

## **PROTECCIÓN CATÓDICA DE SONDEOS DE CAPTACIÓN DE AGUA**

**Miguel Ángel GUILLÉN RODRIGO\***

(\*) Instituto Español de Corrosión y Protección. Madrid

### **RESUMEN**

Los pozos para captación de agua se revisten, normalmente, con tuberías de acero al carbono. Los procesos de corrosión e incrustación provocan el envejecimiento de las captaciones, cuyo rendimiento empeora progresivamente. Hace algunos años, la solución a este problema solía ser la construcción de un nuevo pozo. Actualmente el planteamiento ha cambiado, y se recurre a técnicas de regeneración o, mejor aún, de prevención.

En el presente trabajo, se examinan las causas de la aparición de fenómenos de corrosión en los pozos. Como procedimiento para combatirla, se describen los fundamentos de la protección catódica, y los distintos sistemas de aplicación de la misma existentes.

### **INTRODUCCIÓN**

En los tiempos modernos se busca afanosamente petróleo y gas, moviéndose a su alrededor ingentes cantidades de dinero, y a veces se descuida la búsqueda y tratamiento del bien más preciado, para la vida humana, el agua, ya que sin ella no hay vida. Se podría decir que la división entre países ricos y pobres, está entre los que tienen agua y saben aprovecharla, y los que no la tienen. En España el agua no sobra, más bien resulta escasa para la demanda actual, por lo que los recursos disponibles hay que "mimarlos" y administrarlos, aplicando las tecnologías que actualmente se conocen y dominan.

Una fuente de estos recursos, de extraordinaria importancia, son las aguas subterráneas. Las hay dulces y salobres; para la utilización de estas últimas, en consumo humano o riegos, hay que desalarlas previamente. En el campo de la des-

alación, hay un importante desarrollo tecnológico, como las técnicas de ósmosis inversa. En algunas zonas próximas a la costa, por las cada vez mayores extracciones de agua, derivadas del aumento de poblaciones y cultivos, los acuíferos se van contaminando con agua salada.

Normalmente, los sondeos para captación de agua se revisten con tuberías de acero al carbono. Con el paso del tiempo el rendimiento del sondeo va bajando, se produce una disminución del caudal y, en ocasiones, llega a no ser posible la extracción de agua. En algún caso, este efecto puede ser debido al descenso de nivel del acuífero por la propia explotación, pero también suele obedecer a un envejecimiento de las tuberías metálicas, tanto filtrantes como ciegas, que sufren con el tiempo procesos de corrosión e incrustación.

Estos efectos, perjudiciales para la normal explotación del agua subterránea, han dado lugar al desarrollo de técnicas de regeneración o rehabilitación de sondeos, campo en que se prevé un fuerte crecimiento de la actividad, dada la gran cantidad de sondeos que son básicos para el abastecimiento de agua a urbanizaciones, pueblos y ciudades, en España y en muchas partes del mundo. La idea es recuperar, o mejorar, el rendimiento de un sondeo a un coste menor que el de hacer uno nuevo. Hace veinte años, se consideraban poco los procesos de envejecimiento, siendo la alternativa más utilizada construir un sondeo nuevo. Actualmente el planteamiento cambia, sólo si no es posible una regeneración rentable cabe construir otro sondeo.

## **CONCEPTOS BÁSICOS DE CORROSIÓN**

El mineral de hierro, se encuentra en la naturaleza en un estado termodinámicamente estable; lo extraemos y, en un horno alto, se convierte en hierro metálico, termodinámicamente inestable. Este hierro, tiende a eliminar la energía que se le ha aplicado y volver al estado combinado, como estaba en la naturaleza, es decir, a un estado termodinámicamente estable. Esta definición de la corrosión, justifica el desarrollo de tecnologías que ayuden a mantener el hierro en estado metálico. En España, las pérdidas anuales directas por corrosión se estiman en unos 250 mil millones de pesetas; las indirectas son incalculables, ya que incluyen la pérdida de vidas humanas. Esta enorme cifra se podría reducir, en porcentaje muy importante, si las técnicas de protección que actualmente se conocen y dominan se aplicaran; los beneficios inmediatos serían evitar gastos en paradas de producción, en sustitución de materiales y mano de obra, y en mantenimiento.

La corrosión que genera la clásica herrumbre (óxido de hierro) es la corrosión húmeda, un proceso electroquímico que necesita para desarrollarse tres elementos fundamentales: ánodo, cátodo y electrolito (medio agresivo), siendo necesaria la existencia de los tres para que la corrosión pueda tener lugar; si alguno falta, la corrosión se detiene. Estos tres elementos constituyen una pila, que se conoce

como pila de corrosión. La corrosión se desarrolla en las zonas anódicas, y las catódicas permanecen siempre inalteradas. La actividad de esta pila será tanto mayor cuanto mayor sea la conductividad del electrolito. En un agua salina, que tiene conductividad alta, cualquier pila de corrosión va a tener gran actividad, y por tanto los procesos de corrosión se van a desarrollar a gran velocidad. Un agua dulce va a ser poco conductora, la pila de corrosión va a tener poca actividad y la velocidad de corrosión va a ser pequeña.

### Causas de formación de ánodos y cátodos

Vamos a tratar brevemente sobre las causas de formación de ánodos y cátodos, principalmente las que pueden afectar a problemas de corrosión. Estas causas son:

#### Deformación de la estructura cristalina

Si, por el calor o por un efecto mecánico, se deforma la estructura cristalina del metal, la parte deformada actúa como ánodo, mientras que el cátodo es la estructura intacta.

REACCIÓN DE ELECTRODO	POTENCIAL NORMAL DE REDUCCIÓN E° (voltios) 25 °C
$\text{Ca} = \text{Ca}^{++} + 2\text{e}^-$	- 2.87
$\text{Na} = \text{Na}^+ + \text{e}^-$	- 2.71
$\text{Mg} = \text{Mg}^{++} + 2\text{e}^-$	- 2.37
$\text{Al} = \text{Al}^{+++} + 3\text{e}^-$	- 1.66
$\text{Mn} = \text{Mn}^{++} + 2\text{e}^-$	- 1.18
$\text{Zn} = \text{Zn}^{++} + 2\text{e}^-$	- 0.763
$\text{Cr} = \text{Cr}^{+++} + 3\text{e}^-$	- 0.74
$\text{Fe} = \text{Fe}^{++} + 2\text{e}^-$	- 0.44
$\text{Cd} = \text{Cd}^{++} + 2\text{e}^-$	- 0.403
$\text{Ni} = \text{Ni}^{++} + 2\text{e}^-$	- 0.250
$\text{Sn} = \text{Sn}^{++} + 2\text{e}^-$	- 0.136
$\text{Pb} = \text{Pb}^{++} + 2\text{e}^-$	- 0.126
$\text{H}_2 = 2\text{H}^+ + \text{e}^-$	- 0.000
$\text{Cu} = \text{Cu}^{++} + 2\text{e}^-$	+ 0.337
$2 \text{Hg} = \text{Hg}_2^{++} + 2\text{e}^-$	+ 0.789
$\text{Ag} = \text{Ag}^+ + \text{e}^-$	+ 0.800
$\text{Pt} = \text{Pt}^{++} + 2\text{e}^-$	+ 1.200 (aprox.)
$\text{Au} = \text{Au}^{+++} + 3\text{e}^-$	+ 1.500

Tabla 1. Serie electroquímica.

## Pares galvánicos

Si se ponen en contacto dos metales diferentes, el más activo según la serie electroquímica (*tabla 1*) actuará como ánodo (sufrirá corrosión), mientras que el más noble actuará como cátodo y permanecerá inalterado. Una de las pilas de corrosión más conocidas es la de Fe-Cu, por los efectos nocivos que tiene para el hierro.

## Aireación diferencial o efecto Evans

En un metal, en contacto con un electrolito de diferente concentración iónica o gaseosa, la parte en contacto con la zona de concentración menor actúa como ánodo, y la otra como cátodo. Así, por ejemplo, un sedimento sobre una superficie metálica origina una zona anódica justamente debajo del depósito, donde la concentración de oxígeno es muy pequeña, en comparación con la periferia, ocasionando en poco tiempo una picadura. Diferentes concentraciones de oxígeno se originan con gran facilidad, por lo que este fenómeno justifica gran número de casos de corrosión.

## Corrientes erráticas

Se denominan corrientes erráticas las que hacen su retorno a la fuente emisora por un camino distinto al previsto. La corriente tiende a circular por donde le es más fácil; si encuentra en su camino una estructura metálica, penetra en ella, haciendo de esta zona cátodo, mientras que por donde sale es ánodo, y en este punto se concentra la corrosión. La forma de detectar estas corrientes, en una tubería ya instalada, es realizando registros de potencial, y verificando su evolución al cabo de 24 horas. Si no hay corrientes erráticas, el registro es una recta; si por el contrario existen, el registro es un continuo zig-zag.

## Procesos bacteriológicos

Pueden existir bacterias anaerobias o aerobias que, en sus procesos metabólicos, den lugar a zonas anódicas y catódicas. Estas bacterias suelen moverse en medios ácidos y muy ácidos.

## **PROTECCIÓN CATÓDICA**

Volviendo a los factores básicos que constituyen una pila de corrosión, ánodo, cátodo y electrolito, resulta que, si se eliminan todos los ánodos, sólo con cátodo y electrolito no puede haber corrosión. Este es el fundamento de la protección catódica.

dica.

Ahora bien, ¿cómo se puede saber que han desaparecido las zonas anódicas de la superficie que tratamos de proteger?. Si tenemos en cuenta el diagrama de Pourbaix (figura 1), las zonas anódicas habrán desaparecido cuando el valor del potencial haya alcanzado los  $-0,85\text{V}$  con respecto al electrodo de referencia de cobre/sulfato de cobre saturado, es decir, cuando el metal a proteger se haya situado en la zona de inmunidad.

¿Cómo se puede alcanzar el potencial de  $-0,85\text{ V}$ ? Este potencial, llamado potencial de protección, base de la protección catódica, se alcanza mediante la aplicación de una corriente a la estructura que tratamos de proteger. La corriente a aplicar será mayor o menor en función del revestimiento pasivo (hormigón, pintura) que lleve el metal que se trate de proteger.

¿De dónde podemos sacar esta corriente?. La respuesta lleva a mencionar los sistemas de protección catódica existentes:

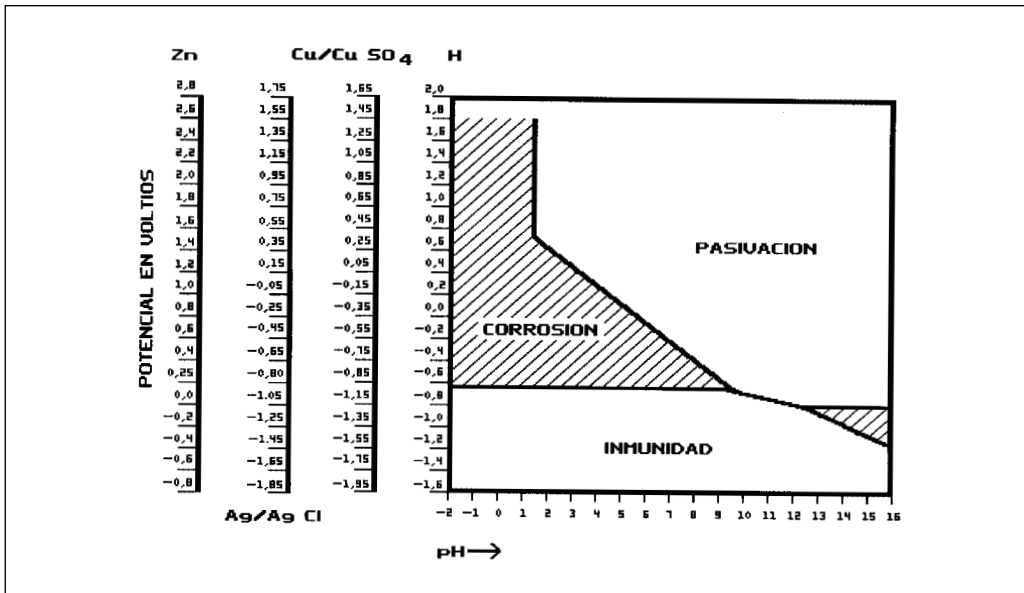


Figura 1. Diagrama de Pourbaix.

- Ánodos de sacrificio: consiste en formar una pila en que el metal a proteger será el cátodo, y el ánodo será un metal que se sacrificará en favor del primero (Zn, Mg o Al). Este sistema genera la energía necesaria para la protección.
- Sistema de corriente impresa: consiste en conectar el polo (-) de una fuente de

alimentación de corriente continua, pura o rectificada, a la estructura a proteger, y el polo (+) a un electrodo dispersor de corriente. Este sistema utiliza una fuente de energía exterior.

La gran ventaja de la protección catódica es que se puede controlar de forma sencilla, simplemente mediante una medida de potencial, para lo cual sólo se requiere un voltímetro y un electrodo de referencia. Si el voltímetro marca los  $-0,85$  V la corrosión no es posible. Ningún otro sistema de protección ofrece la ventaja de

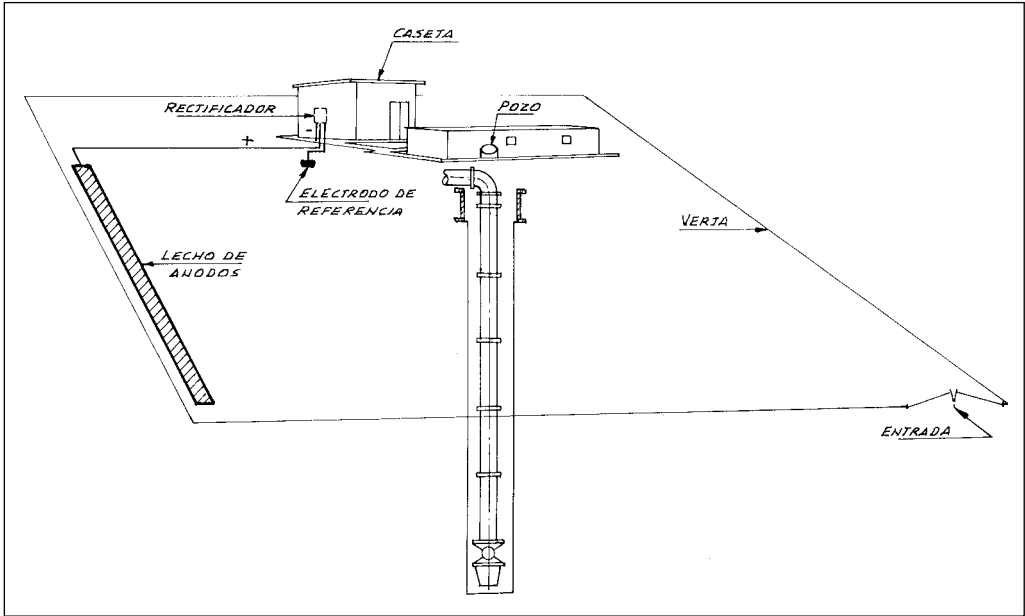


Figura 2. Esquema de instalación de un sistema de protección catódica en un sondeo.

poder ser controlado de forma tan simple.

### APLICACIÓN DE LA PROTECCIÓN CATÓDICA A UN SONDEO

Se han citado las causas más comunes de generación de zonas anódicas y catódicas en el entubado y bombas de un sondeo; pues bien, todas desaparecen en el momento que el sistema de protección catódica empieza a funcionar. Las partes metálicas del sondeo quedan convertidas en cátodo, los ánodos han desaparecido, por tanto, sólo con cátodo y electrolito no puede haber corrosión; mientras esta circunstancia se mantenga, el metal permanecerá inalterado.

La figura 2, muestra, esquemáticamente, la instalación de un sistema de protección catódica en un sondeo. El lecho de ánodos está constituido por electrodos dispersores de corriente de titanio-óxido de rutenio, para una vida de 25 años. El trans-

fo-rectificador está ubicado en la caseta de control; un *data logger* registra, de forma permanente, los valores de potencial.

Es muy espectacular instalar protección catódica en un sondeo con fuerte corrosión, con salida de agua roja, y verificar en pocos días cómo el agua sale limpia. El agua extrae el óxido que se forma en el acero de la entubación del sondeo, actuando como decapante; el acero en esta situación se sensibiliza a la corrosión, y cada vez ésta es mayor, acabando con la destrucción de la tubería. Al aplicar protección catódica, sigue saliendo agua roja en un principio, pero al quedar detenida la corrosión deja de formarse óxido, y el agua finalmente sale limpia.

## CONCLUSIONES

En un sondeo para captación de agua, revestido con tubería metálica, se producen desde el primer momento procesos físico-químicos y biológicos, que actúan directa o indirectamente en toda la obra. Las consecuencias son, disminución del caudal, de los niveles estáticos y dinámicos, y arrastre de sólidos, con frecuencia cantidades importantes de óxido de hierro.

La protección de un sondeo con el sistema descrito (protección catódica) es la mejor inversión que se puede hacer, ya que se combaten:

- la deformación de la estructura cristalina, por ejemplo, por efecto de las soldaduras,