

**Universidad Tecnológica Nacional**

Facultad Regional Buenos Aires

**PUESTA A TIERRA**

**Asignatura: Máquinas e Instalaciones Eléctricas**

Jefe Trabajos Prácticos:  
Ing. Mario Marcelo Flores

# Funciones de la Puesta a Tierra

Las tres (3) funciones más importantes que cumplen las tomas de tierra en las instalaciones eléctricas son:

**La función estática** de fijar el potencial de las masas conductoras de la instalación (Tomas de Protección).

**La función dinámica transitoria en 50 Hz y algunos kHz** para proteger las personas y materiales, complementado la acción de otros dispositivos (interruptores, interruptores diferenciales, fusibles, descargadores de sobretensión) frente a sobreintensidades de cortocircuito a tierra y sobretensiones de maniobra.

**La función dinámica transitoria impulsiva** para las corrientes de descargas atmosféricas en hilos de guardia y subestaciones y descargadores

# Funciones básicas de una instalación de puesta a tierra

- Limitar las diferencias de potencial que puedan establecerse entre las masas metálicas (estructuras) y tierra.
- Posibilitar la detección de fallas a tierra y asegurar la actuación y coordinación de las protecciones.

# Objetivos básicos de una instalación de puesta a tierra

- **Seguridad de las personas**
- Protección de las instalaciones
- Mejora de la calidad del servicio
- Establecimiento y permanencia de un potencial de referencia.

# Definiciones de la Puesta a Tierra

**Tomas de tierra de servicio o funcionales** son las destinadas para la conexión a tierra del Neutro de un Sistema Eléctrico y el de los transformadores de Tensión (para medición de la tensión entre fase y tierra)

**Tomas de tierra de protección o de seguridad** son las destinadas a las partes metálicas de una instalación que normalmente no conduce corriente (armaduras metálicas, armazones, carcazas, cubas de transformadores, vainas metálicas de cables, etc)

**Tomas de tierra para descargas atmosféricas** son las destinadas a pararrayos, hilos de guardia y descargadores de sobretensión.

# AEA 95401 - Reglamentación Centro de Transformación y suministro en MT

## 8.2. **Sistemas de puesta a tierra asociados a los centros**

### 8.2.1. **Puesta a tierra de protección**

Sistema de puesta a tierra de partes conductoras que normalmente no están bajo tensión (masas eléctricas y masas extrañas), destinado a proteger las personas, animales y bienes evitando que aparezcan diferencias de potenciales peligrosos entre éstas y respecto de tierra, en caso de un incidente.

A este sistema se conectan todas las masas metálicas (masas eléctricas tales como gabinetes de celdas, tableros de BT, bastidores de aparatos, blindajes y/o pantallas de cables etc.) y partes conductoras ajenas (masas extrañas) tales como estructuras, postes, cercos perimetrales, etc., que puedan quedar accidentalmente bajo tensión ante una falla o trasladar potenciales remotos, y sean simultáneamente accesibles, de forma de asegurar la equipotencialidad.

### 8.2.2. **Puesta a Tierra de Servicio**

Puesta a tierra de un punto del circuito activo, que es necesaria para el normal funcionamiento de un equipo o instalación. En los centros de transformación es aquella destinada a conectar en forma permanente a tierra el centro estrella (ó borne en transformador monofásico) correspondiente a el/los bobinado/s de los transformadores de distribución y el conductor neutro de la red, en MT o en BT según corresponda.

## Condiciones Generales de Servicio necesarias en una Toma de Tierra

La forma y dimensiones adecuadas del Electrodo Dispersor y el contacto eficaz con el terreno y en particular con las capas conductoras húmedas del subsuelo, permiten asegurar que la Toma de Tierra (TDT) pueda tener:

- Una resistencia a 50 Hz de valor “bajo”
- Una impedancia mínima frente a las ondas impulsivas de corriente y tensión.
- Una gran capacidad de difusión de corriente y un campo eléctrico de baja intensidad en el estado dinámico.
- Un gradiente de potencial reducido a nivel del suelo circundante a la TDT

# Teoría de las Tomas de Tierra

## Hipótesis Básicas

El Suelo es homogéneo, e isótropo, su resistividad eléctrica es  $\rho[\Omega.m]$  y se mantiene constante.

Las líneas de corriente que salen del electrodo (que es la primera superficie equipotencial) se dispersan alrededor del electrodo y se mantiene siempre perpendiculares a cada superficie equipotencial, que tienen una forma igual o parecida a la del electrodo y de tal modo que las equipotenciales alejadas resultan ser esféricas o semiesféricas.

Se analizarán los siguientes electrodos dispersores

- Hemisférica
- Jabalina vertical



# AEA 95501 - 4 IRAM 2281 - Parte 4: Instalaciones con Tensiones Nominales mayores de 1 KV

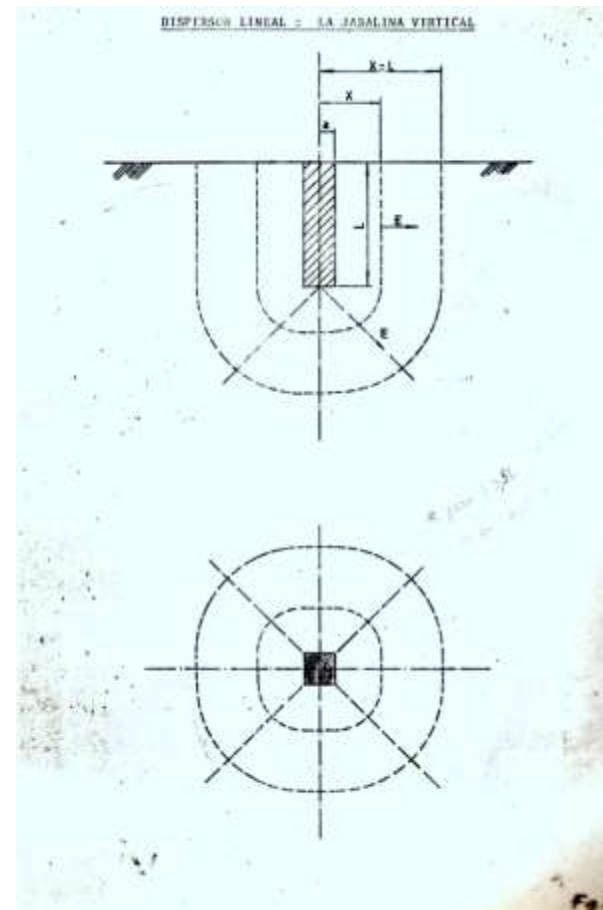
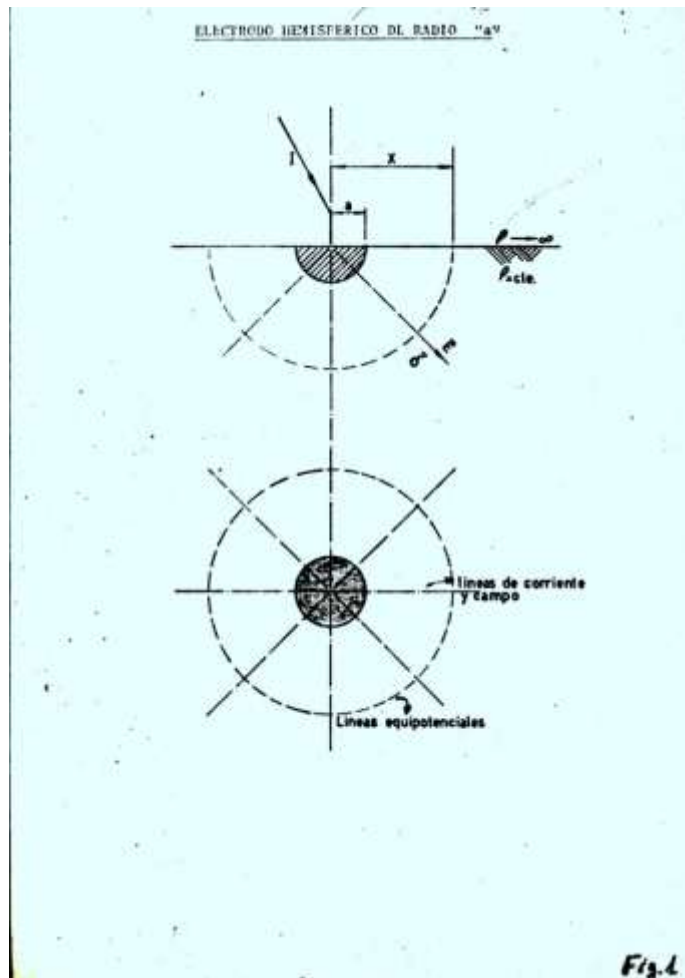
**Tabla 1- Resistividad de la tierra para las frecuencias industriales (ver nota 2)**

Gammas de valores, medidos más frecuentemente	
Tipo de suelo	Resistividad de la tierra $\rho_E$ ( $\Omega \cdot m$ )
Tierra cenagosa	5 a 40
Barro, arcilla, humus	20 a 200
Arena	200 a 2 500
Grava	2 000 a 3 000
Roca disgregada	casi siempre menor que 100
Granito, gres rojo	2 000 a 3 000

NOTA 1. Se recomienda consultar la tabla 1 de la IRAM 2281-1. Datos generales sobre resistividad de la tierra. Los electrodos de tierra de cimientos deben considerarse como si estuvieran rodeados de tierra (ver 3.12).

NOTA 2. Los valores de resistividad de la tierra mencionados en la tabla son solamente orientativos y no deben tomarse para el diseño de la instalación de puesta a tierra.

# Tipos de Electrodo Dispersores



ELECTRODO HEMISFÉRICO DL RADIO "a"

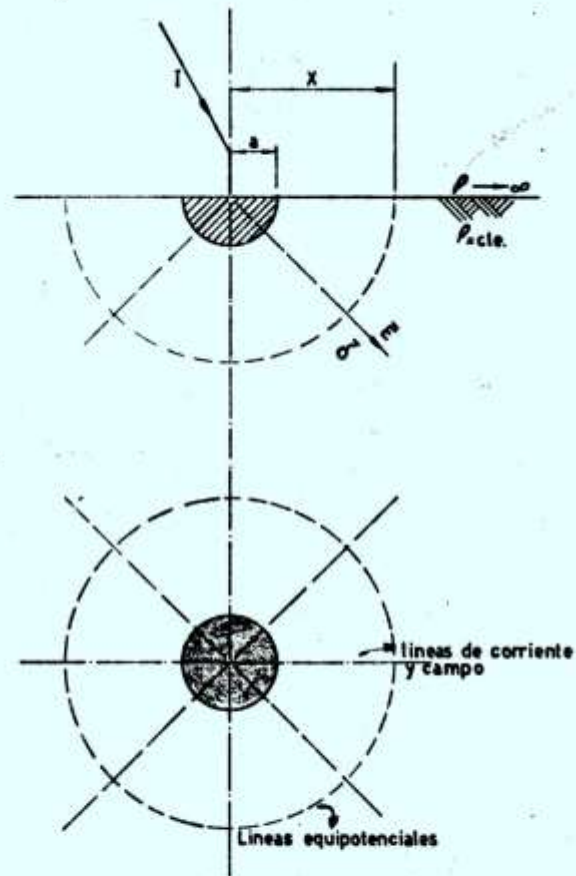


Fig. 1

# Dispersor Semiesférico de radio a

Densidad de corriente  $\delta$

$$\delta_x(x) = \frac{I}{S_x(x)} = \frac{I}{2\pi r^2}$$

El Campo Eléctrico es, según ley de Ohm microscópica

$$E(x) = \delta_x(x) \cdot \rho \text{ [V/m]}$$

La Diferencia de Potencial entre  $x_1$  y  $x_2$

$$U_{12} = U_1(x) - U_2(x) = \int_{x_1}^{x_2} E(x) dx = \int_{x_1}^{x_2} \delta(x) \cdot \rho dx = \frac{\rho I}{2\pi} \int_{x_1}^{x_2} \frac{1}{x^2} dx = \frac{\rho I}{2\pi} \left( \frac{1}{x_1} - \frac{1}{x_2} \right)$$

$$U_{12} = \frac{\rho I}{2\pi} \left( \frac{1}{x_1} - \frac{1}{x_2} \right)$$

Para  $x_1=a$  y  $x_2=x$ , resulta

$$U_{ax} = \frac{\rho I}{2\pi} \left( \frac{1}{a} - \frac{1}{x} \right)$$

# Dispensor Semiesférico de radio a

El Potencial absoluto del electrodo (el que tiene respecto del infinito)

$$U_a = \lim_{x \rightarrow \infty} U_{ax}(x) = \frac{\rho I}{2\pi a}$$

La Resistencia del Dispensor o de Puesta a Tierra

$$R_d = R_{pat} = \frac{U_a}{I} = \frac{\rho}{2\pi a}$$

$$U_a = U_{ax} + U_x \Rightarrow U_x = U_a - U_{ax}$$

$$U_x = \frac{\rho I}{2\pi} \left( \frac{1}{x} \right)$$

# Definiciones de Tensiones de Paso y de contacto personal

## **Tensión de contacto personal**

Es la parte de la tensión de falla o de la tensión del electrodo dispensor que puede ser alcanzada por una persona

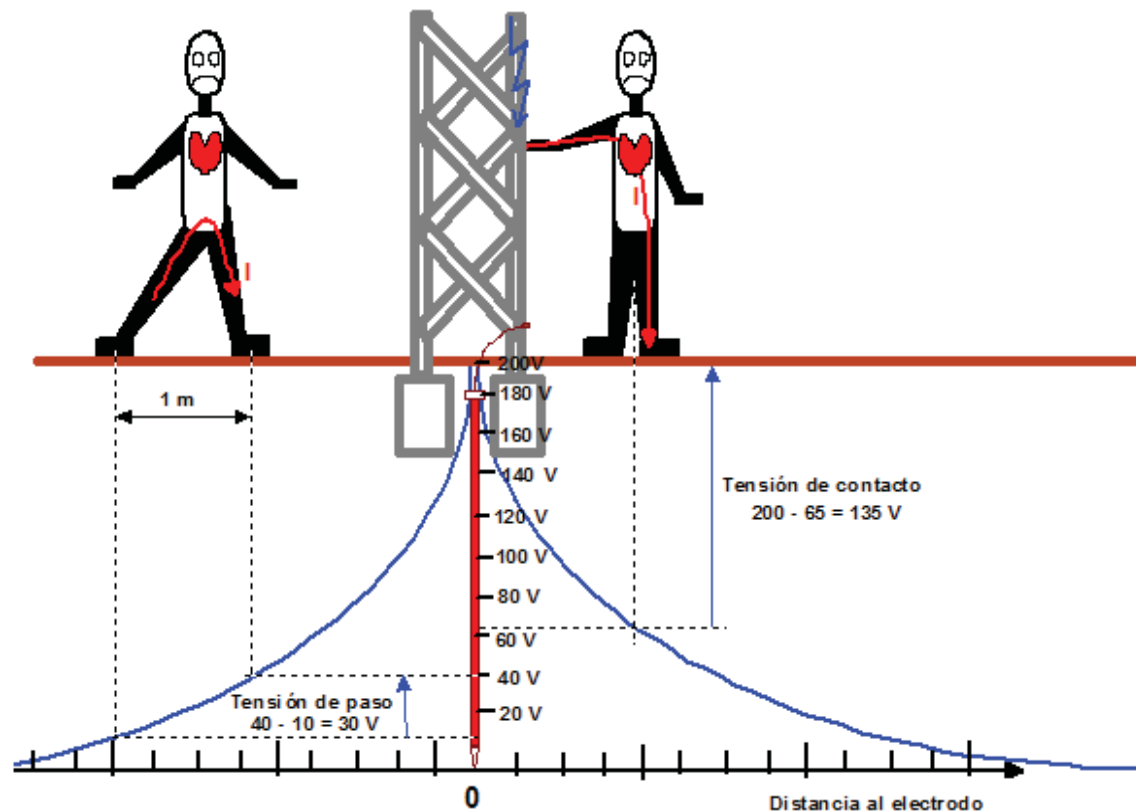
Es la tensión a la cual puede ser sometido un cuerpo humano como consecuencia de un contacto con la carcasa o estructura metálica (normalmente sin tensión) de máquinas o aparatos eléctricos.

## **Tensión de paso**

Es la parte de la tensión del electrodo dispensor que puede ser alcanzada por una persona con una paso de aproximadamente 1 metro

Es la tensión que durante el funcionamiento de una instalación de toma de tierra puede resultar aplicada entre los pies de una persona a distancia de un paso

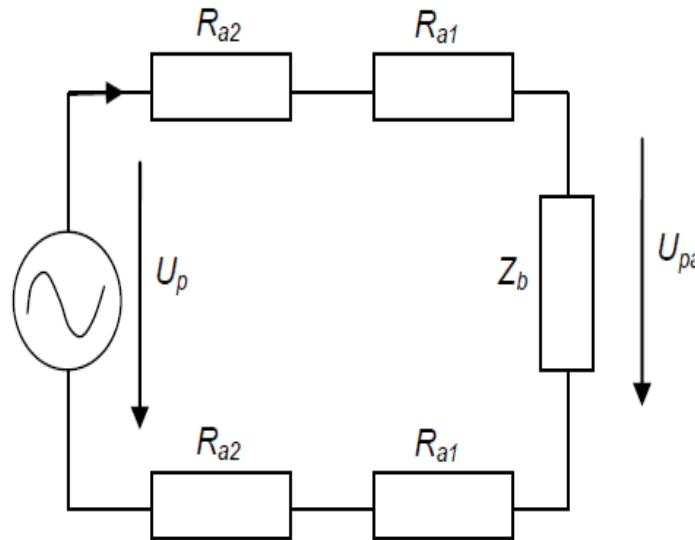
# Tensión de paso y Tensión de contacto



# Tensión de paso

## Tensión de Paso

$$U_p = U_{pa} \left[ 1 + \frac{2R_{a1} + 2R_{a2}}{Z_b} \right]$$



$U_p$  = Tensión de Paso (V)

$U_{pa}$  = Tensión de Paso Admisible (v)

$Z_b$  = Impedancia cuerpo humano ( $\Omega$ )

$R_{a1}$  = Resistencia calzado ( $\Omega$ )

$R_{a2}$  = Resistencia a tierra del punto de contacto ( $\Omega$ )

$R_{a2} = 3\rho_s$

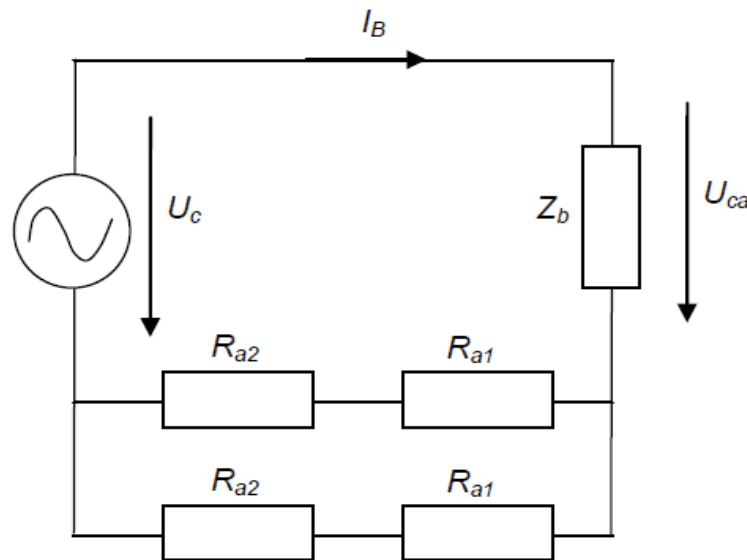
$\rho_s$  = Resistencia del suelo cerca de la superficie ( $\Omega$ )



# Tensión de contacto

## Tensión de Contacto

$$U_c = U_{ca} \left[ 1 + \frac{R_{a1} + R_{a2}}{2Z_b} \right]$$



$U_c$  = Tensión de Contacto (V)

$U_{ca}$  = Tensión de Contacto Admisible (V)

$Z_b$  = Impedancia cuerpo humano ( $\Omega$ )

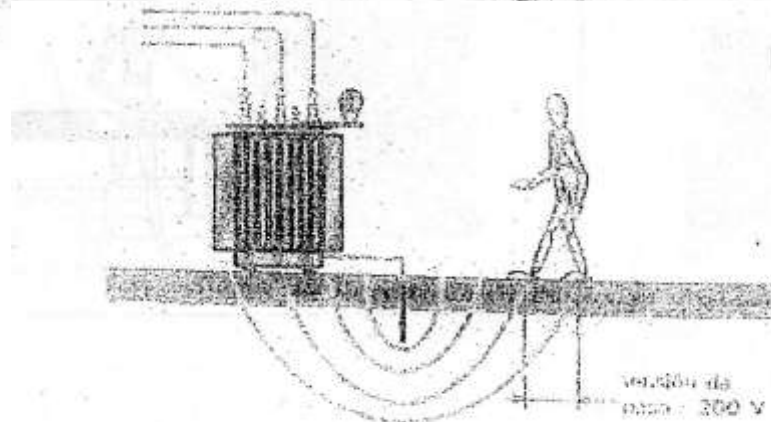
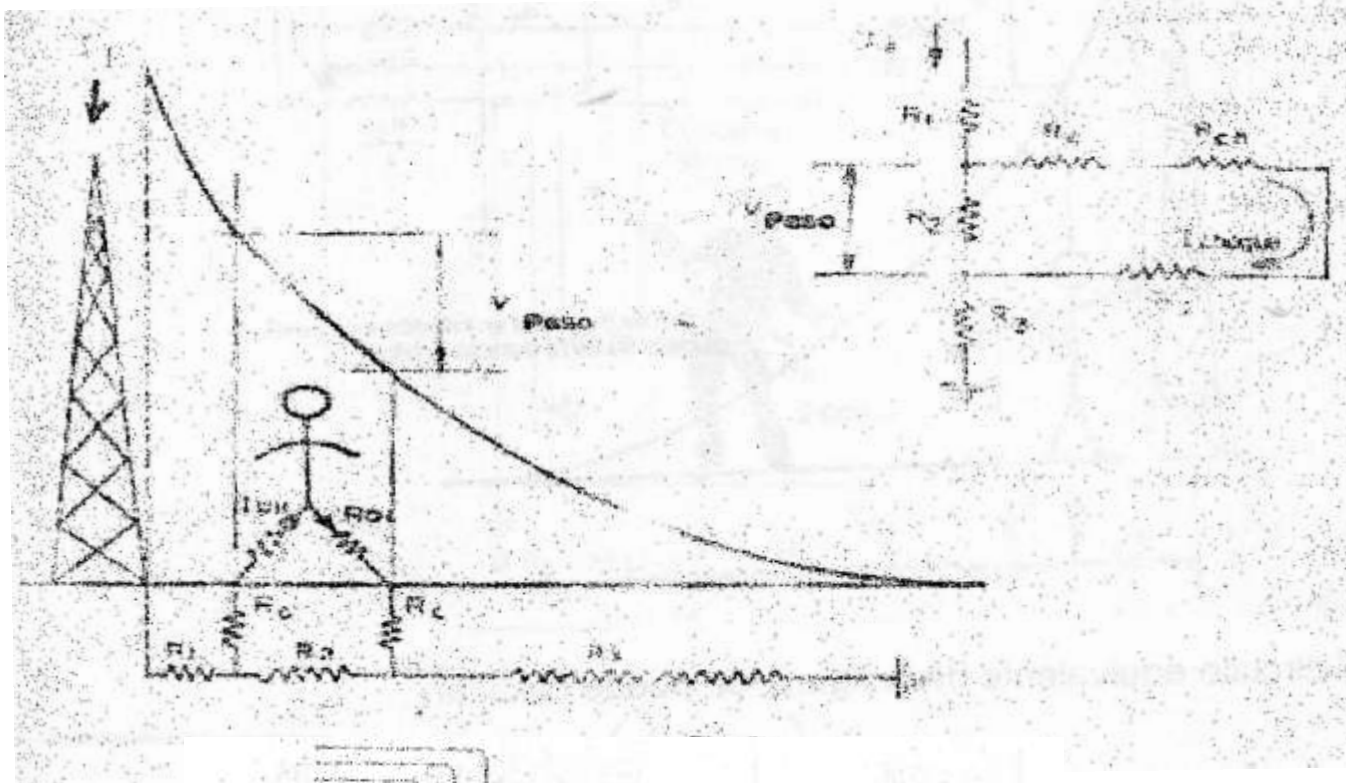
$R_{a1}$  = Resistencia calzado ( $\Omega$ )

$R_{a2}$  = Resistencia a tierra del punto de contacto ( $\Omega$ )

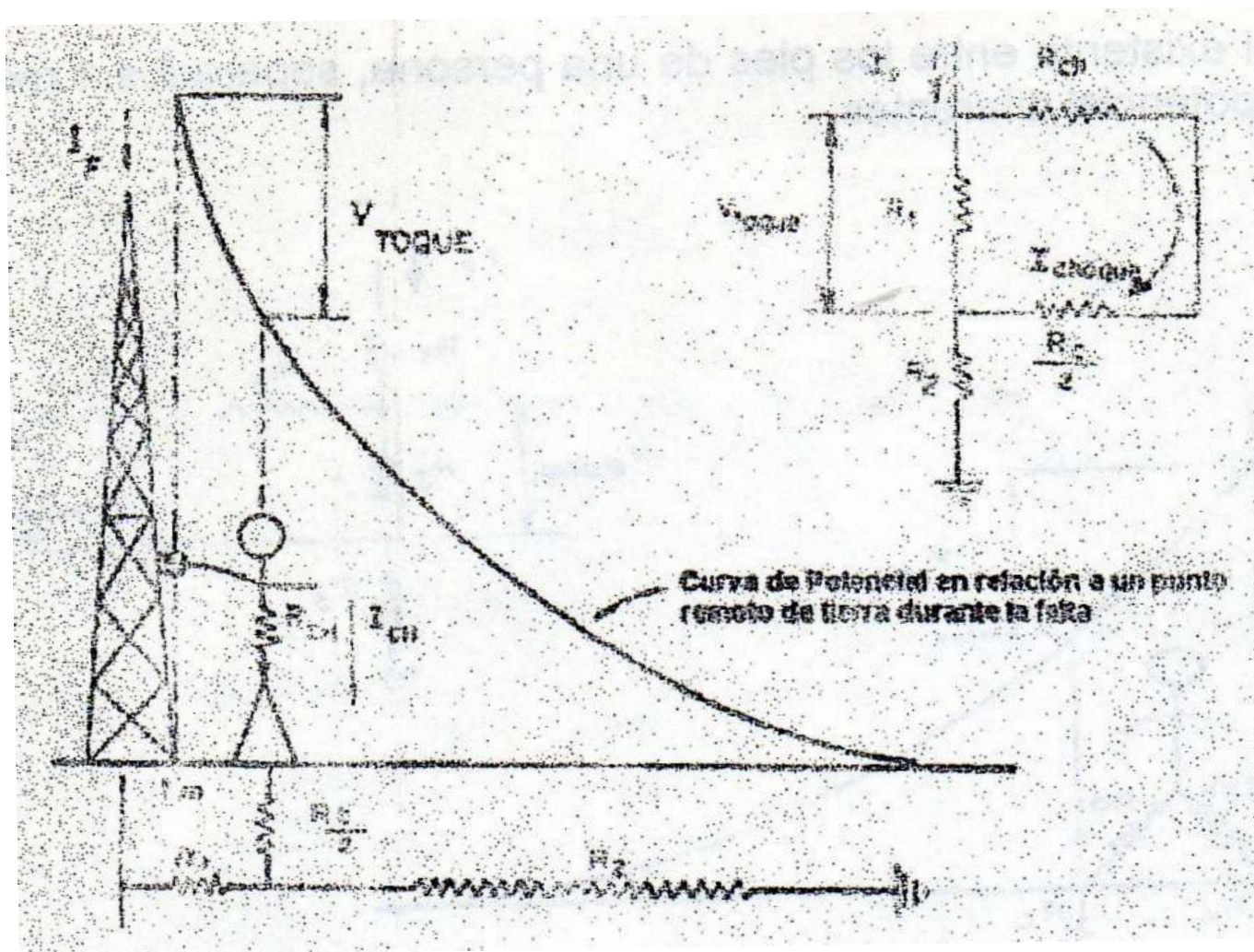
$R_{a2} = 3\rho_s$

$\rho_s$  = Resistencia del suelo cerca de la superficie ( $\Omega$ )

# Tensión de Paso



# Tensión de Contacto Personal



# Dispersor Semiesférico de radio $a$

La **Tensión de Contacto** ( $U_{cx}$ )

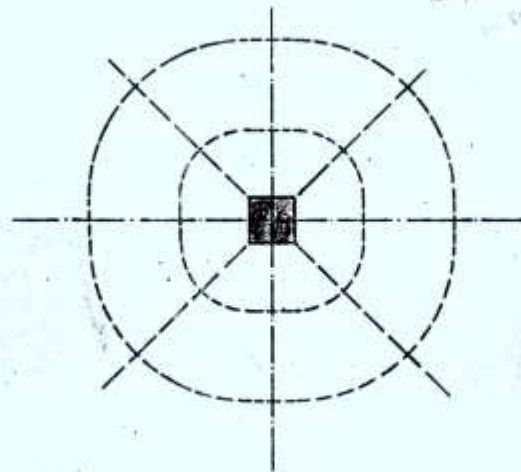
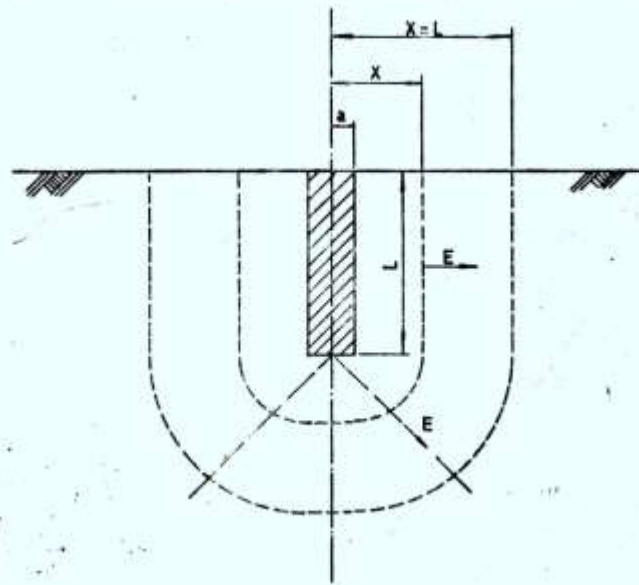
$$U_{cx} = Uax = \frac{\rho I}{2\pi a} \left(1 - \frac{a}{x}\right)$$

La **Tensión de Paso**

Siendo  $x_1 = x$  y  $x_2 = x+p$ , con  $p$  = distancia entre centros de ambos pies de una persona, separados 1 metro

$$U_{px} = \frac{\rho I}{2\pi} \left( \frac{x_2 - x_1}{x_1 \cdot x_2} \right) = \frac{\rho I}{2\pi} \left( \frac{1}{x} \right) \left( \frac{p}{x + p} \right) = U_x \left( \frac{p}{x + p} \right)$$

DISPERSOR LINEAL : LA JABALINA VERTICAL



# para 1,382  
1000 1000 1000

# Dispersor Lineal – Jabalina Vertical

Superficies Equipotenciales

$$S(x) = 2\pi(x^2 + Lx)$$

La Diferencia de Potencial  $V_{12}$ , resulta

$$V_{12} = \frac{\rho I}{2\pi L} \ln \left[ \frac{x_2}{x_1} \left( \frac{x_1 + L}{x_2 + L} \right) \right]$$

La Diferencia de Potencial para  $x_1=a$  y  $x_2=x$

$$V_{12} = \frac{\rho I}{2\pi L} \ln \left[ \left( \frac{a + L}{a} \right) \left( \frac{x}{x + L} \right) \right]$$

El Potencial absoluto del Electrodo

$$V_a = \frac{\rho I}{2\pi L} \ln \left( \frac{L}{a} + 1 \right)$$

# Dispersor Lineal – Jabalina Vertical

La Resistencia del Dispersor o de Puesta a Tierra

$$R_d = R_{pat} = \frac{V_a}{I} = \frac{\rho L}{2\pi L} \ln \left( \frac{L}{a} + 1 \right)$$

El Potencial absoluto  $U_x$  del punto  $x$ , resulta:

$$V_x = \frac{\rho I}{2\pi L} \ln \left( \frac{L}{x} + 1 \right)$$

La tensión de contacto para  $L \gg a$

$$V_{cx} = \frac{\rho I}{2\pi L} \ln \left[ \frac{L}{a} \left( \frac{x}{x+L} \right) \right]$$

La tensión de paso para  $(L+x) \gg p$

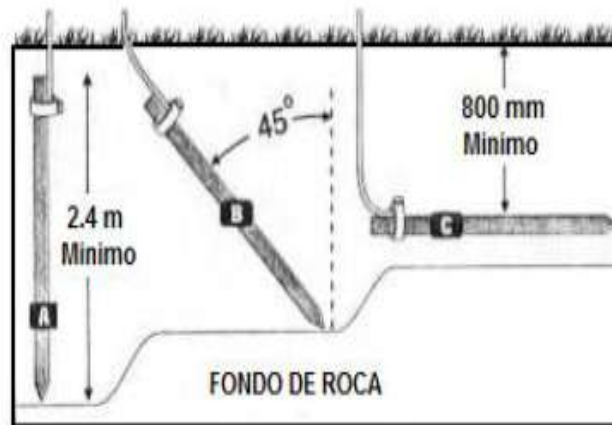
$$U_{px} = \frac{\rho I}{2\pi L} \ln \left( \frac{p}{x} + 1 \right)$$



# Dispersor Lineal – Jabalina Vertical

**Tomas de tierra, electrodos o jabalinas:** Son elementos metálicos conductores, que se clavan en el terreno para encontrar zonas húmedas con menor resistividad eléctrica. Pueden ser de acero galvanizado, acero inoxidable, cobre, aluminio, o una combinación de estos (copperweld).

**Varilla copperweld:** Es una de las mas usadas, es de acero cubierta de cobre. Vienen de diferentes longitudes, de diámetros 5/8", 3/4", etc. Se deben enterrar en forma vertical, excepto si se encuentra roca, en ese caso se debe clavar oblicuo a no mas de 45°. También pueden instalarse en forma horizontal





# Medición de la Resistencia de una toma de Tierra

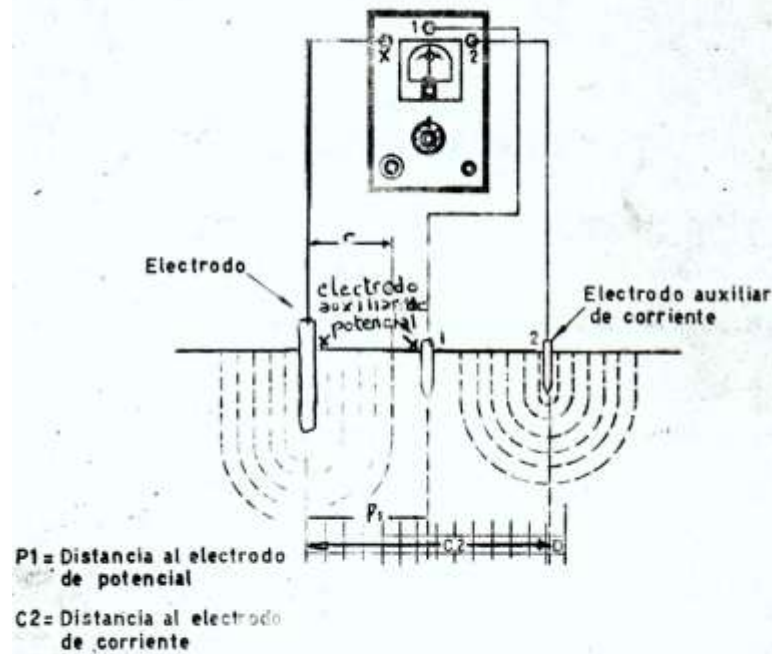


Fig. 4- Curva experimental que muestra adecuadas distancias entre electrodos

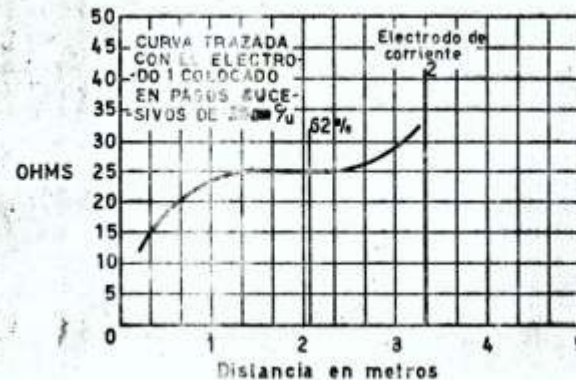
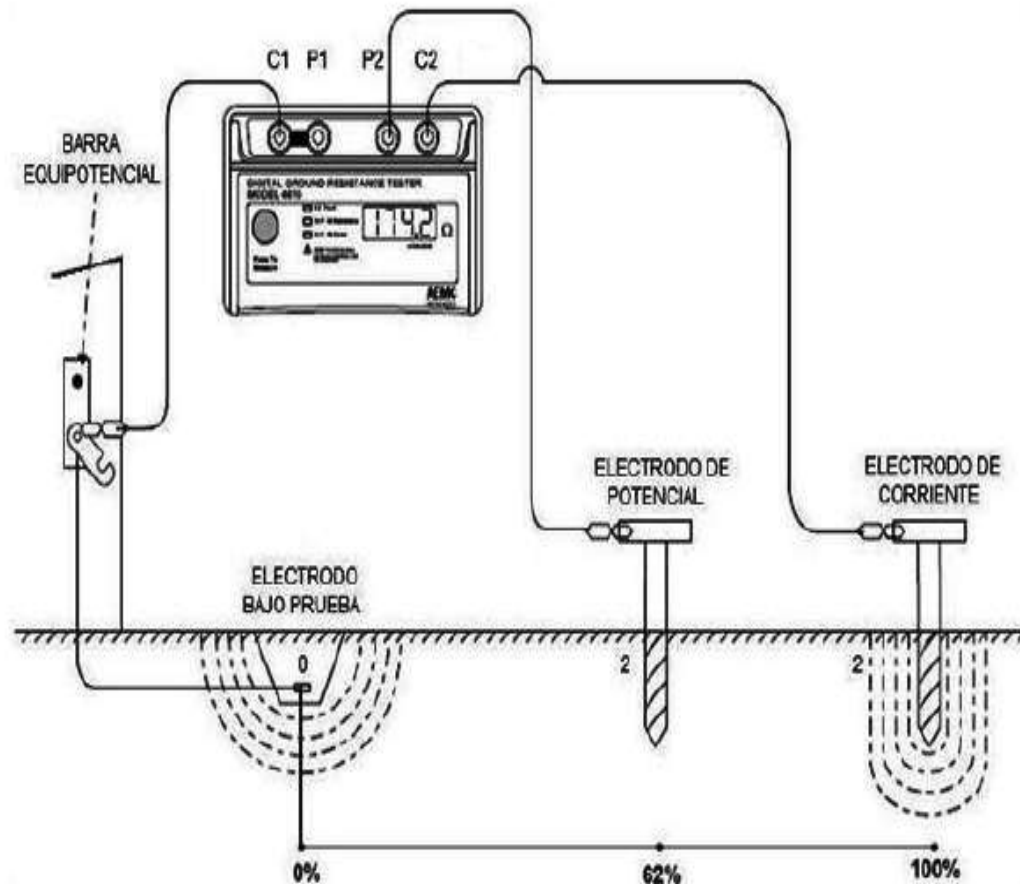


Fig. 5- Curva típica de resistencia de puesta a tierra

# METODO DE MEDICIÓN DE LA RESISTENCIA DEL SISTEMA DE TIERRAS

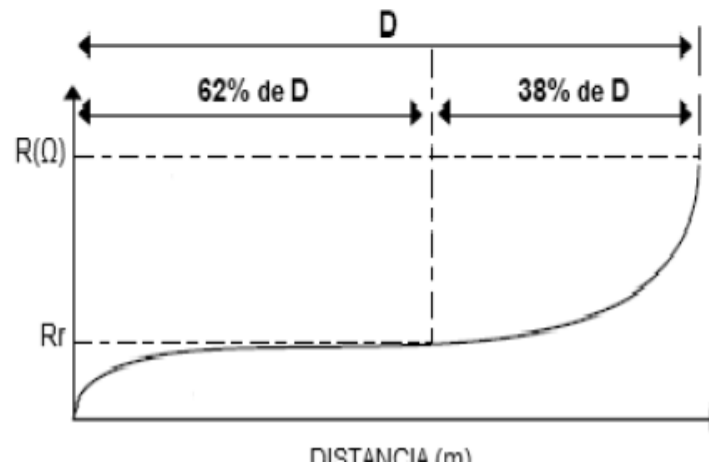
## MÉTODO DE LA CAÍDA DE POTENCIAL (62%)



# METODO DE MEDICIÓN DE LA RESISTENCIA DEL SISTEMA DE TIERRAS

## MÉTODO DE LA CAÍDA DE POTENCIAL (62%)

El método requiere que por lo menos exista un espaciamiento entre  $(C_1/P_1)$  y  $(C_2)$  de 15 m, y que se grafiquen los valores de resistencia obtenidos contra la distancia de  $(0)$  a  $(P_2)$ . La gráfica mostrara un incremento gradual de resistencia a tierra mientras  $(P_2)$  está en la zona cercana a  $(0)$ . Cuando  $(P_2)$  sale de esa zona pero no ha entrado en la zona de  $(C_2)$ , la gráfica mostrará una meseta en los valores. Este aplanamiento obtenido se ha demostrado teóricamente que se logra cuando  $(P_2)$  está localizado al 62% de la distancia entre  $(0)$  y  $(C_2)$  y es cuando obtenemos el valor de resistencia real del electrodo  $(R_r)$ . Si la curva no presenta un tramo paralelo, quiere decir que la distancia escogida no es suficiente. (Ver figura 1.23).



# Mediciones de la Resistencia de una toma de Tierra

Para que sea mínimo y positivo el error de la medición de la resistencia del electrodo, se deben ubicar:

- a) El electrodo de corriente C2, por lo menos a una distancia cinco (5) veces mayor que la dimensión característica del electrodo a medir
- b) El electrodo de potencial P2, a una distancia del 53% al 62 % de la distancia D entre los electrodos C1 (a medir) y C2 de corriente auxiliar.

Tabla que permite determinar la resistencia de puesta a tierra ( $\Omega$ ) en función de la longitud de jabalina en (m) y de la resistividad del terreno  $\rho$  en ( $\Omega\text{m}$ )

	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55
1.50	7.12	10.68	14.24	17.80	21.36	24.92	28.48	32.04	35.60	39.16
2.00	5.57	8.35	11.14	13.92	16.71	19.49	22.28	25.06	27.85	30.63
3.00	3.93	5.89	7.86	9.82	11.78	13.75	15.71	17.68	19.64	21.60
4.50	2.76	4.14	5.52	6.91	8.29	9.67	11.05	12.43	13.81	15.19
6.00	2.15	3.22	4.30	5.37	6.44	7.52	8.59	9.67	10.74	11.81



$\rho$  del terreno



Longitud de jabalina



Resistencia de puesta a tierra

# Métodos para disminuir la resistividad del suelo $\rho$

- **Polvos de Fe**
- **Riego + Sulfato de Mg o Cu**

El  $\rho$  del suelo de Bs. As está comprendido entre 15 a 20  $\Omega\text{m}$ .

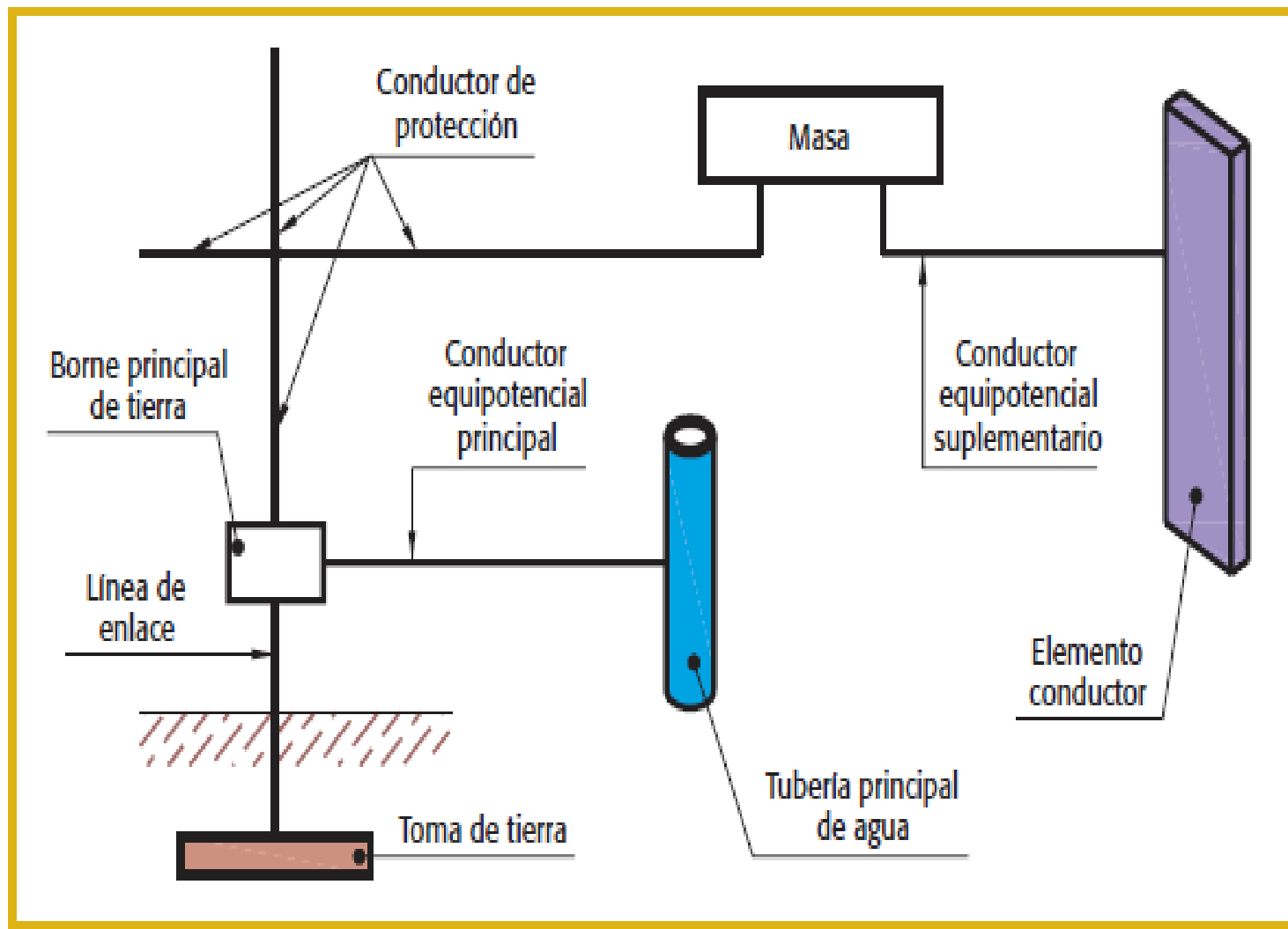
## Recomendaciones para una correcta puesta a tierra

- Si es posible se elegirá un terreno húmedo.
- Se evitarán los terrenos pedregosos.
- Se elegirá un suelo que no tenga buen drenaje.
- No es necesario un terreno anegado.
- Se evitarán los sitios que se mantienen húmedos porque fluyen agua sobre ellos.

# Partes que conforman la resistencia de puesta a tierra

- Resistencia de los conductores que constituyen la instalación de puesta a tierra
- Resistencia de contacto entre el sistema de electrodos de puesta a tierra y el suelo circundante
- Resistencia del suelo que rodea al sistema de electrodos de puesta a tierra (resistencia de dispersión)





# Bibliografía

- Curso de Puesta a Tierra de Sistemas Eléctricos de B.T. – M.T. y A.T. Ing. Juan Carlos Arcioni – Asociación Electrotécnica Argentina
- Reglamentación AEA 95501 - 4 IRAM 2281 - Parte 4: Instalaciones con Tensiones Nominales mayores de 1 KV

# Pract experim - Valores medidos - Medic PAT – Tabla I

L hincado [m]	$X2 = 10.L$ [m]	Diámetro [cm]
0,86	8,6	1,27

**Tabla a utilizar con longitud de electrodo hincada en terreno = 0,86 m**

Medición	Electrodo de Corriente X2 [m]	Electrodo de Tensión X1 [m]	U [V] Electrodo Principal	R [ $\Omega$ ] Electrodo Principal	Observación
1	8,6	0,5	0,00	7,8	
2	8,6	0,7	0,00	8,22	
3	8,6	1	0,00	8,6	
4	8,6	2	0,00	9,07	
5	8,6	3	0,00	9,26	
6	8,6	4,6	0,00	9,43	54 % de L hincado
7	8,6	5,3	0,00	9,52	62 % de L hincado
8	8,6	6	0,00	9,61	
9	8,6	7	0,00	9,88	
10	8,6	8	0,00	11,42	
11	8,6	8,2	0,00	13,09	
12	8,6	8,4	0,00	16,46	

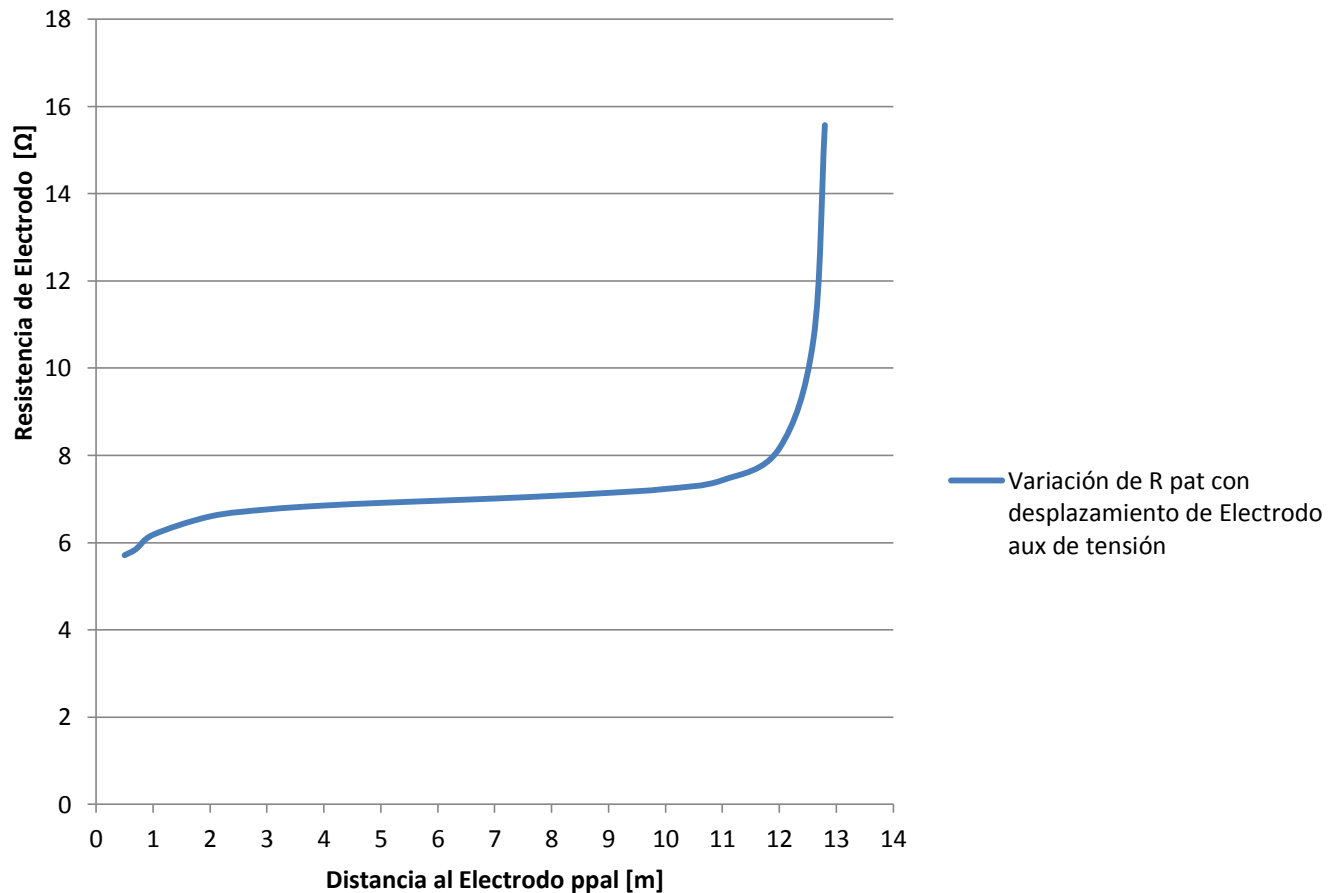
# Pract experim - Valores medidos - Medic PAT – Tabla II

L hincado [m]	X2 = 10.L [m]
1,3	13

**Tabla a utilizar Longitud de electrodo hincada en terreno = 1,30 m**

Medición	Electrodo de Corriente X2 [m]	Electrodo de Tensión X1 [m]	U [V] Electrodo Principal	R [ $\Omega$ ] Electrodo Principal	Observación
1	13	0,5		5,71	
2	13	0,7		5,85	
3	13	1		6,18	
4	13	2		6,6	
5	13	3		6,76	
6	13	4		6,85	
7	13	5		6,91	
8	13	6		6,96	
9	13	7		7,01	54 % de L hincado
10	13	8		7,07	62 % de L hincado
11	13	9		7,14	
12	13	10		7,23	
13	13	11		7,43	
14	13	12		8,16	
15	13	12,6		10,66	
16	13	12,8		15,57	

# Pract experim - Valores medidos - Medic PAT – Tabla II



## Vista del electrodo a hincar y medir



# Instrumento para realiza la medición

