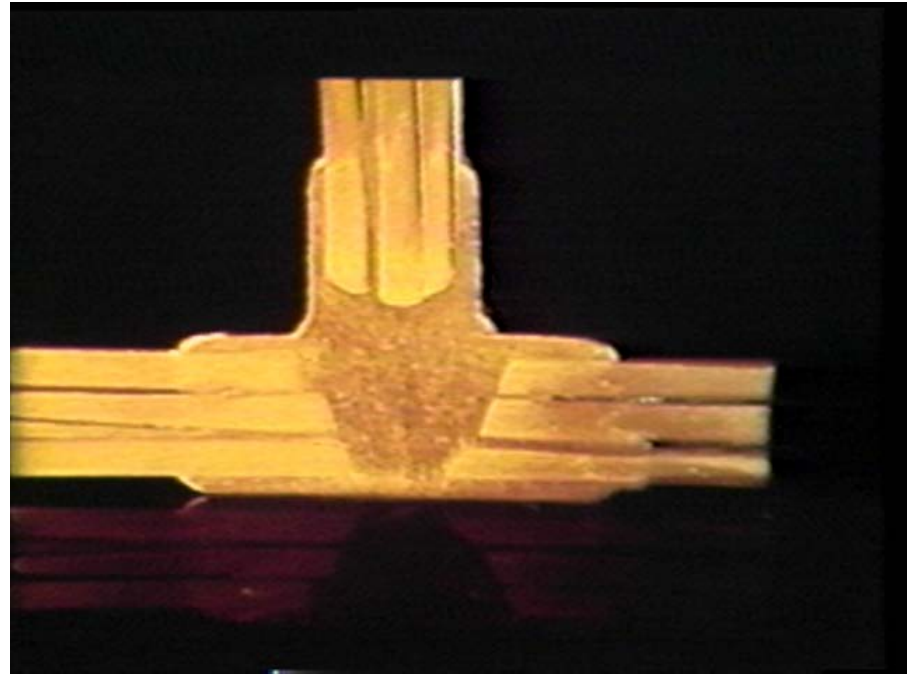
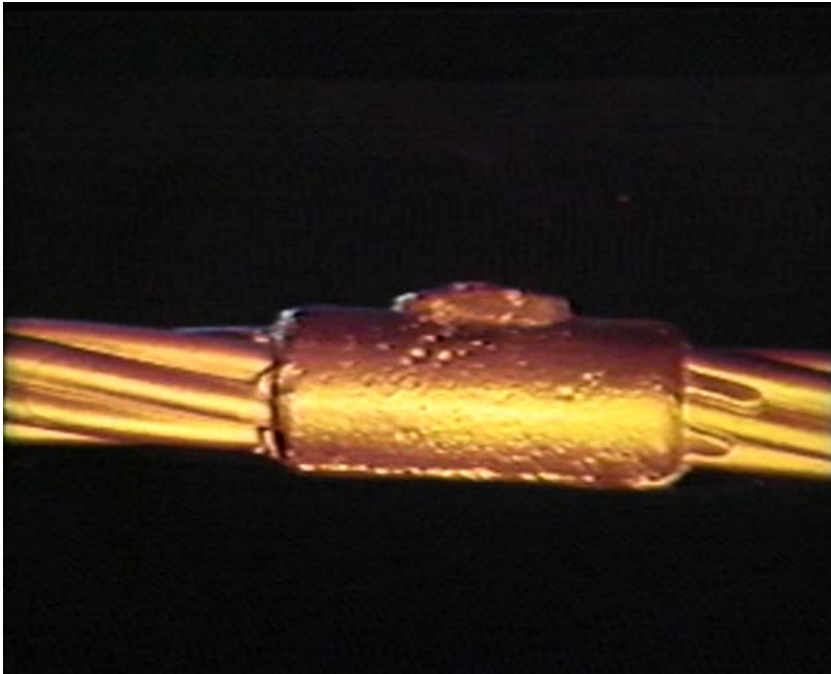
Las conexiones en la red de tierra

Equipo necesario
para la soldadura
aluminotérmica

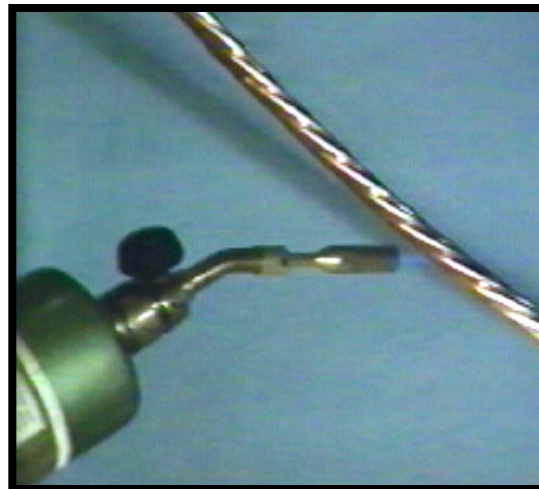
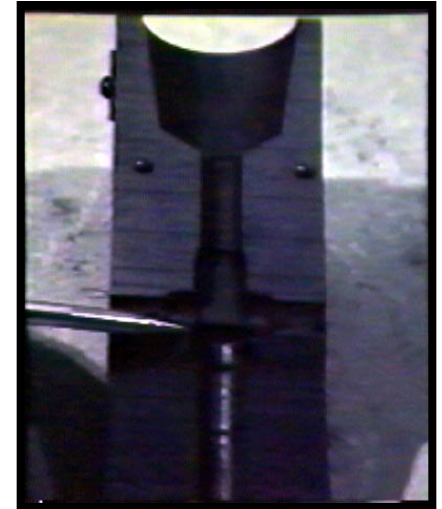
(cortesía Cadweld)



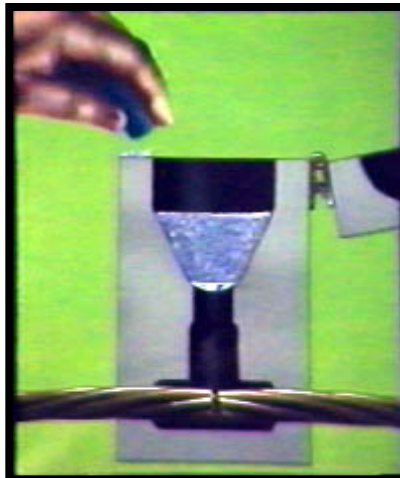
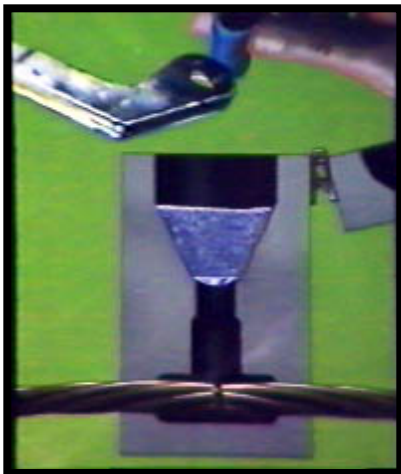
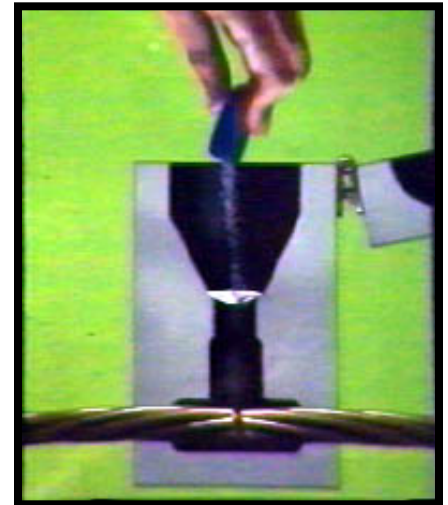
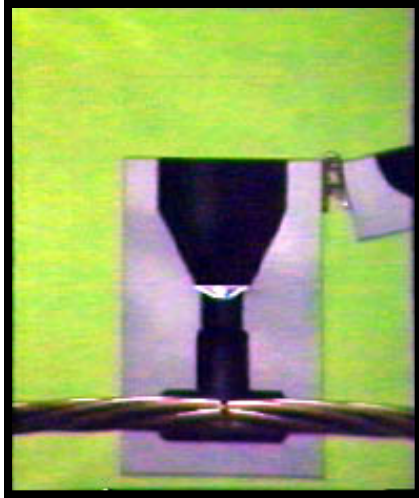
Soldaduras Aluminotérmicas o exotérmicas



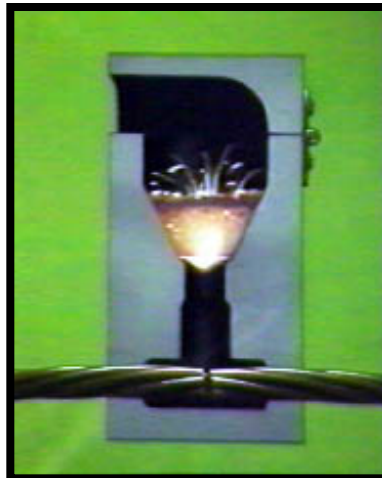
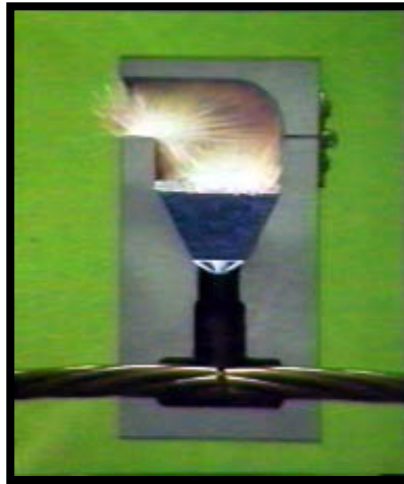
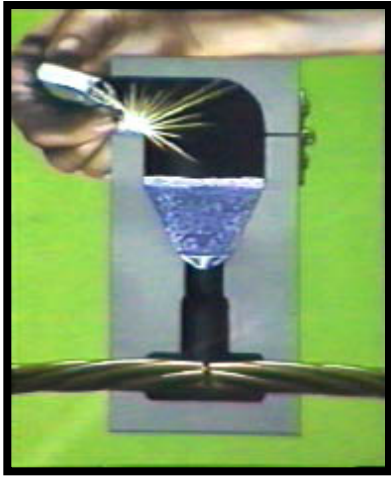
Soldadura Exotermica



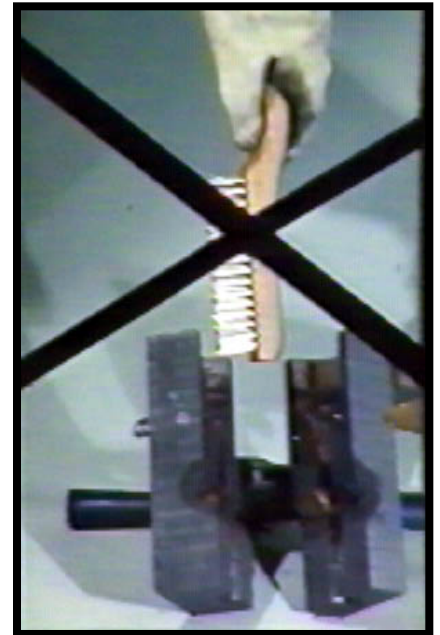
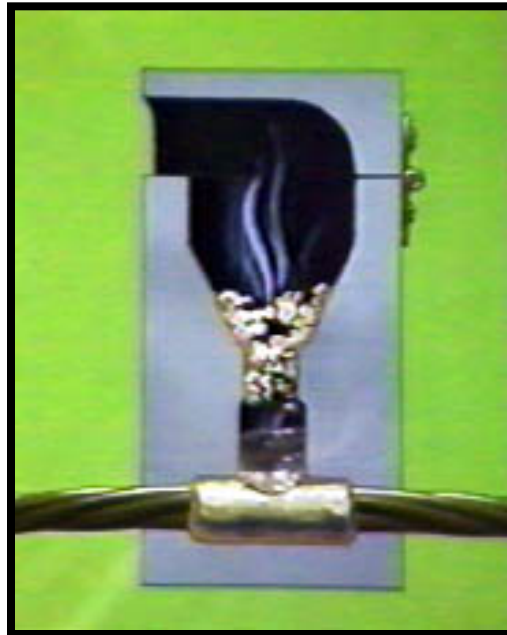
Soldadura Exotermica



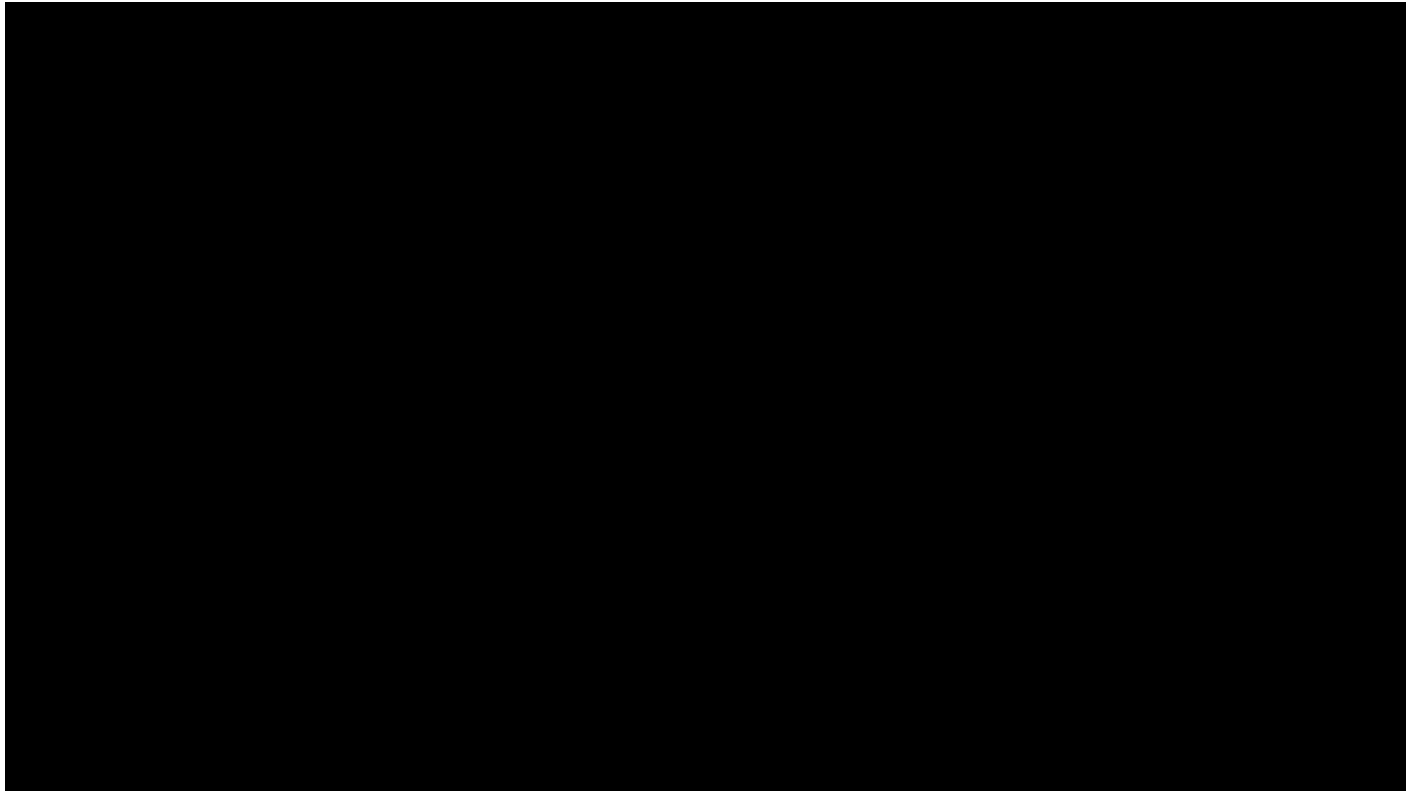
Soldadura Exotermica



Soldadura Exotermica

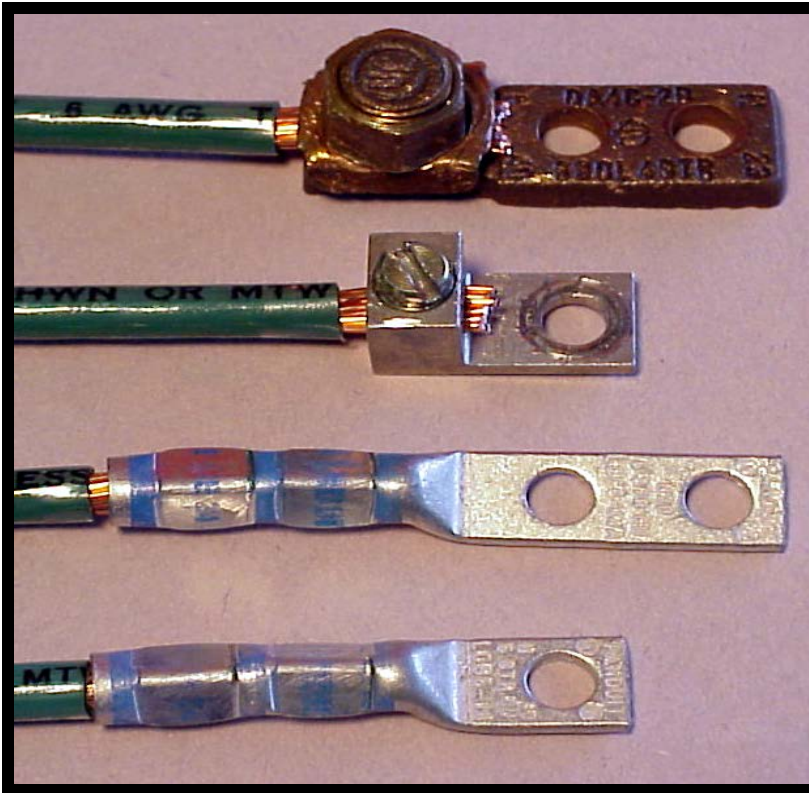


Instalación de conexión con soldadura aluminotérmica



Cortesía: Malla de tierra P & M (Proyectos y montajes)
<https://www.youtube.com/watch?v=ranbnTy6X9g>

Conexiones de presión apropiadas



- Los terminales de conexión deben:
 - Estar limpios
 - Instalados con grasa conductiva.
 - Permitir su mantenimiento sin dificultad

Conexiones de presión mal ensambladas

