

# CORROSIÓN DE ELECTRODOS DE PUESTA A TIERRA

Por el Ing. Ángel Reyna; Ángel Reyna y Asociados SRL

Representante de DEHN + SÖHNE en la Argentina

Traducción al español del punto 5.5.7 Corrosion of earth electrodes. DEHN + SÖHNE. Lightning Protection Guide, 2<sup>nd</sup> edition; September. 2007.

## 1- Sistemas de puesta tierra con especial consideración de la corrosión

Los metales en contacto directo con el suelo o el agua (electrolitos) pueden sufrir corrosión por causa de corrientes parásitas, suelos corrosivos y la formación de celdas voltaicas. No es posible proteger a los electrodos de puesta a tierra de la corrosión encerrándolos completamente, es decir, separando los metales del suelo, pues todas las vainas habituales que se emplearon hasta ahora han tenido una alta resistencia eléctrica y, por lo tanto, invalidan el efecto de los electrodos de puesta a tierra.

Los electrodos de puesta a tierra fabricados con un material uniforme pueden verse amenazados por la corrosión proveniente de los suelos corrosivos y la formación de celdas de concentración. El riesgo de corrosión de los suelos corrosivos depende del material y del tipo y de la composición del suelo.

Cada vez aumentan más los daños por corrosión debido a la formación de celdas voltaicas. Esta formación de celdas entre diferentes metales con potenciales de metal/electrolitos ampliamente diferentes se conoce desde hace muchos años. Sin embargo, lo que no se sabe extensivamente es que las armaduras de fundaciones de hormigón también pueden convertirse en el cátodo de una celda y, así, causar corrosión a otras instalaciones. Con los cambios en la manera de construir edificios -estructuras de hormigón armado más grandes y áreas de metal libre más pequeñas en tierra – la relación de superficie ánodo/cátodo es cada vez más desfavorable y el riesgo de corrosión de los metales más básicos se incrementa inevitablemente.

La aislación eléctrica de las instalaciones que actúan como ánodos para evitar la formación de estas celdas sólo es posible en casos excepcionales. Hoy en día, el objetivo es integrar todos los electrodos de puesta a tierra, incluidas las instalaciones de metal conectadas a tierra para poder lograr la conexión equipotencial y, en consecuencia, la máxima seguridad contra tensiones con riesgo de choque por fallas o impactos de rayos.

En las instalaciones de alta tensión, los electrodos de puesta a tierra de protección contra alta tensión cada vez más se conectan a electrodos de puesta a tierra que operan a baja tensión, de conformidad con la norma HD 63751. Asimismo, la norma IEC 60364-4-41 2005 modified y la HD 60364-41(2007) requieren de la integración de conductos y demás instalaciones en las medidas de protección contra riesgo de choque eléctrico. Así, la

única manera de prevenir o, por lo menos, reducir el riesgo de corrosión de los electrodos de puesta a tierra y demás instalaciones en contacto con ellos es eligiendo materiales adecuados para la fabricación de electrodos de puesta a tierra.

La norma DIN VDE 0151 titulada "Material y dimensiones mínimas de electrodos de puesta a tierra respecto de la corrosión" está a disposición desde junio de 1986 en la forma de un documento oficial. Además de décadas de experiencia en el campo de la tecnología de puesta a tierra, esta norma incluye, también, los resultados de exámenes preliminares extensivos. Hay disponibles muchos resultados interesantes que resultan importantes para los electrodos de puesta a tierra, incluidos los de los sistemas de protección contra rayos.

A continuación, se explican los procesos fundamentales que llevan a la corrosión. De los conocimientos adquiridos por el grupo de Trabajo VDE "materiales de la puesta tierra" se derivan las medidas prácticas anticorrosivas y de conservación del buen estado del material, especialmente en lo que respecta a los electrodos de puesta tierra para la protección contra las descargas atmosféricas.

## Términos empleados en protección contra la corrosión y en las medidas de protección contra corrosión

### Corrosión

Reacción de un material de metal con el entorno, que lleva al deterioro de las características de dicho material y/o de su entorno. Por lo general, la reacción es de carácter electroquímico.

### Corrosión electroquímica

Corrosión durante la cual tienen lugar procesos electroquímicos. Se producen exclusivamente en presencia de un electrolito.

### Electrolito

Medio corrosivo conductor de iones (como por ejemplo, suelo, agua, sales fundidas).

### Electrodo

Material conductor de electrones en un electrolito. El sistema de electrodo y electrolito forma una media celda.

### Ánodo

Electrodo desde el cual una corriente de c.c. ingresa al electrolito.

### Cátodo

Electrodo desde el cual una corriente de c.c. deja el electrolito.

### Electrodo de referencia

Electrodo de medición para determinar el potencial de un metal en el electrolito.

### Electrodo de cobre / sulfato de cobre

Electrodo de referencia que apenas puede polarizarse, fabricado de cobre en una solución saturada de sulfato de cobre.

El electrodo de sulfato de cobre es la forma más común del electrodo de referencia para la medición del potencial de objetos metálicos subterráneos (Fig. 1).

### Celda de corrosión

Celda voltaica con diferentes densidades locales de corrientes parciales para disolver el metal. Pueden formarse ánodos y cátodos de la celda de corrosión:

#### ⇒ En el material

Por diferentes metales (corrosión por contacto) o por diferentes componentes estructurales (corrosión selectiva o intercrystalina).

#### ⇒ En el electrolito

Por diferentes concentraciones de determinados materiales con características estimulantes o inhibitorias para disolver el metal.

## Potenciales

### Potencial de referencia

Potencial de un electrodo de referencia respecto del electrodo de hidrógeno estándar.

### Potencial eléctrico de un metal

Potencial eléctrico de un metal o de un sólido conductor de electrones en un electrolito.

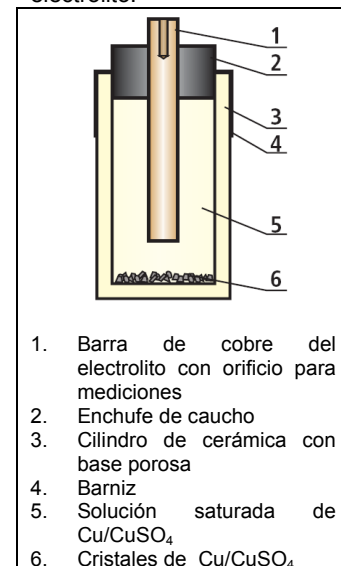


Fig. 1 Ejemplo de aplicación de un electrodo de medición no polarizable (electrodo de cobre/sulfato de cobre) para adquirir un potencial dentro del electrolito (vista de sección transversal).

## 2 Formación de celdas voltaicas, corrosión

Los procesos de corrosión pueden explicarse claramente con la ayuda de una celda voltaica. Si, por ejemplo, se sumerge una varilla de metal en un electrolito, los iones con carga positiva pasan al electrolito y, a la inversa, los iones positivos se absorben del electrolito desde la banda de metal. En este contexto, se habla de "presión de la solución" del metal y de "presión osmótica" de la solución. Dependiendo de la magnitud de ambas presiones, o bien, los iones de metal de la varilla pasan a la solución (por lo que la varilla se convierte en negativa respecto de la solución) o los iones del electrolito se agrupan en grandes números en la varilla (la varilla se torna positiva respecto del electrolito). Así, se crea una tensión entre dos varillas de metal en el electrolito.

En la práctica, los potenciales de los metales en tierra se miden con la ayuda de un electrodo de sulfato de cobre. Ello consiste en una varilla de cobre que se sumerge en una solución saturada de sulfato de cobre (el potencial de referencia de este electrodo de referencia permanece constante).

Considérese el caso de dos varillas fabricadas con diferentes metales que se sumergen en el mismo electrolito.

Se crea ahora una tensión de determinada magnitud en cada varilla del electrolito. Puede utilizarse un voltímetro para medir la tensión entre varillas (electrodos); ésta es la diferencia entre los potenciales de los electrodos individuales respecto del electrolito.

¿De qué manera surge ahora que la corriente fluye en el electrolito y, por lo tanto, que el material se transporta, es decir, se produce la corrosión?

Si, según se muestra en este documento, los electrodos de cobre y hierro se conectan mediante un amperímetro fuera del electrolito, por ejemplo, se verifica lo siguiente (**Fig. 2**); en el circuito exterior, la corriente  $i$  fluye de + a -, es decir, del electrodo de cobre "más noble" de acuerdo con la **Tabla 1**, al electrodo de hierro.

Por otro lado, en el electrolito, la corriente  $i$  debe fluir del electrodo de hierro "más negativo" al electrodo de cobre para cerrar el circuito. A modo de generalización, ello significa que del polo más negativo pasan los iones positivos al electrolito y, por lo tanto, se convierte en el ánodo de la celda voltaica, es decir, se disuelve.

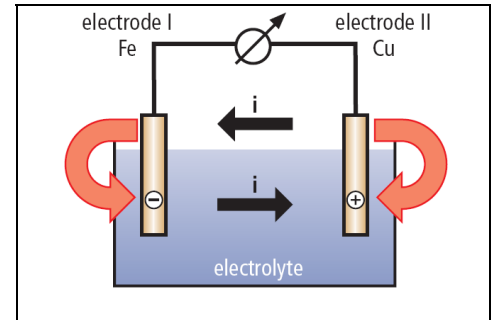


Fig.2. Celda galvánica: hierro/cobre

La disolución del metal tiene lugar en estos puntos, donde la corriente ingresa al electrolito.

También puede surgir una corriente de corrosión a partir de una celda de concentración (**Fig. 3**). En este caso, dos electrodos del mismo tipo de metal se sumergen en diferentes electrolitos. El electrodo en el electrolito II que tiene la mayor concentración de iones de metal se torna eléctricamente más positivo que el otro. La conexión de ambos electrodos permite que la corriente  $i$  fluya y el electrodo, que es más negativo desde el punto de vista electroquímico, se disuelve.

	Definición	Símbolo(s)	Unidad de medición	Cobre	Plomo	Latón	Hierro	Zinc
1	Potencial de corrosión libre en el suelo <sup>1)</sup>	$U_{M-Cu/CuSO_4}$	V	De 0 a -0,1	De -0,5 a -0,6	De -0,4 a -0,6 <sup>2)</sup>	De -0,5 a -0,8 <sup>3)</sup>	De -0,9 a -1,1 <sup>5)</sup>
2	Potencial de protección catódica en el suelo <sup>1)</sup>	$U_{M-Cu/CuSO_4}$	V	-0,2	- 0,65	-0,65 <sup>2)</sup>	-0,85 <sup>4)</sup>	-1,2 <sup>5)</sup>
3	Equivalente electroquímico	$K = \frac{\Delta m}{It}$	Kg/(A·año)	10.4	33.9	19.4	9.1	10.7
4	Velocidad de corrosión lineal a $J = 1 \text{ mA/dm}^2$	$W_{lin} = \Delta s / t$	mm/año	0,12	0,3	0,27	0,12	0,15

1) Medida con el electrodo de cobre/sulfato de cobre saturado (Cu/Cu SO<sub>4</sub>)

2) Valores verificados en ensayos actualmente realizados. El potencial del cobre revestido en latón depende del espesor del recubrimiento de latón. Los recubrimientos de latón comunes hasta el presente representan unos pocos  $\mu\text{m}$  y, por lo tanto, se encuentran entre los valores del latón y el cobre en el suelo.

3) Estos valores también se aplican a tipos de hierro de menor aleación. El potencial del acero en el hormigón (armaduras de fundaciones) depende considerablemente de influencias externas. Medido con un electrodo saturado de cobre/sulfato de cobre, generalmente representa de -0,1 a 0,4 V. En el caso de conexiones conductoras de metal con amplias instalaciones subterráneas de metal con potencial más negativo, es polarizado catódicamente y, por lo tanto, alcanza valores de hasta aproximadamente -0,5V.

5) En suelos anaeróbicos, el potencial de protección debería ser de -0,95V.

Acero galvanizado por inmersión en caliente, con recubrimiento de zinc, de acuerdo con la tabla antes mencionada, que posee una capa de zinc pura externa y cerrada. El potencial del acero galvanizado por inmersión en caliente en el suelo, por lo tanto, corresponde a aproximadamente el valor indicado de zinc en el suelo. En caso de pérdida de la capa de zinc, el potencial se hace más positivo. Con esta corrosión completa, puede alcanzar el valor del acero.

El potencial del acero galvanizado por inmersión en caliente en el hormigón posee aproximadamente los mismos valores iniciales. Con el tiempo, el potencial se hace más positivo. Sin embargo, todavía no se hallaron valores más positivos de aproximadamente -0,75V. El cobre enérgicamente galvanizado por inmersión en caliente con una capa de zinc de, por lo menos, 70  $\mu\text{m}$  también posee una capa externa cerrada de zinc puro. El potencial del cobre galvanizado por inmersión en caliente del suelo, por lo tanto, corresponde a aproximadamente el valor indicado de zinc en el suelo. En el caso de una capa de zinc más delgada o de corrosión de la capa de zinc, el potencial se hace más positivo. Aún no se han definido los valores límite.

Tabla 1 Valores de potenciales y tasas de corrosión de materiales de metal común.

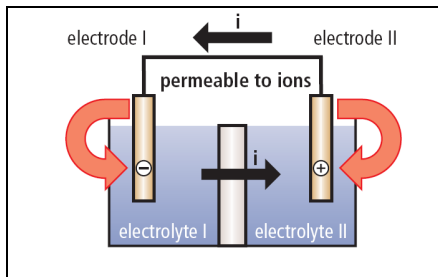


Fig. 3 Celda de concentración

Puede formarse una celda de concentración de este tipo, por ejemplo, por dos electrodos de hierro, uno de los cuales se fija en el hormigón; mientras el otro queda en tierra (Fig. 4).

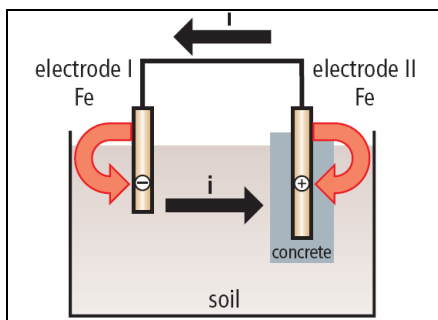


Fig. 4 Celda de concentración: Hierro en el suelo / Hierro en el hormigón; Soil = suelo, concrete = hormigón

Al conectar estos electrodos, el hierro en el hormigón se convierte en el cátodo de la celda de concentración y el que se queda en tierra se convierte en el ánodo; por lo tanto, este último se destruye por pérdida de iones.

Para la corrosión electroquímica, el caso generalmente es que, cuanto más grandes son los iones y menor es su carga, mayor es el transporte de metal asociado al flujo de corriente  $i$  (es decir,  $i$  es proporcional a la masa atómica del metal).

En la práctica, los cálculos se realizan con corrientes que fluyen durante un período de tiempo determinado, a saber un año. La **Tabla 1** indica valores que expresan el efecto de la corriente de corrosión (densidad de corriente) en términos de la cantidad de metal disuelto. Así, las mediciones de la corriente de corrosión posibilitan el cálculo por adelantado de cuántos gramos de un metal erosionarán durante un período de tiempo específico.

Sin embargo, de más interés práctico es la predicción de si, y durante qué período de tiempo, la corrosión causará orificios o picaduras por corrosión en los electrodos de puesta a tierra, tanques de acero, caños, etc.

Por lo tanto, resulta importante si el ataque de la corriente presunta tendrá lugar de manera difusa o puntiforme.

Para el ataque corrosivo, no es sólo la magnitud de la corriente de corrosión la que resulta decisiva; sino también y en especial, su densidad, es decir la corriente por unidad del área de descarga.

A menudo no se puede determinar directamente esta densidad de corriente. En esos casos, se maneja con mediciones de potencial desde los cuales puede tomarse el grado de "polarización" disponible. El comportamiento de los electrodos respecto de la polarización sólo se debate superficialmente en este documento.

Considérese el caso de un fleje de acero galvanizado situado en tierra y conectado a la armadura de acero (negro) de una fundación de hormigón (Fig. 5). De acuerdo con nuestras mediciones, se producen aquí las siguientes diferencias de potencial respecto del electrodo de sulfato de cobre:

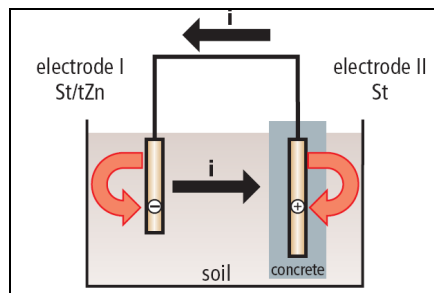


Fig. 5 Celda de concentración: Acero galvanizado en suelo/acero (negro) en hormigón

Acero (desnudo) en hormigón: -200 mV

Acero galvanizado en arena: -800 mV

Así, existe una diferencia de potencial de 600 mV entre estos dos metales. Si ahora se los conecta sobre tierra, fluye una corriente  $i$  en el circuito exterior desde el hormigón armado hasta el acero en la arena y en el suelo desde el acero en la arena hasta el acero en el refuerzo.

La magnitud de la corriente  $i$  es ahora una función de la diferencia de tensión, la conductancia del suelo y la polarización de los dos metales.

Por lo general, se observa que la corriente  $i$  en tierra es generada por cambios en el material.

Sin embargo, un cambio en el material también significa que la tensión de los metales individuales cambia respecto del suelo. Esta variación de potencial causada por la corriente de corrosión  $i$

se denomina polarización. La resistencia de la polarización es directamente proporcional a la densidad de la corriente. Ahora, los fenómenos de polarización tienen lugar en los electrodos negativos y positivos. Sin embargo, las densidades de corriente en ambos electrodos son muy diferentes.

**A modo de ilustración, consideremos el siguiente ejemplo:**

Se conecta un caño de gas, de acero, con una buena aislación en tierra a electrodos de cobre de puesta a tierra. Si el caño con aislación sólo posee unos pequeños puntos donde falta material, existe una mayor densidad de corriente en estos puntos como resultado de la corrosión rápida del acero.

En oposición, la densidad de corriente es baja en el área más grande de los electrodos de puesta a tierra de cobre donde ingresa la corriente.

Así, la polarización es mayor en el conductor de acero aislado más negativo que en los electrodos de puesta a tierra de cobre positivos. El potencial del conductor de acero cambia a valores más positivos. Así, también disminuye la diferencia de potencial entre los electrodos. Por lo tanto, la magnitud de la corriente de corrosión es también una función de las características de polarización de los electrodos.

La resistencia de polarización puede estimarse midiendo los potenciales de los electrodos de un circuito dividido. El circuito se divide para evitar la caída de tensión en el electrolito. Por lo general, para dichas mediciones se utilizan instrumentos de registro, pues frecuentemente existe una rápida despolarización inmediatamente después de interrumpida la corriente de corrosión.

Si ahora se mide la fuerte polarización en el ánodo (el electrodo más negativo), es decir, si hay un cambio obvio a potenciales más positivos, habrá un alto riesgo de corrosión del ánodo.

Volvamos a nuestra celda de corrosión – acero (desnudo) en hormigón/acero, galvanizado en la arena (Fig. 5). Respecto de un electrodo de sulfato de cobre distante, es posible medir un potencial de celdas interconectadas de entre -200 y -800 mV. El valor exacto depende de la relación del área anódica a catódica y de la polarizabilidad de los electrodos.

Si, por ejemplo, el área de la fundación de hormigón armado es muy grande en comparación con la superficie del conductor de acero galvanizado, se

producirá en el último una densidad de corriente anódica alta, que se polariza a prácticamente el potencial de la armadura de acero y se destruye en un período de tiempo relativamente corto. Así, la polarización positiva alta siempre indica un mayor riesgo de corrosión.

En la práctica, obviamente es ahora importante conocer el límite sobre el cual un cambio de potencial positivo significa un riesgo agudo de corrosión. Lamentablemente, no es posible indicar un valor definitivo, que se aplica en cada caso; los efectos de las condiciones del suelo solamente son demasiado diversas. Sin embargo, es posible estipular campos de cambios de potencial para suelos naturales.

#### Resumen:

Una polarización por debajo de +20 mV, por lo general, no es peligrosa. Los cambios de potencial que exceden de +100 mV son definitivamente peligrosos. Entre 20 y 100 mV siempre habrá casos en los que la polarización causará fenómenos de corrosión considerables.

Resumiendo: se puede estipular lo siguiente:

La condición previa para la formación de celdas de corrosión (celdas voltaicas) es siempre la presencia de ánodos y cátodos de metal conectados y electrolíticos que cierran el circuito conductivo.

Los ánodos y cátodos se forman a partir de:

#### ⇒ Materiales

- Diferentes metales o diferentes condiciones de superficies de un metal (corrosión por contacto),
- Diferentes componentes estructurales (corrosión selectiva o intercrystalina),

#### ⇒ Electrolitos:

- Diferente concentración (como por ejemplo, salinidad, ventilación).

En las celdas de corrosión, los campos anódicos siempre poseen un potencial de metal/electrolito más negativo que los campos catódicos.

Los potenciales de metal/electrolito se miden utilizando un electrodo de cobre / sulfato de cobre saturado montado en los alrededores inmediatos del metal en el suelo o sobre éste. Si existe una conexión conductora de metal entre el ánodo y el cátodo, la diferencia de potencial produce una corriente de c.c. en el electrolito que pasa desde el ánodo y se introduce en el electrolito disolviendo el metal antes de reingresar al cátodo.

Con frecuencia se aplica la "regla de superficie" para estimar la densidad de corriente anódica promedio  $I_A$ :

$$I_A = \frac{U_c - U_A}{\varphi_C} \cdot \frac{A_K}{A_A} \text{ en A/m}^2$$

$U_A, U_C$	Potenciales del ánodo o cátodo en V
$\varphi_K$	Resistencia de polarización específica del cátodo en $\Omega\text{m}^2$
$A_A, A_C$	Superficies del ánodo o cátodo en $\text{m}^2$

La resistencia de polarización es la relación de la tensión de polarización y la corriente total de un electrodo mixto (un electrodo donde tiene lugar más de una reacción de electrodo).

En la práctica, es posible determinar las tensiones de excitación de celda  $U_A - U_C$  y el tamaño de las superficies  $A_C$  y  $A_A$  como una aproximación para estimar la tasa de corrosión. Sin embargo, los valores de  $\varphi_A$  (resistencia de polarización específica del ánodo) y  $\varphi_C$  no están disponibles en grado suficiente de precisión, sino que dependen de los materiales de los electrodos, los electrolitos y las densidades de corriente anódica y catódica.

Los resultados de los exámenes disponibles hasta ahora permiten concluir que  $\varphi_A$  es mucho más pequeño que  $\varphi_C$ .

Para  $\varphi_C$  se aplica lo siguiente:

Acero en tierra	Aprox. $1 \Omega\text{m}^2$
Cobre en tierra	Aprox. $5 \Omega\text{m}^2$
Acero en hormigón	Aprox. $30 \Omega\text{m}^2$

Sin embargo, a partir de la regla de superficie, resulta claro que los fenómenos poderosos de corrosión tienen lugar tanto en conductores y tanques de acero confinados con una capa protectora que poseen pequeños puntos en la capa donde falta material, conectados a electrodos de puesta a tierra de cobre y, además, en conductores de puesta a tierra de acero galvanizado conectados a sistemas de puesta tierra extendidos de cobre o fundaciones de hormigón armado extremadamente grandes.

Al seleccionar materiales adecuados, es posible evitar o reducir el riesgo de corrosión de los electrodos de puesta a tierra. Para lograr una vida útil satisfactoria, se deben mantener las dimensiones mínimas del material (Tabla 3).

### 3 Elección de los materiales de los electrodos de puesta a tierra

La Tabla 3 es una compilación de los materiales de los electrodos de puesta a tierra y de las dimensiones mínimas que habitualmente se emplean en la actualidad.

#### Acero galvanizado por inmersión en caliente

El acero galvanizado por inmersión en caliente también es adecuado para empotrar en el hormigón. Los electrodos de puesta a tierra de fundación, los electrodos de puesta a tierra y los conductores con conexión equipotencial de acero galvanizado en el hormigón pueden estar conectados con las armaduras.

#### Acero con vaina de cobre

En el caso del acero con vaina de cobre, los comentarios del cobre desnudo se aplican al material de la vaina. Sin embargo, el daño a la vaina de cobre genera un alto riesgo de corrosión del núcleo de acero; de ahí que siempre deba existir una capa de cobre cerrada completa.

#### Cobre desnudo

El cobre desnudo es muy resistente debido a su posición en la calificación de aislación electrolítica. Asimismo, en combinación con los electrodos de puesta a tierra u otras instalaciones en tierra hechas de materiales más "básicos" (como por ejemplo, el acero), posee una protección catódica adicional, a pesar de ser a costa de los metales más "básicos".

#### Aceros inoxidables

Determinados aceros inoxidables altamente aleados de acuerdo con la norma EN 10088 son inertes y resistentes a la corrosión en el suelo. El potencial de corrosión libre de los aceros inoxidables altamente aleados en suelos normalmente aireados se encuentra mayormente cercano al valor del cobre.

Los aceros inoxidables contendrán, como mínimo, un 16% de cromo, un 5% de níquel y un 2% de molibdeno.

Mediciones extensivas han demostrado que sólo un acero inoxidable altamente aleado con el material No. 1.4571, por ejemplo, es lo suficientemente resistente a la corrosión en el suelo.

#### Otros materiales

Pueden utilizarse otros materiales si son particularmente resistentes a la corrosión en determinados entornos o resultan, por lo menos, tan buenos

como los materiales listados en la **Tabla 3**.

#### 4 Combinación de electrodos de puesta a tierra de diferentes materiales

La densidad de corriente de la celda resultante de la combinación de dos metales diferentes instalados en tierra para ser eléctricamente conductores, lleva a la corrosión del metal que actúa como ánodo (**Tabla 2**). Ello depende, en esencia, de la relación de la magnitud del área catódica  $A_c$  con la magnitud del área anódica  $A_a$ .

El proyecto de investigación titulado "Comportamiento de la corrosión de los materiales de los electrodos de puesta a tierra" ha descubierto lo siguiente respecto de la elección de los materiales de los electrodos de puesta a tierra, particularmente en lo que respecta a la combinación de diferentes materiales:

Se espera un mayor grado de corrosión si la relación de las superficies es la siguiente:

$$\frac{A_c}{A_a} > 100$$

Por lo general, se puede suponer que el material con el potencial más positivo será el cátodo. El ánodo de una celda de corrosión realmente presente puede ser reconocido por el hecho de que posee el potencial más negativo al abrir la conexión conductora del metal.

Para la conexión de instalaciones de acero en el suelo, los siguientes materiales de electrodos de puesta a tierra se comportan siempre como cátodos en los suelos (de cobertura):

- Cobre desnudo;
- Cobre revestido en latón;
- Acero inoxidable altamente aleado.

#### Armaduras de acero de fundaciones de hormigón armado

Las armaduras de acero de las fundaciones de hormigón armado pueden tener un potencial muy positivo (similar al del cobre). Por lo tanto, los electrodos de puesta a tierra y los conductores a tierra conectados directamente a las armaduras de grandes fundaciones de hormigón armado deben ser de acero inoxidable o de cobre.

Ello también se aplica particularmente a los cables de conexión cortos en las proximidades inmediatas de las fundaciones.

#### Instalación de vías de chispas de separación

Según se sabe, es posible interrumpir la conexión conductora entre sistemas con potenciales muy diferentes instalados en tierra mediante la integración de vías de chispas de separación. Normalmente, ya no es posible que fluyan corrientes de corrosión. En sobretensiones inminentes, la vía de chispa de separación opera e interconecta las instalaciones durante el tiempo que duran las sobretensiones. Sin embargo, este tipo de vías no debe ser instalado para electrodos de puesta a tierra operativos y de protección, pues éstos siempre deben estar conectados a la planta.

#### 5 Otras medidas anticorrosivas

##### Cables de conexión de acero galvanizado de electrodos de puesta a tierra de fundación a bajadas

Los cables de conexión de acero galvanizado de electrodos de puesta a tierra de fundación a bajadas estarán instalados en hormigón o en mampostería hasta por encima de la superficie de la tierra.

Si los cables de conexión corren subterráneamente, el acero

galvanizado debe estar embebido en hormigón o en vainas sintéticas o, alternativamente, se deberán utilizar orejetas de conexión con terminales de conexión a tierra de cable NYY, o terminales de acero inoxidable de toma de tierra.

Dentro de la mampostería, los conductores de tierra pueden ser llevados hacia arriba, sin protección anticorrosiva.

#### Entradas para tierra de acero galvanizado

Las entradas de tomas de tierra de acero galvanizado deben estar protegidas contra la corrosión por una distancia mínima de 0,3 mm por encima y por debajo de la superficie de la tierra.

Por lo general, los recubrimientos de brea no bastan. Las vainas que no absorben humedad ofrecen protección, como por ejemplo, las fajas de caucho de butilo o fundas termocontraíbles

#### Terminales y conexiones subterráneas

Las superficies de corte y puntos de conexión en el suelo deben estar diseñados de manera tal de garantizar que la resistencia a la corrosión en la capa de protección anticorrosiva del material del electrodo de puesta a tierra sea la misma para ambos. Por lo tanto, los puntos de conexión en el suelo deben estar equipados con el revestimiento adecuado, como por ejemplo, recubiertos con una banda anticorrosiva.

#### Desechos corrosivos

Al rellenar zanjas y hoyos para instalar electrodos de puesta a tierra, los trozos de escoria y carbón no deben entrar en contacto inmediato con el material del electrodo de puesta a tierra; lo mismo se aplica a los desechos de construcción.

Material de superficie pequeña	Material de gran superficie			
	Acero galvanizado	Acero	Acero en hormigón	Cobre Acero inox.
Acero galvanizado	+	+	-	-
Acero	+	+	+	+
Acero en hormigón	+	+	+	+
Acero con revestimiento de Cu	+	+	+	+
Cobre/ acero inoxidable	+	+	+	+

Tabla 2 Combinaciones de materiales de sistemas de de puesta tierra para diferentes relaciones de superficie ( $A_k > 100 \times A_a$ )

Material	Configuración	Dimensiones mínimas			Observaciones
		Barra de Tierra $\Phi$ [mm]	Conductor de tierra	Placa de Tierra [mm]	
Cobre	Cableado <sup>3)</sup>		50 mm <sup>2</sup>		Diámetro mínimo de un alambre 1,7 mm
	Barra maciza redonda <sup>3)</sup>		50 mm <sup>2</sup>		Diámetro 8 mm
	Placa maciza <sup>3)</sup>		50 mm <sup>2</sup>		Espesor 2 mm
	Barra maciza redonda	15 <sup>8)</sup>			
	Cañería	20			Espesor mínimo de pared 2 mm
	Placa maciza			500 x 500	Espesor mínimo 2 mm
	Placa tipo rejilla			600 x 600	25 mm x 2 mm de sección. Longitud mínima de una placa tipo rejilla: 4,8 m
Acero	Barra redonda maciza galvanizada <sup>1), 2)</sup>	16 <sup>9)</sup>	Diámetro 10 mm		
	Cañería galvanizada <sup>1), 2)</sup>	25			Espesor mínimo de pared 2 mm
	Planchuela galvanizada <sup>1)</sup>		90 mm <sup>2</sup>		Espesor mínimo 3 mm
	Placa maciza galvanizada <sup>1)</sup>			500 x 500	Espesor mínimo 3 mm
	Placa tipo rejilla galvanizada <sup>1)</sup>			600 x 600	30 mm x 3 mm de sección.
	Barra redonda revestida en cobre <sup>4)</sup>	14			Revestimiento de cobre 99,9% 250 $\mu$ m.
	Barra redonda desnuda <sup>5)</sup>		Diám. 10 mm		
	Placa maciza desnuda o galvanizada <sup>5), 6)</sup>		75 mm <sup>2</sup>		Espesor mínimo 3 mm
	Cableado galvanizado <sup>5), 6)</sup>		70 mm <sup>2</sup>		Diámetro mínimo de un alambre 1,7 mm
Acero Inoxidable <sup>7)</sup>	Barra maciza redonda	15	Diám. 10 mm		
	Placa maciza		100 mm <sup>2</sup>		Espesor mínimo 2 mm
<sup>1)</sup> Los revestimientos deben ser lisos, continuos, y libres de fundentes y manchas residuales, con un espesor mínimo de 50 $\mu$ m para las barras redondas y 70 $\mu$ m para las placas. <sup>2)</sup> Los materiales deben ser maquinados antes del galvanizado. <sup>3)</sup> Puede ser también revestido en estaño. <sup>4)</sup> Es conveniente que el cobre sea unido al acero de forma íntima. <sup>5)</sup> Admitido solamente si se incluyen completamente en el hormigón. <sup>6)</sup> Admitido solamente para la parte de la fundación en contacto con la tierra, si se conecta correctamente por lo menos cada 5 m con las armaduras naturales de acero de la fundación... <sup>7)</sup> Cromo $\geq$ 16%, níquel $\geq$ 5%, molibdeno $\geq$ 2%, carbono $\leq$ 0,08%. <sup>8)</sup> En algunos países, son admisibles valores de 12 mm. <sup>9)</sup> En algunos países, se utiliza el electrodo de tierra para conectar el conductor de bajada en el punto de ingreso a tierra.					
Tabla 3 Material, configuración y mínimas dimensiones de los electrodos de puesta a tierra , de acuerdo la Tabal 7 de la norma 62305-3 (página 55 de dicha norma)					