

# Los sistemas de puestas a tierra y la aplicación de los tratamientos químicos para la mejora de las resistencias de las puestas a tierra

Se repasan conceptos fundamentales de la ejecución de un sistema de tomas de tierra (electrodos): la resistividad de los suelos, la construcción del sistema, su resistencia eléctrica y su posible mejora química

Juan Carlos Arcioni  
Ingeniero Electricista (UBA)

## **Realización de un sistema de tomas de tierra**

El factor principal para la realización de un sistema de tomas de tierra es la resistividad del suelo en la región considerada. Tal resistividad depende esencialmente de factores comunes a vastas regiones, pero ciertas particularidades locales pueden inducir a elegir ciertos puntos para el establecimiento de sistemas de tomas de tierra, por su resistividad de tierra más favorable.

## **Resistividad del suelo (resistividad eléctrica volumétrica)**

La resistividad de la tierra o de las rocas depende sobre todo del tamaño de las partículas que las componen, de la proporción de materias solubles y de su grado de humedad. El suelo se compone principalmente de óxido de silicio y de óxido de aluminio, que son buenos aislantes. La presencia de sales en estos dos óxidos reduce la resistividad. En la tabla 1 se dan valores representativos de la resistividad para diferentes tipos de suelo.

La resistividad se debe, por una parte, al proceso electrolítico y por otra, a la resistencia de contacto entre un gran número de finas partículas. Si el contenido de agua o de sales es elevado, el fenómeno predominante será probablemente el

proceso electrolítico; en cambio, si el proceso es seco, los factores esenciales serán el tamaño de las partículas y el volumen de aire retenido en sus intersticios.

El gran tamaño del grano, su distribución y la compactación son también factores influyentes dado que controlan el modo en que la humedad se mantiene en el suelo. Muchos de estos factores varían localmente y algunos también varían con las estaciones, de modo que la tabla 1 debe tomarse únicamente como una guía general orientativa.

## **Construcción de un sistema de electrodos de puesta a tierra (tomas de tierra)**

Concretamente, para construir una toma de tierra, hay que instalar en un lugar adecuado, a una profundidad apropiada, un electrodo metálico o un sistema de electrodos interconectados, y conectar ese sistema de electrodos a la instalación de puesta a tierra del edificio, establecimiento, estructura, etcétera. Aunque este método parece muy sencillo, la construcción de una toma de tierra plantea numerosos problemas que hay que tener en cuenta si se quiere obtener una resistencia de tierra aceptable, es decir, suficientemente reducida, con un mínimo de esfuerzo y de materiales.

Tipo de suelo	Condiciones climáticas			
	A. Precipitaciones normales y abundantes (más de 500 mm por año)		B. Precipitaciones escasas y condiciones desérticas (menos de 500 mm por año)	C. Aguas subterráneas salinas
	Valor más probable	Gama de valores medidos	Gama de valores medidos	Gama de valores medidos
Aluvial y arcillas livianas	5 Ωm	*	*	1 a 5 Ωm
Arcillas (excluyendo el aluvial)	10 Ωm	5 a 20 Ωm	10 a 100 Ωm	3 a 10 Ωm
Gredas (por ejemplo, greda Keuper)	20 Ωm	10 a 20 Ωm	50 a 300 Ωm	3 a 10 Ωm
Tierra calcárea porosa (por ejemplo, greda)	50 Ωm	30 a 100 Ωm	50 a 300 Ωm	10 a 30 Ωm
Arenisca porosa (por ejemplo, arenisca Keuper y esquistos arcillosos)	100 Ωm	30 a 300 Ωm	> 1.000 Ωm	10 a 30 Ωm
Cuarzo y piedra caliza compacta y cristalina (por ejemplo, carboníferos, mármol, etc.)	300 Ωm	100 a 1.000 Ωm	> 1.000 Ωm	30 a 100 Ωm
Pizarras arcillosas y esquistos pizarrosos	1.000 Ωm	300 a 3.000 Ωm	> 1.000 Ωm	30 a 100 Ωm
Granito	1.000 Ωm	300 a 3.000 Ωm	> 1.000 Ωm	30 a 100 Ωm
Pizarras rajadizas, esquistos gnéisicos y rocas ígneas	2.000 Ωm	> 1.000 Ωm	> 1.000 Ωm	30 a 100 Ωm

\* Según el nivel de agua en el lugar considerado

Tabla 1. Datos generales sobre la resistividad de la tierra (según IRAM 2281-1:1996)

La resistencia eléctrica total de una instalación de puesta a tierra es la suma de las tres resistencias, a saber:

- A.** la resistencia óhmica de los conductores que constituyen la instalación de la puesta a tierra;
- B.** la resistencia eléctrica de contacto entre el sistema de electrodos de puesta a tierra y el suelo circundante;
- C.** la resistencia del volumen del suelo que rodea el sistema de electrodos de puesta a tierra (resistencia de dispersión).

La condición de que la toma de tierra se utilice para la tierra de servicio o para la tierra de protección se puede depreciar la resistencia a), pero esta puede constituir el factor esencial en caso de fenómenos de descarga rápida o cuando el sistema de electrodos está considerablemente alejado por razones estructurales, naturales u otras.

También se puede depreciar la resistencia eléctrica correspondiente a b) si el sistema de electrodos está en contacto suficientemente íntimo con el suelo circundante. De no ser así, la contribución de la resistencia de contacto al valor total de la resistencia de puesta a tierra puede elevarse

notablemente (diez por ciento o mucho más del valor esperado). Sin embargo, hay que tener en cuenta que puede reducirse por la formación de arcos eléctricos en casos de sobretensión de valor suficiente (disruptivo del aire).

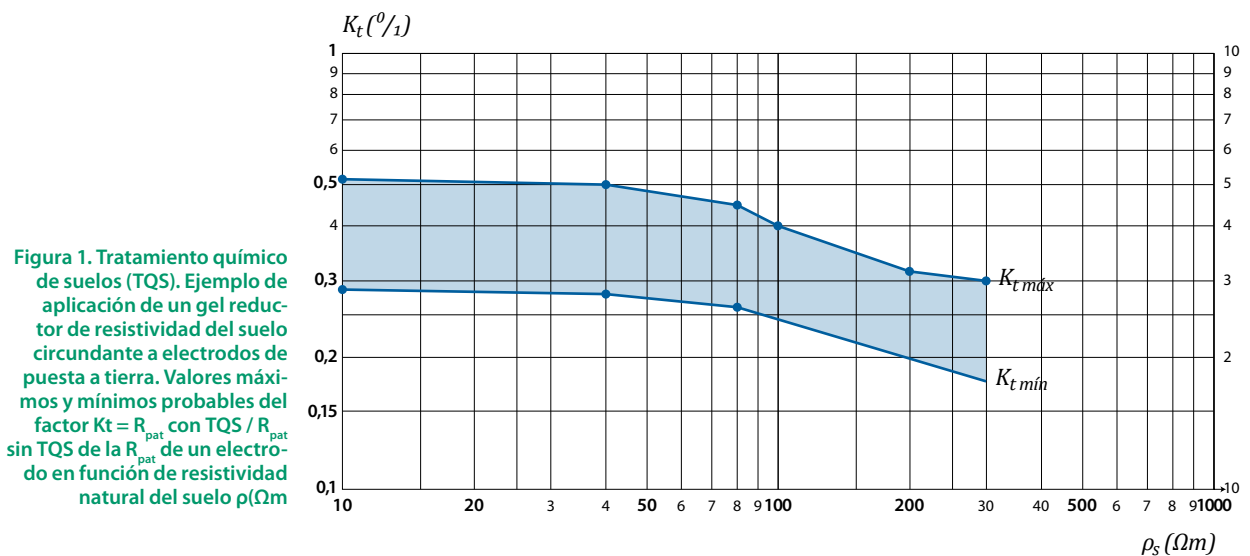
La resistencia  $c$ ) depende de la extensión lineal del sistema de electrodos  $y$ , en menor grado, de su forma y superficie.

Como la densidad de la corriente disminuye en función de la distancia al sistema de electrodos, la mayor parte de la resistencia se encuentra localizada en el volumen del suelo más próximo al sistema. Por ello, en el caso de un suelo estratificado, los electrodos se deben instalar en las capas que ofrezcan menor resistividad.

Este hecho explica igualmente que desde hace tiempo se apliquen diversos métodos para disminuir la resistividad del suelo en las inmediaciones del sistema de electrodos: utilización de coque, escorias de hierro aplastadas e incluso polvos

metálicos, riego de la zona que rodea a los electrodos con diversos electrolitos (por ejemplo, cloruro de sodio, sulfato de magnesio o sulfato de cobre). Se utiliza bentonita de baja resistividad obtenida de la mezcla de bentonita pulverizada con agua, sales y otros componentes. En aquellos suelos rocosos en los que haya filtraciones entre las rocas, previamente se hace un sellado con cemento para evitar el lavado de la bentonita. Con este procedimiento, el incremento de la resistencia permanece dentro de los límites tolerables durante un periodo de tiempo mayor que con los métodos descritos anteriormente. Vertiendo de nuevo bentonita coloidal, se puede mejorar el efecto reductor.

Antes de aplicar cualquier tratamiento químico, se debe verificar que no contamine el medioambiente y que no se ocasione un efecto perjudicial en el material electrodo (corrosión, falso contacto, etcétera). Por ejemplo, el cloruro de sodio o sal común mencionado más arriba, si bien es el más



fácil de conseguir, es también uno de los productos que más corroer el electrodo, en especial si es de acero cincado.

El tratamiento químico es efectivo únicamente en terrenos de muy alta resistividad y se realiza únicamente en aquellos casos en los que no se pueda disminuir la resistencia por los medios normales (electrodos en paralelo, profundos, etcétera), ya que la efectividad del tratamiento disminuye con el tiempo por el lavado paulatino del terreno a causa de lluvias, infiltraciones acuosas u otros.

Al aplicar estos métodos que tienden a disminuir la resistividad del suelo, hay que tener en

cuenta que su eficacia está limitada por el transcurso del tiempo.

En todos los casos se deben adoptar medidas especiales para asegurar un buen contacto entre los electrodos y el suelo reconstituido que lo rodea.

### Factor de reducción de la resistencia de puesta a tierra de un electrodo con y sin un tratamiento químico reductor de la resistividad volumétrica del suelo circundante al electrodo

En la figura 1 se representan las dos curvas empíricas del factor de reducción:

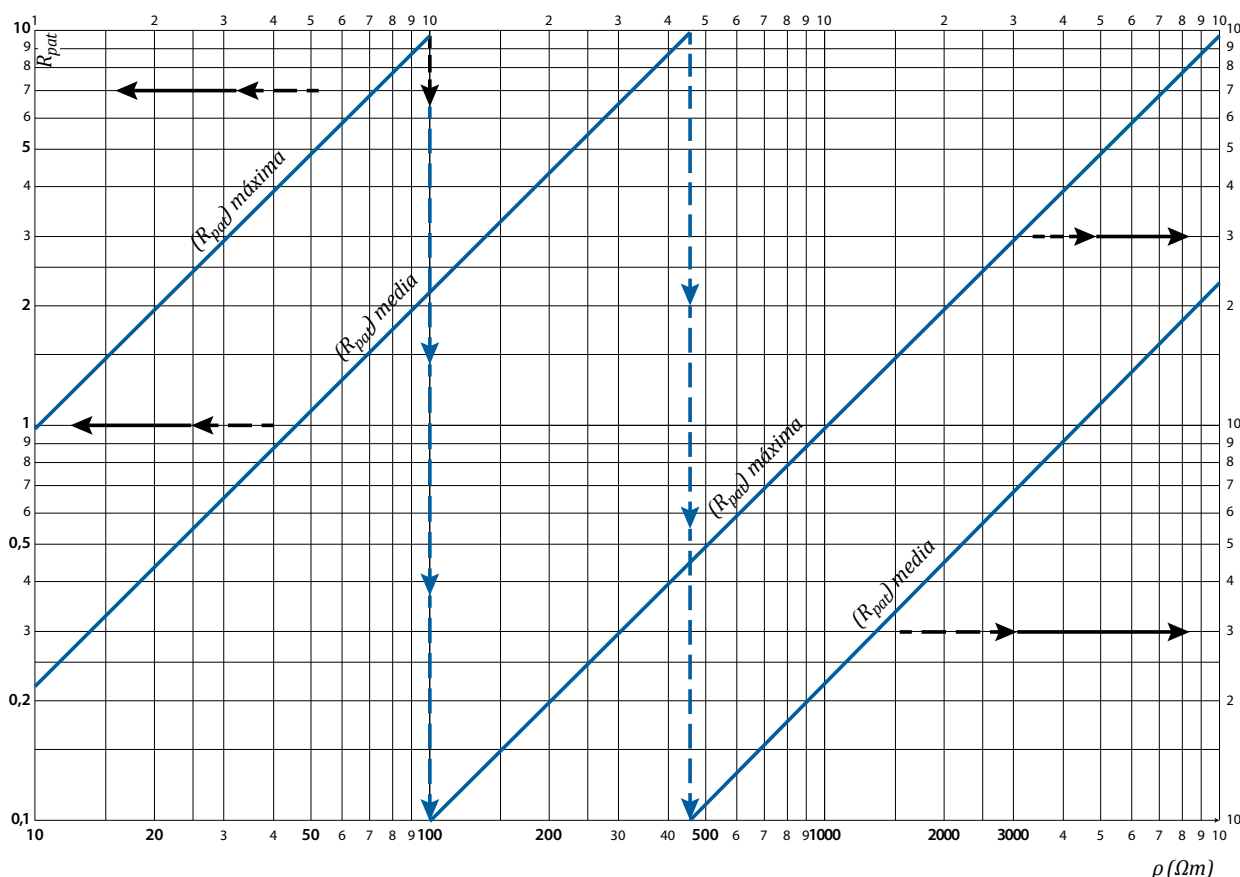


Figura 2. Resistencias de puesta a tierra de jabalinas químicas (IRAM 2314)

$$K_t = R_{pat} \text{ con TQS} / R_{pat} \text{ sin TQS}$$

en sus valores máximos  $K_{tmax}$  y mínimos  $K_{tmin}$  correspondientes al mismo valor de la resistividad eléctrica volumétrica del suelo  $\rho(\Omega m)$  donde está colocado el electrodo. Se tomó el ejemplo de un gel reductor de resistividad. Se puede apreciar que  $K_t$  disminuye cuando la resistividad aumenta y que se verifica que  $K_{tmin} \leq K_t \leq K_{tmax}$

### Curvas empíricas de resistencias de puesta a tierra de jabalinas electroquímicas (IRAM 2314) instaladas en suelos de resistividad volumétrica $\rho(\Omega m)$ promedio

En la figura 2 se representan las curvas de resistencias de puesta a tierra máxima y media (mediana) de jabalinas electroquímicas verticales (IRAM 2314) de 31 milímetros exterior mínimo y largos de 1.200 y 2.000 milímetros mínimos, según los modelos de las jabalinas.

En la figura 3 se representa la curva de la resistencia de puesta a tierra para jabalinas electroquímicas de 63 milímetros de diámetro exterior y largos de 1.500 milímetros verticales, medidas

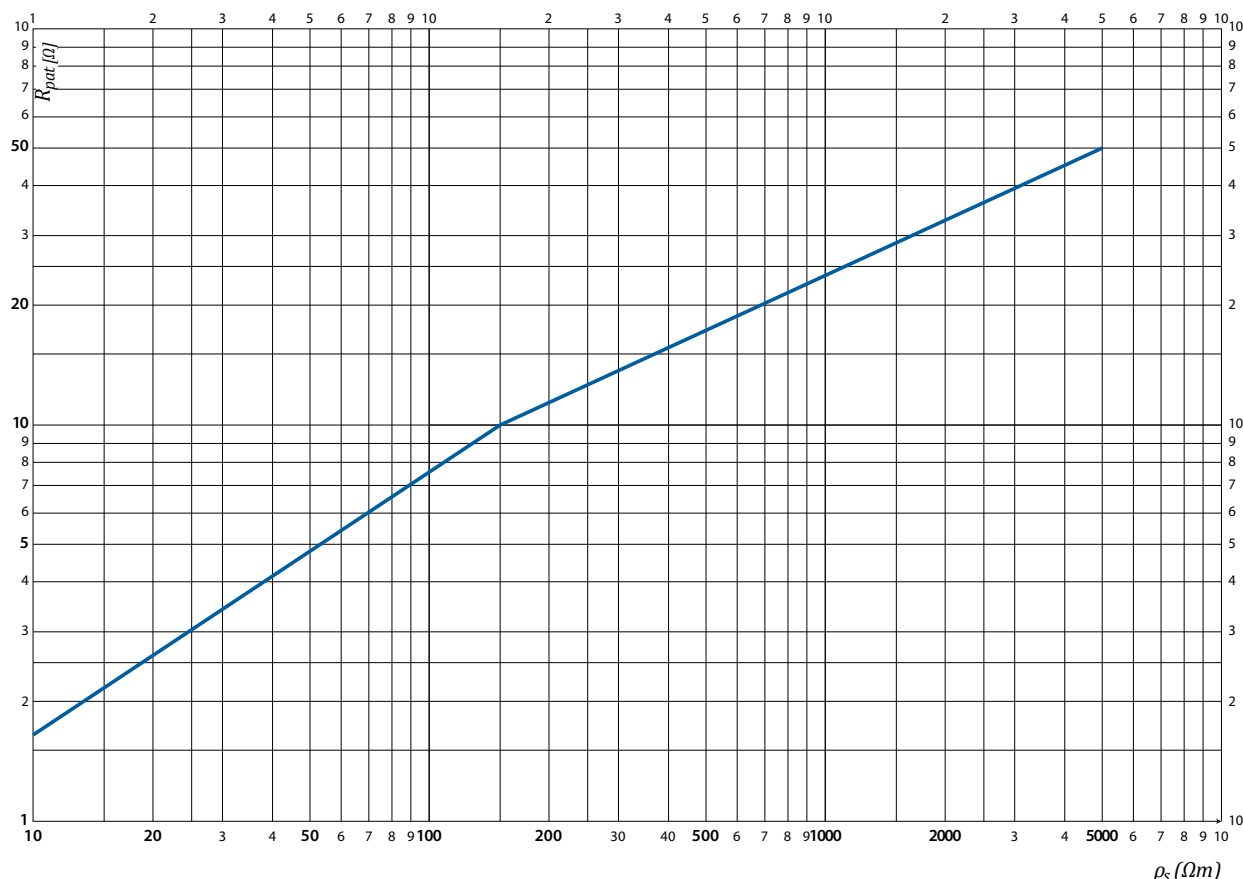


Figura 3. Nomograma de la resistencia de dispersión (resistencia de puesta a tierra) en función de la resistividad volumétrica del suelo (promedio a tres metros de profundidad). Valores medidos para jabalinas electroquímicas de 63 milímetros de diámetro por 1.500 de largo (IRAM 2314) luego de su instalación en el suelo (valores iniciales)

luego de su instalación en función de la resistividad  $\rho(\Omega m)$  promedio a tres metros de profundidad.

### Duración de un tratamiento químico reductor de la resistividad natural del suelo

En el ejemplo de la figura 4 se representan los valores de las resistencias de puesta a tierra de dos conjuntos iguales de jabalinas instaladas (enterradas) así: un conjunto en el suelo natural no tratado químicamente y el otro, en ese mismo suelo pero tratado con el tratamiento químico del suelo.

Se puede apreciar que después de que pasaron cuatro años y medio (54 meses), el tratamiento químico del suelo aplicado pierde su efecto reductor. Este hecho se nota porque las dos curvas de resistencia de puesta a tierra y la función tiempo se unen en un mismo punto (tiempo aproximado de 4,5 años). En consecuencia, el tratamiento químico del suelo se debe renovar o reactivar a los tres años en el ejemplo de la figura 4.

El fabricante del tratamiento químico para el suelo debe dar las recomendaciones para el mantenimiento periódico de rutina de los electrodos de puesta a tierra tratados y de la renovación del tratamiento químico del suelo que corresponda.



#### Bibliografía

- [4] Clerici, Carlo, La messa a terra degli impianti elettrici, Delfino, Milán, 1963
- [5] IRAM, Norma 2281-1:1996. Puesta a tierra de sistemas eléctricos. Consideraciones generales. Código de práctica
- [6] IRAM, Norma 2314:2002. Materiales para puesta a tierra. Jabalina electroquímica (electrodo dinámico electrolítico) y sus accesorios
- [7] IRAM, Norma 2470. Materiales para puesta a tierra. Requisitos para los compuestos mejoradores de las puestas a tierra (esquemas de normas en estudio en 2017, 2018 y 2019)
- [8] Kindermann, Geraldo; Campagnolo, Jorge Mario, Aterramento eletrico, Sagra DC Luzzatto, Porto Alegre, 1992

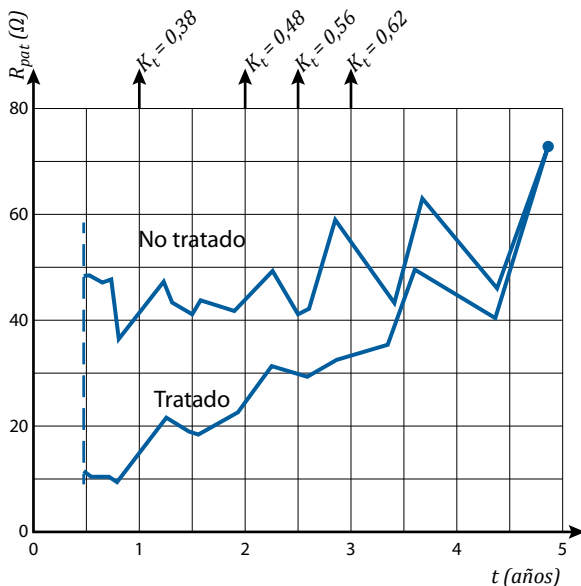


Figura 4. Variación temporal de las resistencias de puesta a tierra de dos conjuntos iguales de jabalinas de diámetro y largo enterradas: una en un suelo tratado químicamente y la otra, en el mismo suelo pero sin tratar. Ambos son suelos adyacentes.

Se agregaron los factores de reducción  $K_t = R_{pat} \text{ con TQS} / R_{pat} \text{ sin TQS}$ . Se aprecia que después de 4,5 años, el tratamiento químico del suelo queda sin efecto. El tratamiento químico del suelo se debe renovar a los tres años en el ejemplo de esta figura.