

Instituto Técnico  
Superior de  
Electricidad



Reconocido por el Ministerio de Educación y Ciencias - Resolución N° 391/04

# Puesta a Tierra en Instalaciones Eléctricas

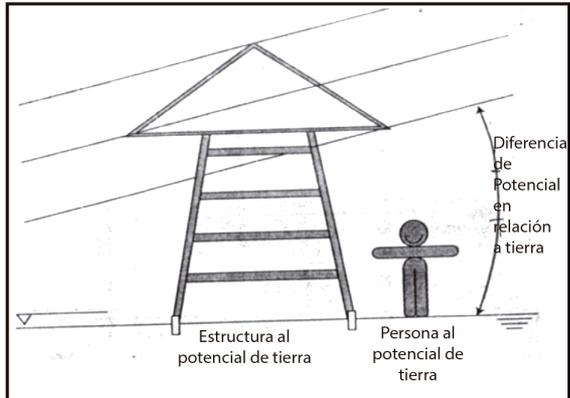


Copyright © 2024|Todos los derechos reservados. Prohibida su reproducción total o parcial.  
Manual elaborado por el Prof. Ing. Walter Filizzola para el Instituto Técnico Superior de Electricidad (ITC).

# Puesta a Tierra en Instalaciones Eléctricas

## ¿Qué es una puesta a tierra?

El término puesta a tierra se refiere a la tierra propiamente dicha o a una gran masa que se utiliza en su lugar. Cuando decimos que algo está "puesta a tierra", queremos decir que por lo menos, uno de sus elementos está a propósito ligado a tierra. En general, los sistemas eléctricos no necesitan estar ligados a tierra para funcionar y de hecho, no todos los sistemas eléctricos están aterrados. En los sistemas eléctricos, cuando designamos las tensiones, las referimos a tierra. De esa forma, la tierra representa un punto de referencia (un punto de potencial cero), al cual todas las otras tensiones están referidas. De hecho como un equipamiento computarizado se comunica con otros equipamientos, una tensión de referencia cero, es crítica para una operación apropiada. Por tanto, la elección de la tierra como referencia cero es apropiada, una vez que ella está en todas partes. Cuando alguien está de pie, en contacto con una tierra, su cuerpo, está aproximadamente al potencial de tierra. Si la estructura metálica de una edificación está aterrada, entonces todos sus componentes metálicos están aproximadamente al potencial de tierra.



## Objetivo del puesta a tierra de un sistema

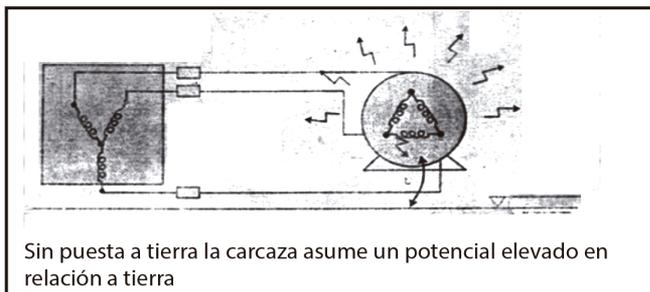
La puesta a tierra es un sistema, es ligar intensionalmente un conductor fase, o lo que es más común, el neutro a tierra, tiene por objetivo controlar la tensión en relación a tierra dentro de límites previsible. Ese puesta a tierra también provee un camino para la circulación de la corriente que irá a permitir la detección de una ligación indeseada entre los conductores vivos y la tierra. Eso provocará la actuación del dispositivo automático que removerá la tensión en esos conductores.

El control de esas tensiones en relación a tierra limita el esfuerzo de tensión en la aislación de los conductores, disminuye las interferencias electromagnéticas y permite la reducción de los peligros de choque contra las personas que podrían entrar en contacto con los conductores vivos.

## ¿Por qué se debe preferir los sistemas puesta a tierra?

El primer objetivo del puesta a tierra de los sistemas eléctricos es proteger las personas o el patrimonio contra una falta (cortocircuito) en la instalación. En términos simples, si una de las tres fases de un sistema no aterrado entra en contacto con la tierra, intensionalmente o no, nada acontece. Ningún disyuntor desliga el circuito, ningún equipamiento para de funcionar.

El segundo objetivo de un sistema de puesta a tierra es ofrecer un camino seguro, controlado y de baja impedancia en dirección a tierra para las corrientes inducidas por las descargas atmosféricas.

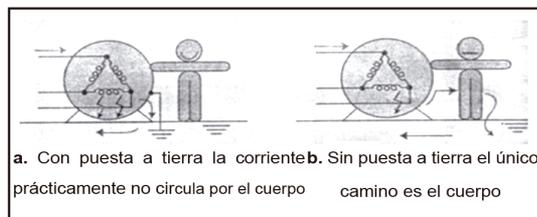


## Funciones básica de los sistemas de puesta a tierra

Podemos resumir en los siguientes tópicos:

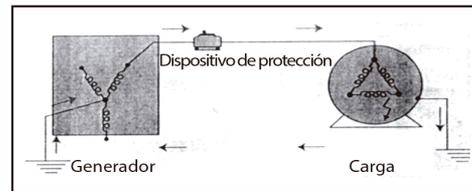
### Seguridad personal

La conexión de los aparatos eléctricos al sistema de puesta a tierra debe permitir que, en caso de que ocurra una falla de aislación en aquellos, la corriente de falla circule a través del conductor de puesta a tierra en vez de recorrer el cuerpo de la persona que eventualmente está en contacto con el artefacto eléctrico.



## Desligamiento automático

El sistema de puesta a tierra debe ofrecer un recorrido de baja impedancia (la menor oposición posible) de retorno hacia tierra de la corriente de falla, permitiendo así que haya operación automática, rápida y segura del sistema de protección.

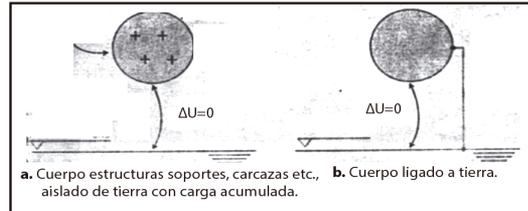


## Control de tensiones

La puesta a tierra permite un control de tensiones desenvueltas en el suelo, cuando un cortocircuito fase-tierra retorna por la tierra hacia la fuente próxima o, cuando ocurre una descarga atmosférica local.

## Transitorios

El sistema de puesta a tierra estabiliza la tensión durante los transitorios en el sistema eléctrico provocados por faltas hacia la tierra, de tal forma que no aparezcan sobretensiones peligrosas durante esos períodos y consiguientemente puedan provocar la ruptura del aislamiento de los equipos eléctricos.

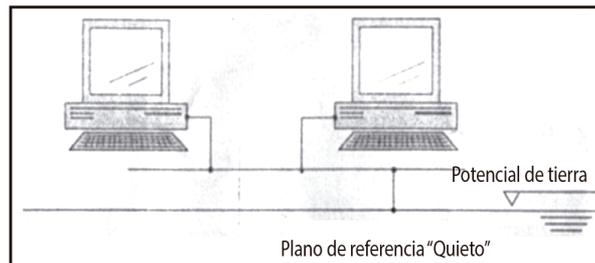


## Cargas estáticas

La puesta a tierra debe filtrar las cargas eléctricas acumuladas en estructuras, soportes y carcazas de los equipos en general.

## Equipos electrónicos

Específicamente para los equipos electrónicos, la puesta a tierra debe proveer un plano de referencia quieto sin perturbaciones, de tal modo que ellos puedan operar satisfactoriamente tanto en altas como en bajas frecuencias.



## Algunos conceptos importantes sobre puesta a tierra

### Tensión de contacto

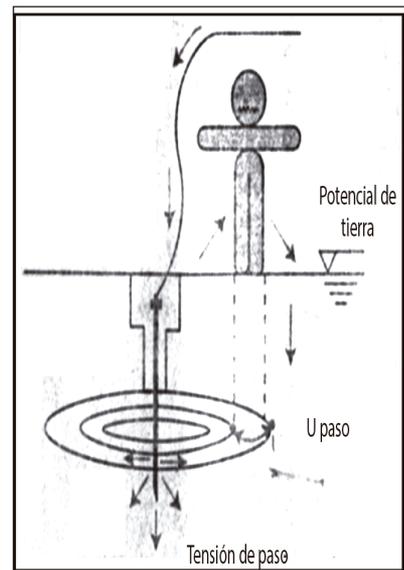
Es la tensión que puede aparecer accidentalmente, cuando hay falla de aislamiento entre dos partes simultáneamente accesibles.

### Tensión de toque

Si una persona toca un equipamiento sujeto a una tensión de contacto, se puede establecer una tensión entre manos y pies, llamada tensión de toque. En consecuencia, podremos tener el pasaje de una corriente eléctrica por el brazo, tronco y piernas; cuya duración e intensidad podrán provocar fibrilación cardíaca, quemaduras u otras lesiones graves en el organismo

### Tensión de paso

Cuando una corriente eléctrica se descarga a través del suelo, ocurre una elevación de potencial en torno al electrodo de puesta a tierra, formándose un gradiente (distribución), de caída de tensión, cuyo punto máximo está junto al electrodo y el punto mínimo muy apartado de él. Si una persona estuviera en pie en cualquier punto de la región donde hay esa distribución de potencial, entre sus pies habrá una diferencia de potencial, llamada tensión de paso, el cual es generalmente definida para una distancia entre los pies de 1m. Consecuentemente, podrá haber circulación de una corriente a través de las dos piernas, generalmente de menor valor de aquél considerado en la tensión de toque, pero aún así desagradable y que además debe ser evitada.



## Partes que comprende un sistema de puesta a tierra

Básicamente un sistema de puesta a tierra estará compuesta por:

**1) Electrodo.** Es una masa metálica, permanentemente en buen contacto con el terreno, para facilitar el paso a éste de las corrientes de defecto que pueden presentarse o la carga eléctrica que tenga o pueda tener.

**2) Línea de enlace con tierra.** Está formada por los conductores que unen el electrodo o conjunto de electrodos con el punto de puesta a tierra.

**3) Punto de puesta a tierra.** Es un punto situado fuera del terreno que sirve de unión entre la línea de enlace con tierra y la línea principal de tierra. Las instalaciones que lo precisen dispondrán de un número suficiente de puntos de puesta a tierra, convenientemente distribuidos, que estarán conectados al mismo electrodo o conjunto de electrodos.

El punto de puesta a tierra estará constituido por un dispositivo de conexión de cobre recubierto de cadmio (regleta, placa, bornes, etc.) que permita la unión entre los conductores de las líneas de enlace con tierra y principal de tierra de forma que se pueda, mediante útiles apropiados, desconectarlas del punto de puesta a tierra, con el fin de poder realizar la medida de la resistencia de la toma de tierra.

## Condiciones que deben cumplir una puesta a tierra

Todos esos elementos deben ser escogidos e instalados de modo a resistir las sollicitaciones térmicas, eléctricas y mecánicas bien como las influencias externas a las que puedan estar sometidas.

## Medición de la resistencia de puesta a tierra

La resistencia de puesta a tierra debe ser medida entre el terminal de puesta a tierra principal y la tierra. Para eso debe ser previsto un dispositivo, combinado al terminal, que posibilite desconectar en conductor de puesta a tierra. El valor medido incluye por cierto:

- Resistencia del conductor de puesta a tierra, resistencia del electrodo de puesta a tierra y resistencia de las conexiones respectivas.
- Resistencia de contacto entre el electrodo y el medio circundante.
- Resistencia del suelo que circunda el electrodo.

El primer componente tiene poca influencia siendo que esta puede ser reducida todavía más aumentando la sección del conductor de puesta a tierra y el electrodo. Generalmente varía con el tiempo debido a la corrosión que puede ocurrir en las conexiones, función del medio en que se encuentran.

El segundo componente también puede ser considerado despreciable si el electrodo a tierra que lo envuelve no contiene grasa, óxido o materiales orgánicos, pintura, barnices piedras. Puede variar con el tiempo debido a la oxidación del electrodo.

El tercer componente es el de mayor importancia. Depende del formato, de las dimensiones del electrodo y de la resistividad del suelo que como sabemos varía con la temperatura y la humedad. Prácticamente es el componente que define la resistencia de la puesta a tierra.

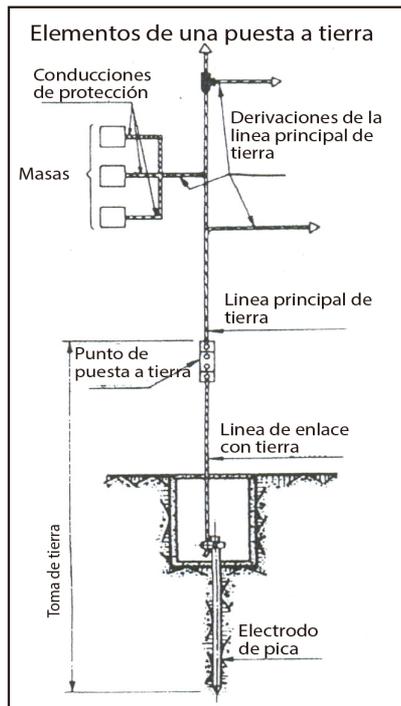
## Electrodos de puesta a tierra

El término se aplica a uno o más conductores enterrados en el suelo en contacto con la tierra. Los electrodos de puesta a tierra pueden ser:

Los específicos; especialmente establecidos para la función de electrodos siendo usados en ese caso: astas de cobre, de acero cincado, o de acero revestido de cobre, tubos de acero cincado, chapas de cobre o de acero cincado, perfiles de acero cincado, cintas de cobre o de acero galvanizado, cabos de cobre, de acero cobreado o de acero cincado;

Los no específicos, como es el caso de estacas metálicas enterradas y tuberías metálicas enterradas;

Combinaciones de los dos tipos, específicos y no específicos.



Tipo de Electrodo	Dimensiones Mínimas	Observaciones
Chapa de Cobre	0,2 m <sup>2</sup> y 2 mm. de espesor	Profundidad mínima del centro de la chapa 1 mt. Posición vertical
Chapa de Acero Zincado	0,2 m <sup>2</sup> y 3 mm de espesor	Profundidad mínima del centro de la chapa 1 m. Posición Vertical
Tubo de Acero Zincado	2,4 m. de largo y diámetro nominal 25 mm	Enterramiento total vertical
Perfil de Acero Zincado	20x20x3 mm y 2,40 m de largo	Enterramiento total vertical
Asta de Acero Zincado	Diámetro de 15 mm. y 2,40 m de largo	Enterramiento total vertical
Asta de Cobre	Diámetro de 15 mm. y 2,40 m. de largo	Enterramiento total vertical
Cinta de Cobre	25 mm <sup>2</sup> de sección 2 mm de espesor y 10 m de largo	Profundidad Mínima de 0,60 m y largo en la posición vertical
Cinta de Acero Galvanizado	100 mm <sup>2</sup> de sección 3 mm de espesor y 10 m de largo	Profundidad mínima de 0,60 m. Posición Vertical
Cabo de Cobre	Sección de 25 mm <sup>2</sup> y 10 m de largo	Profundidad mínima de 0,60 m y Posición Vertical
Cabo de Acero Zincado	Sección de 95 mm <sup>2</sup> y 10 m. de largo	Profundidad mínima 0,60 m. Largo en Posición Horizontal

Las astas constituyen el tipo de electrodo más simple y más común en las instalaciones de baja tensión, a partir de las cuales haremos el siguiente análisis.

Un asta de puesta a tierra de longitud **L** y diámetro **d** enterrada en un terreno homogéneo de resistividad  $\rho$ , con su extremidad **A** en la superficie del terreno. La resistencia del puesta a tierra teórica **R<sub>t</sub>**, considerando las superficies equipotenciales como semi elipsoides con centro en el punto **A** y foco en **B** será:

$$R_t = \frac{\rho}{n} \times \left[ 0,404 + \frac{0,16}{S} \times \log \text{ natural } x (0,655 \times n) \right]$$

Donde:

n = Número de jabalinas

S = Separación entre jabalinas = 2 x h

h = L = Longitud de la jabalina

Entre tanto no es práctico utilizar astas muy largas que no son simples de enterrar en el suelo. Las más usadas son de 2 metros, 2,40 metros y 3 metros.

La importancia del diámetro es sensiblemente menor, son usadas hasta con diámetro superior a 25 mm.

La zona de dispersión de un asta puede ser considerada como poseyendo un radio que varía entre 18 y 25 metros, ella crece con el largo del asta pero no en proporción directa. La ligación de astas en paralelo puede reducir la resistencia del puesta a tierra.

En ese caso si quisiéramos usar plenamente la posibilidad de dispersión de un asta es necesario clavarla fuera de la zona de dispersión de la otra. Esa distancia deber ser teóricamente de 36 a 50 metros. Para distancias inferiores la eficiencia de las astas es bastante reducida. Así, dos astas que aisladamente darían resistencia de puesta a tierra de 10 Ohms, si fueran colocadas en paralelo a una distancia superior a 15 metros, darán una resistencia total de 5 Ohms, si la distancia fuera de 10 metros, la resistencia total será en torno a los 7 Ohms. Si las astas fueran clavadas muy próximas unas de otras (2 a 3 metros) no se obtendrá en la práctica ningún efecto apreciable en la resistencia total del conjunto. El número de astas ligadas en paralelo solo influirá positivamente en el valor de la resistencia de puesta a tierra total, si las distancias entre ellas fueran suficientes.

### Expresiones prácticas de resistencia de puesta a tierra

Los valores de la resistencia de puesta a tierra pueden ser calculados de manera aproximada por las expresiones siguientes:

**a)** Conductor enterrado horizontalmente:  $R_t = 2\rho \div L$ ; donde  $\rho$  es la resistividad del suelo en (V.m), **L** es la longitud en metros que puede ser considerada igual a: anillos de fondo de excavación; el largo del perímetro del predio y, en anillos enterrados a 0,50 metros; el largo del perímetro. En vallas horizontales; el largo de la valla.

**b)** Asta clavada verticalmente:  $R_t = \rho \div L$ ; donde **L** es el largo del asta

**c)** Chapa enterrada verticalmente:  $R_t = 0,8 \rho \div L$ ; donde **L** es el perímetro de la placa.

**d)** Viga metálica:  $R_t = 0,366 \times (\rho \div L) \log(3 \times L \div a)$ ; donde **L** es el largo enterrado de la viga y **a** en metros es el diámetro del cilindro circunscrito a la viga.

## Puesta a Tierra de Pararrayos y Antenas

Los pararrayos y las antenas externas de TV, deben ser aterrados atendiendo a las siguientes alternativas:

**a)** El mástil metálico de la antena debe ser conectado al conductor de bajada del pararrayos por medio de soldadura exotérmica y abrazadera con dos tornillos M8. Esta conexión debe ser la más corta y rectilínea posible, utilizándose conductor de cobre de un mínimo de 16 mm<sup>2</sup>.

**b)** Si no hubiere pararrayos; debe ser instalado un conductor de puesta a tierra exclusivo para el asta de la antena, con sección mínima de 16 mm<sup>2</sup> en cobre.

Las puestas a tierra del pararrayos de la antena y la puesta a tierra de protección de la instalación deben ser interconectados. Preferencialmente debe ser usado un único electrodo. Entretanto, si el electrodo de puesta a tierra del pararrayos y/o la antena fuera distinto del electrodo de la instalación, debe haber una interconexión entre ambos.

Obsérvese que siempre, el escurrimiento de la descarga atmosférica para la tierra debe ser externo a la edificación directamente en un electrodo, y no a través de los conductores de conexión equipotencial.

## Resistividad del terreno y electrodos de puesta a tierra

Los elementos que garantizan una buena puesta a tierra son las conexiones metálicas directas entre determinadas partes de una instalación, electrodo o grupo de electrodos en contacto permanente con el terreno, y una buena resistividad del terreno.

**La resistividad del terreno** es la resistencia que presenta al paso de la corriente un cubo de un metro de arista.

Se mide en **V.m** y se representa con la letra  **$\rho$** , donde:

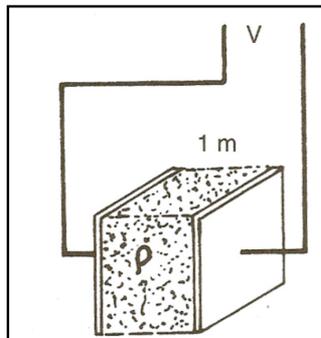
$$R = \rho \times L \div s \quad \rho = R \times s \div L$$

La resistividad del terreno depende de su naturaleza, estratigrafía (capas de distinta composición), contenido de humedad, salinidad y temperatura.

La resistividad de un terreno se ve afectada por las variaciones estacionales.

Por otro lado, a medida que aumenta el tamaño de las partículas aumenta el valor de la resistividad.

Es por eso que la grava tiene mayor resistividad que la arena y ésta, mayor resistividad que la arcilla. La resistividad se ve así misma por el grado de compactación del terreno, disminuyendo al aumentar esta última. Cuando determinamos la resistividad en un punto del terreno, lo que determinamos es la resistividad media de las capas comprendidas entre la superficie y una cierta profundidad que, a veces se denomina resistividad aparente  **$\rho_a$** .



Naturaleza del terreno	Resistividad $\Omega m$
Terrenos pantanosos	de algunas unidades a 30
Arena arcillosa	50 a 500
Suelo pedregoso cubierto de cesped	300 a 500
Pizarras	50 a 300
Suelo pedregoso desnudo	500 a 3000

El agua de río, de pozos o de mar (con sales disueltas) es buena conductora, poco resistiva, comparable a los buenos terrenos.

Los suelos de grano fino o muy fino son buenos conductores, por lo general, mejores que los de grano medio, y éstos a su vez mejores que los de grano grueso.

### Humedad

El estado higrométrico del terreno influye de forma apreciable sobre la resistividad: al aumentar la humedad disminuye la resistividad y al disminuir la humedad aumenta la resistividad. En cualquier caso, siempre que se añada agua al terreno, disminuye su resistividad respecto a la que tendría en seco.

### Temperatura del Terreno

Las características térmicas del terreno dependen de su composición, de su grado de compactación y del grado de humedad. La resistividad del terreno aumenta al disminuir la temperatura, pero cuando el terreno se enfría por debajo de cero, la resistividad aumenta muy rápidamente.

## Salinidad del terreno

Al aumentar la salinidad del terreno disminuye la resistividad. Un terreno puede mejorar sensiblemente su valor de resistividad simplemente añadiéndole sales. El método más utilizado para mejorar la resistividad del terreno es añadir sal en las arquetas de los puntos de puesta a tierra y después regar (práctica frecuente en zonas rocosas).

## Estratigrafía del terreno

Los terrenos están formados en profundidad por capas de diferentes agregados, y por lo tanto, de diferentes resistividades. Su resistividad será una combinación de la resistividad de las diferentes capas y del espesor de cada una de ellas. La resistividad media o resistividad aparente será una combinación de las resistividades de todas las capas que componen el terreno. Si las instalaciones y el terreno los permiten, debemos aconsejar la instalación de electrodos en profundidad. Si el terreno es malo, o el número de picas por instalar es grande, o lo accidentado del terreno no lo permite, se colocarán en paralelo, pero sabiendo la incertidumbre y el riesgo que esta decisión implique.

## Variaciones estacionales

En épocas de lluvia presenta una resistividad menor que en épocas de sequía.

Se recomienda las revisiones periódicas de las instalaciones en las épocas más desfavorables para el terreno, en las zonas frías en invierno, en zonas lluviosas en la época seca y, en zonas normales, al final del verano.

## Factores de naturaleza eléctrica

El fenómeno que hay que tener en cuenta es el deterioro más o menos significativo de los electrodos o del conjunto de la puesta a tierra en caso de algún cortocircuito o la caída de un rayo que se canalice a través de la puesta a tierra del edificio. En estos casos es reglamentaria la revisión de la puesta a tierra.

## Compactación del terreno alrededor de la puesta a tierra

Cuando la compactación del terreno es grande disminuye la resistividad. Siempre que se coloquen electrodos de pica, la vibración de la máquina de penetración dejará una separación entre la pica y el terreno, por lo que habrá que compactar para que se produzca un buen contacto pica-terreno. Se aconseja también la compactación alrededor de los electrodos de placa y los electrodos de conductor enterrado. La elección del electrodo, junto con su instalación y profundidad, es lo que determinará junto con la resistividad del terreno la eficacia de la puesta a tierra.

## Métodos de medida de la resistividad de los terrenos

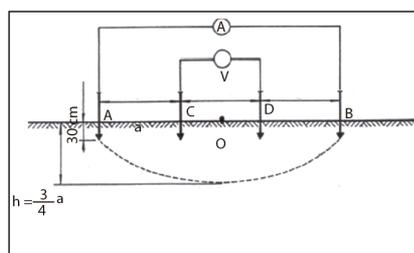
Si conocemos el valor de la resistividad del terreno con anterioridad a instalar o decidir el tipo de electrodo que vamos a utilizar, tendremos la ventaja de elegir el sistema que técnico-económico pueda ser más rentable. Se conocen varios métodos para calcular la resistividad. A continuación, describiremos los siguientes métodos:

- Método Wenner.
- Método por el Sistema Métrico.

### Método Wenner

Colocamos 4 electrodos o picas a distancias iguales, de un punto central cero debajo del cual queremos medir la resistividad del terreno.

El espesor de la capa del terreno de la que estamos midiendo la resistividad es directamente proporcional a la separación entre picas, como se puede apreciar; su valor es:  $h = \frac{3}{4} \times a$ , donde **h** es la profundidad para la medida de la resistividad media y **a** la separación entre electrodos.



La relación entre la tensión **V** y la intensidad **I** es el valor de la resistencia variable que se registra en el instrumento de medición:

$$R = \frac{V}{I}$$

El valor de la resistividad aparente que calcularemos para un estrato de espesor **h** es:  $\rho = 2 \times \pi \times a \times R$ ; donde **R** es el valor de la resistencia dada por el instrumento.

**Ejercicio**

Calcular la resistividad de un terreno, suponiendo tipo arenoso, con una capa de material orgánico tipo humus vegetal y una capa acuifera a una profundidad de tres metros:

**Variación de la resistividad en función de la profundidad**

$$\rho = 2 \times \pi \times a \times R = 2 \times \pi \times 2 \times 90 = 1131$$

$$\rho = 2 \times \pi \times a \times R = 2 \times \pi \times 4 \times 21,5 = 540$$

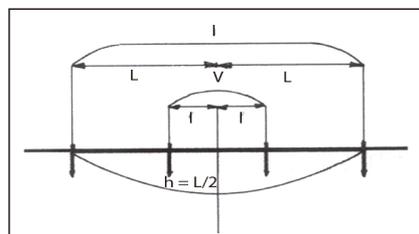
$$\rho = 2 \times \pi \times a \times R = 2 \times \pi \times 8 \times 10 = 502$$

$$\rho = 2 \times \pi \times a \times R = 2 \times \pi \times 12 \times 5,5 = 415$$

a (m)	h (m)	R (Ω)	ρ (Ω.m)
2	1,5	90	1131
4	3	21,5	540
8	6	10	502
12	9	5,5	415

**Sistema Simétrico**

Este sistema es usado cuando las picas auxiliares no pueden clavar-se a intervalos regulares. Se utilizan dos picas de intensidad y dos picas de tensión que se conectan a los cuatro bornes del aparato. Las picas de intensidad serán las exteriores y las de tensión las interiores. Como se muestra en la figura las cuatro picas se colocan simétricamente respecto al punto cero, punto debajo del cual mediremos la resistividad.



La distancia entre los electrodos de intensidad y la profundidad del estrato del terreno al cual se está midiendo la resistividad es:

$$H = \frac{L}{2}$$

El valor de la resistividad aparente se obtiene por medio de la siguiente fórmula:

$$\rho_a = \rho - \frac{(L^2 - l^2)}{2l} \times R$$

El valor de R se obtiene por la lectura del instrumento:

$$R = \frac{V}{I}$$

Si las picas auxiliares no se pueden clavar en terreno por su dureza o por ser terrenos pedregosos, o suelos artificiales de hormigón o similar, se colocarán las picas tumbadas en suelo sobre bayetas húmedas y después regadas abundantemente.

Este método es muy utilizado para la medida del electrodo de tierra en edificaciones de las ciudades donde es casi imposible clavar picas en las calles o aceras.

**Interpretación y utilización práctica de las medidas**

Tanto con el método Wenner como con el sistema Simétrico se ha calculado el valor de la resistividad del terreno, como paso previo para poder conocer la eficacia de la puesta a tierra que se va a instalar posteriormente.

La eficacia de una buena toma de tierra nos la va a dar el valor de la **resistencia de la puesta a tierra** que, como se ha comentado anteriormente es el valor de la resistencia que se opondrá al paso de la corriente eléctrica a tierra cuando se utiliza un electrodo introducido en el terreno.

La combinación de la resistividad del terreno, el tipo de electrodo y el contacto electrodo-terreno será el que nos definirá el valor de la resistencia de la puesta a tierra. Utilizando los valores obtenidos de la resistividad aparente en la tabla anteriormente elaborada, podemos calcular el valor de la resistencia de puesta a tierra según el electrodo que utilizemos.

A continuación se describe uno de los métodos más utilizados, cual es, el electrodo de pica.

Se pueden plantear dos modalidades: en profundidad y en paralelo.

**Electrodo de pica en profundidad:** Las picas serán de acero recubiertas de cobre, de 14mm. o 16mm. de diámetro, y de 200cm de longitud acoplables, con lo que la longitud dependerá del número de picas que

acoplemos. Una pica consta de las siguientes partes: sufridera, manguito de acoplamiento y electrodos. Para acoplar dos picas basta desenroscar la punta de penetración de una y la sufridera de la otra y enroscar la una en la otra.

La fórmula matemática que da los valores de la tabla anterior con la resistencia de puesta a tierra en el caso de electrodos de pica, es el que se describe a continuación:

$R = 0,366 \times \rho \div h \times [\log(3 \times h \div d)]$ ; donde **R** es la resistencia de la puesta a tierra de la pica en ( $\Omega$ );  $\rho$  es la resistividad del terreno en ( $\Omega\text{m}$ ); **h** es la profundidad en metros y **d** el diámetro de la pica de tierra en metros.

Llevando los resultados de las mediciones sobre una escala logarítmica, en la que está indicado un haz de diagonales que representan la resistencia teórica de una pica de tierra clavada en un terreno uniforme de diferentes resistividades. Indica así mismo las capas de terreno que son más favorables para realizar una buena toma de tierra.

### Ejemplo de aplicación

En la tabla anterior, para una separación entre electrodos de **a** = 4 m, tendremos:

$$R = 0,366 \times 540 \div 3 \times [\log(3 \times 3 \div 0,016)] = 181,178 \Omega$$

### Tomas de tierra

**Placas.** Podemos imaginar que la placa está colocada de plano sobre el suelo; este es el caso de las bases metálicas de máquinas, chapas o planchas colocadas en el suelo, etc. Si se supone una placa circular de diámetro **d**, la resistencia de puesta a tierra será:

$$R_T = \frac{\rho}{2 \times d} = \Omega$$

Más interesante es el caso de las placas enterradas utilizadas como verdaderas toma de tierra. Es indiferente que la placa se coloque horizontal o verticalmente siempre que la profundidad sea elevada respecto al diámetro de la placa. Si se supone una placa circular de diámetro **d**, la resistencia de la toma de tierra será:

$$R_T = \frac{\rho}{4 \times d} = \Omega$$

Si la placa es rectangular o cuadrada, la fórmula anterior se sustituye por la siguiente:

$$R_T = \frac{\rho}{4,5 \times ab} = \Omega$$

Siendo **a** y **b** las longitudes de la placa. Las placas empleadas serán galvanizadas con 3mm, mínimo de espesor, e introducida a profundidades de 2 a 3 metros.

### Ejemplo

En un terreno arcilloso (según tabla de la página 10 = 100) fue introducida una esfera de metal de 50 cm de diámetro, si la profundidad es de 10 metros, determinar la resistencia de puesta a tierra obtenida.

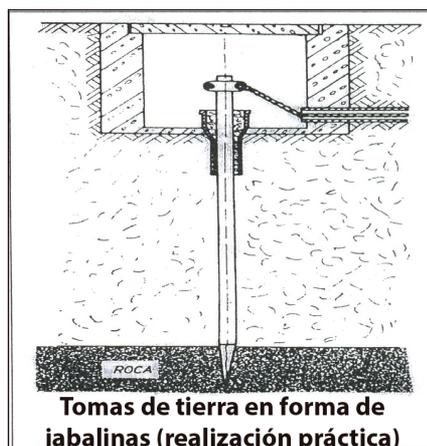
Solución:  $R_T = \frac{\rho}{4 \times \pi \times d} = \frac{100}{2 \times 3,14 \times 0,5} = 31,84 \Omega$

### Tomas de tierra en forma de jabalina

Este sistema es muy empleado. Consiste en clavar verticalmente en el terreno tubos de hierro galvanizado, cuyo diámetro mínimo de acuerdo al Reglamento de Baja Tensión de la ANDE deberá ser de 1 a 3 metros de longitud, o las jabalinas del tipo acero revestido de cobre de 2,40 metros. Para una profundidad **t** la resistencia de toma de tierra es:

$$R_T = \frac{\rho}{t} = \Omega$$

Cuando la resistencia deseada no se puede conseguir con una sola toma de tierra, se clavan una y otras más en paralelo (principio de resistencias en paralelo); la distancia entre jabalinas debe ser por lo menos igual a la profundidad **t** a que están clavadas las jabalinas. De lo contrario resultaría contraproducente porque el embudo de tensión obtenido sería peligroso.

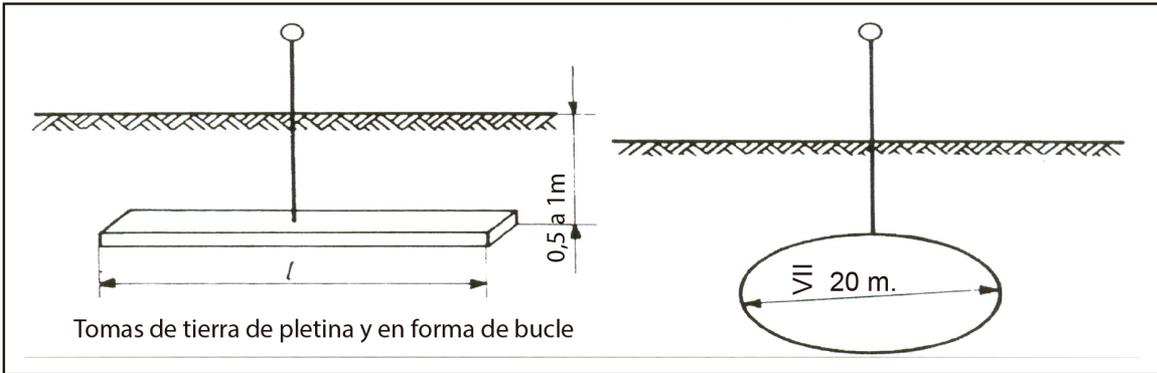


**Tomas de tierra de pletina y en forma de bucle**

En el caso de tomas de tierra de pletinas, éstas se colocan en el suelo, a poca profundidad y horizontalmente (entre 0,50 m y 1 m); se extienden en una gran superficie y son utilizadas sobre todo, en instalaciones a la intemperie y, también en aquellos casos en que no puede utilizarse otro tipo de tomas de tierra (por ejemplo en terrenos rocosos). Si **L** es la longitud de la toma de tierra, su resistencia eléctrica será:

$$R_T = \frac{2 \times \rho}{L} = \Omega$$

Por lo tanto, indistintamente se pueden utilizar para las tomas de tierra, conductores en forma de tubo o en forma de pletina, ya que la forma de estas tomas de tierra no influyen en el valor de la resistencia. En las tomas de tierra en forma de bucle el conductor que constituye la toma de tierra se cierra sobre sí mismo para formar un bucle (rectangular, circular, etc.), por lo que la resistencia aumenta. Sin embargo, en la práctica se puede tomar muy aproximadamente la fórmula que nos expresa la resistencia de la toma de tierra en forma de pletina.



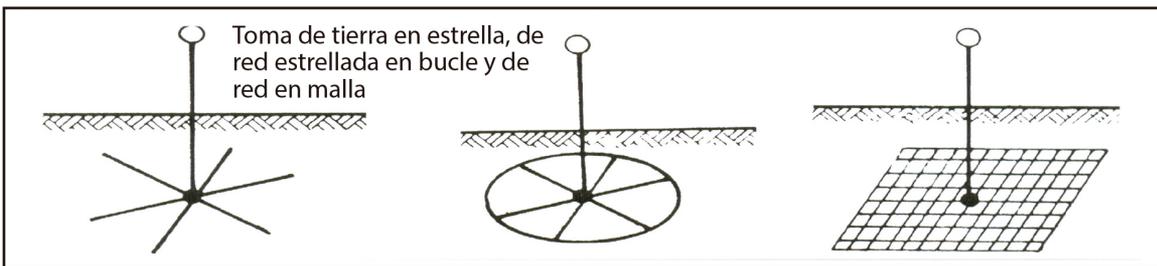
Tomas de tierra de pletina y en forma de bucle

**Tomas de tierra en estrella, estrellada en bucle y de red en malla**

En las tomas de tierra en estrella, a partir de 6 ramificaciones, el aumento de éstas contribuye poco a la disminución de resistencia, por lo que se adopta este número como máximo; además los ángulos no deben ser inferiores a los 60°. Para calcular la resistencia de puesta a tierra, se aplica la misma fórmula que para el caso de pletina, pero teniendo en cuenta que se ha de considerar una longitud igual a la suma de las longitudes de los conductores radiales.

Si se unen entre sí las ramificaciones que constituyen una toma de tierra en estrella, se obtiene una red estrellada en bucle. También puede formarse una excelente toma de tierra mediante un enmallado metálico rectangular. En ambos casos, la fórmula que nos expresa la resistencia de puesta a tierra es la misma que para el caso de toma de tierra en forma de placa. El diámetro o la longitud del mayor lado de la superficie enmallada no debe sobrepasar los 20 metros.

Para el montaje de tomas de tierra de pletina, bucle, estrella o en malla, se emplea alambre de acero de sección mínima de 100 mm<sup>2</sup> y espesor de 3 mm o, cable galvanizado de hierro de sección mínima de 50 mm<sup>2</sup> con un espesor mínimo de 2 mm y, finalmente, conductor desnudo de cobre de 35 mm<sup>2</sup> de sección mínima.



Toma de tierra en estrella, de red estrellada en bucle y de red en malla

**Descargas atmosféricas**

Truenos y rayos son impresionantes manifestaciones de la naturaleza. Las civilizaciones ancestrales crearon diversas leyendas para explicarlos. Los escritos más antiguos los mencionan y las pictografías muestran imágenes de rayos. El mito más famoso es el de Zeus, padre de los dioses griegos; menciona a los truenos y relámpagos como herramientas utilizadas para castigar a los seres humanos. Hasta 100 años sobrevivir a una tormenta eléctrica no ocasionaba mayores daños mate-



riales. Al final del siglo XIX, ya existía la idea de que los rayos podrían damnificar los equipos eléctricos. A partir de la mitad del siglo XX, con la aparición de los semiconductores, los equipos electrónicos se han transformado en piezas más complejas y delicadas, y extremadamente vulnerables a las consecuencias provocadas por descargas atmosféricas. Hoy, la descripción de una tormenta puede concluir de la siguiente manera: "mi computadora, el sistema telefónico de mi casa, la radio y la televisión se transformaron en ruinas". Los eliminadores de sobretensiones, aparatos destinados a proteger los equipos electrónicos contra daños, están disponibles en el mercado. Los dispositivos son confiables que pueden alcanzar un ciento por ciento de efectividad en la prevención de daños provocados por descargas de rayos y alteraciones de la corriente alterna.

### Los rayos

Un rayo es una gigantesca chispa proveniente de la electricidad estática acumulada en las nubes. Complicados procesos provocan la separación de las cargas eléctricas dentro de las nubes de tormentas. En general, las cargas eléctricas (los electrones) se acumulan en la parte inferior mientras que, y correlativamente las cargas positivas (los protones) se encuentran en la parte superior.

El aire del interior de las nubes tiene características aislantes, con lo cual retiene las cargas eléctricas. Cuando la carga acumulada llega a sobrepasar la capacidad aislante del aire, salta la chispa bajo la forma de arco voltaico gigantesco, es decir, lo que conocemos como rayo.

La frecuencia con que aparecen los rayos en las diferentes regiones del mundo son enormes. En los climas fríos hay pocas tormentas, el aire no tiene suficiente humedad para formar nubes. Un parámetro de medida está expresado en días de tormenta por año. En los polos hay menos de un día de tormenta por año. En los trópicos llega a ser de 200 días anuales. Gran parte de América Central y Sud América tiene rayos en más de 100 días al año. En estas áreas los daños provocados por descargas atmosféricas son mucho mayores que en el Norte de Europa, con sus 5 a 20 días anuales. La chispa de un rayo que cae encima de un objeto apoyado en el suelo es muy destructiva debido al voltaje y amperaje. Suele ser superior a los 10.000.000 de Voltios. Para tener una idea de la importancia en las redes eléctricas domiciliarias se dispone de 110 y 220 V, con una corriente de 15 Amper. En el caso de un rayo, éste alcanza de 20 a 100.000 A. En menos de diez milésimas de segundos se descarga la corriente. Como este impulso tiene poca duración, los objetos metálicos pesados, tales como puentes, rieles, cables de potencia, no son damnificados; sin embargo los aisladores que impiden el paso de la corriente eléctrica y los cables finos, entre otros elementos, son destruidos por cualquier descarga atmosférica o rayo.

### Características naturales de las descargas atmosféricas

Las descargas atmosféricas se pueden clasificar de acuerdo a su inicio y destino en:

**Nube a cielo o "duendes"**, que son descargas hacia la atmósfera, más arriba de las nubes. **Nube a Tierra**, los más típicos y espectaculares (y peligrosos, por supuesto).

**Intranubes**, es decir dentro de una misma nube. Aparecen como relámpagos con algunos truenos. **Internubes**, de una nube a otra, con grandes truenos. En resumen, y en todos los casos, el rayo, o descarga atmosférica, viene acompañado de fenómenos sonoros (trueno) y luminosos (relámpago).

### Características eléctricas de las descargas atmosféricas

Las tensiones que se ponen en juego en las descargas atmosféricas son enormes y se pueden evaluar aproximadamente entre 5 y 10 KV por centímetro de distancia entre nube y nube o entre nube y tierra; los valores inferiores corresponden a la descarga entre nube y nube que es siempre menos intensa. Así, si la distancia entre nube y tierra es de 300 metros, y se adopta valores mayores (10 KV por cm), la tensión del rayo será:  $10 \times 300 \times 100 = 300.000 \text{ KV}$  (300.000.000 V) Las intensidades de corriente de las descargas atmosféricas son también bastante elevadas y oscilan entre 10 Kilo Amper y 200 Kilo Amper, aunque este último valor puede ser considerado como excepcional. Los valores normales se constituyen entre 10 y 50 Kilo Amper. El tiempo de descarga para los valores mencionados comprende entre 20 y 200 millonésima de segundos.

Por todas las razones susodichas puede deducirse que la potencia del rayo es enorme, ya que viene dada por la expresión:  $P=V \times I$

Mientras que la energía total disipada por la descarga, en comparación, es muy pequeña, pues se representa por la siguiente ecuación:  $E=V \times I \times t$

Por ejemplo, para saber la energía total disipada durante la descarga y, tomando los valores extremos del párrafo anterior tendríamos:

$$E=V \times I \times t=300.000.000 \times 50.000 \times 0,0002=3.000.000.000 \text{ vatios/segundos}$$

Dada la elevada magnitud de la potencia instantánea desarrollada por un rayo, los efectos y consecuencias de la descarga son muy grandes, pero suceden en brevísimo tiempo. En general, se puede decir que la magnitud de los daños producidos depende de la conductividad eléctrica de los cuerpos que reciben la descarga; si se trata de cuerpos conductores, los daños son mínimos y casi siempre limitados a los puntos de entrada y salida

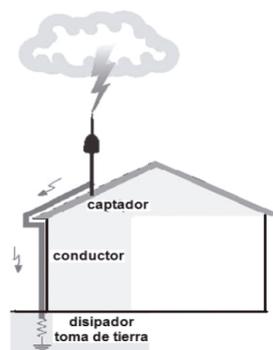
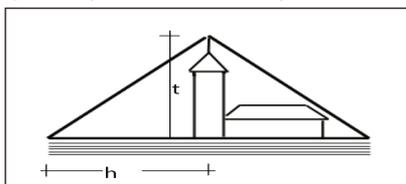
de la descarga.

Si los cuerpos son malos conductores (árboles, edificios, etc.), el destrozo es siempre grande, seguido de muchas veces de incendios que acrecientan aún más los perjuicios y peligros. Tratándose de personas, en casi la totalidad de los casos, el efecto de la descarga es la muerte instantánea, ya que la conmoción sufrida por el organismo es enorme y muy violento, produciéndose quemaduras totales o parciales irreversibles. Los desperfectos y destrucciones que ocasionan los rayos en los edificios son de gran magnitud, sobre todo cuando la descarga atraviesa partes aislantes, como madera, ladrillo, piedra, etc., de tal manera que, para proteger edificios hay que prever elementos y dispositivos para conducir esa descarga hacia la tierra sin atravesar las partes aislantes. Los dispositivos utilizados para la protección de los edificios contra las descargas atmosféricas se denominan **pararrayos**.



## Pararrayos

Un pararrayo y su instalación consta de los órganos de captación de la descarga, denominados puntas, lanzas, captador o pararrayos propiamente dicho, como lo indica la figura de al lado, el conductor o conexión entre el captador y la toma de tierra o lugar de disipación de la descarga. Un pararrayo bien instalado y conectado a tierra, protege una zona incluida dentro de un cono de protección cuyo vértice está en la punta del pararrayos y que tiene por base un círculo de radio igual al doble de la altura del pararrayos.



### Partes componentes del Pararrayos

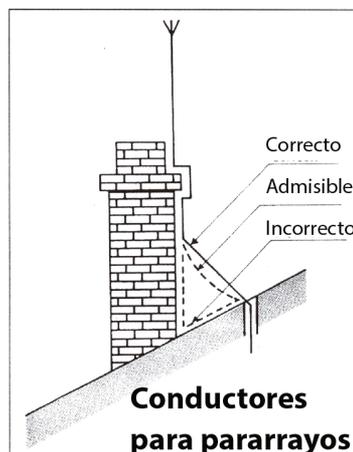
#### Captador o lanza del pararrayos

El captador formado por la lanza metálica que constituye el pararrayos, propiamente dicho, está destinada a la recepción del rayo. La punta del pararrayos debe construirse de material difícilmente fusible; antes se construían estas puntas de platino, pero este material resulta demasiado costoso y, es por ello que actualmente se construyen puntas de pararrayos que dan buen resultado empleando tungsteno. En la presente lámina se muestra algunas puntas de pararrayos empleadas normalmente. El resto de la lanza del pararrayos se fabrica de hierro o de acero galvanizado. La longitud total de la lanza está comprendida entre 0,5 y 2 metros de longitud y su sección circular o cuadrada no debe ser inferior a  $500 \text{ mm}^2$  en la base de la lanza, lo que representa un cuadrado de 70 mm de lado o un círculo de 80 mm de radio.



#### Conductor del pararrayos

Generalmente se emplea cobre y su sección debe ser, como mínimo, de  $25 \text{ mm}^2$ , también puede utilizarse el aluminio; en este caso la sección ha de ser de  $50 \text{ mm}^2$ . El empleo del hierro o acero recubierto de zinc, muy utilizado en otras épocas, no es recomendable. La forma de la sección del conductor del pararrayos es indiferente (circular, cuadrada, rectangular). No es necesario que los conductores se aislen del edificio que tienen que proteger pero su fijación a la fachada debe ser muy sólida. Las partes metálicas del edificio (ventanas, puertas) así como las grandes masas metálicas (máquinas eléctricas, máquinas mecánicas, calderas, etc.) deben interconectarse a los conductores del pararrayos, con lo que la protección contra las descargas atmosféricas resulta mucho más eficiente. Las mencionadas conexiones deben realizarse con mucho cuidado, de modo a obtener un buen contacto eléctrico. Es preferente instalar, por lo menos, dos líneas independientes, desde el mismo pararrayos, alejadas lo más posible una de la otra y, con tomas de tierra independientes. Los conductores han de montarse de forma que sigan una trayectoria lo más vertical y menos sinuosa que sea posible, evitando así, los cambios bruscos de dirección y haciendo que sea siempre descendente.



#### Tomas de tierra para pararrayos

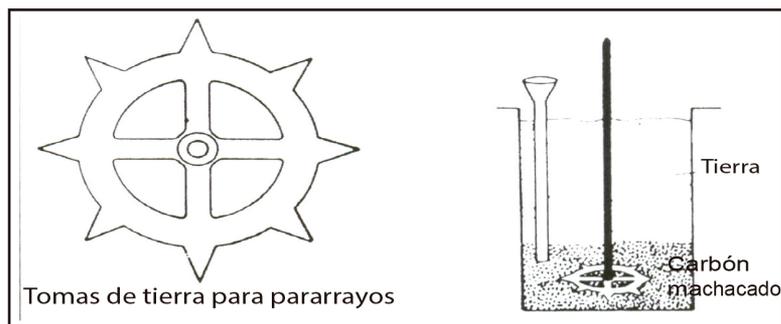
Esta parte de la protección contra las descargas atmosféricas es de primordial importancia, ya que una mala toma de tierra no solamente hace ineficaz la instalación del pararrayos, sino que, en caso de tormenta, la

situación es más peligrosa como que nada se hubiera instalado.

De aquí surge la siguiente reflexión "es mejor no tener pararrayos que un pararrayos mal instalados". La toma de tierra está constituida por una placa metálica, preferiblemente de cobre estañado (por ejemplo radiadores viejos), o de hierro galvanizado de 1 a 2 mm<sup>2</sup> de superficie y de 2 a 5 mm de espesor. Las formas constructivas de las tomas de tierra son muy variadas.

La placa que constituye la toma de tierra se coloca en el suelo, a una profundidad mínima de 2 metros; debe elegirse para su emplazamiento el lugar más húmedo posible por ser el más conductor.

La placa se rodeará de carbón triturado y humedecido; para humedecer el carbón debe disponerse un tubo para verter agua periódicamente. En todos los casos, deben disponerse de varias tomas de tierra para una eficiente protección de los edificios o viviendas. Su número depende de las dimensiones del edificio que han de proteger y en ningún caso podrá ser inferior a dos.



En todos los casos, deben disponerse de varias tomas de tierra para una eficiente protección de los edificios o viviendas. Su número depende de las dimensiones del edificio que han de proteger y en ningún caso podrá ser inferior a dos.

### Protecciones contra sobretensiones

Todas las veces que ocurre un enclavamiento de los circuitos o de cargas en las instalaciones eléctricas ellas quedan sujetas a sobretensiones. Cuando caen rayos directamente o en la vecindad de las redes eléctricas, son generadas sobretensiones en el sistema de alimentación.

Esas sobretensiones cuando ultrapasan los límites soportables por el equipo, pueden dañarse. Esto significa la pérdida de aparatos electrónicos sensibles, sus programas, la comunicación entre sistemas, en fin, perjuicios directos e indirectos de gran monto.

Para proteger las instalaciones eléctricas y sus componentes contra daños provocados por sobretensiones, son empleados diversos tipos de dispositivos tales como centelladores a gas, centelladores a aire, varistores, diodos especiales y pararrayos de líneas. Todos tienen en común el hecho de desviar del circuito de alimentación el exceso de tensión que podría provocar daños a la instalación. Este desvío utiliza siempre el sistema de aterramiento como camino preferencial.

Cada tipo de dispositivo contra sobretensiones posee sus ventajas y desventajas y son recomendados más para un tipo de aplicación que para otro.

Como regla general todos los equipos electrónicos deben tener sus masas ligadas al conductor de protección y, deben ser protegidos por dispositivos contra sobretensión.

Los terminales "tierra" de esos protectores deben ser conectados al conductor de protección de los circuitos.

En la entrada de la instalación de fuerza, debe ser instalado un pararrayos de línea de baja tensión entre cada conductor vivo (fases y neutro) y el terminal de puesta a tierra (TPA).

En la entrada de la instalación telefónica del distribuidor general, la tierra debe estar conectada al TPA de la instalación por medio de cinta de cobre, y protectores de sobretensión adecuados.

Existiendo otras líneas metálicas que penetren en la edificación venidas del exterior (TV por cable, cables de bajadas de TV, radio aficionado y telefonía e internet), todos deberán ser objeto de protección contra sobretensiones, mediante la instalación de protectores adecuados.

Se debe resaltar que ningún protector contra sobretensiones funcionará correctamente si no existiere el conductor de protección, y un sistema de aterramiento adecuado. En el caso de líneas de señal, el uso de fibras ópticas, por su naturaleza inmune a interferencias electromagnéticas, no precisa el uso de protectores contra sobre tensiones.

### Protección de equipos electrónicos

Características y evolución de los sistemas de aterramiento para equipos electrónicos sensibles.

Podemos establecer la siguiente secuencia histórica en relación a la aplicación de los sistemas de aterramiento para equipos electrónicos sensibles:

- a) Utilización del propio sistema de aterramiento de fuerza para los equipos sensibles;
- b) Utilización de un sistema de aterramiento independiente **aislado** del sistema de aterramiento de fuerza;
- c) Utilización del sistema radial de **punto único**;
- d) Utilización de Malla de Tierra de Referencia (**M.T.R**), también designada **“Signal Referent Grid” (S.R.G)**

### Utilización del sistema de aterramiento de fuerza

El sistema de aterramiento para los equipos de fuerza es muy conocido por el largo tiempo de utilización y funcionamiento óptimo cuando fuera bien proyectado.

¿Entonces por qué no utilizarlos también para los equipos electrónicos?

Este sistema se implementó cuando se comenzaron a utilizar los equipos electrónicos, allá por los años '70, resultando un rotundo fracaso. Las mallas para equipos de fuerza son completamente inadecuadas para equipos sensibles, ya que en régimen normal, acostumbran a ser recorridas por corrientes de varios orígenes, denominados espúreas, (provocadas por corrientes anódicas/catódicas, corrientes de circulación del neutro, inducciones electromagnéticas diversas, etc.)

En régimen transitorio como los cortocircuitos a tierra, las descargas atmosféricas, etc. Circulan corrientes que pueden ser extremadamente elevadas. De ahí verificamos que la malla de potencial inalterable, necesario para los equipos electrónicos sensibles, no es la malla usada para los sistemas de fuerza.

### Utilización de sistemas de aterramiento aislado

Este esquema es el más socorrido por la Industria y por la mayoría de los pro-veedores de equipos electrónicos. En esta configuración se tiene una tierra relativamente libre de ruidos e interferencias, necesarios para la referencia lógica de los aparatos, además de ser completada con la tierra de seguridad convencional del sistema de tierras de potencia. Pero, tiene las siguientes limitaciones:

- a) En altas frecuencias, la impedancia del conductor de tierra es demasiado alta para servir de buena conexión;
- b) El acoplamiento de las tierras dentro de los aparatos puede causar lazos de corriente, resultando en ruidos electrónicos o perturbaciones de la señal;

Un arreglo de este esquema es hacer un anillo de tierras alrededor de los pisos de un edificio de un cuarto de cómputos; y de este anillo se establecen varias conexiones al sistema perimetral de tierras, siempre que tengan las mismas longitudes y, estén acomodadas simétricamente. A este sistema interno se conectan los equipos.

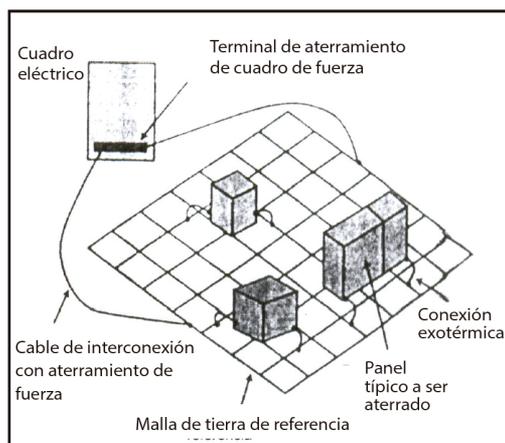


### Esquema de tierra aislada total

Este esquema consiste en conectar todos los aparatos e instrumentos a tierra usando una configuración de estrella a partir de un solo punto físico, el cual es un cabezal o placa de conexión; el o la cual a su vez está conectado/a mediante un conductor apropiado a la red general de tierra.

### Esquema de Malla de Tierra de Referencia (M.T.R)

La más reciente técnica de aterramiento de equipos sensibles consiste en utilizar la Malla de Tierra de Referencia (M.T.R). Su objetivo básico es el de cancelar el grave inconveniente de todos los tipos de mallas anteriores, en lo que concierne a la incapacidad de las mismas de equalizar las barras de tierra de los diversos equipos electrónicos para altas frecuencias, permitiendo entonces la entrada de ruidos indeseables. Como ya fue abordado, las fuentes de ruidos son bastantes diversificadas incluyéndose las radio frecuencias (RF) y frecuencias más elevadas en la faja de los Mega Hertz (MHZ), provocadas por ejemplo, por el propio computador y sus periféricos. Actualmente existen computadores operando con 300Mhz, y están listos los chips para 1Ghz. La construcción de las M.T.R., está basada en las investigaciones de conducción de señales de alta frecuencia en cables conductores (líneas de transmisión); esta investigaciones establecerán que si la longitud del conductor no fuera



mayor que  $1/10$  o  $1/20$  de la longitud de onda de la señal transmitida, entonces la diferencia de potencial establecida entre las extremidades del conductor es prácticamente despreciable”.

Para una señal de 60 MHz, un vigésimo de su longitud de onda equivale a cerca de

30cm. Por tanto, si fuera construida una malla de conductores espaciados entre sí con esta distancia e interconectados en sus cruzamientos, será creado un gran número de circuitos paralelos de baja impedancia, los cuales funcionando prácticamente como cortocircuito para el espectro de frecuencias de 60 y 50Hz (frecuencias industriales) hasta 60 Mhz. Se puede percibir, por extensión, que una **chapa** equalizaría cualquier frecuencia por más elevada que ésta sea, una vez que quede nulo el espacio entre conductores. El conductor ideal para altas frecuencias es la **cinta**.

La M.T.R. debe ser ejecutada con estos conductores; entretanto, la ejecución física de la **malla** con cintas es más trabajosa y requiere de equipos de ejecución de soldadura más difíciles de ser encontrados y operados.

La construcción de los cabos de sección circular, manteniendo el espaciamiento anteriormente citado, es completamente satisfactoria, con la ventaja de ser adquirida en el mercado, ya prefabricada. La función básica de la malla es la equalización de los potenciales y no la conducción de corrientes de cortocircuito. Esto significa que los conductores de protección para retorno de corto circuitos deben seguir existiendo.

La M.T.R. debe ser obligatoriamente conectada al sistema de aterramiento de fuerza, para eliminar la diferencia de potencial ya comentada.

Todas las carcasas, y barras de tierra de referencia de los cuadros de equipos electrónicos sensibles, así como partes metálicas y demás equipos integrantes del ambiente, como electro ductos, cuadros de distribución etc. Deben ser conectados a la M.T.R. a través de cordones o cintas de cobre.

### Principio de funcionamiento de la M.T.R

Como se sabe de la teoría de comunicación de ondas, el largo físico del conductor es del orden de magnitud del largo de la propia onda, entonces existirán diferencias de potencial a lo largo del conductor. Por otro lado, si el largo físico es mucho menor que el largo (10 o 20 veces menor) de la onda, entonces la diferencia de potencial a lo largo del conductor es mínima. Por tanto, si construimos una malla de aterramiento cuyo largo sea mucho menor que el de la onda de mayor frecuencia, no existirán diferencias de potencial apreciables entre dos puntos cualesquiera de la malla. Adicionalmente a lo mencionado en el párrafo anterior, los equipos y partes metálicas estructurales deben ser conectados a este tipo de piso, y que al ofrecer un plano de referencia de tierra, baja su impedancia en todas las frecuencias.

El criterio actual es adoptar una frecuencia en el espectro de radio de 30MHZ, a que atiende la mayoría de las interferencias presentes en los medios industriales y comerciales, incluyendo las descargas atmosféricas. Casos especiales deben ser analizados aparte.

Desde luego, la M.T.R. proyectada, según este criterio, será un plano de referencia sin perturbaciones, tanto para frecuencias bajas desde 60HZ, como para radio frecuencias del orden de 30-60 MHZ.

### Localización de la M.T.R

Debe ser montada sobre los equipos electrónicos sensibles a una distancia tal que el largo entre las barras de tierra y la **malla** no ultrapase la longitud del Mesh.

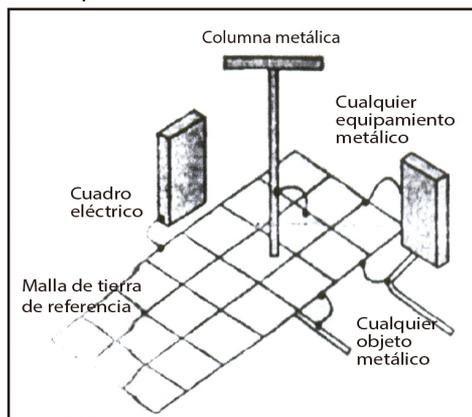
Las mejores soluciones para conseguir este objetivo son las siguientes:

- Utilización de un piso falso con la malla situada en el fondo del mismo. Se puede construir la malla suspensa, fijada firmemente a través de conectores en los soportes del piso falso;
- La malla puede ser embutida en la superficie del piso, en el concreto estructural. En este caso se deben dejar los puntos de conexión accesibles;
- Interconexión de la M.T.R. al sistema de fuerza - Equalización del Potencial.

Desde el punto de vista teórico, la M.T.R. funciona suspendido en el aire, ya que la equalización del sistema es hecha a través de su Mesh, pero, por seguridad del personal, se realiza la interconexión intencional con la malla de fuerzas.

### Otros aspectos importantes relacionados con el aterramiento de equipos sensibles

La M.T.R. es la solución ideal para el aterramiento confiable de un conjunto de equipos sensibles agrupados



en un mismo ambiente, siendo solución natural para cuadros de mando y protección; salas con equipos de circuitos lógicos programables; estaciones de radio, equipos informáticos y telecomunicaciones en general. Cuando fuera difícil su aplicación, principalmente para un número pequeño de equipos muy espaciados, se puede utilizar el método de aterramiento de Punto Único o utilizar una placa metálica que simule la M.T.R. De cualquier forma, la M.T.R. o cualquier otro sistema de aterramiento, no garantiza, de forma individual, el buen desempeño de los equipos sensibles.

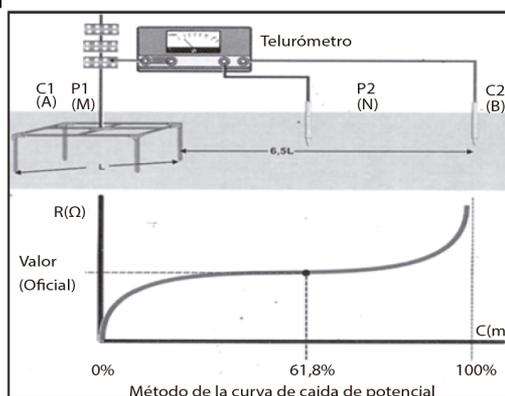
### Es obligatorio que sean realizados los siguientes complementos:

- Ejecutar un blindaje externo del edificio contra descargas atmosféricas;
- Instalar supresores de picos en el inicio y fin de los cables de señales débiles;
- Escoger criteriosamente el sistema de alimentación eléctrica de los equipos sensibles en bandejas, electroductos, etc., de modo que no sufran perturbaciones como sobre picos de tensión, armónicos, ruidos indeseables, etc.;
- Escoger de forma adecuada el aterrizaje de los blindajes de los cables, llevándose en cuenta la frecuencia de comunicación y el sistema de aterramiento utilizados. En bajas frecuencias, el aterramiento debe ser solamente en una extremidad.

### Métodos de Medición de Resistencia de Puesta a Tierra mediante Instrumento de Medida

Se destacan tres métodos de los más empleados en la práctica

**De la curva de la caída de potencial:** Se basa en obtener una curva como la presentada en la figura de al lado. Supongamos se hace un trabajo de campo, dejando fijo el electrodo de corriente C2, y se van haciendo varias mediciones moviendo el electrodo de potencial P2, se obtendrá una zona de potencial plano como la vista en la figura. Este es el verdadero valor de la resistencia de puesta a tierra. El método simplificado consiste en realizar tres mediciones, luego se saca un promedio de las tres y se compara el promedio con cada una de las mediciones, si la diferencia es menor o igual al 5%, se toma esa medida como valor verdadero.



### De la regla del 62%:

Desarrollado por Mr. Tagg en 1964 y publicada en "Proceeding of the IEEE" de diciembre de ese año. En el gráfico de arriba se muestra el punto sobre la línea ondulada. El método en sí, se basa en considerar a la tierra como una semiesfera.

Se mide la distancia entre el centro de gravedad de la malla (si fuere posible) y la pica más larga (rojo). Esta distancia se multiplica por 0,62 ( $L \times 0,62$ ) y ese valor se marca sobre la recta trazada. El punto determinado establece el lugar de medición.

Por este método se debe realizar un mínimo de dos mediciones para dar seguridad al proceso y certeza al resultado. Entre los tres métodos citados en nuestro estudio, este es el más fácil de ejecutarlo.

### De la pendiente:

El uso de este método se da preferentemente en las sub estaciones de transformación. El proceso consiste en colocar el electrodo de corriente (rojo) a una distancia equivalente en cinco o seis veces la longitud de la diagonal de la malla. Se realizan tres mediciones **C** y se obtiene por cálculo el valor  $\mu$ , este resultado se lleva a una tabla y se extrae el factor **K**. Con el dato **K** obtenido se calcula el punto donde se ha de realizar la medición.

### Ejercicios de aplicación de los métodos

#### Por la curva de la caída de potencial

##### Primer caso

Se han realizado tres mediciones arrojando los siguientes resultados:

$$R=4,98\Omega$$

$$R=4,99\Omega$$

$$R=4,96\Omega$$

Se halla el promedio de las tres mediciones a través de la siguiente ecuación:

$$R_{\text{PROM}} = \frac{R_1 + R_2 + R_3}{3} = \frac{4,98 + 4,99 + 4,96}{3} = 4,97 \Omega$$

Ahora calculamos el error  $\Delta$  de cada R en tanto por ciento %:

$$\Delta R_1 = \frac{R_1 - R_{\text{PROM}}}{R_{\text{PROM}}} \times 100 = \frac{4,98 - 4,97}{4,97} \times 100 = 0,2\%$$

$$\Delta R_2 = \frac{R_2 - R_{\text{PROM}}}{R_{\text{PROM}}} \times 100 = \frac{4,99 - 4,97}{4,97} \times 100 = 0,4\%$$

$$\Delta R_3 = \frac{R_3 - R_{\text{PROM}}}{R_{\text{PROM}}} \times 100 = \frac{4,96 - 4,97}{4,97} \times 100 = -0,2\%$$

El valor obtenido como promedio de las tres mediciones realizadas es por tanto, válida, pues, como se mencionó en la descripción del método, es requisito excluyente que ningún cálculo de error  $\Delta$  no debe superar el 5%.

### Segundo caso

Se han realizado tres mediciones arrojando los siguientes resultados:

$$R=10,11\Omega$$

$$R=11,20\Omega$$

$$R=11,30\Omega$$

Se halla el promedio de las tres mediciones a través de la siguiente ecuación:

$$R_{\text{PROM}} = \frac{R_1 + R_2 + R_3}{3} = \frac{10,11 + 11,20 + 11,30}{3} = 10,87\Omega$$

Ahora calculamos el error  $\Delta$  de cada R en tanto por ciento %:

$$\Delta R_1 = \frac{R_1 - R_{\text{PROM}}}{R_{\text{PROM}}} \times 100 = \frac{10,11 - 10,87}{10,87} \times 100 = -6,99\%$$

$$\Delta R_2 = \frac{R_2 - R_{\text{PROM}}}{R_{\text{PROM}}} \times 100 = \frac{11,20 - 10,87}{10,87} \times 100 = 3,03\%$$

$$\Delta R_3 = \frac{R_3 - R_{\text{PROM}}}{R_{\text{PROM}}} \times 100 = \frac{11,30 - 10,87}{10,87} \times 100 = 3,955\%$$

El resultado obtenido no se acepta, pues al realizar el cálculo de error  $\Delta$ , en uno de ellos se obtiene un resultado porcentual mayor al 5%, por lo tanto, se deben realizar nuevas mediciones.

### Por el de la pendiente

Se han realizado tres mediciones sobre una extensión **C=60m** de la pica de color rojo:

$$C \times 0,2; \quad C \times 0,4; \quad C \times 0,6$$

y arrojaron los siguientes resultados:

$$R=5,87\Omega$$

$$R=5,88\Omega$$

$$R=5,89\Omega$$

$$\mu = \frac{R_3 - R_2}{R_2 - R_1} = \frac{5,89 - 5,88}{5,88 - 5,87} = 1$$

$$C = 60 \text{ metros}$$

Se calcula primero el coeficiente  $\mu$ ;

Según la tabla, para  $\mu=1$  corresponde **0,5416**.

El siguiente paso es calcular el punto medio PMED en metros para establecer sobre la recta trazada, con el cable de la pica de color rojo, el lugar de medición;

$$P_{\text{MED}} = K \times C = 0,5416 \times 60 = 32,496 \text{ metros.}$$

**Nota:** se recomienda realizar dos veces la medición en distintas direcciones para contrastar los valores, de forma que pueda tener legitimidad el proceso.

Valores de k en función de  $\mu$  para el método de la pendiente

$\mu$	k								
0,01	0,5932	0,39	0,6446	0,77	0,5856	1,15	0,5071	1,53	0,3740
0,02	0,6921	0,40	0,6432	0,78	0,5838	1,16	0,5046	1,54	0,3888
0,03	0,6909	0,41	0,6418	0,79	0,5821	1,17	0,5020	1,55	0,3635
0,04	0,6898	0,42	0,6404	0,80	0,5803	1,18	0,4994	1,56	0,3580
0,05	0,6886	0,43	0,6390	0,81	0,5785	1,19	0,4968	1,57	0,3523
0,06	0,6874	0,44	0,6375	0,82	0,5767	1,20	0,4941	1,58	0,3465
0,07	0,6862	0,45	0,6361	0,83	0,5749	1,21	0,4914	1,59	0,3404
0,08	0,6850	0,46	0,6346	0,84	0,5731	1,22	0,4887	1,60	0,3342
0,09	0,6838	0,47	0,6331	0,85	0,5712	1,23	0,4859	1,61	0,3278
0,10	0,6828	0,48	0,6317	0,86	0,5693	1,24	0,4831	1,62	0,3211
0,11	0,6814	0,49	0,6302	0,87	0,5675	1,25	0,4802	1,63	0,3143
0,12	0,6801	0,50	0,6287	0,88	0,5656	1,26	0,4773	1,64	0,3071
0,13	0,6789	0,51	0,6272	0,89	0,5637	1,27	0,4743	1,65	0,2997
0,14	0,6777	0,52	0,6258	0,90	0,5618	1,28	0,4713	1,66	0,2920
0,15	0,6764	0,53	0,6243	0,91	0,5598	1,29	0,4683	1,67	0,2840
0,16	0,6752	0,54	0,6228	0,92	0,5579	1,30	0,4652	1,68	0,2758
0,17	0,6739	0,55	0,6212	0,93	0,5559	1,31	0,4620	1,69	0,2669
0,18	0,6727	0,56	0,6197	0,94	0,5539	1,32	0,4588	1,70	0,2578
0,19	0,6714	0,57	0,6182	0,95	0,5519	1,33	0,4556	1,71	0,2483
0,20	0,6701	0,58	0,6167	0,96	0,5499	1,34	0,4522	1,72	0,2383
0,21	0,6688	0,59	0,6151	0,97	0,5479	1,35	0,4489	1,73	0,2278
0,22	0,6675	0,60	0,6136	0,98	0,5458	1,36	0,4454	1,74	0,2167
0,23	0,6662	0,61	0,6120	0,99	0,5437	1,37	0,4419	1,75	0,2051
0,24	0,6649	0,62	0,6104	1,00	0,5416	1,38	0,4383	1,76	0,1928
0,25	0,6636	0,63	0,6088	1,01	0,5395	1,39	0,4346	1,77	0,1797
0,26	0,6623	0,64	0,6072	1,02	0,5373	1,40	0,4309	1,78	0,1658
0,27	0,6610	0,65	0,6056	1,03	0,5352	1,41	0,4271	1,79	0,1511
0,28	0,6597	0,66	0,6040	1,04	0,5330	1,42	0,4232	1,80	0,1352
0,29	0,6583	0,67	0,6024	1,05	0,5307	1,43	0,4192	1,81	0,1183
0,30	0,6570	0,68	0,6008	1,06	0,5285	1,44	0,4152	1,82	0,1000
0,31	0,6556	0,69	0,5991	1,07	0,5262	1,45	0,4111	1,83	0,0803
0,32	0,6543	0,70	0,5975	1,08	0,5239	1,46	0,4068	1,84	0,0588
0,33	0,6529	0,71	0,5958	1,09	0,5216	1,47	0,4025	1,85	0,0353
0,34	0,6516	0,72	0,5941	1,10	0,5193	1,48	0,3980		
0,35	0,6502	0,73	0,5924	1,11	0,5169	1,49	0,3935		
0,36	0,6488	0,74	0,5907	1,12	0,5144	1,50	0,3888		
0,37	0,6474	0,75	0,5890	1,13	0,5121	1,51	0,3840		
0,38	0,6460	0,76	0,5873	1,14	0,5096	1,52	0,3791		

### **Soldadura exotérmica para sistema de puesta a tierra**

Es un proceso que consigue la unión molecular de dos o más conductores metálicos mediante una reacción química. Esta unión molecular mejora las propiedades mecánicas, eléctricas y relativas a la corrosión respecto a cualquier unión mecánica.

#### **Es recomendable la utilización de las soldaduras exotérmicas por su eficiencia y características:**

Soporta diversas caídas de rayos. Alta resistencia. No se dilata en función al calentamiento que causa una descarga. Elimina los problemas de contacto. No está sujeta a la corrosión (sulfatación), por estar en un medio "Electrolítico". Es una conexión molecular entre los elementos.

#### **Aplicaciones de la soldadura exotérmica**

La soldadura exotérmica tiene gran variedad de usos Y aplicaciones tanto en el área eléctrica así como en otras actividades. En el área eléctrica su principal aplicación está en la interconexión de conductores y se circunscribe a las conexiones entre:

Cable a cable. Cable a barra copperweld para puesta a tierra. Cable a barras rectangulares de cobre o aluminio. Cable a superficies metálicas. Barra a barra rectangular de cobre o aluminio. Barra copperweld a barra copperweld. Barra rectangular a superficie metálica. Otra aplicación en la industria ferrocarrilera eléctrica, es la soldadura de los conductores del circuito eléctrico de retorno a los rieles. Las conexiones mediante soldadura exotérmica también se utilizan para conexiones subterráneas aisladas de alto voltaje. Las Conexiones mediante soldadura exotérmica también se emplean en aplicaciones industriales para soldar barras de cobre o de aluminio.

#### **Molde de grafito**

La reacción exotérmica de cobre se lleva a cabo en un molde especialmente diseñado y fabricado en grafito de alta calidad, en la figura se pueden observar las partes que conforman este molde.

El molde está compuesto por las siguientes partes:

Placa de características e identificación fabricante. Tapa del molde. Crisol o cámara de reacción para almacenar los materiales que reaccionan. Conducto o tobera de colada que conecta el crisol o cámara de reacción con la cavidad de soldado. Cavidad de soldado o cámara de soldadura donde se alojaron los conductores o materiales a soldar. Orificios para la colocación de los alicates de manipulación del molde.

#### **Preparación del molde de grafito**

La humedad en el molde provocará una soldadura porosa; por tanto deberá estar completamente seco en el momento de realizar cualquier soldadura. Antes de realizar la primera soldadura, se calentará el molde hasta que su temperatura no pueda soportarse al tacto, Para eliminar a humedad que pudiera estar presente en el molde se deberá secar mediante una llama que pueda ser regulada emanada de un equipo adecuado para este fin o quemando un cartucho, en este último, se deberá realizar con cuidado de no dañar la tenaza o alicate que se emplea ara su cierre. Se debe tener precaución en la ejecución del proceso para no encender materiales inflamables que puedan estar cercanos al área. De igual forma, los moldes húmedos pueden producir una reacción explosiva debido a la rápida vaporización de la humedad. El excesivo calor en los moldes también los expone a daños por fuego. Para las soldaduras sucesivas, el calor desarrollado entre cada aplicación mantendrá el molde a la temperatura correcta, si el intervalo entre ellas fuese prolongado y provocase el descenso la temperatura, deberá reiniciarse el proceso precalentando el molde. Esto sobre todo en zonas de alta humedad.

#### **Preparación de conductores o cables**

A pesar de que todos los elementos que integran una conexión eléctrica son importantes, los conductores o cables revisten un especial cuidado, para conseguir una perfecta soldadura el cable o conductor deberá estar perfectamente limpio, seco y conformado. Conformado se refiere a su forma geométrica circular, que no esté deformado. Un cable húmedo, recubierto de barro, polvo o con vestigios de suciedad provocará una soldadura porosa y proyecciones de metal fundido fuera del molde. Para eliminar a humedad que pudiera estar presente en los conductores se deberá secar mediante una llama que pueda ser regulada emanada de un equipo adecuado para este fin. Para eliminar los restos de barro o polvo cepillar los conductores siguiendo la línea de sus hilos teniendo cuidado de no desentorcharlos. Muchas veces nos encontramos cables tratados con aceite o grasa en su proceso de instalación o por cualquier otra razón, en este caso se deberán limpiar con un desengrasante preferentemente un disolvente que seque rápidamente y sin dejar residuos. En casos extremos calentar el cable con una llama hasta eliminar totalmente la grasa o aceite.

Cuando se emplea cables reciclados o hayan estado expuestos a la intemperie generalmente presentan oxidación o rasgos de la misma. En estos casos los cables se deben pulir con un cepillo metálico hasta eliminar cualquier vestigio de óxido.

Una de las causas del deterioro de los moldes de grafito lo generan los cables mal cortados o con deformacio-

nes en su geometría, debido a que impedirán el cierre correcto del molde, provocando fugas de metal fundido y el esfuerzo para el cierre se concentra solo en zonas del molde que tienden a perder su configuración.

### Preparación de las barras copperweld

El extremo de la barra copperweld sobre el cual se realice la soldadura, deberá estar perfectamente limpio, seco y exento de deformaciones al igual que lo indicado para los cables.

Una barra recubierta de barro, polvo o con vestigios de suciedad en la zona por donde se realizará la conexión, provocará una soldadura porosa y proyecciones de metal fundido fuera del molde.

Para eliminar los restos de barro o polvo se deberá cepillar la zona de conexión de la barra hasta que quede pulida y libre de cualquier vestigio de impurezas. Para evitar el deterioro de los moldes de gafito por barras copperweld con deformaciones en su geometría debido a que son golpeadas generalmente por el extremo por donde se realizara la conexión, es recomendable practicar un corte en la sección afectada siempre que sea posible o la deformación sea muy pronunciada. Recuerde que estas deformaciones impedirán el cierre correcto del molde, provocando fugas de metal fundido y el esfuerzo para el cierre se concentre en zonas del molde que tienden a perder su configuración.

### Preparación de la barra de cobre

Cuando se trate de barras rectangulares o pletinas de cobres, la superficie deberá estar libre de toda suciedad o grasa, seca y plana. En caso de que la superficie este con residuos de grasa o suciedad, para limpiarse se puede recurrir a distintos métodos para remover estas impurezas, tales como: el pulidora, cepillado manual, frotación por pliegos de lija, entre otros. Para eliminar a humedad que pudiera estar presente en la superficie se deberá secar mediante una llama que pueda ser regulada de un equipo adecuado para este fin.

### Preparación de las superficies de acero

La superficie deberá estar libre de óxido, seca y plana. En caso de que la superficie este oxidada, con residuos de pintura, grasa o suciedad, para limpiarse se puede recurrir a distintos métodos para remover estas impurezas, tales como: el esmeril eléctrico, cepillado manual, frotación por pliegos de lija, entre otros.

Para eliminar a humedad que pudiera estar presente en la superficie metálica se deberá secar mediante una llama que pueda ser regulada emanada de un equipo adecuado para este fin. Para las superficies galvanizadas se debe eliminar parte de la capa de zinc hasta llegar al metal.

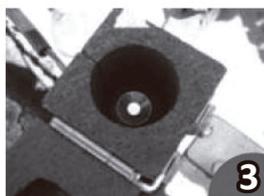
## Cómo se realiza la soldadura exotérmica



1 Secar y limpiar los conductores



2 Posicionar en el molde



3 Colocar el disco metálico



4 Agitar el cartucho para obtener una mezcla homogénea



5 Sobre el compuesto disperse el polvo de ignición, dejando un rastro en la borda



6 Accione el encendedor en posición lateral



7 Espere unos minutos y abra el molde



8 La soldadura está lista