

Corrosión de instalaciones

CESAR DEL OLMO, Dr. en Ciencias Químicas

1. INTRODUCCION

En la ponencia de hoy vamos a tratar, brevemente, del problema de la corrosión de las instalaciones metálicas de distribución de agua de nuestros edificios, problema desgraciadamente no demasiado infrecuente y que afecta a la durabilidad de las edificaciones consideradas en su conjunto.

1.1. Definición

Se entiende por corrosión el ataque destructivo de naturaleza química o electroquímica que sufre un metal por reacción con su medio ambiente. Esta última reacción tiene lugar por formación de una o más pilas en las que una o varias zonas de la tubería actúan de ánodo, frente a las restantes que se comportan como cátodo. Las reacciones electroquímicas implican el paso del metal al estado de ion y requieren la presencia de un medio conductor, favorecido generalmente por el agua. Se produce corrosión donde el metal actúa de ánodo.

1.2. Metales utilizados

Los metales utilizados habitualmente en la fabricación de las tuberías de distribución de agua y saneamiento son los siguientes:

Para conducciones de agua fría:	— acero galvanizado. — plomo, aunque este metal se utiliza cada vez con menos frecuencia.
Para conducciones de agua caliente:	— acero galvanizado. — cobre y sus aleaciones.
Para conducciones de calefacción:	— acero negro.
Para empalmes, codos, tes, etc.:	— hierro fundido.
Para conducciones de saneamiento y desagües:	— plomo.

Por lo tanto, a lo largo de la presente exposición nos referiremos a los problemas particulares de corrosión de estos materiales.

1.3. Localización de la corrosión

Dentro de la panorámica de los problemas de corrosión que pueden presentarse en las tuberías metálicas de fontanería y saneamiento, es posible establecer una clara diferencia: que la corrosión afecte al exterior o al interior de las tuberías.

2. CORROSION EXTERIOR

2.1. Agentes principales

Los dos agentes principalmente responsables de la corrosión del hierro son: el oxígeno y el agua, actuando conjuntamente; ninguno de los dos (oxígeno seco o humedad exenta de oxígeno) es capaz, por separado, de producir corrosión apreciable.

2.2. Materiales en contacto

Los materiales en contacto con una tubería de hierro de las comúnmente empleadas en las edificaciones, recubiertas o empotradas en materiales de construcción —mortero, hormigón, yeso, etc.—, o en materiales de relleno —escombros, escorias, terreno, etc.— también pueden ser causa potencial de la corrosión, al contener agentes corrosivos.

2.2.1. Materiales de construcción

En los morteros y hormigones pueden encontrarse los constituyentes agresivos siguientes: cloruros, sulfatos y sulfuros, que pueden proceder de uno o más de sus componentes.

La proporción de estos elementos agresivos que puede aportar el *cemento portland* al mortero u hormigón es prácticamente despreciable; no así otros tipos de cemento, como el siderúrgico, que contiene una cierta proporción de sulfuros, lo que no hace recomendable su utilización para fabricar hormigones que vayan a estar en contacto con tuberías de hierro.

Los *áridos* también pueden contaminar a los materiales de construcción con estos iones agresivos. Es frecuente encontrar casos de corrosión de tuberías de hierro que se encontraban en contacto con morteros u hormigones fabricados con arena de playa sin lavar o mal lavada, donde el contenido de cloruros era elevado. Los áridos también pueden contener sulfatos y sulfuros (caso de áridos que contengan escorias o piritas, etc.).

Asimismo, el *agua* utilizada para el amasado y curado de los morteros y hormigones puede ser el origen de estos constituyentes agresivos en estos materiales. A este respecto, es necesario indicar que para evitar riesgos de corrosión de las tuberías en contacto con estos materiales de construcción se hace necesario reducir las concentraciones máximas de los iones agresivos (cloruros y sulfatos), admitidas por la Instrucción para el Proyecto y Ejecución de Obras de Hormigón en Masa o Armado (Decreto 2.987-1968), para el agua de amasado y curado de estos materiales.

Por último, los *aditivos* empleados en la preparación de los morteros y hormigones también pueden contener algunos de los iones agresivos, en especial cloruros y nitratos, pudiendo conferir a los materiales de construcción, a la larga, propiedades agresivas para las tuberías de hierro.

Por otra parte, en las condiciones anteriores de contacto de tuberías de hierro con materiales de construcción, cabe indicar que el tratamiento superficial de cinc que constituye el galvanizado del acero es inoperante como protección del hierro a largo plazo, debido a que la basicidad de estos materiales corroe fuertemente al cinc; por lo tanto, de darse las condiciones que favorecen la corrosión (en especial una humedad persistente), el recubrimiento exterior de cinc aplazaría únicamente el ataque del hierro, pero sin impedirlo.

El contacto de tuberías de hierro con *yeso* (que constituye un caso límite del contenido de sulfatos en un material de construcción) es totalmente pernicioso para ella debido al riesgo próximo de corrosión a que se encuentran sometidas, por lo que se proscribió su contacto en todas las condiciones.

El contacto de yeso con tuberías de plomo es prácticamente inocuo, a causa de que el plomo se recubre de una capa insoluble de sulfato de plomo que impide que el ataque continúe.

Las tuberías de plomo no deben situarse en contacto con morteros u hormigones de cemento por el riesgo de corrosión que ello entraña, derivado de la basicidad de estos materiales.

2.2.2. *Materiales de relleno*

Los materiales de relleno —escombros, escorias, terreno, etc.— en que pueden encontrarse enterradas las tuberías de hierro, siguiendo una determinada técnica constructiva, pueden también, en general, constituir un medio potencial de corrosión; en particular, por la presencia frecuente de yeso en los escombros y de partículas de carbón en las escorias (al mismo tiempo que estos últimos constituyen materiales higroscópicos); todo esto sin tener en cuenta otros factores de corrosión, como son las heterogeneidades de composición del medio en contacto con la tubería, de las que hablaremos a continuación.

Pero para que tenga lugar la corrosión anteriormente apuntada es necesaria la presencia del vehículo agua, el cual se suele manifestar en forma de condensaciones, humedades, etc. En ocasiones es suficiente el agua de amasado de los materiales de construcción, sin necesidad de agua del exterior, para que a través de ella emigren los iones agresivos hasta el hierro.

En general, una tubería sufre el efecto de la corrosión en mayor intensidad, si es grande la humedad y pequeño el contenido de sales capaces de atacar la tubería (sulfatos, cloruros y nitratos preferentemente) existentes en el material en contacto con la tubería, que el caso contrario; es decir, cuando el contenido de dichas sales es elevado y el ambiente es seco.

2.3. **Medio exterior**

El ambiente o medio exterior en que se encuentra inmersa una tubería también puede ser la causa determinante de su corrosión, ya que condiciona el promedio de humedad relativa y la posible presencia de gases nocivos. Se estima que los procesos de corrosión se inician cuando la humedad relativa supera el 60 %.

A este respecto, podemos distinguir cinco tipos extremos y característicos de ambiente: rural, urbano, industrial, salino y tropical; así como las combinaciones de ellos.

En el ambiente rural la velocidad de corrosión es, en general, muy lenta.

El ambiente urbano puede contener una mayor o menor proporción de polvo atmosférico y también SO_2 .

En el ambiente industrial, además de los agentes nocivos anteriores, pueden encontrarse vapores nitrosos, SO_3 y SH_2 .

El ambiente salino lleva unido, a un elevado porcentaje de humedad, una cierta proporción de sales en suspensión (cloruros alcalinos principalmente), capaces de corroer las partes metálicas en que se depositan.

El ambiente tropical une al ambiente salino una temperatura elevada.

Por último, indicaremos también como ambientes agresivos los existentes en:

- las cocinas, donde son frecuentes las condensaciones de agua y la existencia de humos y vapores de aceite;
- almacenes donde se conservan alimentos con sal;
- garajes, donde existe un ambiente rico en CO_2 que produce la carbonatación del hormigón; en este caso el pH del hormigón tenderá a disminuir pudiéndose llegar a la zona de corrosión.

2.4. Otras causas: Heterogeneidades

Otras causas de corrosión son las heterogeneidades, desequilibrios o disimetrías que pueden afectar de alguna manera a las tuberías.

Estas heterogeneidades pueden ser de varios tipos; entre los que cabe citar los siguientes:

2.4.1. Heterogeneidades en la composición o constitución intrínseca de dos tramos de una tubería, que cabe subdividir en:

2.4.1.1. Química: motivada por el contacto entre dos metales de distinta naturaleza (corrosión conocida con el nombre de corrosión galvánica) que tiene lugar, por ejemplo, entre acero desnudo y acero galvanizado; acero galvanizado y cobre, etc.; o entre una tubería y sus accesorios (codos, tes, etc.) de composición o tratamiento térmico distinto.

2.4.1.2. Estructural: constituida, por ejemplo, por un tramo de tubería con defectos (que pueden ser de tipo microcristalino, microporos, etc.) en relación con el resto de la tubería libre de defectos.

2.4.1.3. Mecánica: producida cuando una zona de la tubería ha sido sometida a un tratamiento mecánico, por ejemplo doblada en frío o soldada, en contrapunto al resto de la tubería. Una tubería doblada en frío une, al efecto perjudicial de la creación de tensiones internas, la posible fisuración del galvanizado. Dentro de este apartado pueden incluirse como causas de corrosión, las tensiones mecánicas que pueden crearse al atravesar una tubería la junta de dilatación de un edificio; o producidas cuando una tubería soporta algún peso, por deficiente colocación en la instalación.

En estas condiciones, una zona de la tubería actúa como cátodo y la opuesta como ánodo, con la consiguiente destrucción, más o menos rápida, de la zona anódica, que coincide en general, en los casos anteriormente señalados, con la tubería fabricada con el metal menos noble, y precisamente con los tramos de tubería que presentan algún tipo de defecto, doblados en frío, o sometidos a tensiones, tanto internas como externas.

2.4.2. Heterogeneidades debidas a distinta aireación (corrosión conocida con el nombre de “corrosión por aireación diferencial”) se da cuando dos zonas de una tubería reciben diferente aireación o ventilación (aporte de oxígeno). Esto ocurre:

2.4.2.1. Cuando una tubería empotrada atraviesa dos zonas de distinta porosidad (caso de recubrimiento de mortero de porosidad distinta, bien sea por su distinta composición, o por su distinta compacidad debida a diferencias en la puesta en obra).

2.4.2.2. Cuando atraviesa dos zonas de diferente estanquidad al paso del aire (por ejemplo alicatado y pared).

2.4.2.3. Cuando se trata de una tubería con un diámetro de ciertas proporciones, donde una zona la superior, si se trata de una tubería enterrada, o la más externa, en el caso de estar la tubería empotrada está más aireada que la zona opuesta.

En estas condiciones la zona más aireada de la tubería actúa como cátodo produciéndose la destrucción de la zona menos aireada (ánodo que en los ejemplos citados anteriormente sería: en el caso 2.4.2.1., el tramo de tubería en contacto con la zona de recubrimiento más compacto; en el 2.4.2.2., el protegido por el alicatado; y el 2.4.2.3., la parte inferior de la tubería, en el primer supuesto, y la parte más interna, en el segundo. No siempre este mecanismo de corrosión es el más activo, ni la zona de tubería corroída precisamente la señalada. Así, con el caso 2.4.2.2., la zona de tubería corroída será la situada en contacto con la pared, si por efecto de condensaciones la tubería “se marca” a su paso por esta zona.

2.4.3. Heterogeneidades debidas a diferencias de temperatura: En una instalación de calefacción se produce una diferencia de temperatura notable entre el tramo de tubería unido a la caldera y los tramos más distantes. Esta heterogeneidad puede ser causa de la corrosión del tramo de tubería sumergido en la zona caliente, que actúa de ánodo frente a la zona más fría de la tubería (cátodo).

La elevación de temperatura hace que se aceleren siempre los procesos de corrosión y los ciclos alternativos de calor-frío aún más.

Cuando se eleva la temperatura de una tubería de acero galvanizado por encima de 60°C se produce una inversión del potencial del cinc frente al hierro, actuando entonces el cinc en sentido contrario al de la protección, es decir, acelerando los procesos de corrosión.

Si una tubería que conduce agua caliente se sitúa cerca de otra de agua fría, o en recorridos horizontales por debajo de ella, pueden producirse condensaciones en la tubería fría que pueden dar lugar a fenómenos de corrosión.

2.4.4. Heterogeneidades por diferencia de potencial, debidas a corrientes exteriores: Se producen cuando a una zona de la tubería llegan corrientes vagabundas como consecuencia de aislamientos defectuosos que dan lugar a su fuga, lo cual constituye una causa importante de corrosión. También puede existir peligro de corrosión de una tubería de hierro si es utilizada para “toma de tierra” (masa) de una instalación eléctrica.

2.4.5. Heterogeneidades por diferencias en la composición del medio que rodea a la tubería: Este tipo de heterogeneidad, se presenta, por ejemplo, cuando una tubería atraviesa una zona de mortero de cemento y otra de yeso; o en el caso de una tubería situada en un terreno que contiene dos capas o zonas de desigual composición: arena y arcilla (este último tipo de corrosión se conoce con el nombre de “corrosión por pilas geológicas”). En ocasiones, con motivo de una reparación hecha en un muro o tabique en el que está em-

potrada una tubería, se sustituye indebidamente el guarnecido primitivo (de mortero de cemento) de aquéllos por una capa de yeso, produciéndose un desequilibrio entre los dos electrolitos en que está embebida la tubería, con la consiguiente corrosión de la misma.

2.5. Ataque por agresivos.

Se han encontrado casos de corrosión de tuberías enterradas en el suelo de edificios recién inaugurados, por ataque químico de ácidos y lejías empleadas en la limpieza de suelos, para eliminar restos de cemento, escayola, pintura, etc.

3. CORROSION INTERIOR

De forma casi paralela a lo expuesto sobre corrosión exterior, dos causas se pueden apuntar como principalmente responsables de la corrosión interior sufrida por una tubería. Estas causas son: la propia agua y las irregularidades que, de alguna manera, pueden afectar a la interfase metal-agua.

3.1. Naturaleza del agua

El agua puede contener en disolución determinados gases, sales, e incluso ciertos elementos nocivos, que condicionan tanto el pH como la resistividad del agua, y que pueden dar lugar a la corrosión interior de las tuberías por las que el agua circula o a la formación de películas protectoras.

En el agua se encuentran disueltos los gases siguientes: oxígeno y anhídrido carbónico y, con menor frecuencia, ácido sulfhídrico y cloro.

El oxígeno disuelto actúa en el agua como despolarizante catódico de las pilas de corrosión que pudieran formarse en la tubería, con lo que el ataque tiende a progresar.*

El anhídrido carbónico aumenta la acidez del agua y puede producir la disolución de las posibles películas calcáreas protectoras, por formación de bicarbonatos solubles.

Por último, el ácido sulfhídrico y el cloro son también agentes que favorecen la corrosión.

Las sales cuya presencia en el agua en elevadas concentraciones determinan fenómenos de corrosión en las tuberías son las siguientes: sulfatos, sulfuros, cloruros y nitratos.

Por último, los elementos nocivos que también pueden coadyuvar a la corrosión son: la materia orgánica, el hierro, el manganeso y el cobre.

De una forma muy general, las aguas naturales pueden dividirse en blandas y duras.**

* Cuando entre dos zonas de una tubería se origina una diferencia de potencial (por cualquiera de los posibles mecanismos o factores a que esto da lugar), en los polos de la pila formada se produce espontáneamente —en forma, en general, de desprendimiento gaseoso— una acción (de naturaleza contra-electromotriz) conocida con el nombre de polarización, que hace que tienda a disminuir el potencial y se restablezca el equilibrio perdido, cesando, por lo tanto, la corrosión, de naturaleza electroquímica, que se producía por efecto de la diferencia de potencial apuntada. Un agente despolarizante es aquel que se opone o inhibe a esta acción espontánea, antes aludida, y hace que la corrosión continúe.

** Para una clasificación más matizada puede consultarse la debida a Noisette, que divide las aguas naturales en cinco clases distintas, ateniéndose a la dureza y mineralización.

Las primeras se caracterizan por valores altos de la resistividad, acompañados por valores bajos de dureza y mineralización. En general, los factores principalmente responsables de la corrosión metálica debida a un agua pura son el CO_2 agresivo que pudiera contener y el oxígeno disuelto.

Por otra parte, cuando por una tubería de plomo circulan aguas blandas, existe el peligro de disolución del metal en el agua, lo cual puede llegar a ser perjudicial para la salud.

Las aguas duras, por el contrario, tienen valores bajos o muy bajos de resistividad y están notablemente mineralizadas.

Estas aguas pueden contener en disolución algunos de los componentes agresivos arriba indicados y también sales de calcio y magnesio capaces de precipitar como carbonatos y formar una capa protectora que en cierto modo aisle al metal del agua.

Cuando un agua presenta una mineralización elevada acompañada de una dureza pequeña, las probabilidades de producir corrosión son grandes; y si existe una mineralización importante debida a sulfatos y cloruros, aún más. Se estima que el riesgo de corrosión producido por estos iones comienza cuando la concentración de sulfatos y cloruros en agua es superior a 100 mg/l. A este respecto es interesante recordar que las concentraciones máximas de estos iones, admitidas para un agua potable por las autoridades sanitarias (Código Alimentario Español - B. O. E. de 26 de octubre de 1967), son de 200 mg/l para los sulfatos, y de 250 mg/l para los cloruros. Concentraciones, por tanto, muy superiores a las que la corrosión está fuertemente acelerada. Según esto, un agua puede ser potable pero al mismo tiempo capaz de producir corrosión.

3.2. Irregularidades de la interfase metal-agua

Entre las irregularidades de la interfase metal-agua pueden citarse como más frecuentes las siguientes:

3.2.1. Los remolinos que se originan en el seno del líquido que circula por la tubería, producidos por defectos de diseño o construcción de la red de tuberías, y que impiden la formación de la capa protectora.

3.2.2. Las heterogeneidades debidas a aireación diferencial, motivadas por la presencia en la tubería de:

3.2.2.1. Defectos, por ejemplo, poros.

3.2.2.2. Impurezas, tales como granos de arena, partículas metálicas, barro, algas, etc.

3.2.2.3. Burbujas, debidas a variaciones de presión, o a bombeo mal establecido en el que se producen aspiraciones de aire; pudiendo quedar adheridas estas burbujas a las asperezas o a las impurezas de la tubería.

Estas heterogeneidades apuntadas determinan zonas menos aireadas, en relación con el resto de la tubería, y en ellas tiene lugar la corrosión.

3.2.3. Otros tipos de heterogeneidades. Dentro de este apartado pueden incluirse los mismos desequilibrios que afectan a la parte exterior de la tubería, tales como los debidos al contacto entre dos metales de distinta naturaleza, a las corrientes vagabundas, etc.

4. RECOMENDACIONES

Conocidas las causas —a las que hemos hecho referencia en los dos apartados anteriores— que pueden producir corrosión en una tubería, se hace necesario para evitarlas aplicar un código de buena práctica que comprenda: la tubería como material; el proyecto de la instalación; su ejecución; así como la posterior conservación de la instalación.

La tubería deberá ser de un *material* adecuado a su utilización (compatible con la clase y naturaleza del agua que vaya a circular por ella y con sus características de temperatura, presión, etc.*), que deberá estar libre de defectos de cualquier tipo (fallas, segregaciones, inclusiones, microporos, etc.) y de tensiones internas.

En el *proyecto* de la instalación se tendrá en cuenta, además del tipo de agua que ha de circular por la tubería, el medio exterior (su temperatura, humedad relativa, presencia de humos, gases, etc.) y el medio en contacto directo con la tubería (materiales de construcción, terreno, etc.), para decidir si es necesario proteger la instalación de alguna forma; eligiendo en caso afirmativo el tipo de protección más adecuado.

Se evitará cuidadosamente, en el proyecto, la creación en la instalación de heterogeneidades de cualquier tipo (en especial, la unión de metales de distinta naturaleza) y la proximidad de conducciones de agua caliente y fría.

En las instalaciones de calefacción se dará cierta inclinación a los tubos para evitar la acumulación de gases en sitios donde no se puedan purgar y también para reducir en tales zonas el depósito de partículas de lodo y de herrumbre que pudieran existir en suspensión; proyectando la colocación adecuada de pozos de decantación para la recogida y eliminación de estos productos.

La protección que se aplique a la tubería ha de ser eficaz al fin perseguido. En general, un mortero u hormigón de cemento portland, libre de sales agresivas (sulfatos, cloruros y nitratos, principalmente), constituye una excelente protección de una tubería de hierro, si el material es muy compacto y homogéneo y de un espesor suficiente para impedir el acceso de oxígeno y humedad a la tubería.

A este respecto, es necesario tener en cuenta que en un ambiente muy húmedo, sujeto a condensaciones, etc., en el que el recubrimiento protector pudiera convertirse en un medio sustentador habitual de humedad, es preferible colocar la tubería (recubierta de pintura, o protegida con cinta anticorrosiva, etc.) al aire, en cámara ventilada, que rodeada de materiales de construcción.

Asimismo la *ejecución* de la instalación y del recubrimiento protector, si éste se haya previsto en el proyecto, se realizarán con las precauciones debidas.

Se cuidará particularmente que no queden resquicios en los acoplamientos de los tubos (para evitar el riesgo de corrosión localizada que ello podría dar lugar).

Se emplearán para resolver las curvaturas, codos, injertos, y derivaciones de una tubería, las piezas correspondientes que existen en el mercado.

Se emplearán juntas flexibles o dilatadores cuando las tuberías pasen por las juntas de dilatación de un edificio.

* Cuando la presión de la red de agua fría puede alcanzar los 8 kp/cm², no deberán emplearse tuberías de plomo.

Se utilizarán del mismo modo pasamuros metálicos, de plástico o de cualquier otro material adecuado, para atravesar un muro o forjado, de forma que los tubos puedan deslizarse dentro de ellos.

Se evitará centrar las tuberías con piedras o calzos de madera.

Se aislará toda tubería que pueda ser afectada por la proximidad de depósitos de agua caliente o cualquier otro foco de calor.

En la fabricación del mortero u hormigón de protección de las tuberías de hierro se utilizará preferentemente cemento portland, se evitará el empleo de arena de playa sin lavar y de áridos con impurezas capaces de oxidar localmente las tuberías (por ejemplo escorias porosas que contengan sulfuros de hierro o calcio); así como la utilización de agua de amasado con elevada salinidad y de aditivos que contengan cloruros, sulfatos y nitratos y, en general, electrólitos.

Hay que tener en cuenta que la protección de una tubería, por lo que se refiere al mortero u hormigón, reside más en la calidad, compacidad e impermeabilidad de estos materiales que en el espesor de la capa protectora.

Es muy conveniente (y en ocasiones imprescindible) proteger los tubos con papel, pintura, etc. antes de aplicar el recubrimiento de materiales de construcción. En particular se evitará todo contacto de los tubos de plomo con morteros de cemento, y el de acero galvanizado con morteros o pastas de yeso.

Por último, la *conservación* y correcta utilización de una instalación puede evitar que en ella se produzcan corrosiones.

No es aconsejable emplear en la limpieza de suelos, cuando estén situadas las tuberías debajo del pavimento, lejías ni ácidos para eliminar los restos de cemento, escayola, pintura, etc. que puedan haber quedado sobre ellos después de una obra.

En instalaciones de calefacción, no se deberá renovar el agua del circuito (únicamente se sustituirá el agua evaporada), a no ser que se inhiba dicha agua adecuadamente; y se impedirá la entrada de aire en el circuito.

BIBLIOGRAFIA

- BICZOK, I.: Concrete Corrosion and Concrete Protection. Budapest, 1964.
- BUTLER, G. e ISON, H. C. K.: Corrosion and its Prevention in waters. Ed. Leonard Hill. Londres, 1966.
- CALLEJA, J.: La corrosión de las armaduras en los hormigones armados y pretensados. Rilem Symposium Durability of Concrete. Praga, 1969 y Monografía n.º 256 (I.E.T.c.c.). Madrid, 1966.
- DECHEMA INSTITUT.: Curso sobre protección de la corrosión, Barcelona, 1972.
- DEGREMON.: Manual técnico del agua.
- EVANS, ULICK, E.: Introducción a la corrosión metálica. Ed. Marín, 1950.
- JOHANSSON, A.: Corrosion of Pipes Embed in Concrete. Rilem Symposium Durability of Concrete. Praga, 1969.
- MAURIN, ALEXANDRE, J.: Manual de Anticorrosión. Ed. Urmo, 1966.
- NEVEUX, M.: La corrosión des conduits d'eau et de gaz. Ed. Eyrolles. París, 1968.
- OLMO, C. del.: Corrosión de tuberías. Informes de la Construcción n.º 226, 1970, 65.
- Prescripciones del Instituto "Eduardo Toroja" (P.I.E.T.-70) Fontanería y Saneamiento.
- ROYUELA, J. J.: Corrosión de tuberías en el interior de edificios. Agua n.º 71, 1972, 25.
- SCULLI, J. C.: Fundamentos de la corrosión. Ed. Alhambra, S. A., 1968.
- TODT, F.: Corrosión y Protección. Ed. Aguilar, 1959.
- UHLIG, H. H.: Corrosión y Control de Corrosión. Ed. Urmo, 1970.