

Control, mantenimiento y televigilancia de la protección catódica de tuberías de agua de acero

Adrià Gomila Vinent

Ingeniero Industrial

Director. Guldager Electrólisis S.A.

agomila@wilsonwalton.es

Introducción

Es cada día más frecuente el transporte de líquidos y gases mediante tuberías enterradas de acero, siendo esencial el impedir la corrosión externa de las mismas para evitar accidentes, garantizar la fiabilidad del sistema y minimizar los costes que representa la perforación de una tubería enterrada.

La corrosión externa se evita con la combinación de dos sistemas de protección:

- a) Un buen revestimiento que pretende evitar el contacto del acero con el suelo húmedo que le rodea
- b) Un sistema correcto de protección catódica, que proteja al acero contra la corrosión en los inevitables fallos y defectos que se pueden producir en algunos puntos del recubrimiento

En los trabajos de instalación de una tubería enterrada, se realizan controles para detectar posibles defectos del revestimiento y poderlos reparar antes de enterrarla.

Posteriormente, con la tubería en servicio, pueden realizarse otro tipo de controles de forma regular, que permitan localizar defectos del revestimiento de la tubería enterrada.

A pesar de ello es imposible garantizar que el revestimiento se mantendrá en perfecto estado en toda la tubería enterrada durante la vida útil de la misma, por lo que debe instalarse un sistema de protección catódica que permite evitar la corrosión externa de la tubería.

Garantías de la eficacia de la protección catódica

La protección catódica permite proteger contra la corrosión el metal de la tubería enterrada en los defectos del revestimiento.

La protección catódica correcta de una tubería enterrada, realizada y controlada según las Normas UNE-EN 12954 (Febrero 2002) "*Protección catódica de estructuras metálicas enterradas o sumergidas. Principios generales y aplicación para tuberías*" y UNE-EN 13509 (Diciembre 2003) "*Técnicas de medida en protección catódica*", permite lograr que la velocidad de corrosión sea inferior a 10 micras por año, lo que es despreciable desde un punto de vista práctico.

Para ello es imprescindible el respeto de todos los puntos de las Normas citadas, cuyos aspectos fundamentales son los siguientes:

El personal que participa en todo el proceso de la protección catódica debe tener suficiente experiencia, formación y cualificación para ello.

El diseño, instalación y puesta en marcha de la protección catódica debe realizarse siguiendo las normas citadas.

Deben utilizarse las técnicas de medida de la protección catódica adecuadas y realizar las operaciones de control y mantenimiento del sistema necesarias. Para controlar el funcionamiento de la protección catódica, son cada vez más utilizados los sistemas de televigilancia, por las ventajas de mejor servicio y rápida amortización que representan.

En este documento no nos detendremos en el diseño, instalación y puesta en marcha de los sistemas de protección catódica, aspectos que ya se trataron en ediciones anteriores de este Curso sobre Diseño e Instalación de Tuberías para Transporte de Agua.

Aquí nos centraremos en los aspectos que pueden condicionar a lo largo del tiempo la eficacia de los sistemas de protección catódica, como son las técnicas de medida, el control y el mantenimiento.

Queremos destacar que utilizando las técnicas adecuadas y los modernos sistemas de televigilancia de la protección catódica, las operaciones de control se simplifican y permiten asegurar la eficacia del sistema a lo largo del tiempo.

Criterios de protección catódica

Un sistema de protección catódica funciona correctamente y permite evitar la corrosión de la tubería, cuando las medidas de potencial que se realizan cumplen unos valores determinados.

El modo clásico de medir el potencial de una tubería consiste en hacer contacto con la misma en las Tomas de Potencial (TP) y medir con un voltímetro de elevada impedancia interna respecto a un electrodo de referencia de cobre sulfato de cobre portátil, situado sobre el terreno.

Para conseguir controlar la velocidad de corrosión de una tubería enterrada mediante protección catódica, los potenciales medidos deben cumplir los Criterios de Protección que se reflejan en la Tabla I de la UNE-EN 12954, de los que a continuación se reproduce la parte más importante.

(UNE-EN 12954)

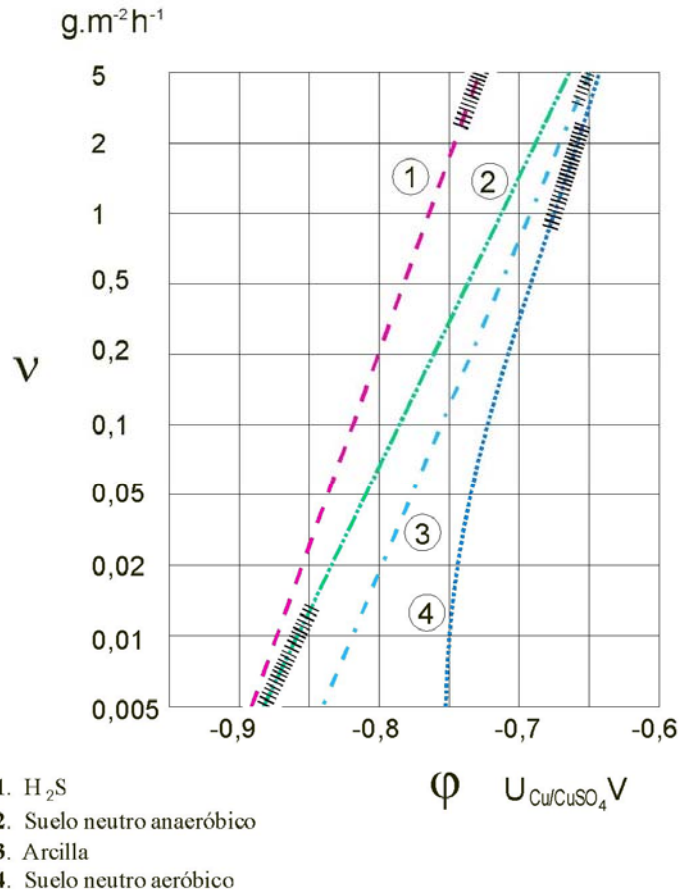
<i>Metal o aleación metálica</i>	<i>Medio</i>		<i>Potencial libre de corrosión: E_n (sin formación de pila de corrosión). Valor indicativo</i> V	<i>Potencial de protección</i> E_p V
Materiales férreos no aleados o poco aleados con límite elástico $800 \text{ N}\cdot\text{mm}^{-2}$	Agua y suelos en condiciones aerobias	Condición normal $T < 40 \text{ }^\circ\text{C}$	-0,65 a -0,40	-0,85
		$T > 60 \text{ }^\circ\text{C}$	-0,80 a -0,50	-0,95
		Suelo arenoso aireado $100 < \rho < 1000 \text{ } \Omega\text{m}$	-0,50 a -0,30	-0,75
		Suelo arenoso aireado $\rho > 1000 \text{ } \Omega\text{m}$	-0,40 a -0,20	-0,65
	Agua y suelos en condiciones anaerobias		-0,80 a -0,65	-0,95

Todos los potenciales deben ser *libres de caída óhmica IR* y se refieren a un electrodo de referencia cobre/sulfato de cobre saturado $E_{Cu} = E_H - 0,32 \text{ V}$.

Lógicamente, para que la velocidad de corrosión sea inferior al valor admitido, debe cumplirse el Criterio de Protección en todos los puntos de la tubería enterrada, en los que hay riesgo de corrosión a causa de los defectos del revestimiento.

Más adelante analizaremos las técnicas existentes para medir el potencial de la tubería libre de IR en las Tomas de Potencial (TP)

Para visualizar la influencia del potencial real del tubo en la velocidad de corrosión, incluimos la Fig. 1 en la que se aprecia que para distintos tipos de suelo la velocidad de corrosión varía según el potencial.



Las zonas rayadas representan velocidades naturales de corrosión.

Velocidad de corrosión en función del potencial para distintos medios

En la Tabla I y la Fig. 1, observamos que en una tubería enterrada el potencial libre de IR debería ser normalmente más negativo de -0.85 respecto al electrodo de $Cu/CuSO_4$.

En suelos con riesgo de desarrollo bacteriano y para temperaturas elevadas conviene que este potencial sea más negativo, alcanzando los -0.95 V.

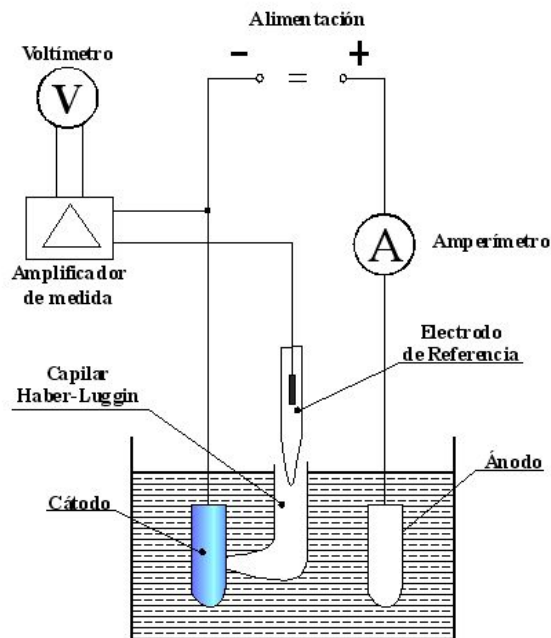
Finalmente en suelos arenosos aireados de gran resistividad el potencial puede ser más positivo, de -0.75 V o -0.65 V según los casos.

Potencial real libre de IR

En las medidas de potencial que se realizan en campo (ver Fig. 2), existe una distancia importante entre la posición del electrodo de referencia y el metal del que queremos medir el potencial. Por un lado está la distancia entre el electrodo de referencia y el tubo, y por otro la distancia entre el defecto del revestimiento más cercano y la vertical del electrodo de referencia.



Medidas de potencial



Medida en laboratorio

En el laboratorio, existen métodos para medir los potenciales con errores despreciables, a base de realizar la medición justo en la superficie del metal en contacto con el medio agresivo. (Ver Fig. 3).

Sobre el terreno, al no ser posible este tipo de medidas, para asegurarse de que se alcanza el potencial real deseado hay que evitar los errores de medida provocados por los gradientes $I \times R$ en el suelo.

Estos errores de medida son debidos a las caídas de tensión en el suelo y dependen de la corriente que circula por el suelo y de la resistencia entre los defectos del revestimiento y el electrodo de referencia.

La caída de potencial IR es menor si la intensidad que circula por el suelo es nula o si la resistencia entre el defecto y el electrodo es pequeña.

La corriente que circula por el suelo puede ser debida:

- Al sistema de protección catódica
- A las corrientes de compensación que se intercambian entre defectos que no están polarizados al mismo nivel, en el momento de detener la protección catódica
- A las corrientes vagabundas

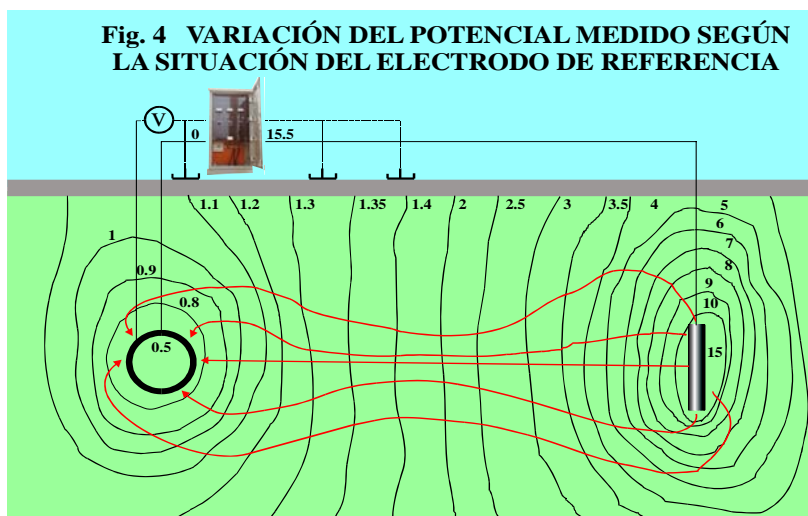
La resistencia entre el electrodo de referencia y los defectos del revestimiento depende de:

- El tamaño de los defectos
- La resistividad del suelo
- La distancia entre el electrodo de referencia y el defecto

Medidas de potencial clásicas. Medidas On

Al realizar las medidas de potencial clásicas, midiendo en las tomas de potencial (TP), con el sistema de protección catódica funcionando y utilizando electrodos portátiles, se obtienen unos valores que representan la media de los potenciales reales de los defectos más cercanos al punto de medida a los que se añade todo el error $I \times R$ citado. Por ello hay un riesgo muy importante de que a pesar de leer valores que pueden parecer adecuados, no se alcance el potencial real necesario para una protección catódica correcta. (Ver Fig. 4).

Es frecuente que con este modo de medir el potencial se crea erróneamente tener la tubería protegida, cuando en realidad los potenciales reales no alcanzan el criterio de protección y la corrosión puede ser importante.

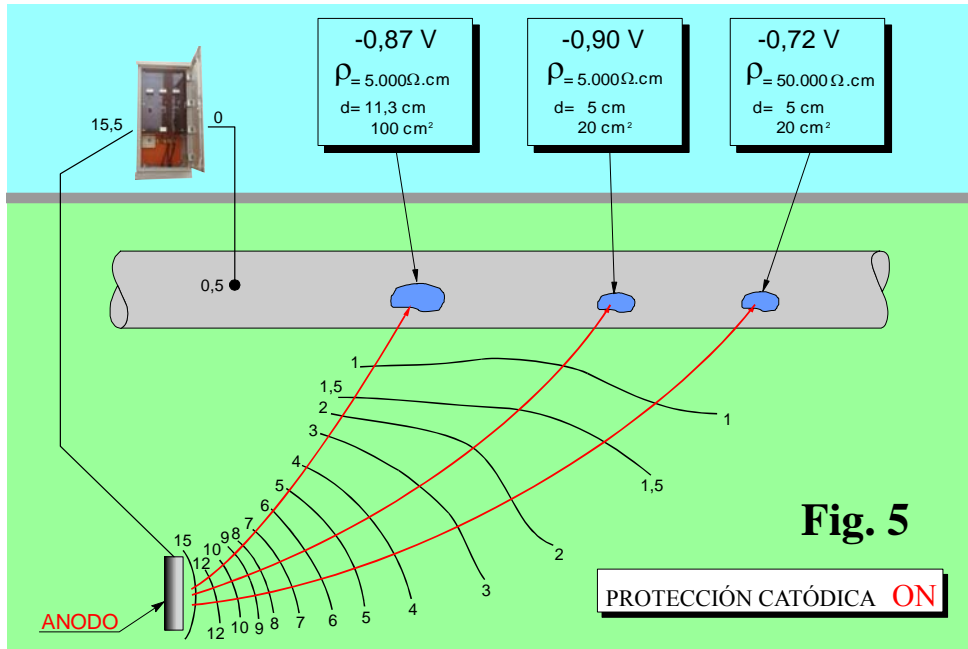


Variación del potencial medido según la situación del electrodo de referencia

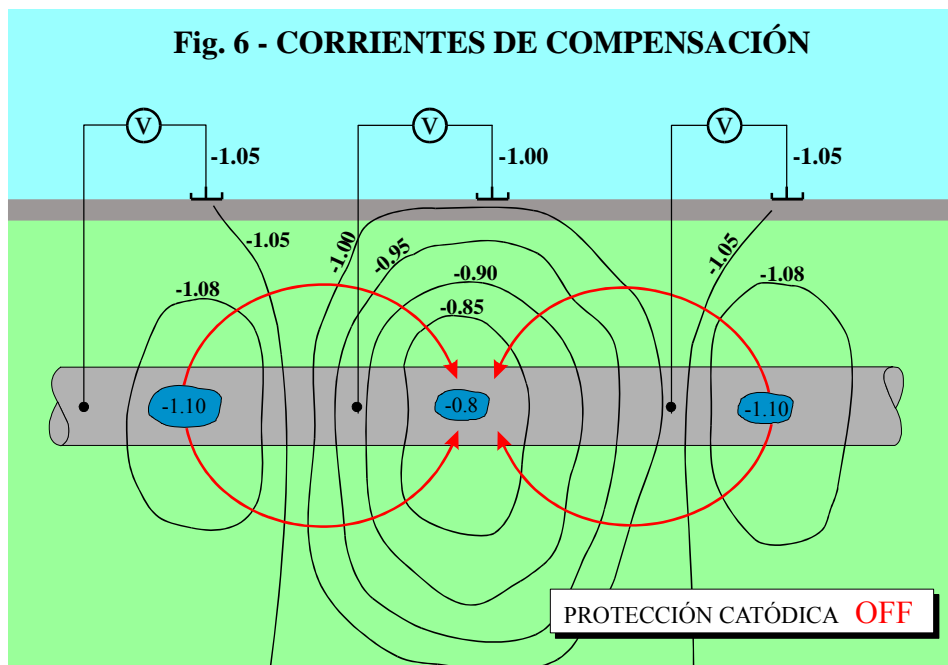
Medidas de potencial On-Off

Las medidas ON -OFF, realizadas mediante cortes cíclicos de la corriente de protección catódica en los rectificadores, pueden dar una indicación relativamente fiable en ausencia de corrientes vagabundas.

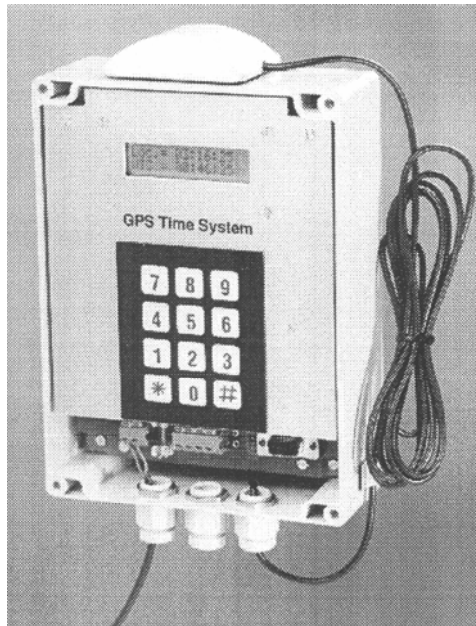
En la fase en que la protección catódica esta funcionando (ON), las distintas condiciones de cada defecto (resistividad del suelo, tamaño y superficie del defecto, etc.), hacen que el nivel de potencial real en cada defecto pueda ser distinto (ver Fig. 5).



En el momento de interrumpir la protección catódica (OFF), aparecen las corrientes de compensación que producen un cierto error $I \times R$. (Ver Fig. 6).



Para realizar medidas ON-OFF en tubos protegidos por más de un rectificador deben sincronizarse los interruptores (ver Fig. 7).



Cronorruptor radio-sincronizado por satélite para medidas On/Off en protección catódica

En efecto, deben interrumpirse simultáneamente todas las fuentes de alimentación, lo que en algunos casos puede ser complicado.

Vemos que la lectura de potencial realizada sobre la superficie no se corresponde con el potencial real del defecto, a causa de los gradientes provocados en el suelo por las corrientes de compensación.

En la Fig. 6 vemos que con un electrodo de referencia situado sobre un defecto con un potencial real de -1,1 Voltios podemos medir -1,05 Voltios, mientras que sobre un defecto insuficientemente protegido, con un potencial real de -0,8 Voltios, podemos medir -1,0 Voltio.

En la Tabla II, correspondiente a la UNE-EN 13509 que reproducimos a continuación, se indican las técnicas de medida que podemos utilizar en función del tipo de corriente que circule por el suelo.

En ella podemos observar que las medidas ON-OFF, situando interruptores sincronizados en todos los rectificadores que alimentan el tramo, sólo son válidas cuando las corrientes de compensación son muy pequeñas y no existen pilas galvánicas ni corrientes vagabundas.

(UNE-EN 13509)

Corrientes que causan IR entre la estructura y el electrodo de referencia y técnicas de medición

Tipo de corriente	Posibles técnicas de medición (ejemplos)
Corrientes específicas del sistema	
Corrientes de protección catódica	Medición del potencial de desconexión (OFF) Electrodos probeta
Corrientes de compensación	Técnica de medidas intensivas Electrodos probeta
Corrientes galvánicas (metales distintos)	Técnica de medidas intensivas Electrodos probeta

Tipo de corriente	Posibles técnicas de medición (ejemplos)
Corrientes de fuentes exteriores lejanas	
No fluctuantes con el tiempo, por ejemplo, corrientes de protección, de compensación o galvánicas.	Técnica de medidas intensivas Electrodos probeta
Fluctuantes con el tiempo, por ejemplo, sistemas de tracción c.c., instalaciones industriales de c.c. corrientes telúricas.	Medición especial del potencial OFF nocturno Técnica de medidas intensivas Electrodos probeta
Corrientes de fuentes exteriores cercanas	
No fluctuantes con el tiempo, por ejemplo, corrientes de protección, de compensación o galvánicas.	Electrodos probeta
Fluctuantes con el tiempo, por ejemplo sistemas de tracción de c.c., instalaciones industriales de c.c.	Medición especial del potencial OFF nocturno Electrodos probeta

En presencia de corrientes vagabundas, la UNE-EN 13509 admite tres métodos:

- Electrodo probeta
- Medidas intensivas
- Medición especial del potencial ON-OFF nocturno

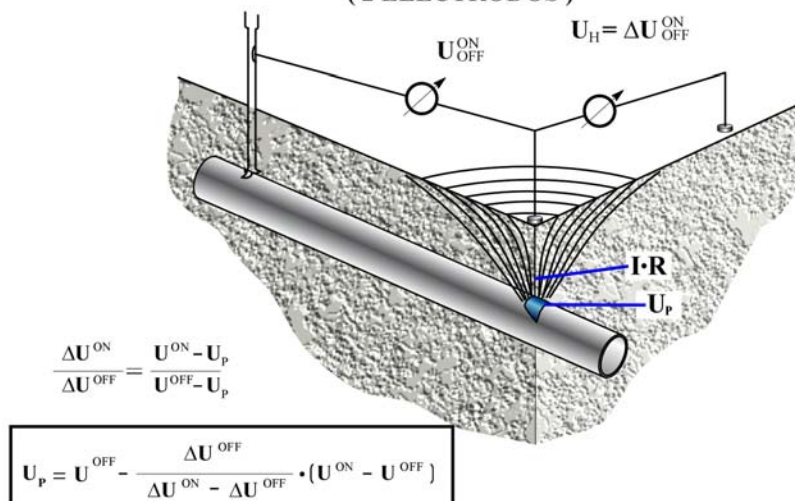
Medidas intensivas

En la Fig. 8 se representa el método de medidas intensivas, que fue desarrollado inicialmente en Alemania y que suelen utilizar para conocer el potencial libre de IR entre dos TP para corregir el efecto de las corrientes de compensación.

El método se describe en el punto 4.4.2.3. de la UNE-EN 13509 completándose en el Anexo F.

El método no es aplicable en presencia de corrientes vagabundas intensas en las que la fuente emisora es cercana a la tubería.

MEDIDAS INTENSIVAS Y GRADIENTE TRANSVERSAL (2 ELECTRODOS)



Determinación potencial real

Medida especial de potencial On-Off nocturno

Este método fue desarrollado en Italia y se descubre en el punto 4.4.2.2. de la UNE-EN 13509, completándose en el Anexo E.

Consiste en realizar mediciones ON-OFF durante la noche con interruptores situados en los rectificadores, en períodos sin influencias de corrientes vagabundas.

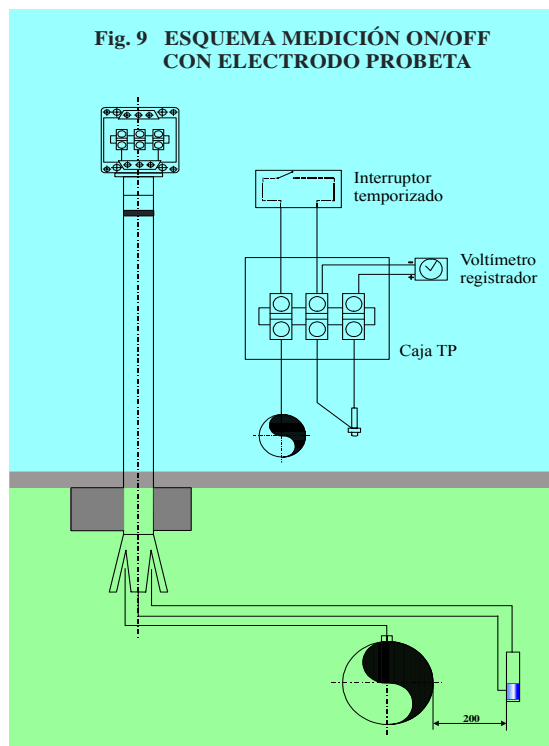
Se obtiene así el potencial ON y el potencial OFF en ausencia de corrientes vagabundas. El método pretende que durante el día, bajo la influencia de las corrientes vagabundas, el potencial ON no puede ser más positivo que el medido durante la noche.

En nuestra opinión, el método no es aplicable en España con la situación de las juntas aislantes respecto a las vías del tren y la disposición habitual de los rectificadores.

Electrodos probeta

Un electrodo probeta está formado por un electrodo de referencia permanente y una probeta de acero de una superficie determinada.

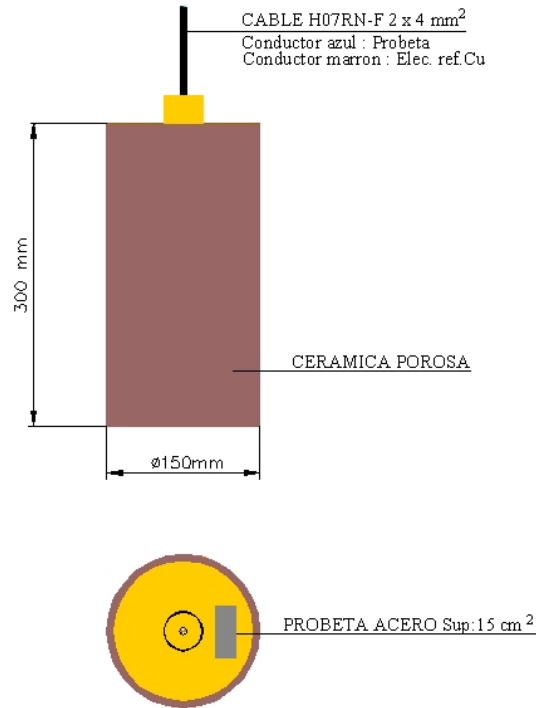
Esta probeta simula un defecto del revestimiento del que podemos conocer el potencial libre de IR, al estar el electrodo de referencia situado cerca del metal de la probeta y poder interrumpir la corriente que circula por la probeta desconectando el cable que la une a la tubería.



El electrodo probeta debe enterrarse cerca de la tubería y conectarse de modo que puedan realizarse mediciones ON-OFF en la probeta así como mediciones de intensidad. (Ver Fig. 9)

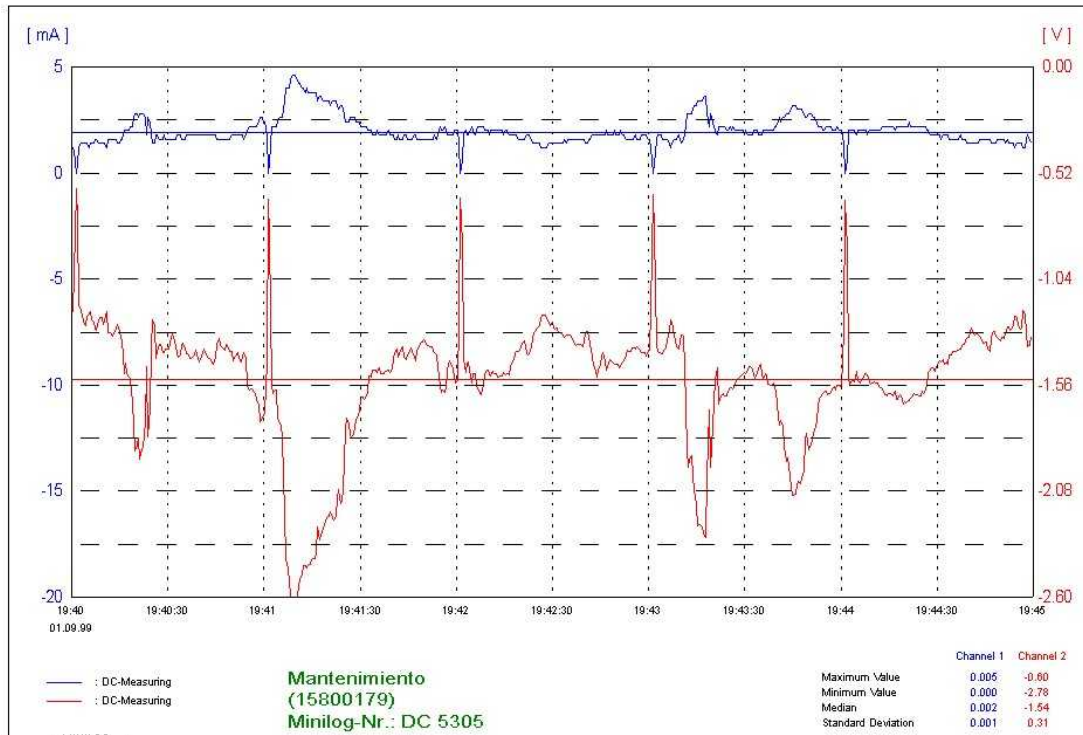
En la Fig. 10 se puede ver un electrodo probeta. Es un método cada vez más empleado, que permite la medida del potencial real de la probeta metálica, a pesar de las corrientes vagabundas. Para que la lectura sea representativa, la superficie de la probeta debe ser superior a la de los defectos del revestimiento del tubo en aquella zona.

Debemos destacar el interés en localizar los defectos del revestimiento y evaluar su importancia para poder determinar el tamaño de las probetas.



Electrodo probeta

En la Fig. 11 puede apreciarse un caso en el que con potenciales ON que oscilan entre -1,1 V y en algún punto superan los -2,6 V, el potencial real de la probeta no alcanza el Criterio de Protección, con valores del orden de -0,65 V de potencial libre de IR.



Registro de potencial On-Off e intensidad en un electrodo probeta

La utilización de electrodos probeta es un método excelente, con la limitación de que solo tenemos la información del lugar donde lo hemos instalado y que lógicamente disponemos de un número de electrodos limitado, que difícilmente puede cubrir toda la tubería.

En nuestra opinión, en zonas afectadas por corrientes vagabundas, el control de la protección catódica de tuberías enterradas debe realizarse instalando electrodos probeta en los lugares críticos, seleccionando para instalar las probetas aquellos en los que los registros de potencial ON dan informaciones preocupantes o dudosas.

En la actualidad se están desarrollando modelos especiales de electrodos probeta para resolver los errores que aun se producen por la distancia entre el electrodo de referencia y la probeta, los problemas derivados de la contaminación de la probeta y la fiabilidad a lo largo del tiempo de los electrodos de referencia.

Corriente alterna

Existe la evidencia de problemas de corrosión por corriente alterna en tuberías enterradas protegidas catódicamente, fundamentalmente en pequeños defectos del revestimiento en los que la densidad de corriente alterna es elevada.

La tensión alterna entre la tubería y la tierra puede producirse por inducción a causa de paralelismos importantes entre la tubería enterrada y líneas de alta tensión o por corrientes vagabundas de corriente alterna de algunos ferrocarriles como el AVE.

Este problema fue abordado decididamente por el CEOCOR, que en el año 2001 publicó el documento "*AC Corrosion on cathodically protected pipelines. Guideline for risk assessment and mitigation measures*".

En Marzo de 2006 el CEN ha publicado la Especificación Técnica CEN/TS 15280 "*Evaluation of a.c. corrosion likelihood of buried pipelines - Application to cathodically protected pipelines*".

Lo más destacable de este último documento es que para evitar riesgos de corrosión por alterna, la tensión alterna entre la tubería y tierra no debería superar los 10 Voltios en suelos con resistividades superiores a $2500 \Omega \cdot \text{cm}$ y los 4 Voltios en suelos con resistividades inferiores a $2500 \Omega \cdot \text{cm}$.

Cuando la tensión alterna es excesiva la solución más habitual es reducirla con sistemas de puesta a tierra en las que se intercala un equipo que permite la descarga de alterna pero no el paso de continua, con lo que no entorpece la protección catódica.

En zonas con riesgo de corriente alterna es habitual instalar electrodos probeta con probetas de 1 cm^2 para poder realizar mediciones.

Control y mantenimiento

Tras cubrirse todas las etapas de la puesta en marcha satisfactoria del sistema de protección catódica, incluyendo las medidas de potencial libre de IxR, sabemos que la tubería esta protegida contra la corrosión.

Es el momento de establecer un plan de control y mantenimiento del sistema, para conseguir que la protección catódica siga funcionando correctamente evitando la corrosión de la tubería a lo largo del tiempo.

La inspección del buen funcionamiento y la eficacia de un sistema de protección catódica puede dividirse en dos tipos de controles.

- Verificaciones funcionales: controles rutinarios de funcionamiento del sistema
- Medidas de potenciales reales: controles periódicos para verificar la eficacia de la protección catódica

Las verificaciones funcionales tienen por objeto comprobar que los equipos siguen funcionando sin averías y que no se producen variaciones anormales en el sistema que aconsejen una investigación más detallada.

Los controles periódicos para verificar la eficacia de la protección catódica deben permitir la comprobación de que se cumplen los criterios de protección, lo que significa que se protege el metal contra la corrosión. Para ello deben realizarse medidas de los potenciales reales, libres de IR.

Verificaciones funcionales

Las verificaciones funcionales suelen realizarse a base de visitar de modo rutinario y frecuente (entre 1 y 3 meses) los puntos clave, aunque también puede optarse por un sistema de televigilancia utilizando los sistemas adecuados.

Las principales operaciones que permiten verificar que los equipos siguen funcionando y no se han producido variaciones anormales son las siguientes:

- Funcionamiento de los rectificadores, midiendo por ejemplo la intensidad y la tensión y el potencial ON cuando incorporan un electrodo de referencia permanente. Estas mediciones pueden ser instantáneas o realizarse mediante voltímetros registradores
- Funcionamiento de los drenajes de retorno de corriente a la vía
- Medidas de potencial ON instantáneas o mediante voltímetros registradores en puntos seleccionados

Verificación de la eficacia de la protección catódica

Debe ser realizada periódicamente (normalmente una vez al año) comprobando que se cumple el criterio de protección catódica y en algunas compañías se denomina inspección exhaustiva.

Como se ha indicado anteriormente, para obtener valores de potencial libres de IR pueden utilizarse medidas ON-OFF en ausencia de corrientes vagabundas. Cuando existen interferencias suelen realizarse medidas ON-OFF nocturnas y medidas ON-OFF en electrodos probeta estratégicamente situados.

Tras comprobar la eficacia del sistema mediante las medidas de potencial libre de IR, se fijan unos parámetros que deben mantenerse a lo largo de las verificaciones funcionales que se realizarán hasta la próxima medición detallada (exhaustiva).

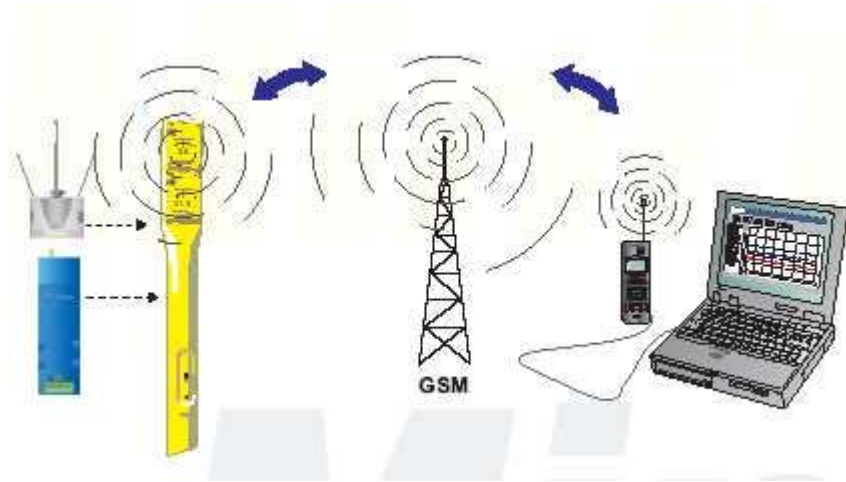
Televigilancia de la protección catódica

Las verificaciones funcionales deberían ser suficientemente frecuentes para detectar rápidamente cualquier problema.

En efecto, es importante que si se produce el fallo de un rectificador, de un equipo de drenaje o de una junta dieléctrica, se sepa rápidamente para evitar periodos prolongados de mal funcionamiento de la protección catódica.

El interés de tener esta información lo antes posible, junto con el importante coste que representa que los técnicos visiten los equipos frecuentemente, hace que cada vez sea más importante realizar las verificaciones funcionales mediante televigilancia.

En la actualidad, los modernos sistemas de televigilancia de la protección catódica permiten no tan solo sustituir las verificaciones funcionales con una información muchísimo mejor, sino que pueden realizarse buena parte de las comprobaciones de la eficacia de la protección catódica.



Es sencillo equipar con televigilancia los electrodos probeta críticos, obteniendo así diariamente información de los potenciales libres de IxR, lo que permite controlar todo el sistema con muchos menos desplazamientos.

La televigilancia de la protección catódica permite controlar el sistema de modo simple y económico y actuar cuando sea necesario, con lo que puede asegurarse la protección contra la corrosión de las tuberías enterradas por periodos de tiempo muy importantes.

Conclusiones

Un sistema correcto de protección catódica evita la corrosión externa de una tubería enterrada de acero.

Para garantizar el buen funcionamiento de la protección catódica deben realizarse las mediciones adecuadas en cada caso.

En presencia de corrientes vagabundas la mejor opción es la de utilizar electrodos probeta.

En algunas circunstancias, debe tenerse en cuenta el riesgo de interferencias por corriente alterna.

Es fundamental el control y mantenimiento de los sistemas de protección catódica, que se facilita enormemente con los sistemas de televigilancia.