



## Corrosión metálica en construcción

# **MANUAL PREVENCIÓN DE FALLOS**

## **Corrosión metálica en construcción**

---

**GESTIÓN DE CALIDAD EN LA EDIFICACIÓN  
CONSEJERÍA DE OBRAS PÚBLICAS Y ORDENACIÓN DEL TERRITORIO  
COMUNIDAD AUTÓNOMA DE LA REGIÓN DE MURCIA**

### **GRUPO DE TRABAJO**

**Francisco García Olmos**

**Autor**

**Julián Pérez Navarro**

**Colegio Oficial de Aparejadores,  
Arquitectos Técnicos e Ingenieros  
de Edificación de la Región de  
Murcia**

## **MANUAL PREVENCIÓN DE FALLOS**

### **Corrosión Metálica en Construcción**

---

#### **GRUPO DE TRABAJO**

Francisco García Olmos

Julián Pérez Navarro

**SUPERVISIÓN:** Consejería de Obras Públicas y Ordenación del Territorio

D. Emilio Meseguer Peña

D<sup>a</sup>. Teresa Barceló Clemares

#### **EDITA:**

Colegio Oficial de Aparejadores, Arquitectos Técnicos e Ingenieros de Edificación de la Región de Murcia

Avda. Alfonso X el Sabio, 2. 30008 – Murcia

Tel. 968 274411 – Fax 968281354

[www.coaatiemu.es](http://www.coaatiemu.es) – [colegio@coaatiemu.es](mailto:colegio@coaatiemu.es)

**I.S.B.N.:** 978-84-89882-48-5

#### **DISEÑO PORTADA:**

Murcia Multimedia, S.L.

© Consejería de Obras Públicas y Ordenación del Territorio CARM y Colegio Oficial de Aparejadores, Arquitectos Técnicos e Ingenieros de Edificación de la Región de Murcia.

No está permitida la reproducción total o parcial de esta publicación, ni su tratamiento informático, ni la transmisión de ningún formato por cualquier medio, ya sea electrónico, mecánico, por fotocopia, por registro u otros medios, sin el permiso previo y por escrito de los titulares del copyright.

## Índice

### Introducción

Capítulo 1	La corrosión como mecanismo de deterioro de los metales	5
Capítulo 2	Los mecanismos de corrosión en los edificios	19
Capítulo 3	Los metales en los edificios	27
Capítulo 4	Los ambientes en los edificios	41
Capítulo 5	La corrosión en las estructuras de hormigón armado	51
Capítulo 6	La corrosión en estructuras metálicas	67
Capítulo 7	La corrosión en elementos de cubiertas y fachadas	83
Capítulo 8	La corrosión en elementos de instalaciones	97
Capítulo 9	Técnicas para el diagnóstico	115
Capítulo 10	La protección de los elementos metálicos	141
Anejo 1	Algunas de las Normas UNE relacionadas con la corrosión	163
Bibliografía		169





## Introducción

Los procesos de corrosión metálica han sido conocidos desde tiempo y sus efectos han sido valorados como un importante coste para las economías de los diferentes países, con porcentajes sobre el producto interior bruto que en ocasiones se valoran en el entorno del 4%. Los edificios no se libran de estos efectos y durante centurias han sido remisos a la hora de admitir en su seno metales como el hierro habida cuenta de la su propensión a corroerse.

Hoy día es prácticamente inconcebible, en la edificación convencional, otro caso son los intentos de construcción alternativa, la no inclusión masiva de metales en estructuras, carpinterías, cerrajerías, instalaciones, etc. metales que, en general, por no pertenecer a los denominados “nobles”<sup>1</sup>, encontrarán, si no se les impide, el camino para volver a formas termodinámicamente más estables. Este camino hacia los óxidos o sales donde, en realidad, se encuentran en la naturaleza supone lo que aquí describiremos como corrosión metálica.



*Corrosión de las armaduras de una viga tonel desprendimiento del hormigón de recubrimiento.*

Estos procesos de degradación van a estar siempre condicionados por dos aspectos fundamentales:

- Las características intrínsecas de los metales o aleaciones metálicas constituyentes de los elementos constructivos.

---

<sup>1</sup> Metales que por su propia naturaleza soportan con mayor solvencia procesos de corrosión, algunos como el oro se encuentran en la naturaleza en estado metálico como señal de su escasa probabilidad de formar compuestos. La mayoría, como en caso el hierro, nunca se encuentra en estado metálico.

- Las circunstancias medioambientales en que estos elementos se ubiquen, lo que depende no solamente de la ubicación del edificio sino también y en gran medida, de la ubicación del elemento dentro de la construcción.

Los metales que se emplean en los edificios pueden ser muy variados máxime si se tienen en cuenta que en muchas ocasiones se presentan en forma de aleaciones. Cada uno de ellos tiene un determinado comportamiento en cuanto a su tendencia a corroerse y a formar o no, capas que obstaculicen o incluso inhiban el proceso como es el caso de las capas de alúmina sobre el aluminio.

Por otra parte, una barra de acero puede tener una larga vida sumergida en el buen hormigón de una estructura bien diseñada y, por el contrario, una efímera vida formando parte de una barandilla de un edificio frente al mar.

La adición de cromo y níquel en determinados proporciones, al acero, durante su proceso de conformación, harían variar notablemente el comportamiento de esta misma barandilla en el mismo ambiente. En todos los casos el hierro es el elemento metálico base pero sus circunstancias son distintas como también lo son las condiciones de protección a las que se encuentra sometido.

No han de olvidarse obviamente matices como las circunstancias derivadas del uso y mantenimiento que, en determinadas ocasiones son decisivas en el retardo o activación de los procesos de degradación no ya solamente metálica sino de cualquier otro proceso de deterioro de los edificios.

El estudio de la corrosión metálica supera rápidamente los límites de la técnica y se adentra en complejidades científicas importantes lo que hace que en este trabajo se trate, únicamente de establecer los fundamentos básicos de los procesos de corrosión y traducirlos, en la medida de las posibilidades en criterios, razonablemente basados, para actuar en el terreno técnico fundamentalmente de la prevención de la degradación metálica.

La primera parte de estas páginas se dedica a describir aspectos básicos de la corrosión metálica y sus variantes.

En una segunda parte se hará una descripción, por una parte de los metales habituales en la construcción de edificios en la actualidad y su comportamiento general frente a la corrosión y por otra parte, se dedicará otro capítulo a los ambientes característicos presentes en los edificios y sus inmediaciones.

En la tercera parte se tratarán problemas concretos que se repiten con cierta frecuencia en los edificios relacionados con la corrosión metálica.

Por último se dedicará un capítulo a dar unas nociones para el diagnóstico de los problemas más frecuentes y otro a su posible prevención.

# Capítulo 1

## La corrosión como mecanismo de deterioro de los metales

### 1.0 Introducción

El término “corrosión” se entiende coloquialmente como “descomposición” o lo que es lo mismo, destrucción de un material por reacción química con el medio ambiente. Es decir existe una alteración en la naturaleza del material.

En la corrosión metálica, el estado metálico del material deriva hacia los denominados productos de corrosión, frecuentemente óxidos o hidróxidos de naturaleza y propiedades muy distintas al material del que partieron. Mientras tanto y eso es lo importante, la masa metálica disminuye hasta que arruina el elemento del que es constituyente mediante perforaciones, fracturas, etc.

Ha de reconocerse que en algunos fenómenos físicos como es la abrasión existe también pérdida de masa por lo que en ocasiones el concepto de corrosión metálica se extiende a fenómenos como el mencionado y que aquí será referido al considerar los procesos de corrosión-erosión en el interior de tuberías de conducción de fluidos. No obstante y dada su mayor repercusión, aquí se tratarán, principalmente, los aspectos de la corrosión metálica en el campo de las reacciones químicas.

La degradación metálica por corrosión tiene dos vertientes principales a considerar:

- La primera, para la cual se reserva la denominación de “oxidación”, aunque también se conoce como “corrosión seca” o incluso corrosión química. Esta modalidad consiste en la combinación espontánea de los átomos metálicos con el oxígeno, formando finas capas de óxidos. En este caso no se necesita el concurso de humedad.
- La segunda denominada “corrosión acuosa” o “corrosión húmeda” precisa del contacto metálico con una solución acuosa para su materialización. Estos procesos están muy ligados al tránsito de cargas eléctricas entre el metal y la solución. Tienen carácter electroquímico

Se describirán a continuación los aspectos básicos que gobiernan estos dos aspectos de la corrosión metálica haciendo especial hincapié en la corrosión acuosa como mecanismo de muchísima más incidencia en los elementos y sistemas de los edificios

## 1.1 La oxidación o corrosión seca

El proceso de oxidación o corrosión seca es complicado y en él intervienen multitud de factores relacionados con la formación de campos eléctricos en la superficie del metal desnudo, en contacto con el oxígeno del aire. El resultado es la formación rápida y el posterior crecimiento de una capa de óxido. Sin embargo, a temperatura ambiente, el proceso se paraliza prácticamente en un periodo de un mes. Los espesores alcanzados pueden oscilar entre los 10 Å a 40 Å (1 Å=10<sup>-8</sup> cm).

Esta magnitud insignificante, a efectos prácticos, del espesor de óxido formado y por consiguiente del metal base “atacado”, hace que estos procesos de oxidación a temperatura ambiente no revistan importancia como mecanismo de degradación desde el punto de vista técnico.

El panorama es distinto cuando la temperatura se considera por encima de, por ejemplo, los 250° C. El crecimiento de la capa de óxido deja de crecer según una ley logarítmica y adopta leyes parabólicas del tipo:

$$y^2 = K.t \quad (1)$$

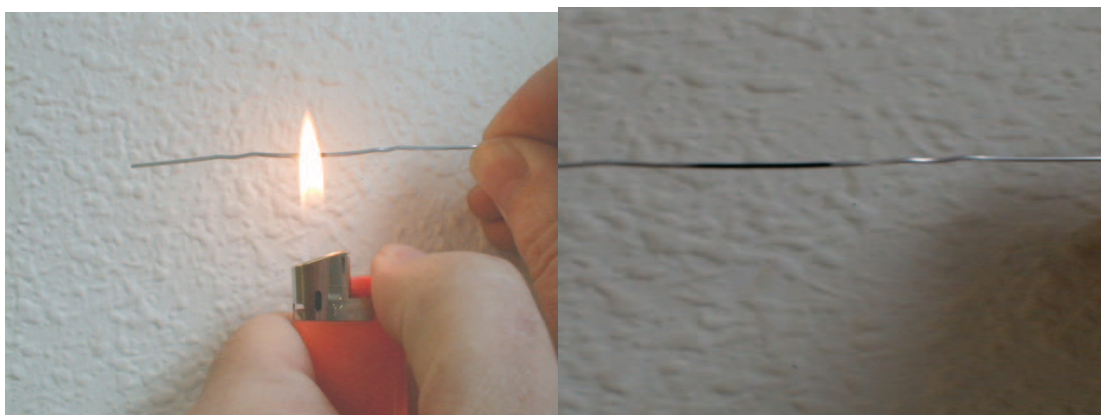
Donde:

$y$  es el espesor de la capa de óxido

$t$  el tiempo

$K$  una constante para cada metal

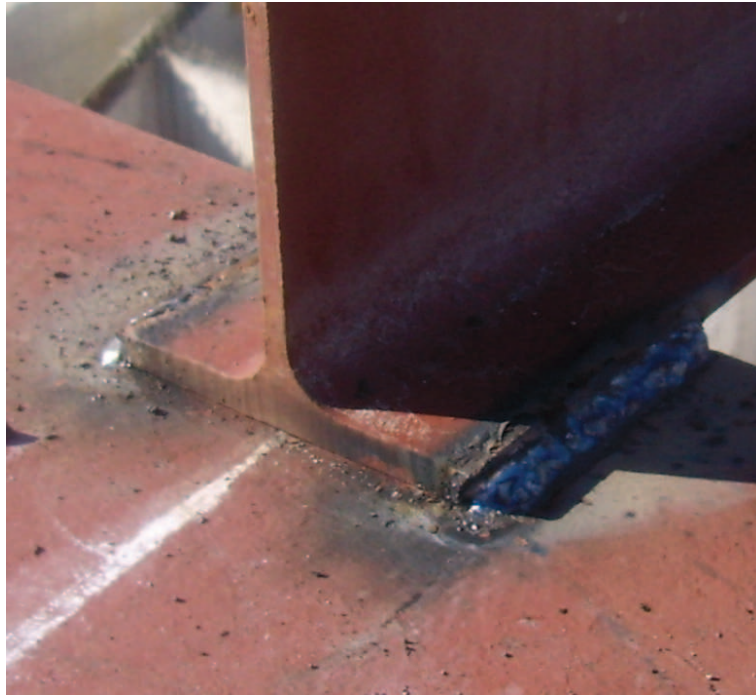
La capa de óxido formado ya puede alcanzar espesores apreciables que alteran el aspecto de la superficie metálica. Es sencillo recordar como después de calentar una barra de acero hasta que enrojezca a elevada temperatura puede apreciarse, tras enfriarla, un aspecto distinto al inicial. La cascarilla de laminación de un perfil de acero estructural o el aspecto de las zonas próximas a las soldaduras de elementos metálicos son ejemplos de estas transformaciones.



*Figura nº 1.1 El metal pierde su aspecto inicial tras ser calentado*

La estabilidad de estas capas de óxido y sus propiedades protectoras dependen en gran parte de la relación entre el volumen de óxido formado y el del metal base del que proceden. Mejorando estas propiedades cuando los volúmenes mencionados son similares.

Si el volumen de óxido formado es muy superior al del metal de origen, el óxido tenderá a desconcharse con formaciones a modo de ampollas y si es menor a cuartearse y también probablemente a desprenderse.



*Fotografía nº 1.2 En la proximidad de las soldaduras reproduce la oxidación del acero a elevada temperatura.*

Dada la necesidad de que este tipo de corrosión se desarrolle a elevada temperatura es clara la escasa incidencia que tienen en los elementos de los edificios convencionales a excepción de determinados componentes de algunas instalaciones o como consecuencia de procesos puntuales, en donde se eleva la temperatura, como la soldadura.

### **1.3 La corrosión acuosa**

La inmensa mayoría de los procesos de deterioro por corrosión en los edificios se producen a temperatura ambiente y por el contrario que en el caso anterior, estos fenómenos de degradación metálica precisan del concurso de una solución acuosa que esté en contacto con la superficie metálica.

Un metal en contacto con una solución acuosa con una determinada concentración de iones del metal establece una relación de intercambio iónico con ella de la siguiente manera:



Una reacción anódica que consiste en la oxidación metálica en la que ciertos átomos metálicos se ionizan perdiendo electrones según la fórmula



Una reacción catódica que consiste en la reducción metálica en la que iones metálicos de la solución captan electrones de la superficie metálica y vuelven al estado metálico según



Si las dos reacciones se producen en la misma magnitud el grado neto de disolución metálica y por tanto, de corrosión es nulo. El conjunto de estas dos reacciones se denomina corriente de intercambio y es distinta para cada metal.

Si la reacción anódica predomina sobre la catódica, lo que implica mayor disolución que precipitación, habrá pérdida de masa en el metal y por tanto corrosión. Pero este desequilibrio no se puede producir si no se produce otra reacción catódica distinta a la propuesta (3) y que absorba los electrones y equilibre las cargas eléctricas en la solución. De existir oxígeno disponible podría consumirse la reacción catódica:



La solución quedaría equilibrada con cargas positivas (cationes  $M^+$ ) negativas (aniones  $OH^-$ ) y la corrosión metálica se habría consumado.

Sin embargo la materialización o no, de estas reacciones u otras y sobre todo la velocidad a la que se pudieran producir dependen de multitud de circunstancias como la naturaleza del metal, la constitución de la solución, la formación o no de barreras de productos de corrosión que impiden el progreso del proceso, la existencia de agentes que rompen esas capas, etc.

En las líneas siguientes se tratará de orientar sobre aspectos básicos de estos procesos con el fin de llegar a comprender a grandes rasgos los mecanismos que pueden desencadenar los procesos de corrosión en los edificios y por tanto ser capaces de establecer criterios de prevención y protección.

### 1.3.1 La tendencia a la disolución metálica. El potencial de electrodo

Un elemento metálico sumergido en una solución experimenta cierta tendencia a disolverse en el según la reacción anódica (2) pero, como se ha comentado anteriormente, esto no es posible ya que está condicionado la materialización de otras reacciones. Sin embargo, de alguna manera, se puede tener una idea de esta tendencia mediante el denominado potencial de electrodo.



El potencial de electrodo no puede determinarse en términos absolutos sino como diferencia de potencial eléctrico respecto de un electrodo de referencia. El metal del que se quiere determinar su potencial sumergido en una solución forma lo que se denomina una “semipila” eléctrica. La otra semipila la constituye el electrodo de referencia. Entre ambas se conecta un voltímetro.

El electrodo de referencia es el electrodo de hidrógeno que es una celda constituida por una placa de platino sumergida en una solución acuosa con una concentración unitaria (1 mol/litro) de iones hidrógeno a 25°C sobre la que se hace burbujear hidrógeno gas a una atmósfera de presión. En la figura 1.3 se trata de representar esquemáticamente la medida del potencial de corrosión de un electrodo de cobre.

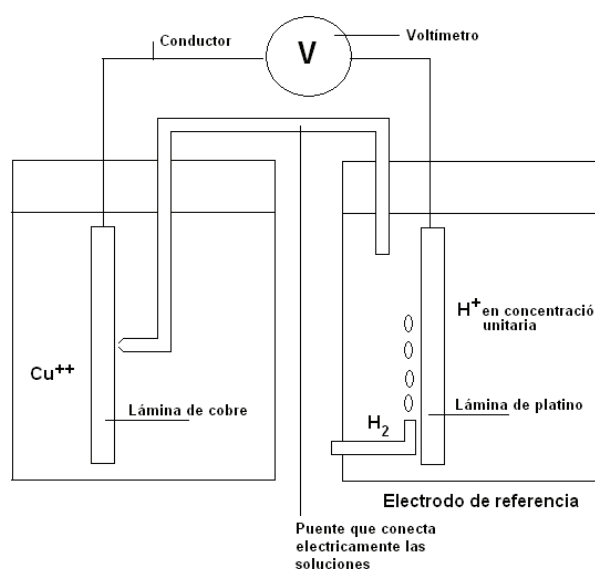


Figura 1.3.1.a. Esquema de la medida del potencial de electrodo en una lámina de cobre respecto de un electrodo referencia de hidrógeno.

Para poder establecer comparaciones entre los distintos metales se realizan las medidas del potencial con el metal sumergido en soluciones de concentración unitaria de iones del metal y a 25° C de temperatura. El potencial, así medido, es el que se denomina potencial electrodo estándar. El potencial de electrodo se incrementaría con la concentración de iones metálicos en la solución<sup>1</sup>.

La medición de este potencial electrodo estándar para los distintos metales tiene como consecuencia la denominada serie electromotriz en la que se ordenan éstos por orden de su potencial. Los potenciales electropositivos los ostentan los

<sup>1</sup> Según la expresión  $E = E^0 + (0,0592/z) \log c$

Donde

E es el potencial buscado

$E^0$  es el potencial electrodo estándar

c La concentración en mol/litro de ión metálico en la solución

z la valencia del metal

denominados nobles como el oro, el platino, la plata, etc. Este es el denominado extremo catódico<sup>2</sup> de la serie.

El otro extremo, el extremo anódico, está ocupado por los metales, por el contrario, de menor nobleza como el magnesio o el aluminio. Los metales nobles tienen una menor tendencia a la disolución mientras que los que ocupan el otro extremo son los más activos, son los más tendientes a disolverse.

La tabla siguiente que se presenta a continuación recoge una parte de los metales de la serie ordenados según su potencial estándar.

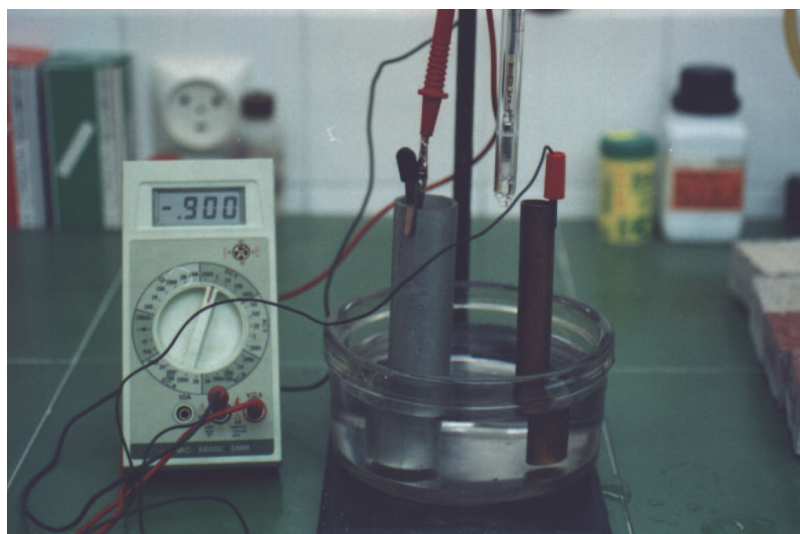
Metal	Metal/ion metálico	Potencial electródico estándar <sup>3</sup> E <sup>0</sup> en V.
Oro	Au/Au <sup>+++</sup>	1.498
Platino	Pt/Pt <sup>++</sup>	1.200
Plata	Ag/Ag <sup>+</sup>	0.987
Cobre	Cu/Cu <sup>++</sup>	0.337
Plomo	Pb/Pb <sup>++</sup>	-0.126
Estaño	Sn/Sn <sup>++</sup>	-0.136
Níquel	Ni/Ni <sup>++</sup>	-0.250
Cobalto	Co/Co <sup>++</sup>	-0.277
Cadmio	Cd/Cd <sup>++</sup>	-0.403
Hierro	Fe/Fe <sup>++</sup>	-0.440
Cromo	Cr/Cr <sup>++</sup>	-0.744
Cinc	Zn/Zn <sup>++</sup>	-0.763
Titanio	Ti/Ti <sup>++</sup>	-1.630
Aluminio	Al/Al <sup>+++</sup>	-1.662
Magnesio	Mg/Mg <sup>++</sup>	-2.633

Tabla 1.1 Algunos metales ordenados en la serie electromotriz

Si en una solución se sumergen dos metales distintos se formará una pila cuya diferencia de potencial se puede medir. El cátodo lo constituirá el metal que ocupe una posición más elevada en la tabla, el más noble y el ánodo el del lugar más bajo, el más activo. Si a continuación se conectan mediante un conductor eléctrico los electrones tratarán de caminar por él del ánodo hacia el cátodo.

<sup>2</sup> Se denomina extremo catódico habida cuenta que en una supuesta pila actuarían como cátodos respecto a los del otro extremo que harían la función de ánodos.

<sup>3</sup> Potencial de electrodo a 25° C respecto al electrodo H<sub>2</sub>/H<sup>+</sup>.



*Figura nº 1.3.1.b. Medida de la diferencia de potencial entre dos tubos de metales distintos: cobre y acero galvanizado, casi un voltio.*

No obstante ha de tenerse en cuenta que la tendencia a la corrosión medida como potencial es una tendencia teórica y que su transformación en corrosión real está sujeta a otros factores que se tratarán de abordar más adelante. Basta con observar la triste posición del aluminio, en la serie electromotriz, en comparación con el hierro, por ejemplo, cuando en la práctica su comportamiento es sustancialmente mejor en relación a su comportamiento frente a la corrosión.

### **1.3.2 Funcionamiento de las pilas de corrosión**

A continuación se tratará de explicar el funcionamiento teórico de algunas pilas de corrosión que serán el fundamento de los procesos de corrosión metálica apreciados en la práctica.

#### Las pilas bimetálicas o galvánicas

Después de disponer de la información que brinda la serie electromotriz es sencillo comprender el funcionamiento de las pilas formadas por dos metales de distinta nobleza. Como ejemplo se puede recurrir al funcionamiento de la pila Daniell. Esta pila está formada por un electrodo de cobre y otro de cinc, ambos sumergidos en sendas soluciones de sulfato de cobre y cinc separadas por una pared porosa como indica el esquema de la figura.

Si suponemos una concentración unitaria de iones de cinc y cobre en las dos soluciones la diferencia de potencial inicial será la diferencia de potencial estándar que marca la tabla de la serie electromotriz para ambos metales, algo más de un voltio. El cátodo sería el cobre mientras que el papel anódico recaería sobre el cinc.

La reacción anódica, en este caso:



Supone la disolución del cinc la corriente electrónica viajaría hacia el cátodo donde se verificaría la reacción catódica:



El cobre sin embargo no sufriría pérdida de masa y resultaría protegido. Este es el fundamento de la denominada *protección catódica*. Aquí el cinc adoptaría el papel de *ánodo de sacrificio*.

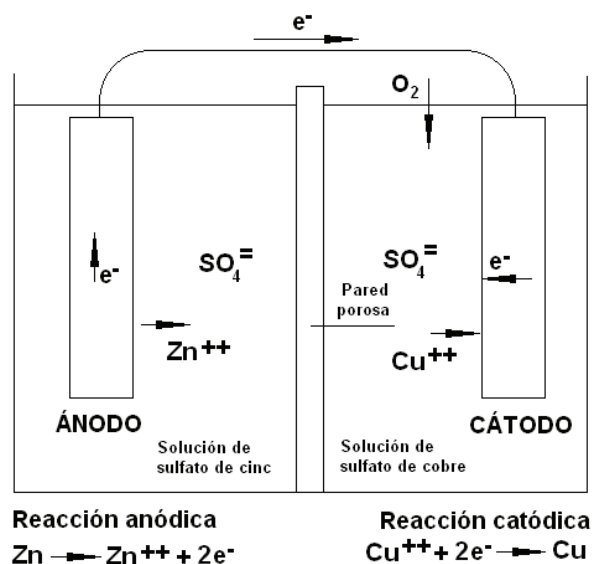


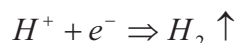
Figura 1.3.2.a Funcionamiento de una pila Daniell. El cinc se consume mientras se produce el depósito del cobre metálico.

Al conectar eléctricamente el cinc y el cobre lo que ocurre es que el potencial del cinc se eleva rompiendo el equilibrio que se establecerá, en todo caso con concentraciones superiores de iones de cinc en la solución. Lo mismo ocurre, pero a la inversa con el cobre que buscará un equilibrio con concentraciones mucho menores de iones de cobre en la solución y de ahí el depósito metálico en el cátodo.

El funcionamiento en la práctica de una pila bimetálica no requiere, obviamente, el montaje de una pila Daniell, basta con el contacto eléctrico entre los dos metales y una solución acuosa que los envuelva. El funcionamiento sería parecido aunque las reacciones, en especial la catódica, podría adoptar otros formatos como los que se describirán, a continuación, para otro tipo de pilas.

### La corrosión metálica en medio ácido

Es conocida la inestabilidad de muchos metales frente a los ácidos. La formación de sales con el desprendimiento de hidrógeno es una reacción típica de muchos metales que tiene aquí una interpretación electroquímica. En esta caso la reacción catódica consiste en la reducción de los iones hidrónico ganando electrones a hidrógeno gas según la reacción:



La reacción anódica sería:

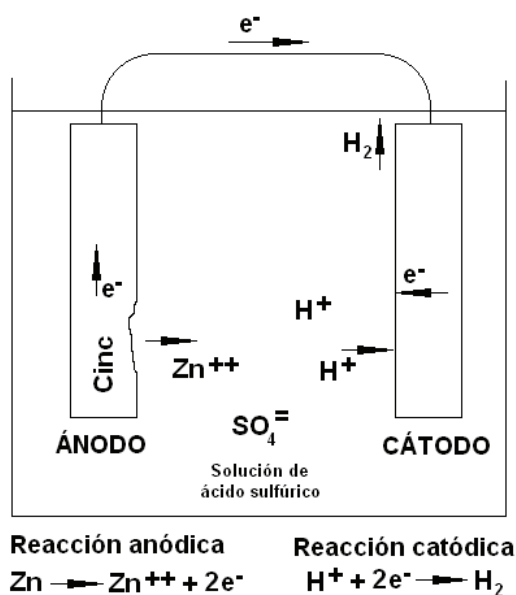
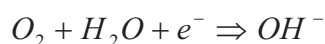


Figura 1.3.2.b Corrosión del cinc en medio ácido

En la figura se representa el panorama en forma de pila para mejor visualización de las reacciones. En práctica el ánodo y el cátodo están se disponen a corta distancia sobre la misma fracción metálica y varían de posición continuamente verificándose por tanto un ataque uniforme sobre el metal.

### Las pilas de aireación diferencial

Las denominadas pilas de aireación diferencial se fundamentan en la diferencia de concentración de oxígeno entre distintas partes de la superficie de un mismo metal, por ejemplo. Esta situación provoca que en donde esta concentración sea mayor se pueda verificar la reacción de reducción del oxígeno según:



La reacción anódica sigue siendo la disolución metálica:

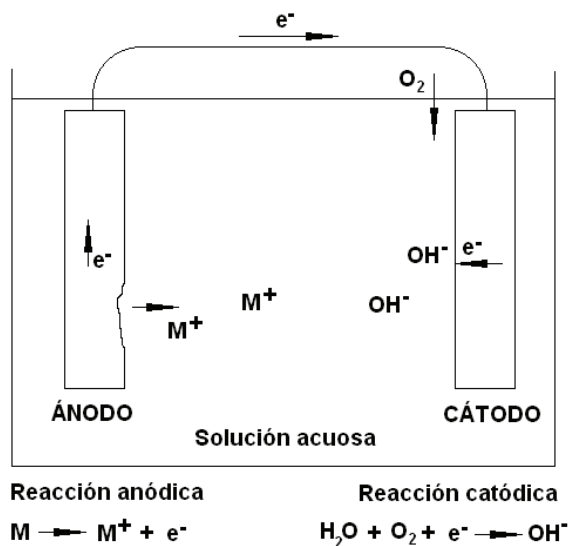


Figura nº 1.3.2.c Esquema de funcionamiento de una pila de aireación diferencial

Al igual que en los caso anteriores la imagen recoge un esquema teórico de pila. Las reacciones se pueden producir sobre una misma fracción metálica las zonas más aireadas recogerían la reacción catódica. La reacción anódica se consumaría a corta distancia.

### Las pilas de concentración diferencial

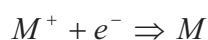
Al igual que en el caso de la aireación diferencial las diferencias de concentración de iones metálicos sobre la superficie metálica produce diferencias de potencial electrodo y por tanto pueden acarrear la activación de pilas de corrosión.

Como se comentó en el apartado 1.3.1 el potencial de electrodo se incrementa con la concentración por tanto la zona que presente una mayor concentración de iones metálicos dispondrá un sobrepotencial respecto del resto y se constituirá como cátodo.

En el ánodo la reacción de oxidación metálica:



provocará el aporte de iones a la solución incrementando la concentración mientras que la precipitación catódica:



retira iones de la misma hasta que se logra el equilibrio.

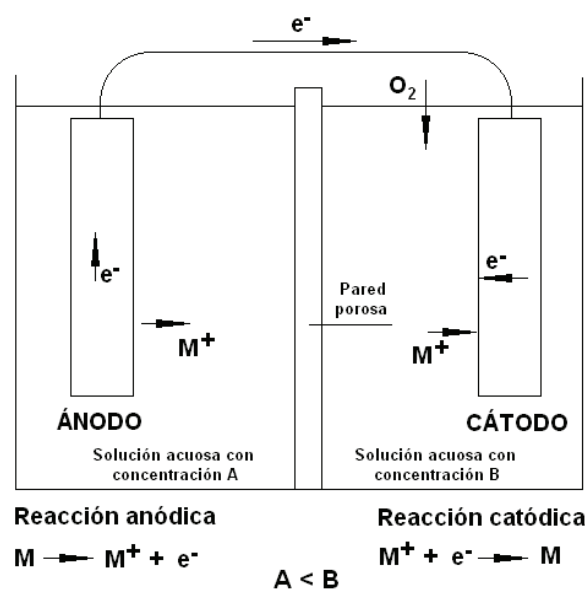


Figura n° 13.2.e. Esquema de funcionamiento de una pila de concentración diferencial

Estas modalidades de pilas de corrosión y algunas otras no descritas corresponden a modelos teóricos pero la complejidad de circunstancias, que en la práctica pueden darse, hacen que los procesos de corrosión no respondan a modelos puros y que se puedan la mayoría de las veces funcionar pilas de distinto tipo con reacciones anódicas y catódicas de diferente formato variantes en el tiempo.

#### 1.4 Los diagramas de equilibrio electroquímico o diagramas de Pourbaix

Estos diagramas, que se utilizan en algunos capítulos de este trabajo, son útiles para explicar las diferentes situaciones, respecto de su equilibrio electroquímico, en que un determinado metal se puede encontrar en función de las características del medio en que se encuentra inmerso.

No se pretende aquí profundizar en los fundamentos científicos de estos diagramas sino, por el contrario, ayudar a interpretarlos de manera cualitativa con el fin de entender el distinto comportamiento de cada uno de los metales de aparición habitual en los edificios y las circunstancias en que cada uno de ellos puede derivar en corrosión; las circunstancias en que resultan inmunes y las que, por el contrario, se recubren de capas de óxidos que actúan como barreras frente al progreso de la corrosión lo que se conoce como pasivación.

Estos diagramas se confeccionan para unas condiciones de 25°C y 1 atmósfera de presión. Se consideran metales puros y soluciones acuosas exentas de iones como los cloruros que tanta importancia tienen algunos procesos corrosivos. Por esto nunca, de su observación, se pueden hacer deducciones precisas y desde luego aquí solo se le dará un tratamiento cualitativo y aproximado. En ocasiones se dice que de estos diagramas se pueden deducir las reacciones que termodinámicamente no pueden suceder pero poco y con prevención, de lo va a suceder.



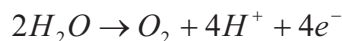
Los denominados diagramas de Pourbaix son diagramas bidimensionales como el representado en la figura 1.4.a. Sobre el eje de abscisas se recoge el pH y sobre el de ordenadas el potencial de electrodo.

El pH es conocido como una medida de la concentración de iones hidrógeno  $H^+$  en una solución acuosa, en definitiva, una medida de la acidez. Valores por debajo de 7 son ácidos y por encima básicos. La línea vertical gruesa situada a un  $pH = 7$  divide, por tanto, el diagrama en dos regiones a la izquierda los medios ácidos y a la derecha los medios básicos.

El potencial de electrodo que ocupa el eje de ordenadas como se ha visto con anterioridad, crece con la concentración e iones en la solución e implica, en la práctica, una tendencia a la disolución metálica. El potencial de electrodo se puede medir, como se advirtió, con respecto a un electrodo de referencia. Conforme potencial se incrementa, la tendencia a la disolución es mayor. Lo que ocurría, como se explicó con anterioridad, cuando se pone en contacto eléctrico con un metal más noble, por ejemplo.

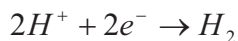
Por otra parte al tratarse de soluciones acuosas sucede que, a determinados potenciales de electrodo, se produzca la electrólisis del agua. Esta situación se representa en estos diagramas por dos líneas inclinadas y paralelas, que, para  $pH = 0$  pasan por los puntos de potencial  $+ 1.228 \text{ V}$  y  $0.00 \text{ V}$ .

Por encima de la primera se puede producir desprendimiento de oxígeno según la reacción:



En esta región por tanto los procesos de corrosión pueden ir acompañados del desprendimiento de oxígeno y una consiguiente la acidificación de la solución.

Por de bajo de la segunda línea se produce el desprendimiento de hidrógeno según:



Lo que, por otra parte implica la alcalinización de la solución. Entre ambas líneas el agua es termodinámicamente estable

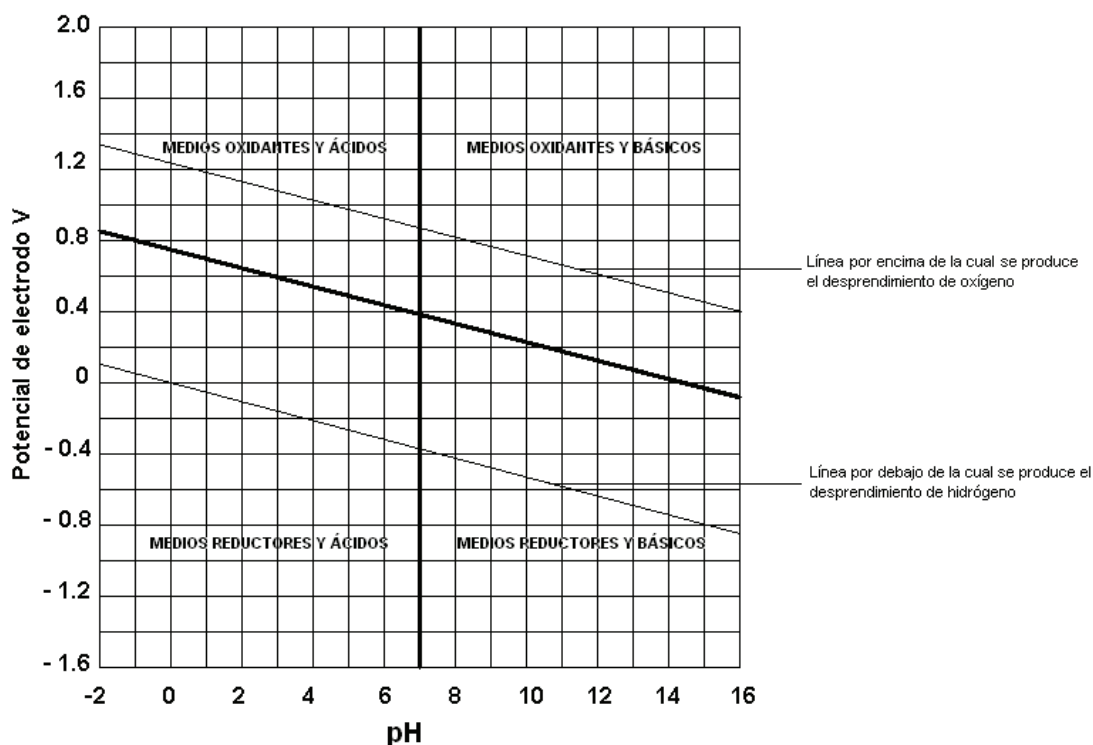


Figura nº 1.4.a Esquema base para los diagramas de Pourbaix.

En la parte inferior de los diagramas habitualmente aparece un área de inmunidad. Un área donde la concentración de equilibrio es tan pequeña que se puede considerar que el metal no se disuelve y resulta inmune a la corrosión. Los metales nobles presentan una amplia región de inmunidad en sus diagramas de equilibrio. Compárense a modo de ejemplo los diagramas pertenecientes al hierro y al cobre, representados en las figuras 3.1 y 3.4.b. respectivamente.

Sobre esta región de inmunidad se ubican regiones de corrosión que se corresponden con potenciales más elevados. Sin embargo la corrosión inicial del metal puede conducir a una situación en que los óxidos generados crean una capa estable y compacta que impide la progresión de la corrosión.

Las regiones en donde estas capas se forman se denominan regiones de pasivación y de alguna manera incrementan la nobleza del metal. El aluminio y el titanio son dos ejemplos en donde, al final, la “nobleza práctica” es muy superior a la de otros metales que en principio presentaban una nobleza termodinámica mayor como es el caso del hierro.

La aparición en la solución de iones cloruros, puede romper estas capas protectoras y provocar procesos de corrosión localizada muy perniciosos como se describirá en los capítulos siguientes.

En la figura siguiente se representa, como ejemplo, el diagrama de equilibrio del cromo de forma muy simplificada en el que, con carácter general, se puede apreciar la

zona de inmunidad en la parte inferior. Con potenciales por debajo de -1.00 V. en los que el metal permanece inactivo, su corrosión es termodinámicamente imposible.

Sobre esta zona de inmunidad aparecen dos regiones distintas que tienen en común que el metal es activo y se corroe pero mientras que en la zona de menor pH la corrosión progresa, en zona de mayor pH los iones de cromo que saltan a la solución forman óxidos o hidróxidos estables. Esta protección impide la corrosión y establece la denominada región de pasividad o pasivación. No obstante, como se describió anteriormente, esta situación puede ser rota mediante la acción de iones despasivantes, primordialmente cloruros, provocando corrosión localizada.

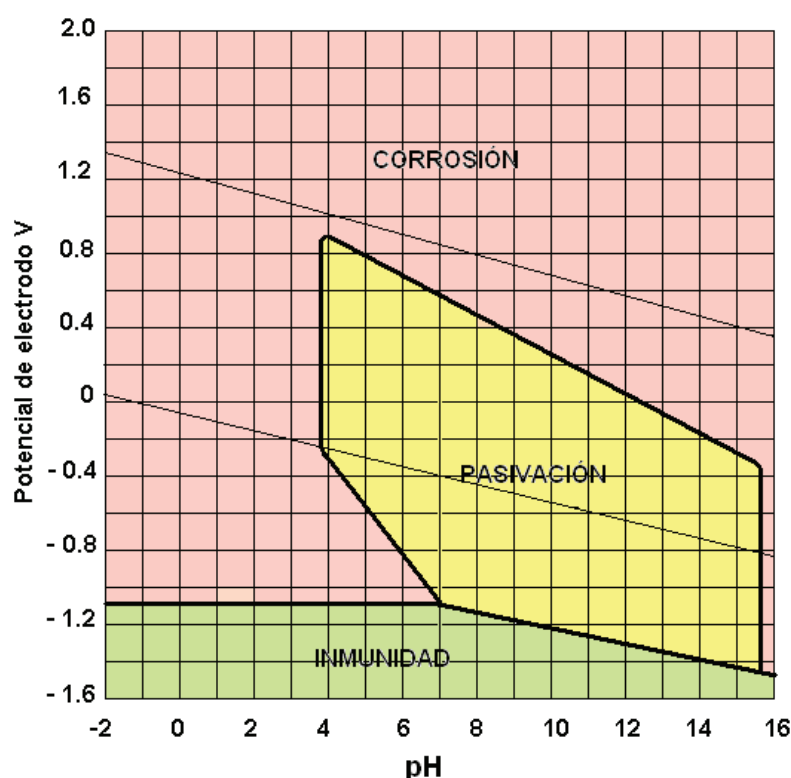


Figura nº 1.4.b. Diagrama de Pourbaix para el cromo

La traducción de este diagrama implica que el cromo no se corroe en ambientes neutros o básicos salvo a potenciales muy elevados no frecuentes en la práctica y se corroe en ambientes ácidos salvo que se encuentre en la región de inmunidad lo que sucede cuando se recurre a la protección catódica<sup>4</sup>

<sup>4</sup> Técnica de protección consistente en desplazar artificialmente el potencial de electrodo a la zona de inmunidad.

## Capítulo 2

### Los mecanismos de corrosión en los edificios

#### 2.1 Modalidades usuales de corrosión metálica en los edificios

Como antes ya se avanzaba, en la gran mayoría de los casos, los procesos de corrosión en los edificios obedecen a fenómenos de corrosión acuosa, es decir, se precisa de una solución relativamente conductiva en contacto con el elemento metálico, amén de la conformación de circunstancias que generen el funcionamiento de las pilas de corrosión.

Con carácter no excluyente, se describen a continuación una serie de formas típicas de corrosión en las construcciones. En cualquier caso ha de tenerse en cuenta que como en otros ordenes de la vida nunca la realidad responde con situaciones puras sino con una mezcla de varias. En este caso se han seleccionado las modalidades de corrosión siguientes:

- Corrosión generalizada
- Corrosión en picaduras
- Corrosión en resquicios
- Corrosión galvánica

Otras formas de corrosión de menor incidencia como la corrosión bajo tensión o la corrosión-erosión no se abordan en este texto aunque se comentarán circunstancialmente en los capítulos correspondientes a la corrosión es estructura o en las instalaciones.

#### 2.2 La corrosión generalizada

Se usan estos términos para definir procesos de corrosión que se producen sobre una porción de superficie metálica adoptando una degradación de apariencia uniforme. Responden a esta morfología muchos casos de corrosión sobre productos o materiales de construcción directamente expuestos al medio ambiente aéreo o envueltos por otros materiales como pueden ser capas protectoras de pintura, morteros o, incluso, el propio hormigón, en el caso de la corrosión de las armaduras embebidas en él.

Como es razonable pensar, es imprescindible, como condición previa, el depósito de humedad sobre la superficie metálica. A partir de aquí las pilas se forman mediante el reparto de áreas anódicas y catódicas en toda la superficie humedecida del metal. Estas pilas funcionan provocadas por la diferencia de potencial que se genera por diversas alteraciones del medio, en especial por el efecto de aireación diferencial.

El oxígeno atmosférico, posteriormente disuelto en el agua, no tiene la misma facilidad de acceso a todos los puntos de la superficie metálica. Este hecho es suficiente para que, las áreas con mayor abundancia de oxígeno, se tornen en cátodos, mientras

que las de menor contenido en oxígeno gaseoso se conviertan en ánodos. Esta situación puede cambiar constantemente en el tiempo y de ahí la apariencia de ataque uniformemente repartido.

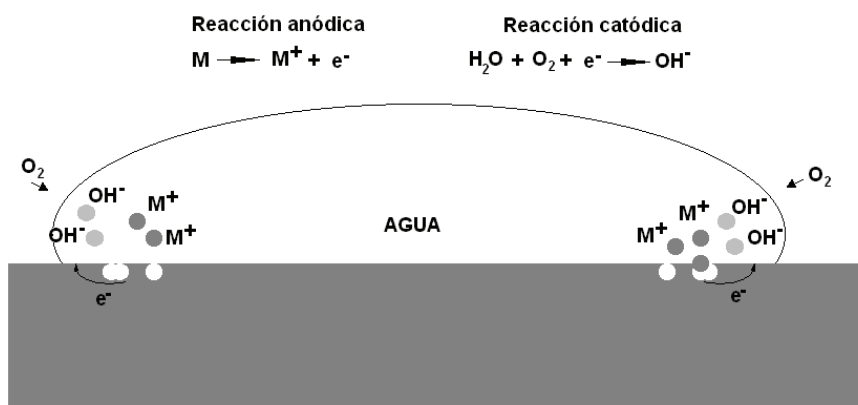


Figura nº 2.2.a. Corrosión en torno a una gota de agua depositada sobre el metal.

En el esquema de la figura se trata de dar una idea del funcionamiento de las pilas de aireación diferencial en los bordes de una gota de agua. Fenómeno que puede ser frecuente en elementos situados al exterior en los edificios. La corrosión se centra en la periferia de la gota con mayor acceso del oxígeno a la superficie metálica.

Conforme el agua de la gota se evapora se desplaza la zona de corrosión. Si el secado es rápido es posible, en muchas ocasiones apreciar el cerco que dejan los productos de corrosión.

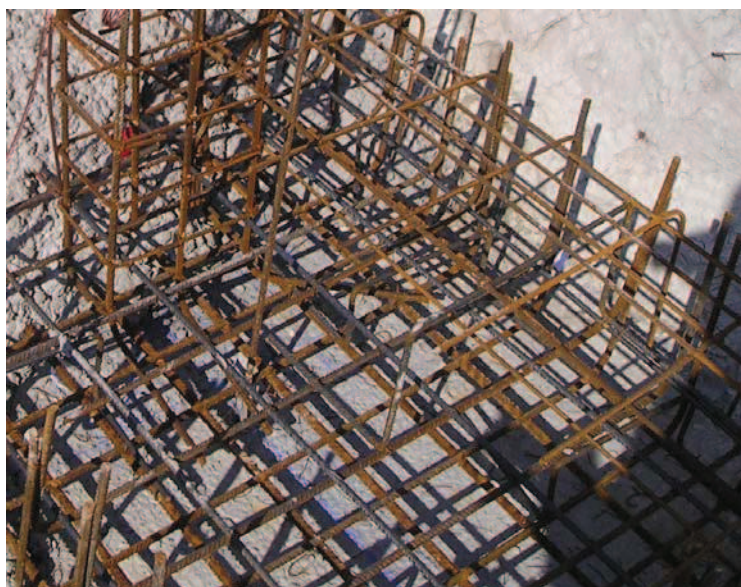


Figura nº 2.2.b La exposición de las armaduras a la intemperie ocasiona su corrosión de aspecto uniforme. Los tonos rojizos implican la formación de óxido férrico.

Como antes se avanzaba este tipo de ataques se pueden producir con relativa facilidad sobre los materiales metálicos de construcción, expuestos a frecuentes

contactos con la humedad y la lucha contra la corrosión en muchos casos se centra, precisamente, en evitar este contacto mediante el establecimiento de barreras protectoras, provocando la ventilación que impida los depósitos de agua sobre la superficie metálica, etc.

Este tipo de ataque se corresponde, en las armaduras embebidas en hormigón, cuando éste ha perdido sus cualidades químico-protectoras, es decir, cuando su basicidad ha sido neutralizada por los agentes ácidos del medio en un proceso conocido habitualmente como “carbonatación<sup>1</sup>”. Las armaduras quedan, tras la carbonatación del hormigón que las envuelve, en una situación parecida a la que estarían si estuviesen desnudas, lo cual no implica necesariamente un proceso de corrosión virulento.

### 2.3 La corrosión por picaduras

La formación de picaduras, en la superficie metálica, es sin duda el proceso de corrosión más temido debido a los daños que puede provocar sin que muchas veces se advierta fácilmente. Responde, este mecanismo, a la concentración de los fenómenos corrosivos en un punto determinado, pudiendo la disolución metálica (corrosión), afectar a capas relativamente profundas del metal mientras gran parte de la superficie puede permanecer intacta o con apariencias de corrosión escasa.

En general estos procesos de formación de picaduras se producen sobre porciones de metal muchas veces protegido con capas de diversa naturaleza y como factor decisivo con la presencia de iones agresivos entre los que ocupa un lugar muy preferente el ión cloruro.

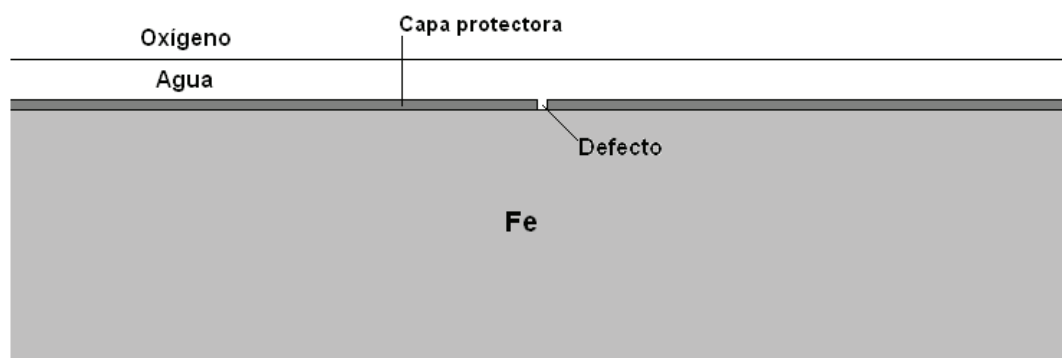
El proceso de formación de las picaduras puede iniciarse como un fenómeno habitual de corrosión por aireación diferencial pero la acción de los iones cloruro, por ejemplo, conduce a la formación de bolsas o regiones inundadas de electrolito, relativamente aisladas del exterior. Esto provoca reacciones de hidrólisis metálica con la generación de iones  $H^+$  que junto a los  $Cl^-$  constituyen en definitiva ácido clorhídrico. A partir de aquí la picadura tremendamente acidificada en su contenido progresa sin control. En la figura nº se trata de reflejar esquemáticamente una picadura.

En general y salvo la acción de iones sulfato en muchos casos suministrados por el yeso en los edificios, la inmensa mayoría de los casos de corrosión por picaduras en los materiales metálicos de los edificios responde a la presencia de iones cloruro. Este tipo de iones recibe habitualmente la denominación de iones despasivantes<sup>2</sup>.

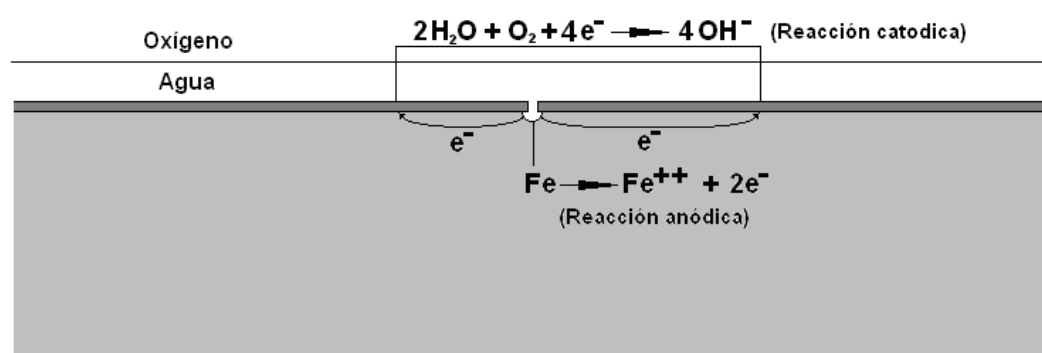
---

<sup>1</sup> La carbonatación del hormigón no es una causa de corrosión de las armaduras sino una situación en donde no son estables las capas protectoras de óxidos construidas durante la etapa anterior en las que el hidróxido de calcio que ocupaba los poros del hormigón mantenía un elevado pH.

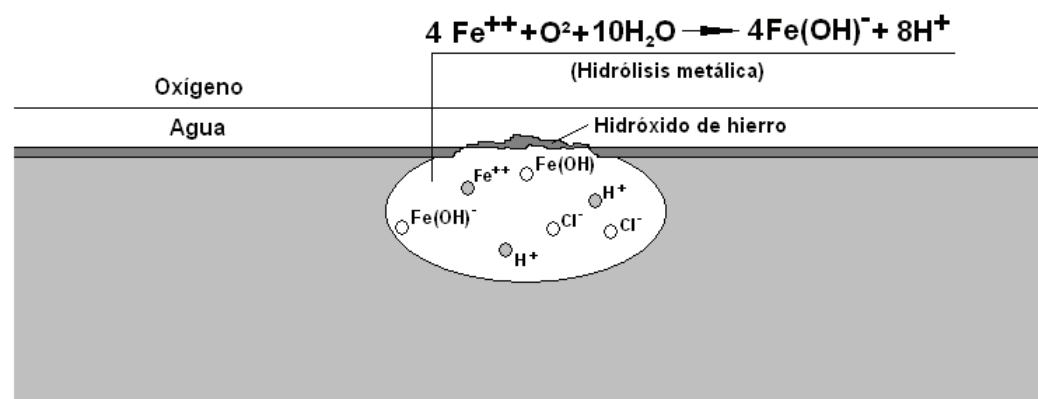
<sup>2</sup> La denominación “despasivante” se refiere a la rotura, por parte de estos iones, de las capas de pasivación (generalmente óxidos del propio metal, formados sobre su superficie) que protegen algunos metales de la corrosión.



1 La superficie de acero protegida por una capa de óxido férrico presenta una zona defectuosa



2 El fondo del defecto, con menor acceso al oxígeno, se constituye en área anódica de pequeña superficie respecto al resto (catódica)



3 La formación de una capa de hidróxido de hierro que aísla la celda del exterior y la hidrólisis del hierro que cursa con la formación de iones  $H^+$  rebaja el pH a la zona ácida. La circunstancial existencia de iones  $Cl^-$  culmina con la presencia de ácido clorhídrico, de reconocido carácter corrosivo, en contacto con el metal.

Figura nº 2.3a Posible secuencia de la formación de una picadura.

La formación de picaduras es típica de los metales expuestos a ambientes marinos aún tratándolos de proteger con capas de pintura o como la barra corrugada que se representa en la figura nº 2.4.b procedente de un elemento de hormigón armado perteneciente a unas instalaciones portuarias.



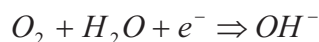


Figura 2.3.b Formación de picaduras en una armadura. En algunos tramos la sección se había reducido a la mitad.

## 2.4 La corrosión es resquicios

Lo que aquí se denomina resquicio se puede asimilar a la existencia de zonas superficiales en los metales a las que es dificultoso el acceso de oxígeno. El ejemplo típico es el caso de uniones entre elementos metálicos atornillados o roblonados. Las caras de los metales en contacto conforman una rendija en la que existe la posibilidad de acceso por capilaridad y acumulación de agua durante etapas relativamente prolongadas habida cuenta de su difícil aireación.

La aireación diferencial es el motor que activa las pilas de corrosión en esta modalidad. En la parte próxima al exterior de la rendija, el oxígeno se difunde en el agua y participa de la reacción catódica típica



En zonas internas del resquicio, más alejadas del aire exterior, se consuma la reacción anódica de disolución del metal



En estas circunstancias las pilas funcionan con intensidad, la corrosión se focaliza en determinadas zonas y los daños como en el caso de las picaduras pueden ser de importancia. La figura 2.4 representa esquemáticamente el funcionamiento de la corrosión en resquicios.

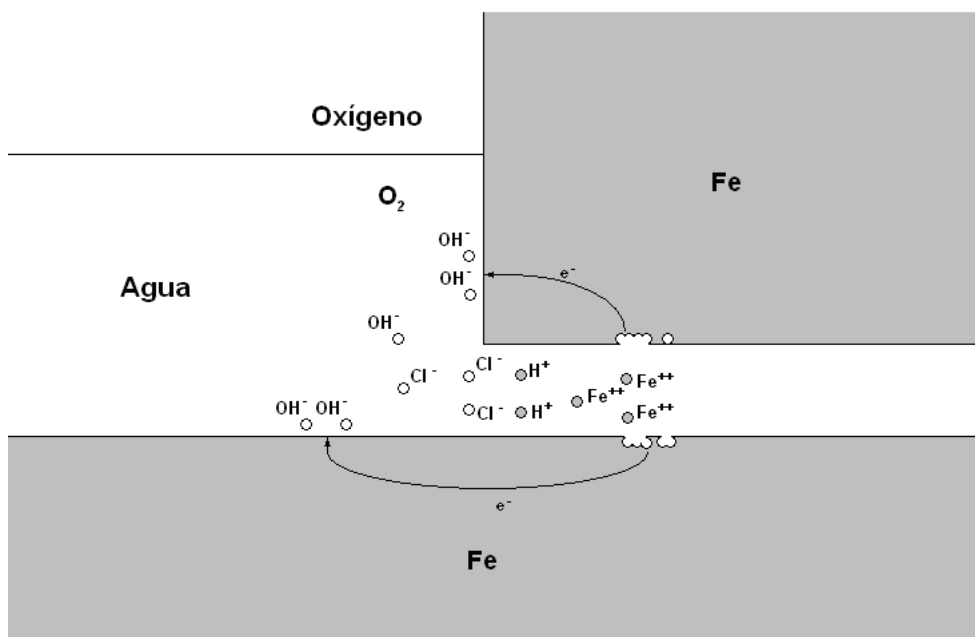


Figura 2.4 Esquema de la corrosión en resquicio

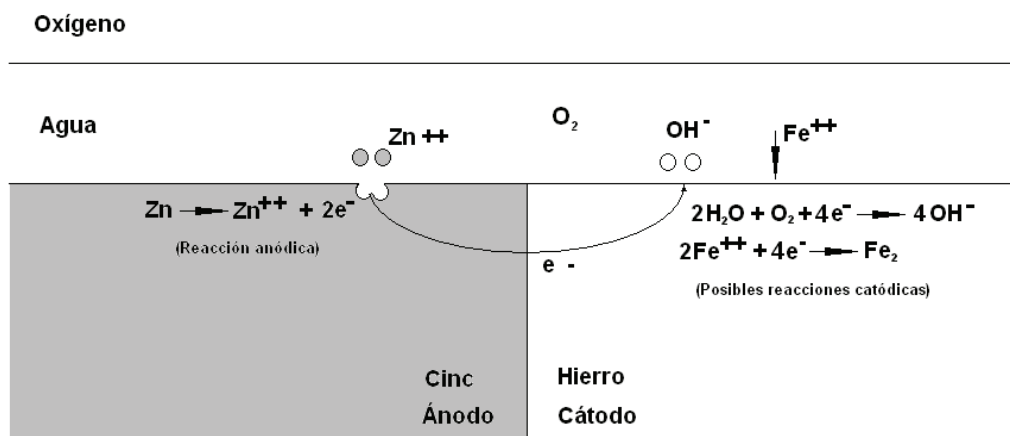
En estos casos la existencia de iones cloruro en el resquicio puede acrecentar de forma muy importante los efectos de la corrosión encontrarse en circunstancias parecidas a las picaduras.

## 2.5 La corrosión galvánica

Hasta ahora se han descrito las modalidades en las que tomaba parte un solo metal, en el caso de la corrosión galvánica intervienen dos metales distintos que pueden activar las pilas bimetálicas o galvánicas descritas en el capítulo 1.

Estas pilas, en donde se unen eléctricamente dos metales distintos que a su vez entran en contacto con el electrolito, reciben habitualmente el nombre de “macropilas”, en contraposición a las “micropilas” o pilas de concentración que se barajan cuando solo existe un único metal. Esta denominación se debe a la clara identificación del ánodo, metal de menor nobleza, que tiende a corroerse y el cátodo, metal más noble, que, por el contrario, resulta protegido.

En el gráfico de la figura se representa una pila galvánica habitual en los edificios. El recubrimiento del acero con cinc unión que se produce en los cincados o galvanizados. El hierro resulta protegido por la menor nobleza del cinc que adopta aquí el papes de ánodo de sacrificio.



*Figura 2.5 Esquema el funcionamiento de una pila galvánica compuesta de hierro y cinc. En este caso el cinc como metal de menor nobleza se corroe en beneficio del hierro que al rebajar su potencial queda protegido.*

Se ha discutido en reiteradas ocasiones la incidencia de esta modalidad de corrosión en los elementos de los edificios. La interconexión de tuberías de metales distintos, en las instalaciones de fontanería o el empleo de anillos de cobre, conectados a las armaduras, en las instalaciones de puesta a tierra, han sido temas recurrentes en determinados debates sin que, en la mayoría de los casos, se hayan aportado casos de deterioro asociado.

Esto no implica que no se produzcan fenómenos de corrosión relacionados con las macropilas sin que como todos son fenómenos complejos imposibles de generalizar que es, muchas veces, lo que el técnico precisa.

Sí que es típica, por ejemplo, la mención a los perniciosos efectos de las partículas de cobre, que, viajando en el agua conducida, quedan depositadas sobre tubos de acero galvanizado. En este caso se constituyen pilas locales fuertemente activas que generan corrosión localizada en la pared del tubo receptor. Esta es la razón por la que se recomienda situar los metales de mayor nobleza “aguas abajo” en la instalación.



## Capítulo 3

# Los metales en los edificios

Los diferentes metales están sujetos a mecanismos de corrosión similares pero como ya se advirtió en el capítulo 1 son muy diferentes las circunstancias en los que pueden ser afectados y también puede ser muy distinta su respuesta.

En el presente capítulo se trata de hacer una aproximación a los metales y aleaciones que se emplean habitualmente en los edificios con el fin de conocer sus características relativas a su comportamiento frente a la corrosión y las situaciones en que pueden ser objeto de deterioro procesos de este tipo.

En particular se dedicarán apartados de este capítulo a:

- El hierro
- El aluminio
- El cobre
- El cinc
- El plomo

### 3.1 El hierro

El hierro es un metal de importante presencia en la construcción actual de los edificios como componente fundamental en las estructuras, bien en estructuras metálicas o en forma de armaduras en estructuras de hormigón armado, amén de su presencia en elementos de cerrajería, instalaciones, herrajes u otros elementos complementarios. La abundancia de los minerales de hierro, su relativo bajo precio y la calidad de sus prestaciones mecánicas animan una participación del hierro en forma de acero al carbono en estos componentes.

Sin embargo en la antigüedad esta participación no ha sido tan intensiva habida cuenta de sus limitadas cualidades de resistencia a la corrosión. En algunos tratados de construcción se pueden leer frases como la siguiente que se reproduce textualmente:

*“Podemos, pues, sentar como regla general, que en las fábricas, particularmente si han de durar algún tiempo, se debe escusar gastar hierro, á no ser en algún lance forzoso, porque los Arquitectos solo apelan á este recurso quando reconocen que se han equivocado.....”(Benito Bails. De la Arquitectura Civil).*

Estas prevenciones lógicamente se fundamentaban en lo que se entendía como corta duración de los elementos de este metal que se corroían por *“mas precauciones que se tomen”*.

Al margen de su uso prácticamente continuado en rejerías y otros elementos similares, el hierro se ha ido incorporando a los edificios progresivamente en función de los adelantos en la aplicación de sus aleaciones, como es el caso de los aceros

denominados inoxidable, o, fundamentalmente, en el conocimiento y empleo de técnicas de protección adecuadas,

El empleo del hierro como componente de las armaduras de hormigón armado se debe fundamentalmente a las especiales condiciones de protección que este material le brinda.

Como ya se ha comentado el hierro es un metal de escasa nobleza tanto termodinámica como práctica y siempre han de utilizarse artificios para lograr prolongar su vida en estado metálico.

El diagrama de Pourbaix, representado en la figura, informa de una región de corrosión que alcanza desde medios ácidos hasta pH más allá de la neutralidad lo que implica que para los potenciales habituales en la práctica el hierro y por extensión los aceros de baja aleación que habitualmente se utilizan (aceros al carbono) se corroen si no se utilizan protegidos.

La región de pasividad es relativamente amplia en el acero y supone la solución para el empleo del acero al carbono en armaduras para estructuras de hormigón. El pH que proporciona el cemento del tipo Pórtland mediante el hidróxido de calcio, producto de su hidratación (superior a 12) supone la práctica garantía anticorrosión de las armaduras mientras que se mantenga esta elevada basicidad.

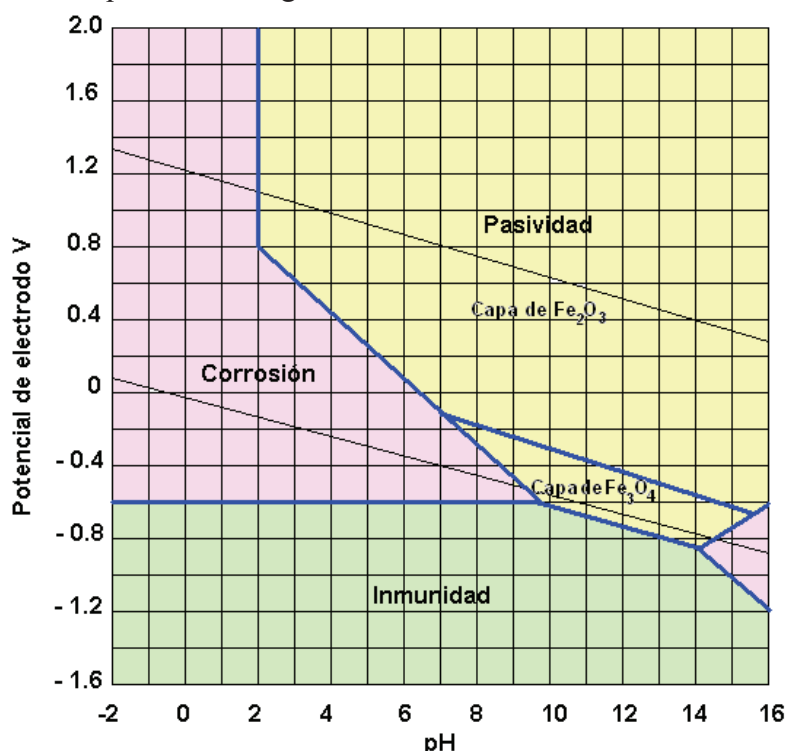


Figura 3.1 Diagrama de Pourbaix para el hierro.

Esta región de pasividad se debe a la formación de capas estables de óxidos en unos casos magnetita (óxido ferroso-férrico) y en otros, directamente óxido férrico (ver diagrama). No obstante la irrupción de iones despasivantes en especial el ión cloruro

rompe estas capas provocando corrosión localizada por picaduras. La intensidad de corrosión en estos casos va paralela a la concentración de estos iones.

La región de inmunidad se extiende, como es razonable esperar, en la parte inferior del diagrama que representa potenciales lo suficientemente bajos no habituales en la práctica salvo que se provoquen artificialmente mediante la conexión a metales de menor nobleza o mediante corrientes impresas.

A la vista de estas circunstancias podemos decir que en la práctica el acero se corroerá siempre que esté en contacto con una solución acuosa salvo que ésta goce de un marcado carácter básico como es el caso del hormigón o se recurra a técnicas de protección catódica con lo que el potencial de corrosión se sitúe en regiones de inmunidad.

Es evidente que la otra gran fuente de protección del hierro es preservarlo del contacto con el agua recurriendo a recubrimientos protectores mediante sistemas de pinturas, tratamientos superficiales de otra naturaleza o el empleo, como recubrimiento de otros metales como el cinc, el estaño, etc.

### 3.2 El aluminio

El aluminio es un elemento químico muy abundante en la naturaleza ocupando el tercer lugar tras el oxígeno y el silicio. Se obtiene a partir de la bauxita mediante procedimientos que precisan de un gran aporte energético lo que, en ciertos momentos, ha supuesto ciertas críticas ya superadas. Hoy día es un metal de uso frecuente en la construcción de edificios principalmente por su presencia como componente de las carpinterías exteriores, estructuras de falsos techos, instalaciones etc.

El aluminio es realmente un metal muy activo desde el punto de vista termodinámico, es decir, con una propensión muy fuerte a corroerse (véase su posición en la serie electromotriz). Sin embargo, en la práctica y debido a las características que luego se apuntarán, resulta de un comportamiento muy aceptable y en este sentido y junto con otras cualidades como su ligereza, su conductividad eléctrica, su propio aspecto, su trabajabilidad, etc., han conducido al aluminio a ser un componente habitual en la construcción actual a donde se destina una importante porción de la producción.

El diagrama representado en la figura 2.1 puede servir para dar una idea general de las posibles tendencias a la corrosión del aluminio. Se trata del diagrama de Pourbaix para el aluminio sumergido en una solución acuosa a 25 ° C para el caso habitual de que el metal se recubra de una capa de alúmina ( $Al_2O_3$ ) su óxido más frecuente.

Independientemente de que la información que aporta este tipo de diagramas es cualitativa, se puede observar que las zonas de corrosión, es decir las zonas en donde el metal es inestable, se sitúan en ambos lados y relativamente alejadas del pH 7 que representa la neutralidad. Esto significa que el aluminio, con carácter general es atacado tanto por las bases, con pH superior a 9, como por los ácidos, con pH inferior a 4. En el



resto de los casos el metal es inmune (el potencial de electrodo hace imposible la corrosión) o el metal se encuentra pasivado por una capa de  $\text{Al}_2\text{O}_3$ .

Hay que hacer la salvedad, como en otros muchos metales de la posibilidad de corrosión por picaduras (rotura localizada de la capa pasivante) asociada habitualmente a la presencia de ión cloruro en solución acuosa en contacto con los elementos de aluminio.

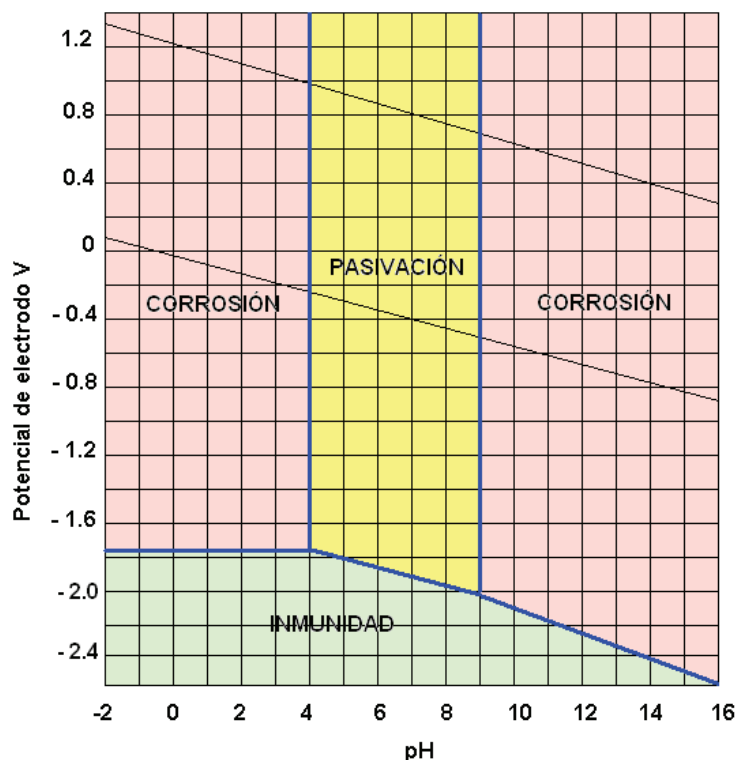


Figura 3.2 Diagrama de Pourbaix para el aluminio pasivado por una película de hidrargelita ( $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ )

En definitiva, en la práctica, el comportamiento del aluminio es mucho más aceptable frente a la corrosión que otros metales más nobles como el propio hierro, el cromo, el níquel y el plomo. La corrosión del aluminio de las carpinterías, esta asociada habitualmente a la presencia de cloruros, en cuyo caso la corrosión cursa con picaduras.

Es conocida de antiguo, por otra parte, la sensibilidad del aluminio a los morteros de cemento y cal habida cuenta de su elevado pH. La alúmina (óxido de aluminio que recubre de forma natural al aluminio y que constituye la capa de anodizado) se disuelve y deja por tanto de ser protectora. De ahí las precauciones para mantener alejadas las carpinterías de aluminio anodizado de la acción de estos aglomerados.

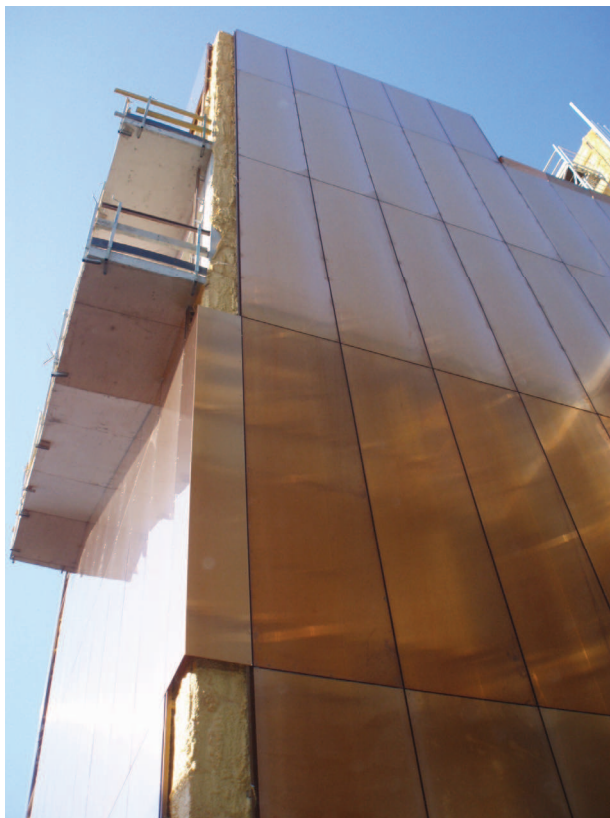
### 3.3 El cobre

El cobre es, detrás del hierro y el aluminio, el tercer metal más utilizado en el mundo. Se puede encontrar en la naturaleza en estado metálico como el oro la plata y el platino, lo que insinúa, de momento, algo sobre su nobleza. No obstante, hoy, su elevadísima producción procede de minerales ya de baja concentración.

Su influencia en el desarrollo humano ha sido decisiva. Junto con su aleación con el estaño, el bronce, dio lugar a titular edades prehistóricas con su nombre. “Edad del bronce”, por ejemplo. Por otra parte ha de subrayarse la extraordinaria capacidad de reciclaje del cobre.

No destaca, el cobre, por tener cualidades mecánicas notables, el límite elástico puede estar en torno a los 33 Mpa, pero sin embargo ha destacado por sus extraordinarias propiedades de conductividad eléctrica y térmica a las que añade su excelente ductilidad y maleabilidad.

Como ya se apuntaba, el cobre destaca por su resistencia a la corrosión figurando en un lugar relativamente destacado cuando se clasifican los metales por su nobleza termodinámica aunque en la práctica es superado por metales de menor nobleza como el circonio y el titanio habida cuenta de la contribución protectora de sus capas de óxido que en el caso del cobre es menor.



*Figura 3.3.a Fachada de un edificio en construcción con placas de cobre*

No es el cobre un material de utilización tradicionalmente alta en los edificios sin embargo su participación en las instalaciones eléctricas, de fontanería, calefacción o climatización, etc., junto con su creciente empleo en revestimientos, hacen que en la actualidad el 26% de la producción mundial de cobre se destine a este sector.

No obstante sus cualidades de nobleza, anteriormente mencionadas, el cobre sufre procesos de corrosión aunque en menor medida de otros metales participes en los edificios. En el diagrama de equilibrio potencial/pH para el cobre, representado en la figura, destaca, de momento, la amplia región de inmunidad coherente con la nobleza termodinámica anunciada.

A esta región se une la región de pasivación, (el metal queda protegido por sus propios productos de corrosión) que, ubicada principalmente entre el pH 7 y el pH13, justifica la denominada “nobleza práctica”. No obstante quedan regiones de corrosión tanto en los medios ácidos como en los fuertemente alcalinos en medios fundamentalmente oxidantes.

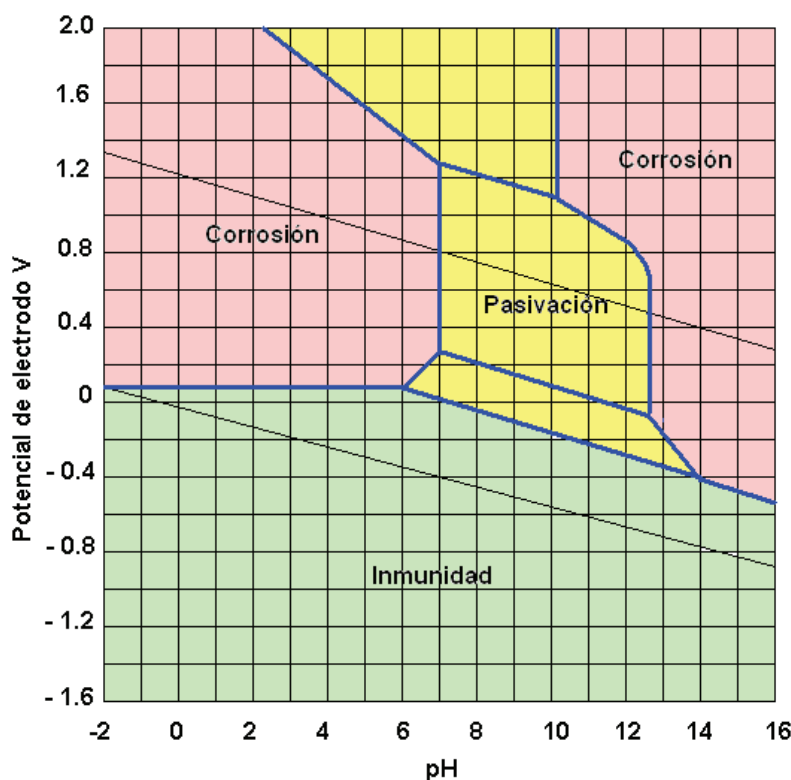


Figura 3.3.b Diagrama de Pourbaix para el cobre.

En general el cobre es resistente a la corrosión atmosférica dotándose su superficie de un recubrimiento protector de productos de corrosión. En principio el aspecto brillante inicial cambia, con la formación de óxido cuproso, a tonos rojo-violetas obscureciéndose posteriormente al oxidarse a óxido cúprico. En plazos más largos se forman sales, carbonatos, acetatos, etc., coloreadas en verde o azul turquesa

muy comunes en las atractivas y típicas cubiertas de muchos edificios monumentales del centro y el norte de Europa.

No obstante la cinética de corrosión es lenta y para lograr los efectos estéticos del turquesa han de pasar al menos veinte años. Actualmente, se trata en ocasiones de provocar estos procesos en la fabricación de recubrimientos con el fin de dotarlos de estabilidad en su aspecto y aprovechar su estética.

Estos procesos se corresponden, obviamente con fenómenos de corrosión generalizada que en general no suponen riesgos para el comportamiento de los elementos durante una larga vida aunque los procesos de corrosión del cobre, de mayor repercusión en la práctica de la edificación, están ligados a la corrosión por picaduras lo que implica en general roturas de la capas de pasivación.

Al igual que otros metales el cobre puede ser objeto de procesos localizados de corrosión que, cuando se producen en elementos como tubos u otros componentes de instalaciones que contienen fluidos, sí que pueden ocasionar daños con repercusiones de cierta importancia.

Uno de los problemas de estos procesos es lo complicado que puede resultar ya no por la dificultad de su previsión, sino incluso darles una explicación certera cuando se producen.

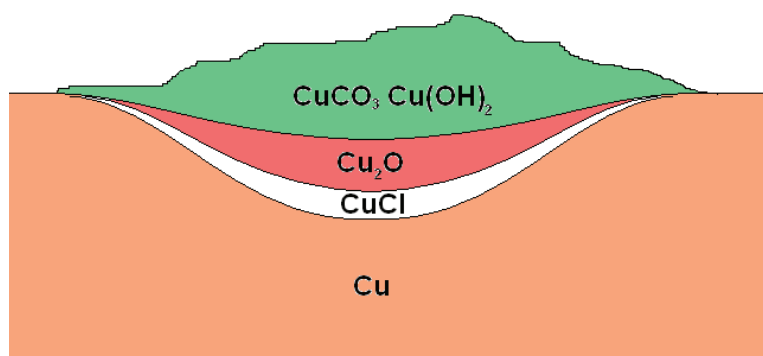


Figura 3.3.c Esquema típico de una picadura en cobre con la presencia del ión cloruro en su base..

Muchos estudios dan explicación al desarrollo de la corrosión por picaduras del cobre pero es tal el número de variables que habitualmente se manejan que es muy complicado trasladar al mundo de la técnica, explicaciones sencillas.

### 3.4 El cinc

El cinc es un metal que no alcanza la abundancia del hierro o del aluminio en la corteza terrestre (ocupa el puesto vigésimo tercero) pero es relativamente fácil de obtener. Se extrae tradicionalmente de menas de blenda (sulfuro de cinc) o de calamina (carbonato de cinc). En la actualidad se estima que un tercio de cinc consumido es reciclado.

Su empleo inicial en la edificación se ha ceñido principalmente a elementos en el exterior en forma de chapas para formación de canalones, bajantes y cubiertas. También y posteriormente se ha usado con profusión como revestimiento para el acero al carbono, revestimientos en caliente como el galvanizado. Los tubos de fontanería, los postes para cercados, barandillas, carpinterías de acero y otros elementos de instalaciones se recubren con frecuencia con galvanizados a los efectos de su protección frente a la corrosión.

En otras ocasiones los revestimientos de cinc se realizan en frío adquiriendo la denominación de “cincados” que se pueden aplicar por vía electroquímica. De la misma manera el cinc forma parte como compuesto en pinturas protectoras.



*Figura 3.4.a Revestimiento de cubierta y parte de la fachada de un edificio con planchas de cinc en la actualidad*

El cinc es un metal escasamente noble pero de corrosión muy lenta al recubrirse de capas protectoras de óxidos en atmósferas secas conservando un buen aspecto. En presencia de  $\text{CO}_2$  y humedad se corroe con la formación de hidróxidos e hidrocarbonatos de color blanco que no afectan grandemente al metal base.

En general se puede admitir un buen comportamiento en el exterior. El recubrimiento de la cúpula de la fotografía de la figura 3.4.a, tras prácticamente un centenar de años en ambiente relativamente marino presentaba una corrosión localizada de micropicaduras de escasa profundidad y muy homogéneamente repartidas en su superficie. De hecho los desperfectos de la cubierta eran más de tipo mecánico que derivados de la inestabilidad electroquímica de las piezas de cinc como puede deducirse de la propia fotografía.



*Figura 3.4.b Cúpula recubierta de planchas de cinc.*

En el diagrama de potencial-pH del cinc representado en la figura se puede, en principio, observar la relativamente pequeña zona de inmunidad en comparación por ejemplo con la del cobre. Pero, por otra parte, la presencia de una zona de pasividad en los pH entre siete y once, hace que en la práctica el comportamiento de este metal sea muy aceptable.

En general puede admitirse que el cinc en las condiciones habituales de utilización presenta una buena resistencia a la corrosión sin embargo puede corroerse en tanto en medio ácido como en medio fuertemente básico. El cemento y por tanto los morteros y hormigones atacan al cinc, por lo que en ocasiones se ha discutido la adecuación del empleo de armaduras galvanizadas en el hormigón armado y la protección con morteros de cemento de los tubos de acero galvanizado pertenecientes a las instalaciones de fontanería. Efectivamente el ataque existe aunque parece que se detiene rápidamente. De hecho normativas actuales como el Código Técnico establecen el armado con acero galvanizado inmerso en morteros de cemento<sup>1</sup>.

---

<sup>1</sup> Ver apartado “3.3 Armaduras” del DB SE-F del Código Técnico de la Edificación.



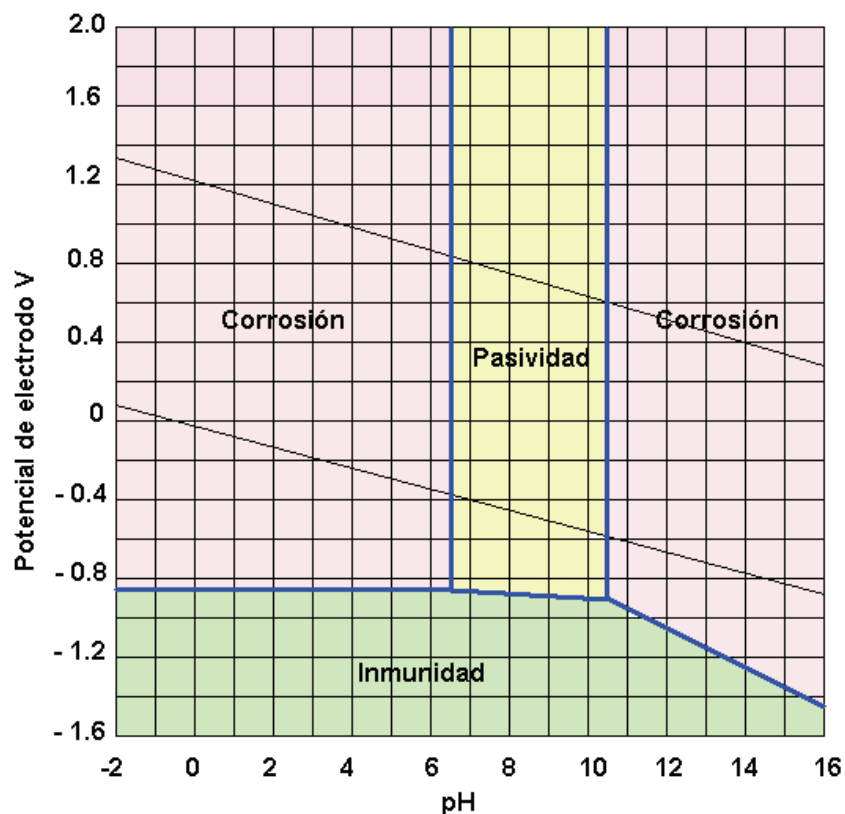


Figura 3.4.c Diagrama de Pourbaix para el cinc en soluciones con presencia de CO<sub>2</sub>.

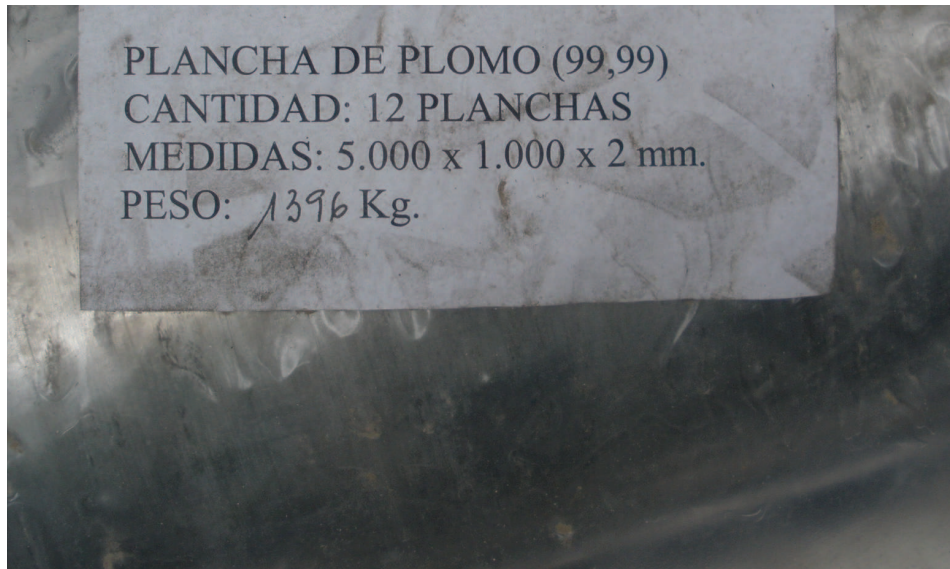
### 3.5 El plomo

El plomo es un metal relativamente pesado, de escasas propiedades mecánicas pero de muy antigua utilización por el hombre, los romanos ya lo utilizaban en la formación de conducciones hidráulicas. Obtenido, principalmente, a partir de la galena (sulfuro de plomo). Se lamina, se estira y se corta con facilidad. La aleación con antimonio incrementa su resistencia mecánica pero el aumento de temperatura disminuye su efectividad de manera que a cien grados centígrados lo anula.

Al margen de su empleo de antiguo para conducciones hidráulicas y posteriormente en tuberías de abastecimiento de agua en los edificios, usos hoy descartadas por la posible toxicidad añadida al agua se ha empleado o también desde siglos en planchas para la impermeabilización, tuberías de desagüe. Sigue hoy empleándose en paneles de protección radiológica y contra el ruido. Es, por otra parte, un componente habitual de los materiales de aporte en soldaduras blandas.

Participa asimismo junto con el estaño en capas protectoras como la chapa “terne” empleada en cubiertas. Tradicional participante en las pinturas de protección de estructuras metálicas en base al minio de plomo, han sido hoy día sustituidas por

productos de prestaciones similares (fosfatos o cromatos) a cuenta de sus posibles emanaciones tóxicas.



*Figura 3.5.a Plancha de plomo destinada al revestimiento de una dependencia sanitaria.*

El plomo es un metal que en la práctica goza de cierta nobleza con excelente comportamiento frente a la corrosión atmosférica. Muy resistente al ácido sulfúrico, recuérdese el procedimientos de fabricación de sulfúrico denominado coloquialmente “de las cámaras de plomo” (se recubre de una capa dura e impermeable de sulfato de plomo). Recibir los elementos de plomo con yeso ha sido, por tanto, una buena práctica.

Resiste, consecuentemente, con solvencia en atmósferas sulfurosas. Sin embargo en ambiente rural y marino la chapa terne, por ejemplo, puede comportarse peor que el acero galvanizado por lo que conviene revestirla con capas de pintura. El ácido nítrico lo ataca formando nitrato de plomo soluble.

El plomo es atacable por aguas puras y especialmente si están estancadas produciéndose la disolución del óxido de plomo  $PbO$ , con su consecuente toxicidad. Esta circunstancia es la que ha llevado a prescindir del plomo en las conducciones y tuberías de abastecimiento. Sin embargo en aguas en las que sean susceptibles de formarse capas de carbonato insoluble (numerosas aguas alcalinas bicarbonatadas) este peligro desaparece.



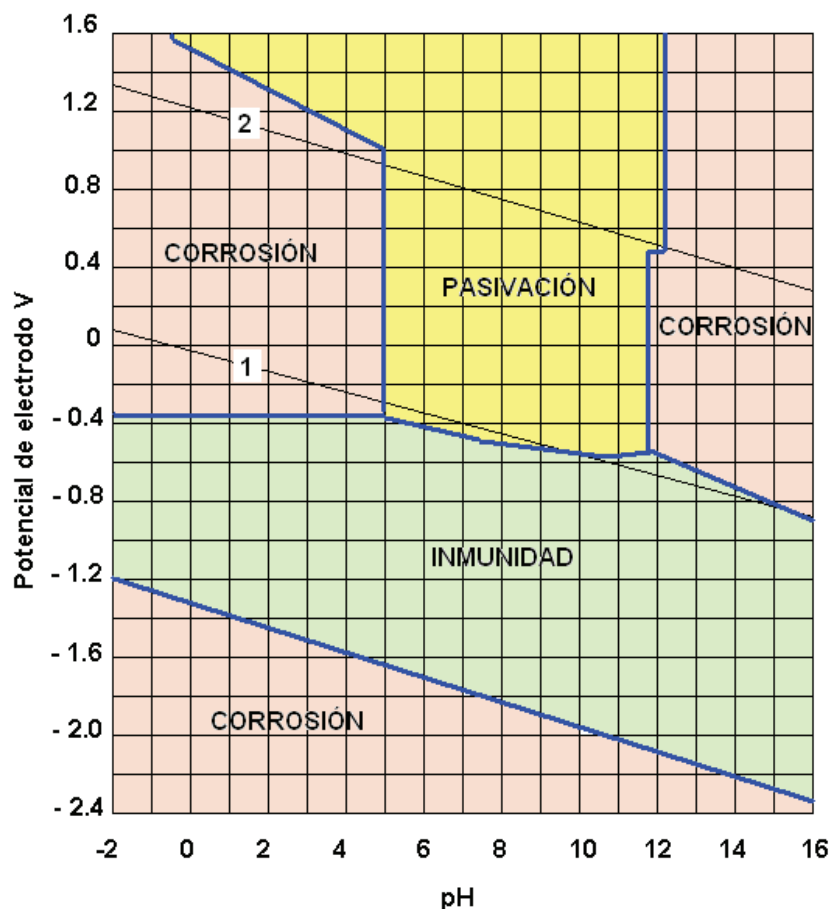


Figura 3.5.b. Diagrama de Pourbaix para el plomo en presencia de soluciones carbonatadas

En el diagrama de Pourbaix para el plomo que se representa y elaborado precisamente, para agua con presencia de soluciones carbonatadas se puede observar la amplia zona que componen las regiones de pasividad e inmunidad. En aguas puras, la región inferior de pasivación, por debajo de la línea “2”, aproximadamente, se transforma en región de corrosión debido a la disolución del óxido PbO que se forma.

Obsérvese que la protección catódica, en este caso, tiene un límite teniendo en cuenta la región de corrosión situada en la zona inferior del diagrama. Esta curiosa región que no aparece en el resto de los metales tratados con anterioridad, se debe a fenómenos de “corrosión catódica” con la formación de un hidruro de plomo gaseoso.

### 3.6 El titanio

Desde luego no es un metal de utilización frecuente ni tradicional en la edificación pero su popularidad, adquirida por su utilización en algunos edificios monumentales y en especial, sus extraordinarias cualidades de nobleza práctica en contraposición a su marcada actividad química, hacen que merezca la pena dedicar unas líneas a este metal.

El titanio es un metal abundante en la naturaleza, ocupa el noveno, pero muy diseminado en compuestos con otros elementos. Solamente algunos compuestos como el rutilo ( $\text{TiO}_2$ ) son económicamente utilizables para la extracción del titanio. Su aplicabilidad, en diferentes campos, viene determinada por sus buenas cualidades mecánicas, su ligereza y su resistencia a la corrosión. A estas cualidades se añade, en el campo de la medicina, su compatibilidad con los tejidos biológicos de ahí su utilización para implantes quirúrgicos.



*Figura 3.6.a. Planchas de titanio en la fachada del museo Guggenheim de Bilbao*

Con las cualidades mencionadas no es raro su uso en componentes aeronáuticos, automovilísticos y de construcción naval. En la construcción de edificios su uso es puntual como elementos de fachadas habida cuenta de su carácter decorativo y su resistencia a la degradación atmosférica.

La amplia región de pasividad que se refleja en el diagrama de equilibrio de la figura 3.6.b indica la capacidad de protección de los óxidos de titanio en especial del  $\text{TiO}_2$ . Solamente en medios muy ácidos y reductores y en medios fuertemente oxidantes se puede corroer el titanio.

Por otra parte, la resistencia de estos óxidos a las soluciones con cloruros hace que la corrosión localizada por picaduras que, para otros metales es inevitable, no afecte al titanio. Solamente la aparición de fluoruro puede afectar a este metal dada la formación con estos iones de complejos solubles.

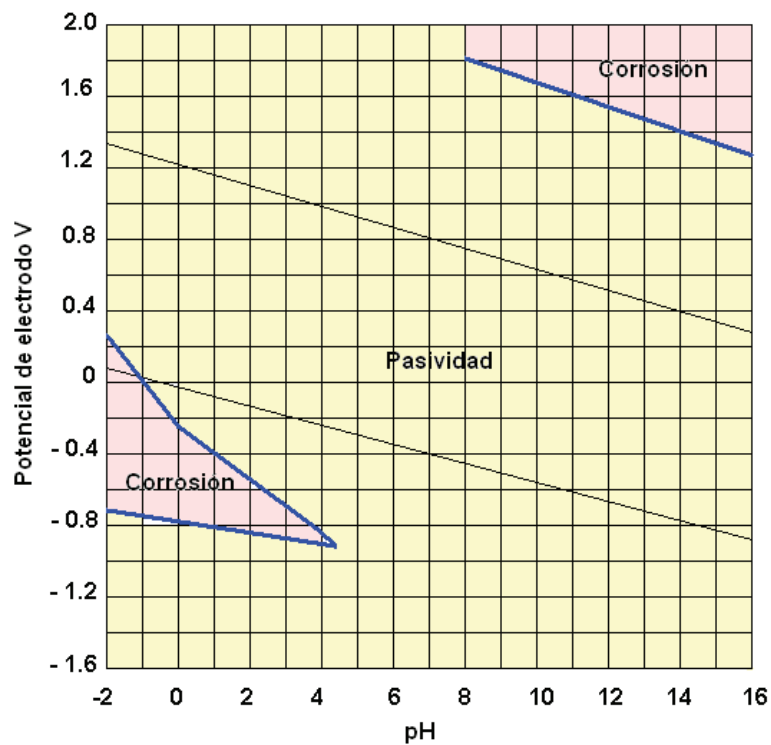


Figura 3.6 Diagrama de Pourbaix para el titanio.

Llama la atención la inexistencia en este diagrama de zona de inmunidad producto de su baja nobleza electroquímica. Similar en la serie electromotriz a la del aluminio pero sorprendentemente en la práctica el titanio se sitúa por encima metales tan nobles como el cobre e incluso la plata en resistencia a la corrosión.

# Capítulo 4

## El medio

### 4.1 Introducción

Los procesos de corrosión convencionales están condicionados fundamentalmente por las circunstancias que rodean al metal y por tanto la ubicación del mismo en el edificio es decisiva a la hora de entender los procesos que se pueden desencadenar y por consiguiente tomar medidas para que no se produzcan o se atenúen hasta límites asumibles.

Los ambientes en que están inmersos los elementos metálicos van a ser determinados por dos aspectos fundamentales: la ubicación del elemento metálico dentro del conjunto del edificio y la ubicación del propio edificio.

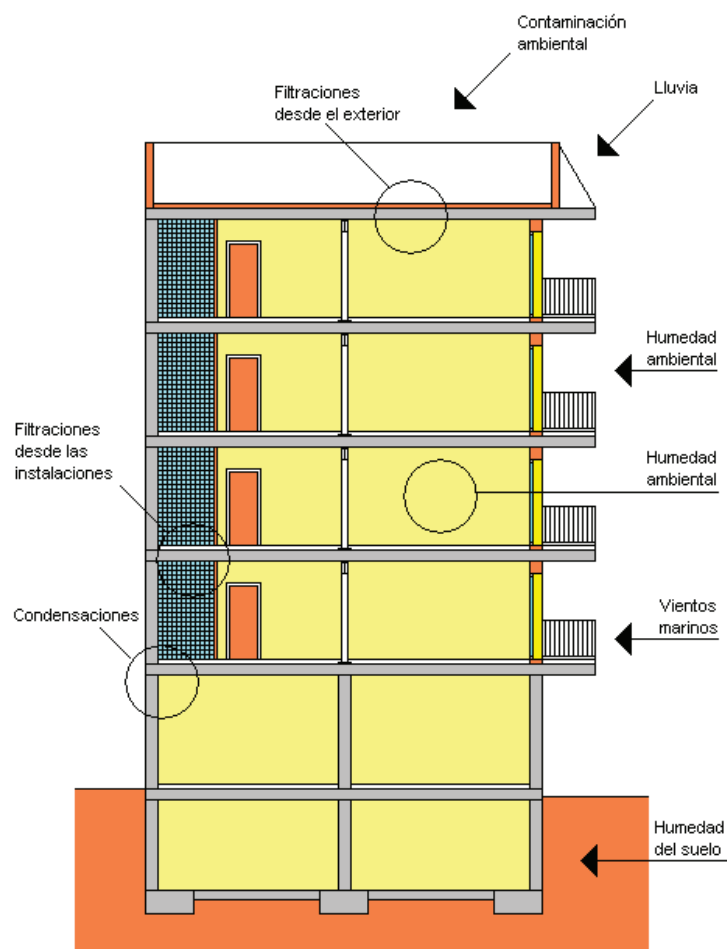


Figura 4.1. Principales aspectos relativos al medio en los edificios

Es razonable comprender que dentro de un edificio pueden encontrarse situaciones muy diferentes en especial respecto a las distintas condiciones de humedad lo que puede provocar humectaciones, por diversas vías, sobre la superficie metálica. Por otra parte los elementos metálicos pueden permanecer en contacto directo, continuo o no, con otros materiales que pueden influir en los procesos de deterioro por corrosión.

Asimismo, la ubicación del edificio, bien respecto a las condiciones atmosféricas que lo rodean o en relación a la naturaleza del terreno que lo sustenta, se convierte en otros casos, en un factor importantísimo respecto del desencadenamiento de estos procesos de degradación.

#### **4.2 El suelo**

La condición de estar en contacto permanente con un elemento poroso y susceptible de contener humedad en diferentes grados es ya, para un metal, una condición de riesgo, máxime cuando pueda contener elementos solubles en agua que a la postre puedan resultar agresivos desde el punto de vista del funcionamiento o activación de procesos de corrosión. En cualquier caso no es habitual disponer elementos metálicos en contacto directo con el suelo en los edificios a excepción, por ejemplo de los sistemas de puesta a tierra de instalaciones eléctricas a los que, en general afectan poco estos procesos habida cuenta de los materiales que los constituyen.

Otra cosa distinta son las partes de las estructuras resistentes, cimentaciones y arranque de soportes de hormigón armado enterrados y en especial, los parcialmente enterrados. Las condiciones del suelo pueden influir y provocar procesos de corrosión en las armaduras que contienen. Estos procesos pueden tener lugar por un vía directa si en la constitución de suelo participan agentes, como los cloruros, que, disueltos en el agua puedan acceder al entorno de las armaduras. O bien de una forma indirecta si el suelo resulta agresivo para el hormigón, por ejemplo con un contenido importante de sulfatos. Una vez destruido el hormigón de recubrimiento las armaduras quedarían desprotegidas y sometidas a un ambiente también complicado para su estabilidad electroquímica.

La instrucción EHE-08 ofrece criterios para la valoración de la agresividad del suelo para el hormigón y como consecuencia la selección de cementos y hormigones y espesores de recubrimiento con características adecuadas para la protección de las armaduras.

Tabla 8.2.3.b Clasificación de la agresividad química

TIPO DE MEDIO AGRESIVO	PARÁMETROS	TIPO DE EXPOSICIÓN		
		Qa	Qb	Qc
		ATAQUE DÉBIL	ATAQUE MEDIO	ATAQUE FUERTE
AGUA	VALOR DEL pH, según UNE 83.952	6,5 - 5,5	5,5 - 4,5	< 4,5
	CO <sub>2</sub> AGRESIVO (mg CO <sub>2</sub> /l), según UNE-EN 13.577	15 - 40	40 - 100	> 100
	IÓN AMONIO (mg NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> /l), según UNE 83.954	15 - 30	30 - 60	> 60
	IÓN MAGNESIO (mg Mg <sup>2+</sup> /l), según UNE 83.955	300 - 1000	1000 - 3000	> 3000
	IÓN SULFATO (mg SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> /l), según UNE 83.956	200 - 600	600 - 3000	> 3000
	RESIDUO SECO (mg/l), según UNE 83.957	75 - 150	50 - 75	< 50
SUELO	GRADO DE ACIDEZ BAUMANN-GULLY (ml/kg), según UNE 83.962	> 200	(*)	(*)
	IÓN SULFATO (mg SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> /kg de suelo seco), según UNE 83.963	2000 - 3000	3000 - 12000	> 12000

(\*) Estas condiciones no se dan en la práctica

Figura 4.2. Reproducción de la tabla 8.2.3.b de la Instrucción EHE-08 de agresividad de los suelos al hormigón.

Otro aspecto distinto es el establecimiento de umbrales para contaminantes como los cloruros que un suelo pueda contener en relación no ya al ataque directo a las armaduras para las que el citado código no aporta información.

A la hora de valorar la agresividad de un determinado suelo a los efectos de corrosión metálica ha de tenerse en cuenta principalmente la posibilidad de que se pueda encontrar con un contenido suficiente de humedad, teniendo presente que al margen de su estado natural, puedan producirse filtraciones desde las instalaciones del propio edificio. Por otra parte y a pesar de la existencia de otros factores que pueden influir en la agresividad del suelo es preciso al menos, en la práctica, tener información sobre el contenido de sulfatos y de ión cloruro.

### 4.3 Los ambientes exteriores

Lógicamente la estabilidad electroquímica de los elementos metálicos de los edificios ubicados en el exterior está estrechamente condicionada por las condiciones climáticas y ambientales de la zona de ubicación. Los efectos de caída directa de agua, efectos de condensación, existencia de contaminante etc. Conforma un escenario con mayor o menor potencial dañino para nuestros metales pero que ha de admitirse ya de partida que siempre va a colaborar en el inicio i mantenimiento de los procesos de corrosión otra cosa distinta y decisiva en la velocidad a los que estos se produzcan.

En general, en el ámbito de la corrosión metálica, suelen establecerse los tres tipos de ambientes que se describen a continuación: rural, marino e industrial.

#### 4.3.1 El ambiente rural

El denominado ambiente rural se correspondería con ambientes exentos de contaminación en proporciones apreciables y fuera de la influencia marina asimilándose a aires puros con la única variable, a efectos de corrosión metálica de la humedad que puedan contener y la temperatura, complementándose el panorama con lluvias habituales exentas de impureza dignas de tener en cuenta.



*Figura 4.3.1. El ambiente rural, con escasa presencia de contaminantes, deja, como único factor ambiental de corrosión, la mayor o menor presencia de humedad.*

Este tipo de ambientes es para la inmensa mayoría de los metales el de menor agresividad y en el que en numerosas ocasiones la estabilidad de metales o recubrimientos metálicos como el galvanizado sin otra protección es muy buena.

#### 4.3.2 El ambiente urbano

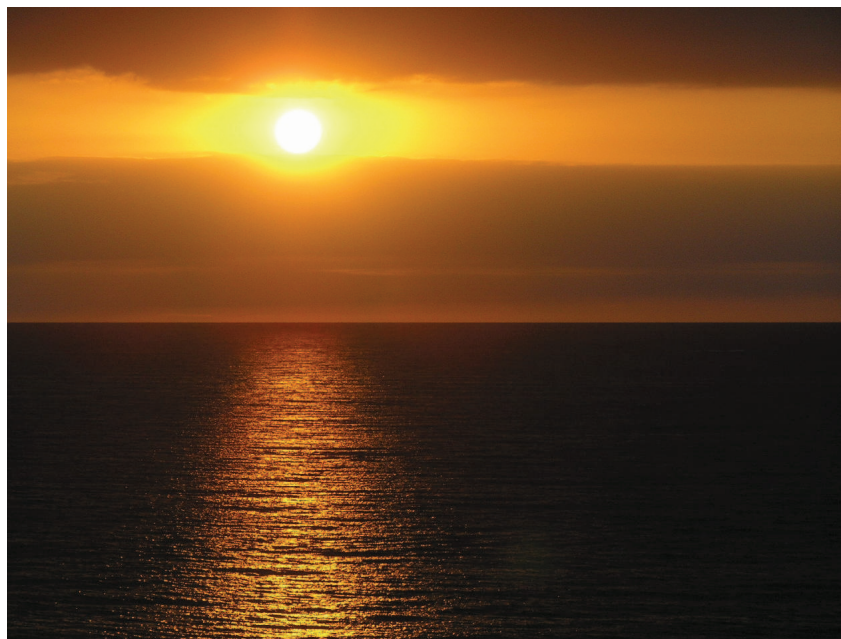
En el entorno de las ciudades de cierta entidad y habida cuenta de las emisiones de la concentración de tráfico y algunas instalaciones que queman combustibles fósiles, se puede considerar un ambiente más agresivo en especial por el carácter ácido que en general suponen estas emanaciones y que es corrosivo para la mayoría de los metales utilizados en los edificios. Es evidente la variabilidad de las concentraciones de agentes



agresivos en función de muchos parámetros y en especial la ubicación del edificio respecto a las vías de mayor tráfico.

#### **4.3.3 El ambiente marino**

Se trata de ambientes en donde su proximidad al mar hace que puedan ser invadidos principalmente por cloruros de procedencia marina que habitualmente viajan disueltos en la neblina marina (no son, en realidad agentes gaseosos). Esto hace que sea complicado de fijar distancias costa adentro, dentro de la cual pueda considerarse que el ambiente va a ser agresivo. La capacidad de nebulización del mar en su choque con la costa y la acción de las corrientes del viento hacen que este efecto pueda adentrarse mucha distancia o llegar hasta determinada altura. Siempre la mejor forma de evaluar si realmente la acción del mar es importante, en un lugar determinado, es observar sus efectos sobre, elementos a la intemperie como farolas, barandillas etc.



*Figura 4.3.3. El mar supone una fuente inagotable de cloruros. Los iones, con diferencia, más dañinos en el ámbito de la corrosión metálica.*

Los ambiente marinos pueden ser especialmente agresivos para muchos de los metales utilizados en la construcción es especial los elementos de acero.

#### **4.3.4 El ambiente industrial**

La existencia de contaminantes en al aire, normalmente compuestos de azufre, cloro etc., en cantidades apreciables distinguen los denominados ambientes industriales



que habitualmente se dan en las cercanías de complejos o factorías que emiten este tipo de productos a la atmósfera. En ocasiones no es una condición indispensable esa cercanía porque, al igual que se comentaba para el ambiente marino, los vientos pueden acarrear las nubes de productos contaminantes a mucha distancia. En ocasiones se han señalado los efectos que tuvieron las emisiones de contaminantes desde las islas Británicas sobre Escandinavia en los tiempos de la floreciente revolución industrial.

Al contrario que en el ambiente marino, donde el ión cloruro es el agente preocupante, en los ambientes industriales los contaminantes pueden ser múltiples dependiendo, lógicamente del tipo de industria que los emite. Si que, en general se trata de elementos en los que puede predominar de entrada, un carácter ácido que en muchas ocasiones supone ya un factor de riesgo para el metal.

De alguna manera el ambiente del centro de numerosas ciudades, con los matices pertinentes podría considerarse como ambiente industrial.

#### **4.4 Los ambiente interiores**

En general podemos admitir que los procesos de deterioro de los elementos metálicos ubicados en el interior del edificio van a estar condicionados por la humedad que reine en los locales en donde se encuentren y por las condiciones de contacto o conexión con otros materiales en el caso de elementos empotrados.

##### Elementos situados “al aire”

Como regla general podemos acordar que, salvo en casos muy particulares, el ambiente que predomina en el interior de los edificios es relativamente bonancible para los elementos metálicos en especial cuando se producen con frecuencia operaciones de limpieza. En estos casos los procesos de corrosión siempre de carácter muy superficial quedan reducidos al cambio de aspecto de la superficie metálica que en los casos en que no es “deseado”<sup>1</sup> basta con dotarlos protecciones más o menos convencionales (capas de pintura, anodizado, galvanizado, etc.)

##### Elementos situados en cámaras

Las cámaras sobre falsos techos o bajo forjados sanitarios constituyen con frecuencia, lugares para el alojamiento de conductos metálicos de instalaciones. La diferencia con la situación comentada con anterioridad se concreta en que son espacios que permanecen cerrados durante mucho tiempo, y prácticamente siempre cuando se trata de cámaras bajo forjados sanitarios.

---

<sup>1</sup> En ocasiones se busca el efecto estético de los productos de corrosión.

En esta situación, y dependiendo de la humedad y los cambios de temperatura, es muy probable la aparición de condensaciones que pueden suponer un peligro para la estabilidad electroquímica de los metales utilizados, con el agravante de que de no establecer revisiones periódicas el daño puede progresar indefinidamente hasta el fallo del sistema.



*Figura 4.3. Aspecto del agua condensada sobre la cara inferior de las viguetas.*

De la misma manera los elementos de hormigón armado como la cara inferior de viguetas sin recubrimientos adicionales, que con tanta profusión se dan en cámaras sanitarias pueden sufrir procesos de corrosión inadvertidos

#### Elementos empotrados

Sin duda el empotramiento de elementos metálicos como conducciones metálicas de instalaciones supone un importante riesgo para la corrosión de los mismos y la historia de la particular “patología” de la edificación relativamente moderna está plagada de casos de deterioro por corrosión de tuberías del denominado acero negro, de acero galvanizado e incluso de cobre.

Dada la variedad de circunstancias que se pueden dar en las zonas en que se empotran estos elementos no se pueden definir concretamente sus circunstancias ambientales pero puede ser genéricamente presididas por elevados contenidos de humedad contacto con yesos o materiales de relleno contaminados y en algunos casos elementos que, colocados con la intención de proteger, se convierten en factores de riesgo añadidos para la corrosión.

En un tiempo se popularizó, por ejemplo, la envoltura de tubos de fontanería con papel de sacos de cemento, producto higroscópico que favorecía la persistencia de humedad sobre la superficie metálica con perniciosos efecto. Otra solución, de claro menor riesgo, pero no por ello menos discutible es la protección con “tubo traqueal” de plástico (utilizado para conducciones eléctricas). Supone asimismo una barrera que confina la humedad y la concentra en las pequeñas zonas de contacto con el tubo metálico donde se pueden producir fenómenos muy localizados de corrosión.

La escasa buena práctica aplicada en muchas ocasiones a estas instalaciones y sus efectos ha favorecido el progreso de las conducciones de plástico para la fontanería a pesar de algunas de sus limitaciones.

#### **4.5 La clasificación de ambientes en la normativa española**

Tradicionalmente no ha existido una clasificación de ambientes en los edificios en la normativa española con excepción de las establecidas por las sucesivas ediciones de la Instrucción EH ahora EHE. En la actualidad el Código Técnico de la Edificación en su Documento Básico “SE-F Fábrica” clasifica de forma similar el ambiente, en este caso con criterios aplicables a las fábricas de ladrillos o bloques de hormigón.

En la Instrucción del Hormigón Estructural, EHE, el ambiente se compone por una serie de clases de exposición. La principal y de obligada especificación, es la denominada clase general de exposición que precisamente tiene como preocupación por la corrosión de las armaduras.

Esta tabla, que se reproduce a continuación, contempla básicamente tres clases de exposición:

- No agresiva de consideración para el ambiente interior de los edificios sin que aparezcan factores que puedan incidir en un incremento sustancial del riesgo de corrosión.
- La denominada clase normal para situaciones en donde la humedad en cantidad suficiente y combinada con los procesos de carbonatación puede suponer un riesgo medio de corrosión
- La clase marina en donde los cloruros se convierten en el factor de riesgo de mayor importancia.

Clase general				Descripción	Ejemplos
Clase	Subclase	Designación	Tipo de proceso		
No agresiva		I	Ninguno	- interiores de edificios no sometidos a condensaciones	elementos estructurales de edificios, incluido los forjados, que estén protegidos de la intemperie
Normal	Humedad alta	IIa	Corrosión de origen diferente de los cloruros	- interiores sometidos a humedades medias altas (>65%) o a condensaciones. - exteriores en ausencia de cloruros, y expuestos a lluvia en zonas con precipitación media anual superior a 600 mm - elementos enterrados o sumergidos	- elementos estructurales en sótanos no ventilados - cimentaciones - estribos, pilas y tableros de puentes en zonas, sin impermeabilizar con precipitación media anual superior a 600 mm - Tableros de puentes impermeabilizados, en zonas con sales de deshielo y precipitación media anual superior a 600 mm - elementos de hormigón, que se encuentren a la intemperie o en las cubiertas de edificios en zonas con precipitación media anual superior a 600mm - Forjados en cámara sanitaria, o en interiores en cocinas y baños, o en cubierta no protegida
	Humedad media	IIb		- exteriores en ausencia de cloruros, sometidos a la acción del agua de lluvia, en zonas con precipitación media anual inferior a 600 mm	- elementos estructurales en construcciones exteriores protegidas de la lluvia - tableros y pilas de puentes, en zonas de precipitación media anual inferior a 600 mm
Marina	Aérea	IIIa	Corrosión por cloruros	- elementos de estructuras marinas, por encima del nivel de pleamar - elementos exteriores de estructuras situadas en las proximidades de la línea costera (a menos de 5 km)	- elementos estructurales de edificaciones en las proximidades de la costa - puentes en las proximidades de la costa - zonas aéreas de diques, pantalanés y otras obras de defensa litoral - instalaciones portuarias
	Sumergida	IIIb		- elementos de estructuras marinas sumergidas permanentemente, por debajo del nivel mínimo de bajamar	- zonas sumergidas de diques, pantalanés y otras obras de defensa litoral - cimentaciones y zonas sumergidas de pilas de puentes en el mar
	En zona de carrera de mareas y en zonas de salpicaduras	IIIc		- elementos de estructuras marinas situadas en la zona de salpicaduras o en zona de carrera de mareas	- zonas situadas en el recorrido de marea de diques, pantalanés y otras obras de defensa litoral - zonas de pilas de puentes sobre el mar, situadas en el recorrido de marea
Con cloruros de origen diferente del medio marino		IV		- instalaciones no impermeabilizadas en contacto con agua que presente un contenido elevado de cloruros, no relacionados con el ambiente marino - superficies expuestas a sales de deshielo no impermeabilizadas.	- piscinas e interiores de los edificios que las albergan. - pilas de pasos superiores o pasarelas en zonas de nieve - estaciones de tratamiento de agua.

Figura 4.4.a Reproducción de la tabla 8.2.2 de la Instrucción EHE-08

No hay que olvidar que esta tabla de la Instrucción está concebida para procesos de corrosión metálica, por el contrario, la que se reproduce a continuación del Código Técnico de la Edificación incluye procesos distintos como la sabulización, expansión de núcleos de cal en ladrillos y otros. Esto, por ejemplo, conduce a que los criterios para la consideración de las clases IIa y IIb sean distintos. Nótese que mientras que en la primera tabla la clase IIa se corresponde con humedad alta, en la segunda la humedad alta se corresponde con IIb.

Clase y designación			Tipo de proceso	Descripción	Ejemplos
Interior	No agresiva	I	Ninguno	Interiores de edificios no sometidos a condensaciones	Interiores de edificios, protegidos de la intemperie
	Humedad media	II a	Carbonatación del conglomerante. Principio de sabulización de los ladrillos y expansión de núcleos de cal	Exteriores sometidos a la acción del agua en zonas con precipitación media anual inferior a 600 mm.	Exteriores protegidos de la lluvia
Exterior	Humedad alta	II b	Carbonatación rápida del conglomerante. Sabulización de los ladrillos y expansión de los núcleos de cal.	Interiores con humedades relativas >65% o condensaciones, o con precipitación media anual superior a 600 mm.	Exteriores no protegidos de la lluvia. Sótanos no ventilados. Cimentaciones.
	Marino aéreo	III a	Corrosión de las armaduras por cloruros. Sabulización de los ladrillos y expansión de núcleos de cal.	Proximidad al mar por encima del nivel de pleamar. Zonas costeras	Proximidad a la costa. Pantalanes, obras de defensa litoral e instalaciones portuarias.
Medio marino	Marino sumergido	III b	Corrosión de las armaduras por cloruros. Sulfatación y destrucción por expansividad del conglomerante y de los derivados del cemento. Sabulización de los ladrillos y expansión de los núcleos de cal.	Por debajo del nivel mínimo de bajamar permanentemente. Terrenos ricos en sulfatos.	Recorrido de marea en diques, pantalanes y obras de defensa litoral.
	Marino alternado	III c	Corrosión rápida de las armaduras por cloruros. Sulfatación y destrucción por expansividad del conglomerante y de los derivados del cemento.	Zonas marinas situadas en el recorrido de carrera de mareas.	Idem III b.
Otros cloruros (no marinos)		IV	Idem que III c. Sulfatación y carbonatación.	Agua con un contenido elevado de cloro. Exposición a sales procedentes del deshielo	Piscinas. Zonas de nieve (alta montaña). Estaciones de tratamiento de aguas

Figura 4.4.b Tabla del Documento Básico “SE-F Fábrica” del Código Técnico de la Edificación.

## Capítulo 5

# La corrosión en elementos de hormigón armado

### Introducción

Las estructuras de hormigón armado convencionales están formadas por barras de acero al carbono envueltas en hormigón. Esta envoltura supone en primer lugar una barrera física de protección al separar el acero del medio exterior y su posible influencia en los procesos de corrosión. Aparte, supone de la misma manera una protección de tipo químico habida cuenta de la basicidad resultante de la hidratación de la pasta de cemento que participa como componente fundamental del hormigón.



*Figura 5.1.a Capa carbonatada en un fragmento de hormigón*

El alto pH del hormigón hace que la armadura metálica se encuentre en una región de pasivación y por tanto que la formación de capas protectoras de óxido impide la corrosión del metal salvo que se produzca la despasivación por efecto de la acción local de agentes como los cloruros o se pierda en el tiempo este alto pH como consecuencia de la denominada carbonatación<sup>1</sup>.

Desde unas balbuceantes indicaciones referentes a la consideración de los fenómenos de corrosión de las armaduras (véase EH 73 comentarios al apartado 22.3) se ha pasado a una normativa realmente preocupada y precisa para tratar de abordar una protección eficaz de las barras de acero durante su vida útil.

---

<sup>1</sup> Proceso de neutralización por la acción ácida de componentes presentes en la atmósfera (CO<sub>2</sub>, SO<sub>3</sub>, etc.)



## Los posibles procesos de corrosión

Se admiten actualmente dos tipos de procesos de corrosión en las estructuras de hormigón armado:

- La corrosión generalizada superficial de las barras de acero en las que el metal queda corroído de manera genérica sin incidencias puntuales en una determinada zona. Corrosión propia de las situaciones en que una vez carbonatado el hormigón de recubrimiento y por tanto perdida la situación de pasividad, la corrosión progresa sobre la superficie de la armadura de manera más o menos uniforme. Para que estos procesos tengan lugar ha de contarse con el concurso de agua que permita el funcionamiento de pilas de aireación diferencial. El comportamiento, en general puede ser asimilado al de una barra de acero sometida a la intemperie en un ambiente sin contaminación. Los propios productos de corrosión que se generen (óxidos, hidróxidos, etc.) entorpecerán el progreso de la corrosión y esto hace que la velocidad de corrosión disminuya con el tiempo. Se trata, generalmente de fenómenos lentos en el tiempo ligados como se advertía al la existencia de agua y también a la posibilidad de abastecimiento de oxígeno.
- La corrosión por picaduras o corrosión localizada propia de la existencia de iones despasivantes, cloruros generalmente. En estos casos no es una condición necesaria la carbonatación del hormigón ya que los iones cloruro, por ejemplo, pueden romper las capas de pasivación. La corrosión del metal se reparte puntualmente y progresa en profundidad llegando a seccionar las barras. En la práctica totalidad de los casos estos procesos responden a la existencia de iones cloruro en el hormigón de recubrimiento en cantidad suficiente. Una concentración de 500 partes por millón e implica un riesgo de activación de corrosión por picaduras.
- Corrosión figurante o corrosión bajo tensión de rara ocurrencia y restringida al empleo de armaduras tesas.

## Los escenarios propensos para el desarrollo de los procesos de corrosión

Los procesos de corrosión de las armaduras en estructuras de hormigón se dan con mayor frecuencia en los siguientes puntos:

- Elementos de hormigón en el exterior, al alcance de la humedad (agua de lluvia, por ejemplo) con protección escasa o elevadas edades que cursan con procesos previos de carbonatación. El resultado es corrosión generalizada.
- Elementos de hormigón, con escaso recubrimiento de las armaduras y ubicados en espacios con elevada humedad como cámaras sanitarias sin ventilación. En estos casos es posible que la carbonatación sea lenta habida cuenta de la elevada humedad y por esto la incidencia en elementos como viguetas de hormigón con la zapatilla desnuda donde el recubrimiento suele ser de poco grosor. La peor situación es estos casos en las oscilaciones fuertes de humedad que permitan la carbonatación del hormigón.



*Figura n° 5.1.b Aspecto de una cámara sanitaria totalmente humedecida. La madera abandonada está en estado de pudrición.*

- Los arranques de soportes en contacto con terrenos húmedos y especialmente cuando presentan contaminación por cloruros, producto en ocasiones de filtraciones de los sistemas de instalaciones. El agua contaminada asciende por capilaridad hasta el frente de evaporación donde, al producirse este fenómeno, se conforma una mayor concentración de contaminantes y progresan los procesos de corrosión habitualmente con formación de picaduras.
- Elementos de hormigón sujetos a filtraciones de agua habitualmente provenientes de instalaciones de fontanería o saneamiento

En las páginas siguientes se relacionan una serie de ejemplos reales de corrosión de armaduras en donde se anotan algunas indicaciones respecto a:

- Factores de riesgo.- Aspectos que pueden incidir en la aparición o el desarrollo de los fenómenos.
- Síntomas y evolución de los daños.- Aspectos relativos a las señales de deterioro y el posible progreso de los daños y su morfología.
- Ayuda al diagnóstico.- Apuntes orientativos para actuar y confirmar o descartar las causas del deterioro y su profundidad. No obstante en el capítulo 8 se desarrollan resumidamente las técnicas frecuentes en este campo.



## Corrosión en estructuras de hormigón armado

Elementos estructurales expuestos a la intemperie o con escasa protección



*Ejemplo de referencia: Losa en cubierta y ménsulas de hormigón armado*

### Comentario

Efectos observados principalmente en edificios con algunas décadas de servicio, contruidos con hormigones de reducidas prestaciones: resistencias que en muchas ocasiones no rebasan los 10 Mpa y porosidades elevadas que permiten con facilidad su empapamiento y cierta persistencia de la humedad en contacto con las armaduras.

De la misma manera la carbonatación de estos hormigones se produce con cierta rapidez y es fácil encontrar profundidades del frente carbonatado del orden de seis o más centímetros lo que rebasa la posición de las armaduras y acaba con el estado de pasivación inherente al acero en el medio alcalino que proporciona el hormigón no carbonatado.

Estos problemas se dan en todo tipo de ambientes incluso rurales habida cuenta que para su desarrollo únicamente precisan la humedad que proporciona la lluvia y el CO<sub>2</sub> del aire. La exposición en lugares accesibles a estos agentes en el edificio completa el escenario para el desarrollo de procesos de corrosión metálica.

## Los factores de riesgo

- Carbonatación del hormigón derivada de la acción del CO<sub>2</sub> del aire incrementada, en su caso, en ambientes urbanos e industriales, por cualquier otro agente de carácter ácido.
- Humectación periódica por la lluvia y en su caso por condensaciones.
- Desde el punto de vista del diseño son inadecuadas las disposiciones constructivas que permiten la humectación mediante las escorrentías de las aguas, la ausencia de goterones etc.
- El empleo de hormigones de recubrimiento de poca compacidad: alta relación agua/cemento lo que implica baja resistencia y porosidad elevada.
- Hormigones con escaso contenido de cemento que brinden escasa alcalinidad
- Empleo de recubrimientos escasos y defectos derivados de compactaciones inadecuadas

## Los síntomas y la evolución de los daños

- Si el ambiente es lo suficientemente húmedo, de manera que el hormigón permanezca empapado durante algún tiempo, los productos de corrosión pueden viajar hasta la superficie donde precipitan creando manchas pardas o rojizas.
- La expansión de los productos de corrosión presionan al hormigón de recubrimiento hasta fisurarlo. Aparecen fisuras marcando armaduras preferentemente en las esquinas de vigas o soportes
- La presión de los productos de corrosión se incrementa hasta desprender el hormigón de recubrimiento. Con preferencia en las esquinas.
- Todo el proceso de corrosión supone una pérdida de sección de las armaduras que puede incrementarse cuando las armaduras quedan sin protección alguna.
- La pérdida de sección se incrementa hasta la rotura de las armaduras de menor sección como son los estribos.
- 

## Ayuda para el diagnóstico

- Realizar un mapa general de deterioro en donde figuren los elementos deteriorados y su grado de deterioro estableciendo una escala, por ejemplo: manchas, fisuras desprendimientos, armaduras partidas etc.
- Determinar el espesor de recubrimiento de las armaduras
- Determinación la profundidad de carbonatación o al menos si el hormigón que está en contacto con las armaduras está carbonatado.
- Descartar la existencia, en concentraciones relevantes, de iones despasivantes determinando la concentración de ión cloruro y en su caso sulfatos.
- Evaluar el estado de las armaduras y la pérdida de sección en su caso.

## Corrosión en estructuras de hormigón armado

### Elementos estructurales en cámaras no ventiladas



*Ejemplos de referencia: Viguetas componentes de forjados sanitarios. En la derecha con la marca de la sopanda olvidada donde se ha producido corrosión.*

### Comentario

La construcción de los forjados denominados sanitarios provoca, en numerosas ocasiones la ubicación de elementos de hormigón armado en ambientes poco o nada ventilados con humedades relativamente altas, procedentes del terreno cercano, que estacionalmente pueden llegar a la saturación.

Paralelamente en la mayoría de las ocasiones el fondo de estos forjados queda sin recubrimientos protectores e incluso, cuando el forjado ha requerido de un sopandado, éste se deja perdido.

La humedad, que en determinados climas puede oscilar radicalmente desde el seco periodo estival hasta la saturación en inviernos lluviosos o con las humedades de los riegos propias en terrenos de huerta, junto con procesos de carbonatación que pueden avanzar con relativa rapidez habida cuenta de los escasos recubrimientos de hormigón resultantes en estos elementos, pueden desencadenar procesos de corrosión de las armaduras.

El problema añadido en estos casos es que los daños pueden progresar sin ser advertidos dada la situación de estos elementos salvo que se realicen inspecciones a conciencia.

## Los factores de riesgo

- Carbonatación del hormigón derivada de la acción del CO<sub>2</sub> del aire o cualquier otro agente ácido.
- Humectación periódica, habitualmente producida por condensaciones en etapas en que el suelo se humedece.
- Disposiciones constructivas sin la protección necesaria en relación al medio húmedo que habitualmente presentan estas cámaras. Ausencia de sistemas de aireación.
- Elementos prefabricados o no, con hormigones de escasas prestaciones y especialmente empleo de recubrimientos exiguos.
- Descuidos de sopandas u otros elementos higroscópicos en contacto con los forjados de hormigón
- Descuido en el tiempo de realizar algún tipo de inspección a estos elementos que aunque de difícil acceso no están ocultos.
- 

## Los síntomas y la evolución de los daños

- Si el ambiente es lo suficientemente húmedo, de manera que el hormigón permanezca empapado durante algún tiempo, los productos de corrosión pueden viajar hasta la superficie donde precipitan creando manchas pardas o rojizas.
- La expansión de los productos de corrosión presionan al hormigón de recubrimiento hasta fisurarlo. Aparecen fisuras marcando armaduras preferentemente en las esquinas de vigas o soportes
- La presión de los productos de corrosión se incrementa hasta desprender el hormigón de recubrimiento. Con preferencia en las esquinas.
- Todo el proceso de corrosión supone una pérdida de sección de las armaduras que puede incrementarse cuando las armaduras quedan sin protección alguna.
- La pérdida de sección se incrementa hasta la rotura de las armaduras de menor sección como son los estribos.

## Ayuda para el diagnóstico

- Realizar un mapa general de deterioro en donde figuren los elementos deteriorados y su grado de deterioro estableciendo una escala, por ejemplo: manchas, fisuras desprendimientos, armaduras partidas etc.
- Determinar el espesor de recubrimiento de las armaduras.
- Comprobar la humedad relativa del aire y el estado de humedad del hormigón
- Determinación si el hormigón que está en contacto con las armaduras está carbonatado.
- Descartar la existencia, en concentraciones relevantes, de iones despasivantes determinando la concentración de ión cloruro y en su caso sulfatos en el hormigón próximo a las armaduras.
- Evaluar el estado de las armaduras y la pérdida de sección en su caso.

## Corrosión en estructuras de hormigón armado

### Elementos estructurales en contacto con suelos contaminados



*Ejemplo de referencia: Base de un soporte de hormigón armado en contacto con el suelo*

### Comentario

En ocasiones los elementos de hormigón armado se posicionan de modo que pueden ser objeto del paso de humedad por capilaridad desde el suelo. Muchas veces esta humedad procede de suelos contaminados por pérdidas de agua desde el alcantarillado u otras fuentes que contienen iones despasivantes en especial cloruros.

La ascensión de humedad se produce por el fuste de los soportes hasta el frente de evaporación. El abandono del agua en forma de vapor ocasiona la concentración de iones que quedan en la red de poros del hormigón. En parte esto explica que los mayores efectos de deterioro se produzcan a cierta altura y no precisamente en las zonas más próximas al suelo.

Estos iones se muestran disponibles para contribuir a la corrosión de las armaduras para lo que no precisan más que humedad dado que, aunque el hormigón no esté carbonatado, son capaces de romper las capas de óxido pasivante y provocar picaduras.



## Los factores de riesgo

- Existencia de suelos contaminados y húmedos en muchas ocasiones por pérdidas de alcantarillado.
- Contacto directo del hormigón con suelos que permitan ascensión capilar de agua contaminada.
- Empleo de hormigones de poca compacidad: alta relación agua/cemento lo que implica baja resistencia y porosidad elevada.
- Empleo de tipos de cemento no resistentes a agentes agresivos como los sulfatos
- Defectos derivados de compactaciones inadecuadas
- Descuido en el tiempo de realizar algún tipo de inspección y actuación sobre estos elementos cuando aparecen los primeros síntomas.

## Los síntomas y la evolución de los daños

- Dado que el hormigón permanece empapado durante tiempo, lo habitual es que los productos de corrosión puedan viajar hasta la superficie donde precipitan creando manchas.
- La expansión de los productos de corrosión presionan al hormigón de recubrimiento hasta fisurarlo. Aparecen fisuras marcando armaduras preferentemente en las esquinas.
- La presión de los productos de corrosión se incrementa hasta desprender el hormigón de recubrimiento. Con preferencia en las esquinas. La superficie metálica se puede presentar afectada por picaduras.
- Todo el proceso de corrosión supone una pérdida de sección de las armaduras que puede incrementarse cuando las armaduras quedan sin protección alguna.
- La pérdida de sección se incrementa hasta la rotura de las armaduras de menor sección como son los estribos.
- En muchas ocasiones estos procesos de corrosión van acompañados o incluso pueden ser consecuencia de ataques al propio hormigón por sulfatos.

## Ayuda para el diagnóstico

- Realizar un mapa general de deterioro en donde figuren los elementos deteriorados y su grado de deterioro estableciendo una escala, por ejemplo: manchas, fisuras desprendimientos, armaduras partidas etc.
- Evaluar la presencia de humedad en especial el empapamiento del hormigón.
- Determinar la concentración de ión cloruro y sulfato en el hormigón.
- Observar la morfología de ataque no solo al acero sino también observar si existen ataques al hormigón. (este ataque se distingue porque se aprecian los áridos “lavados” y la pasta desprendida en la superficie).
- Evaluar el estado de las armaduras y la pérdida de sección en su caso.

## Corrosión en estructuras de hormigón armado

### Elementos estructurales expuestos al ambiente marino



*Ejemplo de referencia: Soportes de hormigón con armaduras corroidas en las cercanías del mar. A la izquierda el hormigón no carbonatado colorea la solución de fenolfaleína.*

### Comentario

La cercanía del mar provoca intensos procesos de corrosión del acero de las armaduras inmersas en el hormigón. La humedad ambiental contaminada en este caso por iones cloruro puede penetrar en el hormigón y llegar hasta la superficie de las armaduras. La pasivación que protege al acero por medio de óxidos estables es rota localmente y provocar numerosas picaduras, ver los efectos en la fotografía 1.9.

La humedad peligrosa en estos casos proviene de la nebulización de las aguas del mar por los vientos. De hecho, la acción corrosiva se intensifica, claramente, a baja altura y disminuye cuando esta aumenta. Los elementos resguardados del viento tampoco son atacados con la misma intensidad. Sin embargo la distancia a la costa no es un factor tan determinante dependiendo de las corrientes locales dominantes que sean capaces de arrastrar agua con sal en disolución.

Una de las características de la invasión por parte de cloruros en el hormigón es su persistencia pues no forman compuestos estables y por tanto no se consumen. Un elemento reparado puede reproducir los daños si no se han eliminado estos iones con eficacia.

## Los factores de riesgo

- Elementos al alcance de humectaciones de agua salada mediante rociados de agua de mar nebulizada en el viento o mojados directamente por esta agua.
- Disposiciones constructivas que permiten la exposición de elementos de hormigón a la intemperie sin las precauciones adecuadas de protección.
- Hormigones de poca compacidad: alta relación agua/cemento lo que implica baja resistencia y porosidad elevada.
- Hormigones constituidos por materiales contaminados: arenas de playa, agua de mar, etc.
- Empleo de recubrimientos de hormigón escasos y/o defectos derivados de compactaciones inadecuadas.
- Descuido en el tiempo de realizar algún tipo de inspección y actuación sobre estos elementos cuando aparecen los primeros síntomas.

## Los síntomas y la evolución de los daños

- Si el ambiente es lo suficientemente húmedo, de manera que el hormigón permanezca empapado durante algún tiempo, los productos de corrosión pueden viajar hasta la superficie donde precipitan creando manchas pardas o rojizas.
- La expansión de los productos de corrosión presionan al hormigón de recubrimiento hasta fisurarlo. Aparecen fisuras marcando armaduras preferentemente en las esquinas de vigas o soportes
- La presión de los productos de corrosión se incrementa hasta desprender el hormigón de recubrimiento. Con preferencia en las esquinas.
- Todo el proceso de corrosión supone una pérdida de sección de las armaduras que puede incrementarse cuando las armaduras quedan sin protección alguna.
- La pérdida de sección se incrementa hasta la rotura de las armaduras de menor sección como son los estribos.

## Ayuda para el diagnóstico

- Realizar un mapa general de deterioro en donde figuren los elementos deteriorados y su grado de deterioro estableciendo una escala, por ejemplo: manchas, fisuras desprendimientos, armaduras partidas etc.
- Evaluar la presencia de humedad o la posibilidad de acceso de vientos marinos a la superficie de los elementos.
- Comprobar la profundidad de carbonatación del hormigón. (Es muy posible que el hormigón no esté carbonatado lo que apuntará a la presencia de cloruros).
- Determinar la concentración de ión cloruro al menos en el hormigón en contacto con las armaduras. En ocasiones merece la pena realizar determinaciones a distintas profundidades en especial con vistas al saneamiento previo a la reparación.
- Observar la morfología de ataque.
- Evaluar el estado de las armaduras y la pérdida de sección en su caso.



## Corrosión en estructuras de hormigón armado

### Filtraciones sobre elementos estructurales



*Ejemplos de referencia: Viguetas componente de un forjado donde se ha producido una filtración de agua.*

### Comentario

Con cierta frecuencia se producen filtraciones de agua especialmente desde las instalaciones que conducen a zonas puntuales húmedas. Estas filtraciones pueden afectar a elementos estructurales de hormigón armado e iniciar procesos de corrosión de sus armaduras.

Es de capital importancia en este caso la calidad del agua filtrada en cuanto a los elementos disueltos que pueda portar y también la persistencia en el tiempo de la humedad en el elemento concreto. Si se corresponde con roturas ocasionales, que son reparadas con cierta rapidez, el daño no puede llegar a materializarse.

En el caso de pérdidas frecuentes o prolongadas de aguas de las instalaciones de saneamiento, lo que suele ocurrir en viejos edificios con dependencias o locales abandonados, que no permiten una reacción adecuada de reparación, los daños pueden cursar con intensidad hasta la ruina de los elementos metálicos.

## Los factores de riesgo

- Carbonatación del hormigón derivada de la acción del CO<sub>2</sub> del aire.
- Humectación periódica o continua por filtraciones.
- Presencia de iones agresivos especialmente cloruros.
- Inclusión de instalaciones empotradas no registrables que permitan la difusión de líquidos en elementos estructurales y obstaculicen una identificación sencilla de las averías y una pronta reparación.
- Elementos, prefabricados o no, con hormigones de escasas prestaciones
- Defectos en el montaje de instalaciones conductoras de fluidos.
- Descuido en el tiempo de realizar algún tipo de inspección y actuación sobre estos elementos cuando aparecen los primeros síntomas.

## Los síntomas y la evolución de los daños

- Es habitual en este tipo de procesos la aparición de manchas. Los productos de corrosión pueden viajar, por el hormigón empapado, hasta la superficie donde precipitan creando manchas pardas o rojizas.
- La expansión de los productos de corrosión presionan al hormigón de recubrimiento hasta fisurarlo. Aparecen fisuras marcando armaduras.
- La presión de los productos de corrosión se incrementa hasta desprender el hormigón de recubrimiento.
- Todo el proceso de corrosión supone una pérdida de sección de las armaduras que puede incrementarse cuando las armaduras quedan sin protección alguna.
- La pérdida de sección se incrementa hasta la rotura de las armaduras.

## Ayuda para el diagnóstico

- Realizar un mapa general de deterioro en donde figuren los elementos deteriorados y su grado de deterioro estableciendo una escala, por ejemplo: manchas, fisuras desprendimientos, armaduras partidas etc.
- Evaluar la presencia de humedad en especial el empapamiento del hormigón.
- Determinar la concentración de ión cloruro y sulfato en el hormigón.
- Observar la morfología de ataque no solo al acero sino también observar si existen ataques al hormigón. (este ataque se distingue porque se aprecian los áridos “lavados” y la pasta desprendida en la superficie).
- Evaluar el estado de las armaduras y la pérdida de sección en su caso.

## Corrosión en estructuras de hormigón armado

### Bases de elementos sometidos a salpicaduras



*Ejemplos de referencia: Base de soporte ubicado al exterior*

### Comentario

Los elementos situados al exterior y especialmente las partes de los mismos próximos al suelo están sujetos a salpicaduras de agua que provocan su humectación periódica. Esta circunstancia junto con la carbonatación del hormigón de recubrimiento favorecen la formación y el funcionamiento de pilas de aireación diferencial y la consiguiente corrosión del acero despasivado.

En general los procesos suelen ser más virulentos con hormigones de resistencias bajas lo que implica una escasa compacidad y un contenido de cemento bajo. Acrecienta el riesgo de corrosión la escasa o incluso la ausencia de protección complementaria de estos elementos. El soporte de la figura, es un ejemplo del uso del “hormigón visto” sin que reúna las mínimas condiciones de compacidad. El agrietamiento del hormigón en las esquinas de las partes bajas es la consecuencia de la corrosión de sus armaduras.

## Los factores de riesgo

- Carbonatación del hormigón derivada de la acción del CO<sub>2</sub> del aire incrementada, en su caso, en ambientes urbanos e industriales.
- Humectación periódica por la lluvia.
- Disposiciones constructivas que permiten la humectación, sin dotar de protección adecuada o características que hagan posible hacer frente al ambiente agresivo.
- Hormigones de poca compacidad: alta relación agua/cemento lo que implica baja resistencia y porosidad elevada.
- Hormigones con escaso contenido de cemento que brinden escasa alcalinidad
- Recubrimientos escasos
- Defectos derivados de compactaciones inadecuadas
- Descuido en el tiempo de realizar algún tipo de inspección y actuación sobre estos elementos cuando aparecen los primeros síntomas.

## Los síntomas y la evolución de los daños

- Si el ambiente es lo suficientemente húmedo, de manera que el hormigón permanezca empapado durante algún tiempo, los productos de corrosión pueden viajar hasta la superficie donde precipitan creando manchas pardas o rojizas.
- La expansión de los productos de corrosión presionan al hormigón de recubrimiento hasta fisurarlo. Aparecen fisuras marcando armaduras preferentemente en las esquinas de vigas o soportes
- La pérdida de sección se incrementa hasta la rotura de las armaduras de menor sección como son los estribos

## Ayuda para el diagnóstico

- Realizar un mapa general de deterioro en donde figuren los elementos deteriorados y su grado de deterioro estableciendo una escala, por ejemplo: manchas, fisuras desprendimientos, armaduras partidas etc.
- Determinar el espesor de recubrimiento de las armaduras
- Determinación la profundidad de carbonatación o al menos si el hormigón que está en contacto con las armaduras está carbonatado.
- Descartar la existencia, en concentraciones relevantes, de iones despasivantes determinando la concentración de ión cloruro y en su caso sulfatos.
- Evaluar el estado de las armaduras y la pérdida de sección en su caso.





## Capítulo 6

# La corrosión en elementos de estructuras metálicas

### 6.1 Introducción

Las estructuras de acero están formadas por un conjunto de perfiles preformados de acero al carbono unidos entre sí o apoyados en elementos estructurales de otro tipo. En ocasiones estos perfiles se combinan con hormigón armado formando lo que se denomina como estructuras mixtas.

Las uniones entre perfiles pueden ser de distintos tipos. En la actualidad predomina la soldadura como modo de unión. En el futuro lo más probable es que el atornillado gane terreno.



*Fotografía 6.1. Nudo de estructura metálica con protección mediante pintura*

Estas estructuras quedan recubiertas, en una primera instancia, por sistemas de pintura que al menos incluye imprimaciones antioxidantes, completado, cuando quedan vistas, por esmaltes u otras capas de acabado. En otras muchas ocasiones los elementos estructurales quedan embebidos o en contacto con otros materiales como morteros hormigones, etc.

Como en cualquier otra forma de utilización, los elementos de acero al carbono usados en las estructuras metálicas de los edificios están sujetos a procesos de deterioro por corrosión en cuanto se den las condiciones para ello: humedad prolongada sobre la superficie metálica procedente de cualquier fuente, con o sin contaminantes, que contribuyan al desarrollo de pilas de concentración.

## 6.2 Los posibles procesos de corrosión

El acero de los perfiles metálicos de las estructuras de acero laminado puede sufrir el deterioro por corrosión tomando las siguientes formas:

- La corrosión generalizada superficial de los perfiles de acero sin incidencias puntuales en una determinada zona. Se trata en general de zonas expuestas a humedad exenta, o con escasas dosis, de contaminantes y ligadas a fenómenos de condensación o exposiciones a la intemperie en medio rural.
- Corrosión en resquicios, fundamentalmente cuando dos caras de perfiles quedan solapadas y crean una fina zona intermedia susceptible de alojar humedad y, a su vez, dificultar el acceso del aire, es decir, del oxígeno, favoreciendo claramente la aireación diferencial.
- La corrosión por picaduras con el concurso de iones, cloruros o sulfatos. Estas situaciones son propias de elementos estructurales ubicados a la intemperie en ambientes marinos o industriales o aquellos elementos recubiertos de otros materiales de construcción empapados en humedad normalmente proveniente de filtraciones de instalaciones o de agua de lluvia contaminada con yeso u otros elementos agresivos. Téngase en cuenta que la existencia de iones cloruros o sulfatos en contacto con el metal deriva habitualmente en la formación de pequeñas cantidades de ácido clorhídrico o sulfúrico, según sea el caso. Ácidos de reconocido carácter agresivo para el acero.

Si bien es cierto que, en general, este tipo de estructuras se recubren habitualmente de protecciones de pinturas que tratan y en muchos casos dificultan el deterioro por corrosión de la base metálica también es cierto que estas protecciones no son suficientes para garantizar una prolongada situación de agresividad del medio. Puede tenerse como ejemplo cercano las dificultades que implica mantener libres de corrosión los elementos de acero en ambiente marino donde las operaciones de mantenimiento se pueden llegar a hacer agobiantes si se pretende mantener su buen aspecto.

## 6.3 Los escenarios propensos para el desarrollo de los procesos de corrosión

En el caso de las estructuras metálicas los escenarios donde con mayor frecuencia aparecen procesos de corrosión son:

- Estructuras o elementos estructurales expuestos a la intemperie con protección inadecuada o donde las labores de mantenimiento no se adecuan en frecuencia e intensidad a las condiciones ambientales reinantes. Los efectos de la corrosión, lógicamente, se incrementan con la agresividad de ambiente.



- Elementos estructurales ubicados en fachadas envueltos en materiales que no constituyen un obstáculo suficiente a la penetración de humedad y contaminantes en medios agresivos como el marino.
- Perfiles estructurales ubicados en espacios húmedos, habitualmente poco o escasamente visitados y aireados como cámaras sanitarias.
- Elementos constructivos metálicos sujetos circunstancialmente a filtraciones de humedad desde cubiertas o fachadas y los casos de mayor intensidad a fugas de las instalaciones de desagüe habida cuenta de la contaminación en iones agresivos.



*Fotografía 6.3 Filtraciones constantes de agua y corrosión intensa de los elementos metálicos de una estructura*

## Corrosión en estructuras metálicas

### Elementos estructurales envueltos en morteros



*Ejemplo de referencia: Vigas pertenecientes a un antiguo edificio envueltas en su momento por morteros*

### Comentario

Especialmente en edificios antiguos se pueden encontrar elementos metálicos envueltos por morteros de distinta naturaleza. El paso del tiempo ha conducido a la neutralización de los morteros de cal o cemento (carbonatación). Por otra parte la aportación de humedad procedente del propio ambiente, condensaciones o algún tipo de filtraciones y mantenida en el entorno metálico por la propia naturaleza higroscópica de estos morteros propicia el funcionamiento de pilas de concentración que provoca la corrosión superficial.

La velocidad de corrosión depende de diversos factores en especial el grado de humedad y la existencia de iones despasivantes. Las vigas de la fotografía, por ejemplo, pertenecen a un edificio de, prácticamente, un siglo de existencia y su estado cabe calificarlo de relativamente aceptable. No siempre es así.

## Los factores de riesgo

- Carbonatación de los morteros de cal y cemento derivada de la acción del CO<sub>2</sub> del aire.
- Humectación propia de grandes macizos de obra en edificios antiguos.
- Envoltura de elementos estructurales metálicos en materiales de construcción convencionales en muchas ocasiones sin ningún recubrimiento de protección
- Empleo de materiales higroscópicos capaces de absorber y mantener humedad junto a la superficie metálica.
- Deficiencia de acciones inspectoras

## Los síntomas y la evolución de los daños

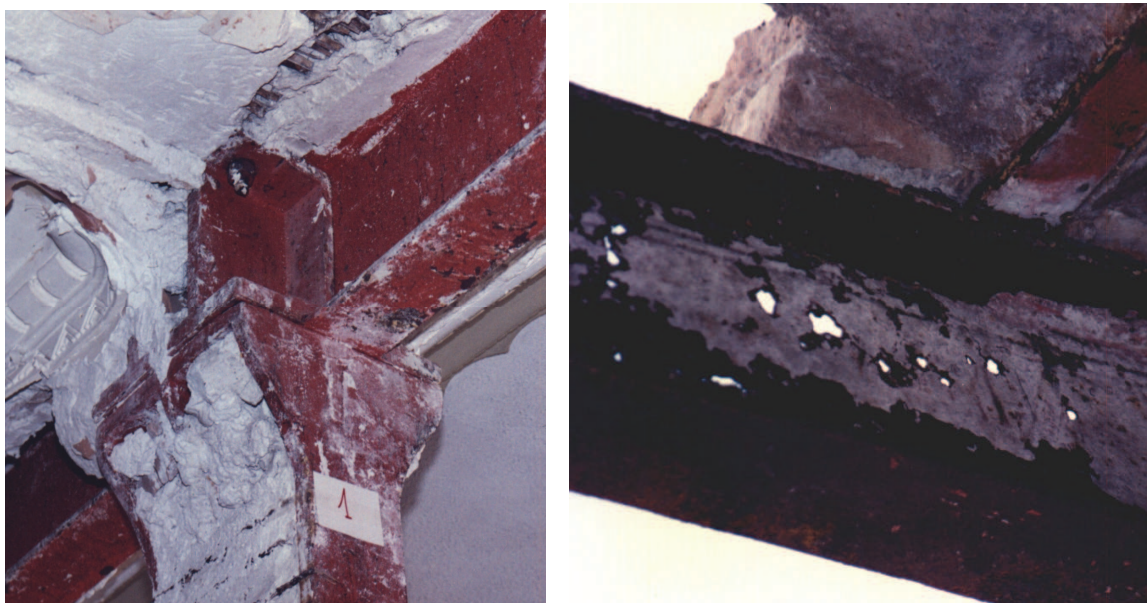
- No es habitual, en este tipo de procesos, la aparición de manchas habida cuenta de los elevados espesores de recubrimientos empleados. Solo en el caso de filtraciones de agua los productos de corrosión pueden viajar hasta la superficie donde precipitan creando manchas pardas o rojizas.
- Pueden aparecer fisuras en procesos de corrosión muy avanzados.
- Pueden aparecer desprendimientos de los recubrimientos en procesos de corrosión muy avanzados.
- Todo el proceso de corrosión supone una pérdida de sección de los elementos metálicos.
- La pérdida de sección se incrementa hasta la perforación generalmente de las almas de los perfiles en primer lugar (ver ficha siguiente).

## Ayuda para el diagnóstico

- Si es posible y razonable y para disponer de una idea de conjunto, realizar un mapa general de deterioro en donde figuren los elementos deteriorados y su grado de deterioro.
- Estudiar el estado de la superficie metálica comprobando la morfología del ataque.
- Comprobar la naturaleza de los materiales que están en contacto con el acero.
- Comprobar si el hormigón o los morteros que están en contacto con el metal está carbonatado.
- Descartar la existencia, en concentraciones relevantes, de iones despasivantes determinando la concentración de ión cloruro y en su caso sulfatos.
- Evaluar la pérdida de sección en su caso.

## Corrosión en estructuras metálicas

### Elementos estructurales envueltos en yeso o morteros de yeso



*Ejemplos de referencia: Elementos estructurales de acero pertenecientes al mismo edificio y recubiertos de yeso.*

### Comentario

Aunque la incompatibilidad entre el acero y el yeso es conocida de antiguo en más ocasiones de las esperadas se encuentran estructuras, de cierta antigüedad, conformadas con acero y curiosamente envueltas por yeso o morteros de yeso.

La aportación de iones sulfato al proceso de corrosión resulta nefasta para el metal al producirse porciones de ácido sulfúrico derivadas de procesos similares al de la producción de clorhídrico a partir de cloruros en determinadas circunstancias (ver formación de picaduras en los primeros capítulos).

El proceso de corrosión puede resultar muy virulento como se muestra en la fotografía de la derecha en que la acción corrosiva ha llegado a perforar el alma del perfil que constituye la viga. No obstante, dado el carácter electroquímico de estos procesos, es preciso, siempre, la aportación de humedad que haga la función de electrolito. La fotografía de la izquierda muestra, sin embargo, porciones de la estructura con escasas señales de ataque habida cuenta de la ausencia de humedad suficiente.

## Los factores de riesgo

- Media o alta humedad ambiental.
- Humectación a partir de filtraciones.
- Envoltura de elementos estructurales metálicos en materiales de construcción convencionales con yesos.
- Empleo de materiales higroscópicos capaces de absorber y mantener humedad junto a la superficie metálica.
- Deficiencia de acciones inspectoras

## Los síntomas y la evolución de los daños

- Solo en el caso de filtraciones de agua los productos de corrosión pueden viajar hasta la superficie donde precipitan creando manchas pardas o rojizas.
- Pueden aparecer fisuras en procesos de corrosión muy avanzados.
- Pueden aparecer desprendimientos de los recubrimientos en procesos de corrosión muy avanzados.
- Todo el proceso de corrosión supone una pérdida de sección de los elementos metálicos.
- La pérdida de sección y la formación de picaduras se incrementa hasta la perforación generalmente de las almas de los perfiles en primer lugar

## Ayuda para el diagnóstico

- Si es posible y razonable y para disponer de una idea de conjunto, realizar un mapa general de deterioro en donde figuren los elementos deteriorados y su grado de deterioro.
- Estudiar el estado de la superficie metálica comprobando la morfología del ataque.
- Evaluar la pérdida de sección en su caso.



## Corrosión en estructuras metálicas

Elementos estructurales afectados por filtraciones de agua desde instalaciones de saneamiento



*Ejemplos de referencia: Elementos estructurales de acero en el entorno instalaciones de saneamiento.*

### Comentario

Las filtraciones desde instalaciones de saneamiento pueden constituir un peligro para los componentes metálicos de las estructuras metálicas habida cuenta de la contaminación de estas aguas con iones despasivantes, especialmente cloruros.

La aportación de aguas altamente conductivas y con cloruros, empapando los materiales que envuelven al acero, conforma un ambiente altamente agresivo para la estabilidad metálica en especial si la humedad se mantiene durante mucho tiempo. En cualquier caso un mortero con un elevado contenido en cloruros no necesita de una humedad abundante para configurar un panorama peligroso.

En estos casos las barreras de protección a base de imprimaciones o pinturas convencionales tienen un efecto poco duradero habida cuenta de que son en general permeables y la acción agresiva de las aguas contaminadas es lo suficientemente intensa para horadar el metal bajo ellas.

## Los factores de riesgo

- Humectación a partir de filtraciones desde instalaciones con aguas contaminadas.
- Envoltura de elementos estructurales metálicos en materiales de construcción.
- Empleo de materiales higroscópicos capaces de absorber y mantener humedad junto a la superficie metálica.
- Defectos de montaje de instalaciones de evacuación.
- Deficiencia de acciones inspectoras

## Los síntomas y la evolución de los daños

- Habitualmente las aguas de las propias filtraciones transportarán los productos de corrosión y formarán manchas en las que éstos participarán con el resto de los componentes disueltos.
- Pueden aparecer fisuras en procesos de corrosión muy avanzados.
- Pueden aparecer desprendimientos de los recubrimientos en procesos de corrosión muy avanzados.
- Todo el proceso de corrosión supone una pérdida de sección de los elementos metálicos.
- La pérdida de sección y la formación de picaduras se incrementa hasta la perforación generalmente de las almas de los perfiles en primer lugar

## Ayuda para el diagnóstico

- Si es posible y razonable y para disponer de una idea de conjunto, realizar un mapa general de deterioro en donde figuren los elementos deteriorados y su grado de deterioro.
- Estudiar el estado de la superficie metálica comprobando la morfología del ataque.
- Comprobar la naturaleza de los materiales que están en contacto con el acero.
- Determinar la concentración de iones despasivantes determinando la concentración de ión cloruro y sulfatos.
- Evaluar la pérdida de sección en su caso.



## Corrosión en estructuras metálicas

### Bases de soportes metálicos empotrados en hormigón



*Ejemplo de referencia: Base de soporte metálico empotrado en hormigón en las proximidades de una instalación de alcantarillado.*

### Comentario

Las zonas de empotramiento de elementos metálicos en hormigones, morteros u otros materiales de naturaleza similar pueden constituir una zona proclive a la corrosión si se dan las condiciones precisas que pongan en marcha pilas de concentración.

La existencia de humedad prolongada que en general anida en estas partes bajas habida cuenta de la posibilidad de encharcamiento que se ve alimentado por la acumulación de agua de condensación que resbala por el fuste de los soportes o incluso por agua que puede aflorar por capilaridad desde la base de obra es suficiente para poner en marcha el proceso de corrosión.

En muchas ocasiones los efectos del deterioro se ciñen a una pequeña zona de algunos centímetros de altura como ocurre en el soporte de la fotografía pero con la intensidad para debilitar, de forma importante, la sección del perfil metálico correspondiente. La imagen pertenece a un soporte metálico ubicado en una cámara sanitaria de un edificio de una veintena de años de antigüedad.

## Los factores de riesgo

- Humectación a partir de condensaciones en locales si ventilación
- Humectación a partir de ascensión capilar de agua desde el suelo
- Empotramientos poco protegidos de elementos metálicos.
- Empleo de materiales higroscópicos capaces de absorber y mantener humedad junto a la superficie metálica.
- Deficiencia de acciones inspectoras

## Los síntomas y la evolución de los daños

- Manchas de óxidos sobre la superficie metálica y capas protectoras
- Abombamientos de capas protectoras.
- Agrietamientos y desprendimientos de capas protectoras y capas de óxidos formados
- Todo el proceso de corrosión supone una pérdida de sección de los elementos metálicos que se intensifica en las líneas de agua.

## Ayuda para el diagnóstico

- Si es posible y razonable y para disponer de una idea de conjunto, realizar un mapa general de deterioro en donde figuren los elementos deteriorados y su grado de deterioro.
- Estudiar el estado de la superficie metálica comprobando la morfología del ataque.
- Comprobar la naturaleza de los materiales que están en contacto con el acero.
- Determinar la concentración de iones despasivantes determinando la concentración de ión cloruro y sulfatos en los materiales en contacto con el acero.
- Evaluar la pérdida de sección en su caso.

## Corrosión en estructuras metálicas

### Estructuras en ambiente marino



*Ejemplo de referencia: Soporte metálico en fachada tras un enfoscado y un recubrimiento cerámico.*

### Comentario

Las condiciones de los ambientes marinos son en ocasiones realmente dañinas para la estabilidad electroquímica del acero. La aportación de ión cloruro del agua del mar que viaja arrastrada por el viento es capaz de difundirse en los materiales de recubrimiento y avanzar hasta la superficie metálica. Para este tipo de ataque las sucesivas barreras protectoras son vencidas en el tiempo.

La humedad, que puede mantenerse durante tiempo en este tipo de ambientes, junto con los iones despasivantes provoca una relativamente intensa en el acero constituyente de los elementos metálicos más accesibles, habitualmente los ubicados en las fachadas. Las picaduras son ineludiblemente la morfología de corrosión en que se desarrollan en estos casos.

En el ejemplo aquí propuesto se puede apreciar la intensidad de ataque a un soporte de acero tras algunas décadas en las cercanías del mar. En este caso el pilar está detrás de una capa de mortero y un revestimiento a base de baldosas cerámicas. Incluso todavía se observan restos de imprimación antioxidante.

## Los factores de riesgo

- Humectación a partir de la acción del viento sobre el agua del mar.
- Elementos no protegidos con barreras impermeables al agua.
- Empleo de materiales higroscópicos de recubrimiento capaces de absorber y mantener humedad junto a la superficie metálica.
- Deficiencia de acciones inspectoras

## Los síntomas y la evolución de los daños

- Manchas de óxidos sobre la superficie metálica y capas protectoras
- Abombamientos de capas protectoras.
- Agrietamientos y desprendimientos de capas protectoras y capas de óxidos formados
- Todo el proceso de corrosión supone una pérdida de sección de los elementos metálicos.

## Ayuda para el diagnóstico

- Si es posible y razonable y para disponer de una idea de conjunto, realizar un mapa general de deterioro en donde figuren los elementos deteriorados y su grado de deterioro.
- Estudiar el estado de la superficie metálica comprobando la morfología del ataque.
- Comprobar la naturaleza de los materiales que están en contacto con el acero.
- Determinar la concentración de iones despasivantes determinando la concentración de ión cloruro y sulfatos en los materiales en contacto con el acero.
- Evaluar la pérdida de sección en su caso.

## Corrosión en estructuras metálicas

### Corrosión en resquicios



*Ejemplo de referencia: Puente Nuevo de Murcia anterior a la última restauración. La corrosión entre palastros ha provocado la deformación de los mismos y su relleno en una anterior actuación.*

### Comentario

La unión de perfiles metálicos, o palastros como es el caso del ejemplo, poniendo en contacto dos caras, crea entre ambas un estrecho espacio. Si el agua puede acceder por capilaridad, a este espacio, forma una lámina en donde resulta difícil que el oxígeno se difunda y su concentración disminuirá, de forma evidente, conforme aumenta la distancia la boca aireada poniéndose en marcha pilas de aireación diferencial.

Este mecanismo de corrosión, que fue analizado en el primer capítulo, produce efectos importantes en la interfase entre los dos elementos metálicos hasta el punto que la presión de los productos de corrosión separan ambas caras, como en el caso de la figura, en el que los palastros se han deformado de forma espectacular llegando a separarse varios centímetros.

En el ejemplo explicado la restauración consistió en colmatar el espacio entre palastros con materiales de relleno apreciables en la fotografía una restauración posterior consistió en la sustitución de los mismos.

## Los factores de riesgo

- Cualquier acoplamiento de elementos metálicos sen o no de la misma naturaleza que pueda albergar humedad en la intefase forma un resquicio con capacidad de poner en marcha pilas de aireación diferencial.
- La existencia de cloruros en este tipo de procesos puede contribuir a una intensificación importante del proceso creando células de corrosión internas acidificadas (picaduras).
- Cuando el metal es, como en el caso del acero, generador de óxidos que se expanden, los mismos productos de corrosión o bien taponarán la abertura o bien, si la presión que ejercen es capaz de abrir el resquicio, la acrecentarán contribuyendo a mantener la humedad y el acceso diferencial del oxígeno.
- El empleo de uniones metálicas que favorezcan este tipo de resquicios en lugares proclives a condensar humedad o a recibirla directamente de lluvia o filtraciones, obliga a una protección mediante su sellado.

## Los síntomas y la evolución de los daños

- Los síntomas consisten en la advertencia de productos de corrosión en las líneas de unión entre los metales que, en función del tipo de metal y unión podrán paralizarse o evolucionar hasta los estadios advertidos en el ejemplo.
- La existencia de cloruros, en cualquier caso, incluso con metales que podemos considerar de cierta nobleza como el cobre, es muy peligrosa porque la corrosión por picaduras puede progresar sin que aparentemente se advierta hasta la perforación de alguno de las paredes

## Ayuda para el diagnóstico

- Si es posible y razonable y para disponer de una idea de conjunto, realizar un mapa general de deterioro en donde figuren los elementos deteriorados y su grado de deterioro.
- Estudiar el estado de la superficie metálica comprobando la morfología del ataque.
- Comprobar la naturaleza de los materiales que están en contacto con el acero.
- Determinar la concentración de iones despasivantes determinando la concentración de ión cloruro y sulfatos en los materiales en contacto con el acero.
- Evaluar la pérdida de sección en su caso.





## Capítulo 7

# La corrosión en elementos de cubiertas y fachadas

### 7.1 Introducción

El sistema envolvente de los edificios lo constituyen todos los elementos que de una u otra manera lo separan del exterior, es decir forman su “piel”. En estas páginas nos referiremos en especial a los elementos metálicos que forman parte de las cubiertas y fachadas.

Es tradicional, en nuestro país, el empleo de metales en rejas, barandillas y verjas constituidas principalmente por aceros y hierros forjados en sus diferentes variantes. En menor medida se han ido introduciendo otros metales como el aluminio y el acero inoxidable. En cubiertas sin embargo la tradición ha sido el empleo de materiales cerámicos dejando para obras monumentales el empleo del cinc y en mucha menor medida que en Europa, el cobre.

Hoy sin embargo tanto por razones técnicas, habida cuenta de nuevos procedimientos de protección, como por razones estéticas, en parte debido a la incorporación de proceso que mejoran el aspecto de algunos productos, se están introduciendo placas de cobre, cinc, acero “corten”, etc., lo que supone una mayor presencia de los metales en sus diferentes variantes en los edificios.

Estos elementos, digamos que por definición, están en contacto con el medio ambiente que, dependiendo de la ubicación del edificio y de otras circunstancias, va a suponer un estado prácticamente continuo de agresión. De su comportamiento ante los fenómenos de corrosión va a depender el futuro de todas las soluciones metálicas empleadas en nuestras construcciones.

En muchas ocasiones los metales se emplean con capas de recubrimientos protectores que a su vez sufren procesos de deterioro dejando entonces desprotegidos los metales. Ha de recordarse, no obstante y ya de antemano, en esta situación de exposición que, en estos elementos, se hace imprescindible la consideración, desde las etapas de diseño, de las operaciones de mantenimiento adecuadas al metal y a su sistema de protección en cada caso, con el fin de lograr conjugar su duración con la vida útil del edificio.

### 7.2 Los posibles procesos de corrosión

Los procesos de corrosión habituales en el sistema envolvente de los edificios siguen los esquemas habituales de degradación metálica. La deposición continua o secuencial de agua en los elementos al exterior es, en la mayoría de los casos, suficiente para iniciar procesos de aireación diferencial en la mayoría de los metales que se utilizan en la edificación pudiendo generar corrosión de tipo generalizado.

Las capas de protección a base sistemas de pinturas, si no están adecuadamente diseñados, dispuestos y mantenidos no son en absoluto una garantía frente a la acción del medio sobre el metal base sino que pueden ser recubrimientos permeables bajo los cuales progresa la disolución metálica.

La irrupción de agentes agresivos en especial los provenientes de ambientes marinos o industriales puede contribuir a la generación de procesos de corrosión por picaduras en algunos casos de virulencia inusitada.

### 7.3 Los escenarios propensos para el desarrollo de los procesos de corrosión

Los procesos de corrosión en el sistema envolvente del edificio se producen con mayor asiduidad en los lugares de mayor exposición a la humedad y contaminación ambiental y con especial incidencia en los que puedan conservarse, de alguna manera, restos de agua.

Los recovecos en piezas de diseño intrincado de difícil aireación pueden mantener humedad y generar procesos de corrosión. De la misma manera, sobre las superficies horizontales en donde la humedad pueda anidar especialmente si no se eliminan los depósitos de suciedad pueden surgir fenómenos de aireación diferencial.

Las zonas de contacto con materiales higroscópicos como, partes empotradas de elementos metálicos en elementos absorbentes son zonas especialmente sensibles al inicio y progreso de la corrosión. En ocasiones la corrosión del metal empotrado, habitualmente acero, provoca la rotura del elementos constructivo que lo envuelven como morteros, hormigones, piezas de piedra, etc.



*Figura 7.3.a Rotura de unas piezas de piedra por la expansión de óxidos metálicos. La pseudo reparación ha resultado inútil.*

Las soldaduras y zonas anexas, cuando no han sufrido un tratamiento de saneamiento y protección adecuada y, en general, en todas las heterogeneidades que presenten los elementos metálicos tanto de naturaleza como de forma pueden iniciarse procesos de degradación.

No obstante y sin duda los procesos de corrosión más espectaculares se dan en elementos expuestos a los vientos marinos en las cercanías de la costa o en ambientes industriales con presencia de lluvias ácidas. En la fotografía siguiente se puede apreciar los efectos de la acción de los vientos marinos sobre una puerta metálica pintada, al cabo de unos meses.



*Figura 7.3.b. Puerta de un ascensor para automóviles corroída en la parte más accesible a los vientos marinos. Se aprecia el tono rojizo de los óxidos de hierro emerger a través de las capas de pintura.*

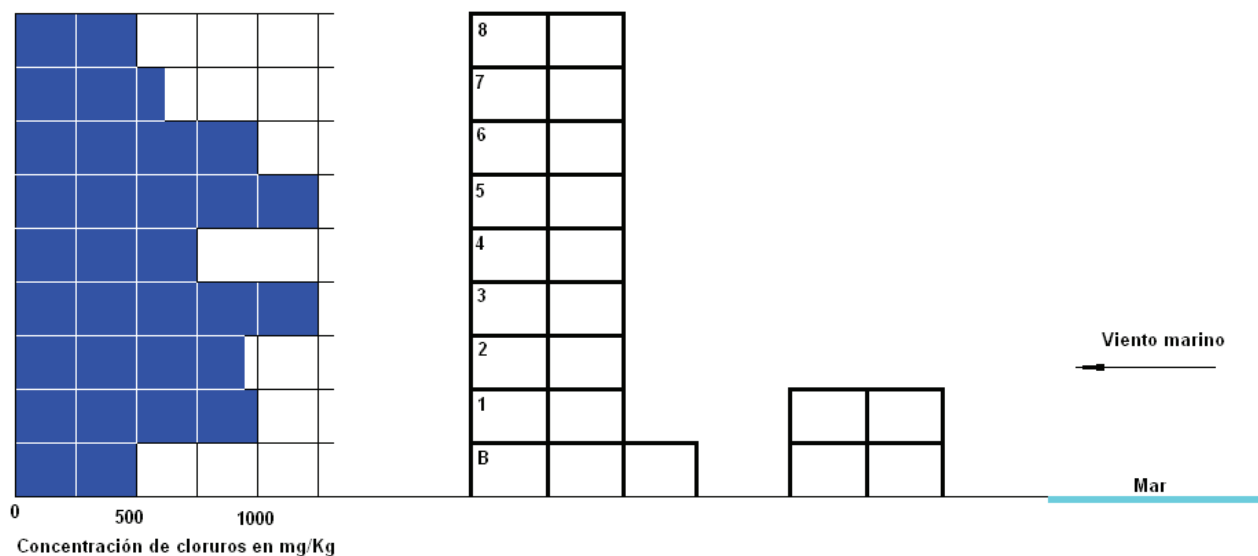


Figura 7.3.c. Relación entre la exposición de un edificio y la concentración de iones cloruro medida en elementos de fado de hormigón. Las plantas superiores, más alejadas, y las inferiores, protegidas por una edificación de baja altura presentan menores concentraciones.

Muchas veces la corrosión en algunos elementos del sistema envolvente, normalmente las cubiertas de cobre o sus aleaciones, es un proceso “deseado” por razones estéticas. Los productos de corrosión del cobre toman, a largo plazo, la tonalidad verde-turquesa que, con frecuencia, se puede observar en muchos de los monumentos del centro y norte de Europa. Hay que tener en cuenta que estos procesos tardan décadas en producirse de forma natural. Algunas veces se trata incluso de provocar la corrosión para lograr el efecto deseado en un corto plazo. En estos casos solamente un proceso muy controlado y siempre en factoría puede ofrecer resultados adecuados.

En la fotografía siguiente se pueden apreciar los efectos comentados en este caso en una de las catedrales europeas





*Fotografía 7.3.d. La catedral ortodoxa de Sofía con sus cubiertas recubiertas de productos de corrosión del cobre con su característico tono turquesa.*

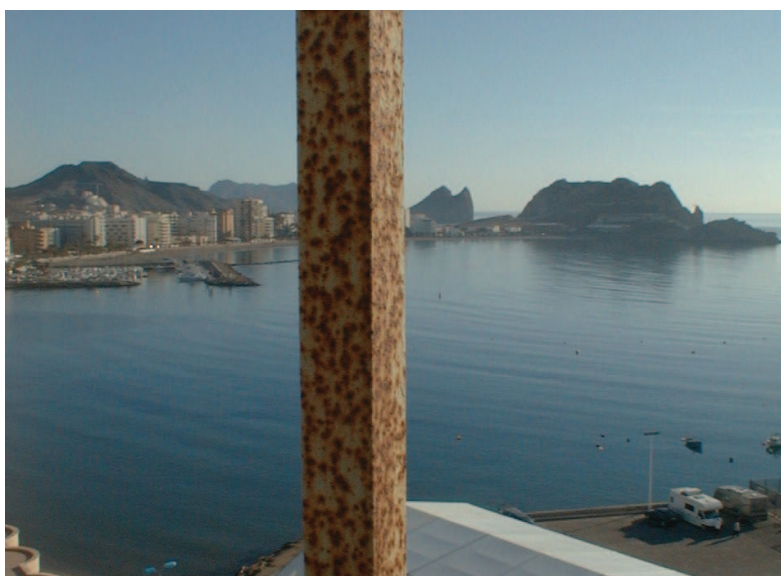
Efectos que se reflejan, asimismo, en las estatuas de bronce. En la imagen siguiente se puede apreciar un ejemplo. En general estas capas de productos de corrosión, mezclas de óxidos, carbonatos, etc. suelen ser muy protectoras por lo que durante cientos de años la corrosión no afecta a los elementos en su estabilidad fundamental.



*Fotografía 7.3.e Escultura en bronce en el acceso al Museo Egipcio de Berlín. Las zonas más accesibles al agua presentan el característico aspecto corroído.*

## Corrosión en fachadas y cubiertas

### Corrosión en elementos de acero en ambiente marino



*Ejemplo de referencia: Montante de acero situado en una terraza frente al mar*

### Comentario

La exposición de elementos metálicos y especialmente de acero al carbono a la influencia de los vientos marinos requiere, en todo caso de una protección muy especial complementada por unas labores de mantenimiento constantes que no permitan el inicio de procesos corrosivos. Aun así es muy difícil lograr resultados aceptables en estos ambientes.

El rociado consiguiente a la nebulización del agua marina por los vientos sobre los edificios ubicados en las proximidades de la costa, constituye un ambiente agresivo presidido por la contaminación de iones cloruro que activan procesos de corrosión generalizada y por picaduras que puede llegar a ser de fuerte intensidad.

En el ejemplo propuesto se puede apreciar la morfología de este tipo de corrosión sobre un elemento de acero al carbono pintado. En numerosas ocasiones incluso se prescinde de capas protectoras de galvanizado o de imprimaciones antioxidantes, dejando únicamente a las capas de pintura como protección al metal. Meses después los síntomas de corrosión son inevitables.

## Los factores de riesgo

- La cercanía al mar y especialmente las zonas en que los vientos procedentes del mar puedan depositar agua marina conforman, realmente, para la mayoría de los metales utilizados en los edificios y dispuestos en su exterior, la situación más agresiva con la excepción de determinados ambientes industriales.
- La abundancia de cloruros, que incluso tienen una reposición asegurada, actúan como agentes despasivantes provocando multitud de picaduras que horadan el metal.
- La formación de abundantes productos de corrosión contaminados por cloruros favorecen la persistencia de la humedad y contribuyen a la virulencia del proceso.
- La utilización del acero al carbono para estos casos es totalmente contraindicada incluso aunque se recubran de imprimaciones protectoras y pinturas para exteriores.

## Los síntomas y la evolución de los daños

- Los síntomas de corrosión de elementos de acero ubicados en estos ambiente se corresponden con la aparición de manchas pardo- rojizas asociadas a las zonas de picaduras.
- El levantamiento con ampollas de capas de pinturas y el consecuente desprendimiento de las mismas es frecuente rápido y puede llegar a ser muy intenso.
- La formación y el desprendimiento de productos de corrosión en gran cantidad concluye con la superficie metálica con alto grado de deterioro.

## Ayuda para el diagnóstico

- Si es posible y razonable y para disponer de una idea de conjunto, realizar un mapa general de deterioro en donde figuren los elementos deteriorados y su grado de deterioro.
- Estudiar la relación entre la posición de los elementos y su grado de degradación.
- Estudiar el estado de la superficie metálica comprobando la morfología del ataque y su profundidad.
- Determinar cualitativamente la presencia de cloruros aunque, en general, su presencia estará asegurada.
- Comprobar la naturaleza de los materiales que están en contacto con el acero en su caso, valorando su capacidad de retener la humedad.
- Evaluar la pérdida de sección en su caso.



## Corrosión en fachadas y cubiertas

### Corrosión en elementos de aluminio en ambiente industrial



*Ejemplo de referencia: Ventana de aluminio lacado con corrosión localizada. A la derecha una vez desmontada.*

### Comentario

Sobre la superficie exterior de la ventana que se presenta como ejemplo se midieron importantes concentraciones de cloruros probablemente procedentes de industrias próximas.

La existencia de este tipo de iones es letal incluso para un material como el aluminio que tan buenos resultados ofrece frente a la corrosión en muchas otras situaciones. La posición de las zonas deterioradas coincidía en el encuentro con el revestimiento de los telares del hueco. Muy probablemente por la posibilidad que el mortero, por su higroscopicidad, favorece el mantenimiento de la humedad y la consiguiente activación del proceso de corrosión.

Una vez desmontada la ventana se puede ver la intensidad del proceso de deterioro que alcanza algunos centímetros de longitud por uno de grosor. Al microscopio se observaban, incólumes, restos de la laca de recubrimiento de los perfiles de aluminio.

## Los factores de riesgo

- La intensidad de la concentración de cloruros, en determinados ambientes industriales, puede llegar a ser mayor que en los marinos y desgraciadamente menos previsibles.
- La abundancia de cloruros, que actúan como agentes despasivantes y aprovechando defectos en las capas de protección de lacado o anodizado del aluminio, provoca su corrosión localizada.
- El contacto directo con materiales higroscópicos contaminados que conservan humedad durante tiempo.
- La naturaleza de las capas de protección y su estado. Las capas de anodizado pueden ser disueltas por morteros de cemento (la alúmina es inestable en el pH que impone el cemento en los morteros a la fracción acuosa). Los desperfectos de las capas de recubrimiento, tanto anodizados como lacados, pueden ser aprovechados para la iniciación de picaduras.

## Los síntomas y la evolución de los daños

- Dada la morfología de los daños es posible que no sean advertidos en las primeras etapas. De hecho, en el ejemplo propuesto, no parece, que a partir de lo que se observa en la fotografía de la carpintería montada, se deduzca la intensidad de los daños que se aprecian una vez desmontada.
- Las células ácidas que subyacen en cada zona atacada mantendrán su actividad mientras dispongan de agua en su seno y los daños se incrementarán paralelamente mientras no se actúe.

## Ayuda para el diagnóstico

- Si es posible y razonable y para disponer de una idea de conjunto, realizar un mapa general de deterioro en donde figuren los elementos deteriorados y su grado de deterioro.
- Estudiar el estado de la superficie metálica comprobando la morfología del ataque.
- Comprobar la naturaleza de los materiales que están en contacto con los elementos metálicos, en especial si se trata de materiales higroscópicos.
- Comprobar si, en su caso, los materiales de contacto son derivados del cemento o cal que pueden incrementar el pH hasta valores de inestabilidad del aluminio (por encima de nueve)
- Determinar la concentración de cloruros en los materiales de contacto si se trata de morteros, hormigones u otro material poroso.
- Determinar cualitativamente o cuantitativamente, si es razonable, la presencia de ion cloruro sobre la superficie de los elementos metálicos.

## Corrosión en fachadas y cubiertas

### Corrosión en elementos de acero en ambiente rural



*Ejemplo de referencia: Barandilla de acero con inicio de corrosión*

### Comentario

Los elementos metálicos de acero al carbono son de utilización recurrente en barandillas y demás elementos de cerrajería en fachadas. Sin embargo no es tan frecuente la utilización de sistemas de pinturas adecuados. Como en el ejemplo de la imagen se recurre únicamente al pintado con una o varias capas de pintura el esmalte, por ejemplo.

Aunque su situación sea en ambientes escasamente contaminados y aireados, las capas de pintura convencionales no son capaces de ofrecer una protección adecuada. Su, no entendida muchas veces, permeabilidad al agua permite su corrosión. El acero se corroe en medios neutros la los potenciales de electrodo que habitualmente se dan en la práctica.

La corrosión se inicia en donde la humedad puede permanecer durante más tiempo: caras horizontales, rincones donde puede almacenarse polvo, puntos con menor espesor de pintura como algunos bordes. La velocidad de corrosión depende de muchos factores como la orientación de la fachada la intensidad de las lluvias o condensaciones que pueden producirse etc., en cualquier caso puede llegar importante pero, nada que ver con las que se dan en ambientes salinos, por ejemplo.

## Los factores de riesgo

- El empleo de formas que no permitan la rápida evacuación de agua y favorezcan su acumulación es un factor de riesgo de corrosión en estos elementos.
- La climatología con el régimen de lluvias correspondientes y la frecuencia e intensidad de condensaciones marcan los factores de riesgo exógenos principales en este tipo de elementos.
- La aportación de humedad desde otras fuentes como riegos, desagües, etc. Puede alterar significativamente el panorama incrementando el riesgo de corrosión en especial si se trata de aguas que puedan contener agentes que incrementen su conductividad o introducir agentes despasivantes.
- Es preciso siempre, en estos casos, disponer de un sistema de pinturas adecuadas con una previa preparación superficial, la disposición de imprimaciones antioxidantes y por fin las capas de acabado correspondientes.
- Las limpiezas frecuentes que eliminen los depósitos de polvo, suciedad, etc. contribuyen en gran medida a retrasar los procesos de corrosión de este tipo.

## Los síntomas y la evolución de los daños

- Aunque la corrosión en estos casos responde habitualmente a corrosión generalizada sin picaduras, su aspecto inicial puede aparentar la formación de este tipo de corrosión. En realidad se trata de que la incipiente corrosión se inicia en los puntos más vulnerables del sistema. Principalmente los restos de óxidos en la base metálica, las salpicaduras de soldaduras etc. provocan puntos débiles o con menor espesor de recubrimiento.
- La corrosión se desarrolla, asimismo, en las zonas golpeadas con desprendimiento del recubrimiento de pinturas.
- En el transcurso del tiempo la corrosión se irá generalizando al resto de la superficie, en mayor o menor medida, dependiendo de las circunstancias de exposición y protección.
- En general y salvo que participen cloruros en el proceso, los volúmenes metálicos deteriorados serán escasos y una reparación adecuada bastará para recuperar un adecuado aspecto del elemento.

## Ayuda para el diagnóstico

- Si es posible y razonable y para disponer de una idea de conjunto, realizar un mapa general de deterioro en donde figuren los elementos deteriorados y su grado de deterioro.
- Estudiar el estado de la superficie metálica comprobando la morfología del ataque.
- Determinar, si es posible, la composición del sistema de pintura y especialmente, la existencia o no, de capas protectoras de imprimaciones antioxidantes.
- Descartar la existencia de iones despasivantes determinando cualitativamente la presencia de ión cloruro sobre la superficie metálica.

## Corrosión en fachadas y cubiertas

### Corrosión en elementos de aleaciones de cinc o aluminio en ambiente marino



*Ejemplo de referencia: Luminaria ubicada en la fachada de una vivienda costera*

### Comentario

Aunque con menor espectacularidad que los elementos de acero al carbono el cinc, el aluminio y sus aleaciones pueden sufrir los la acción de la agresividad ambiental de las cercanías del mar.

La capa de pintura de la luminaria de la fotografía ha sido inútil en este caso y se ha desprendido por el progreso de la corrosión del metal base. Se presenta aquí el blanco característico de las sales de estos metales. Sin embargo otras luminarias en posiciones algo menos expuestas de la misma fachada presentaban aspectos casi impecables remarcando así la importancia de la ubicación concreta, frente a los vientos marinos, de los elementos metálicos.

Ha de tenerse en cuenta, en estos casos, que los cloruros que puedan depositarse con el agua marina permanecerán sobre la superficie metálica al evaporarse aquella por lo que su concentración puede crecer si no se eliminan.



## Los factores de riesgo

- La selección de metales y aleaciones no resistentes a la corrosión en ambiente marino y con protecciones inadecuadas provoca numerosos desperfectos por corrosión en este tipo de ambientes.
- Este tipo de procesos adquieren su mayor virulencia cuando los elementos metálicos se ubican en las caras del edificio de exposición directa a los vientos.
- La ausencia de limpieza, que elimine la posible deposición de polvo, arenas y otras partículas que favorezcan el anidamiento de la humedad y la acumulación de cloruros, es un factor importante para el progreso de los daños, si bien es cierto que, en muchos casos, no es sencillo llevar a cabo esta limpieza por las condiciones de inaccesibilidad a los mismos.

## Los síntomas y la evolución de los daños

- Dada la multitud de variantes de este tipo de elementos y de los materiales que pueden constituirlos, el proceso de corrosión puede aportar sintomatología bien distinta, si bien, la formación de zonas de corrosión localizada, los desprendimientos de capas de pinturas u otros revestimientos, serán los síntomas frecuentes.
- La evolución será asimismo muy relativa y dependerá de la naturaleza del metal o de la aleación de que se trate.
- En general este tipo de materiales tiene un mejor comportamiento que los aceros al carbono en este tipo de situaciones habida cuenta del menor volumen relativo de los óxidos que se forman y la coloración más discreta que el rojo característico del acero.

## Ayuda para el diagnóstico

- Si es posible y razonable y para disponer de una idea de conjunto, realizar un mapa general de deterioro en donde figuren los elementos deteriorados y su grado de deterioro.
- Estudiar el estado de la superficie metálica comprobando la morfología del ataque buscando principalmente picaduras.
- Realizar determinaciones sobre la presencia de cloruros
- Evaluar la exposición relativa al ambiente marino en cada elemento estableciendo la correlación con los vientos del mar, la probabilidad de salpicaduras o rociados de agua salada.





## Capítulo 8

### La corrosión en los sistemas de instalaciones

#### 8.1 Introducción

Los sistemas de instalaciones que puede albergar un edificio son, hoy día, muy variados. Desde los sistemas más veteranos como los de fontanería y saneamiento hasta los complejos sistemas que controlan un edificio automatizado con instalaciones de informática domótica, son muchas las variantes de equipamientos que tratan de incrementar las prestaciones del edificio en este campo.

Muchos de los componentes en este tipo de unidades de obra son metálicos, sin embargo los sistemas de protección de equipos y cableados, alojados, generalmente, en ambientes no agresivos hace que la problemática de corrosión se centre principalmente en dos campos:

1. Los elementos constituyentes de instalaciones colocados al exterior como soportes, postes etc. que merecerían el mismo tratamiento que los de constitución similar como verjas, barandillas etc. tratados en el capítulo correspondiente al sistema envolvente.
2. Componentes de instalaciones de conducción de fluidos principalmente las tuberías metálicas de fontanería, en su doble versión de corrosión por el interior o corrosión por el exterior.

Paralelamente a lo aquí expuesto se puede consultar como referencia de interés en este campo el informe UNE 112076 IN de octubre de 2004. Prevención de la corrosión en circuitos de agua.

#### 8.2 Los posibles procesos de corrosión

Las variantes de corrosión que habitualmente se dan en los elementos de las instalaciones de fontanería son:

Corrosión de tuberías por el exterior principalmente en conducciones empotradas en con morfología generalizada o por picaduras.

Corrosión por el interior en forma de picaduras.

Corrosión-erosión por el interior de las tuberías.

#### 8.3 Corrosión por el exterior

La corrosión de tubos de instalaciones de fontanería ha sido y es un problema importante en los edificios. Estos problemas han ido asociados, en general, a tuberías

empotradas, en la mayoría de los casos de tubos de acero negro o acero galvanizado que componían estas instalaciones durante las décadas anteriores al uso del cobre. La inmensa mayoría de los casos se refieren a instalaciones empotradas con preferencia bajo pavimentos.

El empotramiento de tuberías metálicas es, en sí, una práctica relativamente arriesgada especialmente cuando las conducciones se extienden sin una protección eficaz y se incrementa el riesgo cuando se recubren de escombros de composición incontrolada donde puede aparecer yeso u otros desechos contaminados, por ejemplo, de cloruros. En ocasiones también el intento de protección con materiales higroscópicos, como papel de sacos, etc. se convierte en un factor de riesgo al mantener la humedad en contacto con los tubos.

El riesgo de corrosión a medio y largo plazo en instalaciones empotradas va ligado a la probabilidad de mantenimiento de humedad en el entorno de los tubos cosa no extraña en instalaciones empotradas en obra. La humedad procedente de filtraciones, pérdidas o condensaciones, sobre la superficie de los tubos pone en funcionamiento pilas de aireación diferencial que, a lo largo del tiempo, pueden ir disolviendo la masa metálica hasta perforar los tubos.



*Figura 8.3 Superficie exterior de un tubo de cobre con corrosión*

En las ocasiones en que, por la composición de las soluciones acuosas en contacto con los tubos, la corrosión tome la forma de ataque por picaduras los tubos se pueden perforar con mucha mayor rapidez. El tubo de la figura presentaba unas adherencias, en su superficie, a modo de manchas de pintura, con un elevado contenido de ión cloruro (del orden de 3.500 partes por millón) que justificaban plenamente la activación de picaduras y la perforación a corto plazo. En las zonas en que estaba libre de estas adherencias la superficie se presentaba impecable.

## **8.4 Corrosión por el interior**

En el caso de los tubos de conducción de agua de las diferentes instalaciones de los edificios, así como en cualquier componente metálico de éstas que contengan agua, es razonable la existencia de riesgo de corrosión ya que se dispone directamente el contacto del electrolito (agua y las sustancias que lleve en disolución) con la superficie metálica.

Sin embargo este riesgo de corrosión es limitado aun cuando se utilicen metales activos desde el punto de vista electroquímico, como es el caso del cinc cuando se disponen elementos de acero galvanizado.

Varios obstáculos se pueden levantar para impedir que el proceso de corrosión, en principio inevitable, se paralice o se ralentice en el tiempo, de manera que la instalación pueda alcanzar una razonable vida útil. En otros casos, sin embargo se activan los procesos de degradación disolviendo la pared metálica en plazos relativamente cortos.

En general los procesos temidos, en este ámbito, son las perforaciones derivadas de corrosión por picaduras. Mientras que los problemas derivados de la corrosión generalizada son de menor ocurrencia sobre todo en las regiones de predominio de aguas con dureza carbonatada elevada como lo es toda la vertiente mediterránea de nuestro país.

Estos fenómenos de degradación dependen lógicamente de las características del agua y de las del metal que constituye las conducciones.

Una de las características más reseñables del agua es su capacidad para producir depósitos de sustancias disueltas que precipitan sobre las paredes de los tubos. Estas capas pueden suponer una protección contra la corrosión en cuanto que, de ser compactas y continuas, suponen una barrera que aísla el metal e impide el accionamiento de pilas de concentración. Sin embargo la no existencia de estos depósitos no implica necesariamente una activación de los fenómenos de corrosión.

Se describirán primero las circunstancias básicas en las que se producen los mencionados depósitos y después las circunstancias que desde el campo electroquímico dan lugar a la corrosión, o por el contrario, a la protección del metal que conforma los tubos.

### **8.4.1 La calidad del agua. La formación de incrustaciones**

Desde el punto de vista de la química del agua y su tratamiento, se entiende que los factores que tienden a aumentar la formación de incrustaciones (aguas incrustantes) tienden a disminuir la corrosión metálica y viceversa, consideraciones aparte merecen los problemas que estas incrustaciones puedan provocar ya que, en ocasiones, llegan a taponar los tubos. De ahí la importancia del conocimiento de la calidad del agua en este sentido.

Las mencionadas incrustaciones se deben a la precipitación de sales de calcio y magnesio que, disueltas en el agua, constituyen lo que se denomina dureza temporal. Su formación depende de la composición del agua y concretamente de la relación entre el  $\text{CO}_2$  combinado en bicarbonatos y carbonatos disueltos y el  $\text{CO}_2$  libre. Si el  $\text{CO}_2$  libre es superior a un determinado valor, necesario para mantener en disolución los carbonatos y bicarbonatos ( $\text{CO}_2$  equilibrante) el agua se considera agresiva. El  $\text{CO}_2$  en exceso se denomina  $\text{CO}_2$  agresivo que por el contrario disolvería incrustaciones existentes.

Concentraciones de  $\text{CO}_2$  libre inferiores al  $\text{CO}_2$  equilibrante implica la precipitación de bicarbonatos en forma de carbonatos.

Los diagramas de Tillmans como el reflejado en la figura representan las dos áreas que se corresponden con las aguas incrustantes y las agresivas separadas por la curva que representa el equilibrio.

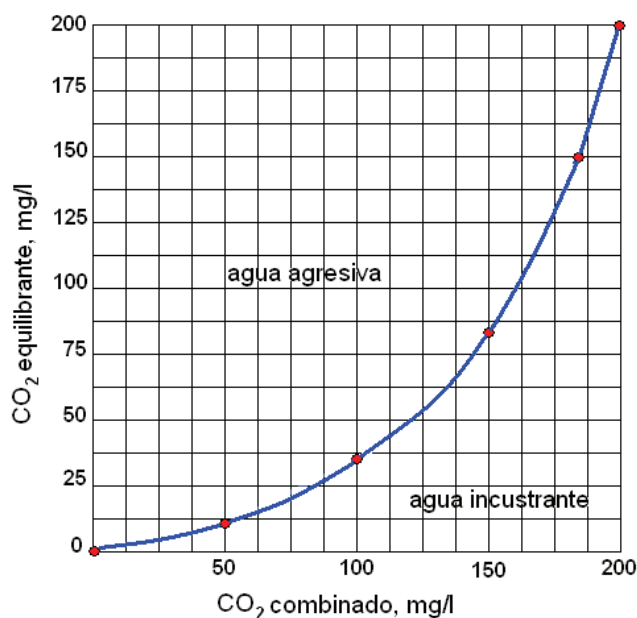


Diagrama de Tillmans para 17°C de temperatura

En la práctica, para la evaluación de la agresividad de las aguas se recurre a ciertos indicadores. El más utilizado es el índice de Langelier o índice de saturación que se corresponde con la diferencia entre el pH del agua y el denominado pH de saturación ( $\text{pH}_s$ ) que representa el pH de equilibrio para una alcalinidad y una dureza cálcica determinada. Índices de Langelier positivos implican aguas incrustantes y negativos aguas agresivas.

$$\text{Índice..de..Langelier} = \text{pH} - \text{pH}_s$$

Una modificación propuesta por Ryznar es el índice de estabilidad

$$\text{Índice..de..estabilidad} = 2.\text{pH}_s - \text{pH}$$

Cuando el índice de estabilidad es inferior a 6 es posible que se formen incrustaciones, más cuanto más bajo sea.

Éstos y otros indicadores de mayor complejidad sirven para valorar la calidad del agua en su relación con la estabilidad de los tubos que la conducen. En general se acepta, como criterio suficiente, la experiencia de la zona en cuanto a la propensión de las aguas potables a provocar problemas de corrosión o excesivas incrustaciones. Solamente en casos singulares, se recurre a estudios especiales sobre el agua y su posible tratamiento. No obstante cuando se opta por tratamientos de descalcificación no ha de perderse de vista la posible influencia en el aspecto corrosivo o no del agua resultante.

La presencia de iones despasivantes como los iones cloruro, en gran proporción, contribuye a que estas capas de incrustaciones puedan ser poco compactas. Este efecto conduce, en determinados casos, a la creación de celdas electrolíticas aisladas del resto del agua conducida que pueden acidificarse y concluir con la formación de picaduras. La fotografía mostrada 8.2 de este capítulo es un buen ejemplo de este extremo. En definitiva, las capas incrustantes porosas dejan de ser una protección para convertirse en un problema.

#### **8.4.2 La naturaleza de los tubos. La corrosividad del agua.**

La naturaleza de los tubos metálicos juega, evidentemente, un papel decisivo en los procesos de corrosión metálica. En general e independientemente de que se depositen capas calcáreas sobre la superficie metálica, siempre se produce cierta corrosión del metal generando productos de corrosión que incluso mezclados con las incrustaciones forman capas más estables que protegen al metal.

Por el contrario si las capas de óxido no son protectoras puede funcionar el proceso de disolución metálica hasta el deterioro de los tubos. Se dice entonces que las aguas son corrosivas respecto al metal concreto que conforma las conducciones.

La corrosividad del agua está, en general, ligada a la existencia de determinados gases disueltos. La concentración de oxígeno disuelto determina de alguna manera la corrosividad respecto al acero y al cinc. Oxígeno, por otra parte, siempre presente en el agua potable, entre otras cosas por razones sanitarias. Mientras que el CO<sub>2</sub> condiciona la corrosividad del agua sobre el cobre.

##### **8.4.2.1 Tubos de acero y acero galvanizado**

En el caso de tuberías de acero, un agua en equilibrio puede formar capas protectoras a base de carbonatos con compuestos metálicos provenientes de la corrosión inicial del sustrato con la formación de hidróxido ferroso. La formación de estas capas puede constituir una barrera que aísla el metal impidiendo su corrosión.

Las aguas blandas en movimiento pueden corroer de forma uniforme la superficie metálica de los tubos en pequeña medida aunque suele teñir ligeramente el

agua de rojo. Por el contrario el agua estancada puede producir corrosión localizada que, con poca pérdida de masa metálica, puede causar efectos perniciosos en las instalaciones.

En el caso del cinc empleado en los elementos de acero galvanizado la corrosión inicial del metal se consume con la formación de hidróxido de cinc  $Zn(OH)_2$  que evoluciona en combinación con el ácido carbónico hacia carbonato de cinc  $ZnCO_3$  como producto de corrosión estable y protector.

Como consecuencia se puede decir que para la formación de estas capas protectoras tanto sobre acero como sobre cinc se precisan, paradójicamente, contenidos suficientes de oxígeno disuelto en el agua.

#### **8.4.2.2 Tubos de cobre**

La formación de picaduras por el interior de los tubos de cobre de instalaciones de conducción de agua está relacionada fundamentalmente con las características de la propia agua que circula aunque también se ha establecido cierta influencia de la variedad del cobre utilizado y del estado superficial consiguiente.

En general las picaduras que afectan a las aguas de mayor presencia en nuestra zona, aguas duras, tienen que ver con la formación de celdas acidificadas con ácido clorhídrico, bajo capas de óxidos, carbonatos e hidróxidos de cobre. Como es normal la existencia de ión cloruro es decisiva para la formación de estas pilas de corrosión. No obstante estas picaduras se dan fundamentalmente con aguas procedentes de pozos profundos y a las que se achaca ausencia total de materia orgánica a la que se le asigna cierto papel inhibidor.

Este tipo de picaduras es más frecuente en tubos de cobre sin desoxidar que en los desoxidados con fósforo. Otro factor de riesgo es la conservación de partículas carbonosas sobre la superficie del cobre derivadas de los aceites de estirado y el posterior proceso de recocido en los tubos que sufren este tratamiento.

En general se admite que la resistencia a la corrosión se incrementa en función de la dureza siendo la menor para el cobre recocido.

En aguas generalmente blandas y solamente cuando la temperatura supera  $60^\circ C$  pueden darse ataques por picaduras que responden a otro modelo menos frecuente pero con efectos similares.

#### **8.4.3 Limitaciones del Código Técnico de la Edificación**

El Código Técnico de la Edificación en su sección HS-4 establece, para las aguas, determinadas limitaciones a los efectos de minimizar los riesgos de corrosión de los tubos.



Para los tubos de acero galvanizado se considerarán agresivas las aguas no incrustantes con contenidos de ión cloruro superiores a 250 mg/l. Para su valoración se emplea el índice de Langelier.

Las condiciones límites del agua a transportar, a partir de las cuales será necesario un tratamiento son las de la tabla siguiente.

Características	Agua fría	Agua caliente
Resistividad (Ohm x cm)	1.500 – 4.500	2.200 – 4.500
Título alcalimétrico completo (TAC) meq/l	1,6 mínimo	1,6 mínimo
Oxígeno disuelto, mg/l	4 mínimo	-
CO <sub>2</sub> libre, mg/l	30 máximo	15 máximo
CO <sub>2</sub> agresivo, mg/l	5 máximo	-
Cálcio (Ca <sup>++</sup> ) mg/l	32 mínimo	32 mínimo
Sulfatos (SO <sub>4</sub> <sup>-</sup> ) mg/l	150 máximo	96 máximo
Cloruros (Cl <sup>-</sup> ), mg/l	100 máximo	71 máximo
Sulfatos + Cloruros, meq/l	-	3 máximo

Tabla 8.4.3.a Especificaciones del CTE en relación a la necesidad del tratamiento de las aguas. Tubos de acero galvanizado.

En el caso de las tuberías de cobre el factor a tener en cuenta es el dióxido de carbono contenido en exceso de la cantidad equilibrante. Para aguas de dureza baja la corrosión puede ser uniforme sin llegar a formar picaduras pero para aguas de elevada dureza temporal la morfología del ataque puede ser distinta llegando a provocarse picaduras.

Para los tubos de cobre se consideraran agresivas las aguas dulces y ácidas (pH inferior a 6,5) y con contenidos altos de CO<sub>2</sub>. Para su valoración se empleará el índice de Lucey.

En el caso de los tubos de cobre las limitaciones son las siguientes

Características	Agua fría y caliente
pH	7 mínimo
CO <sub>2</sub> libre, mg/l	No concentraciones altas
Índice de Langelier (IS)	Debe ser positivo
Dureza total (TH), °F	5 mínimo

Tabla 8.4.3.b Especificaciones del CTE en relación a la necesidad del tratamiento de las aguas. Tubos de cobre.

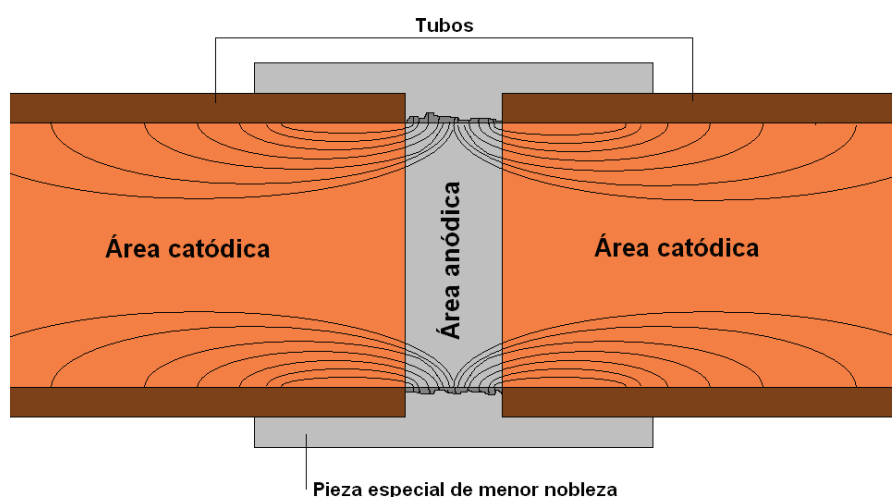
## 8.5 Formación de pares galvánicos

La formación de pares galvánicos en el sistema de instalaciones es relativamente posible, en el caso de tuberías de conducción de agua. Se produce, bien por la conexión intencionada y directa de dos metales distintos o bien por el depósito accidental de partículas de un metal sobre otro, por ejemplo una partícula de cobre sobre la cara

interior de un tubo de acero. El agua conducida por los tubos hace en este caso la función de electrolito. En cualquiera de los casos, como es lógico pensar, el metal que se presta a corrosión es el de menor nobleza, en el ejemplo propuesto, el acero, siempre en la cara expuesta al agua.

En el caso de conexión de elementos metálicos de distinto potencial han de tenerse en cuenta en primer lugar la diferencia en los potenciales de los dos metales, Es razonable pensar que cuanto mayor sea la diferencia de nobleza mayor será la probabilidad de funcionamiento de las pilas galvánicas creadas.

Otro factor a tener en cuenta es la superficie relativa de un metal respecto al otro y la conductividad del agua. Si la superficie relativa del ánodo (metal de menor nobleza) es pequeña respecto de la del cátodo y la conductividad del agua es grande, lo que es normal en el caso de las aguas de consumo urbano en España, puede darse un funcionamiento activo de esta pila galvánica con la ruina del metal anódico al concentrarse una alta intensidad de corriente sobre él. Se han descrito casos (extraños hoy día) de tuberías de acero galvanizado unidas por piezas especiales de zamac (aleación aluminio-estaño) en que éstas resultaron severamente dañadas tras un corto periodo de tiempo.



*Figura 8.5 La desproporción entre áreas anódica y catódica provoca una mayor intensidad de ataque en la menor zona anódica. La reacción catódica puede realizarse a mayor distancia en con un electrolito conductivo.*

Por el contrario, cuando la superficie de ambos electrodos es similar los efectos de la corrosión pueden aminorarse habida cuenta de que no se produce la concentración de corriente descrita en el caso anterior. Sin embargo si la conductividad del agua es pequeña es posible el funcionamiento de pilas galvánicas con mayor intensidad en las proximidades de las uniones.

Ha de tenerse en cuenta, también, que la deposición de capas calcáreas típicas de aguas con dureza cálcica elevada sobre la superficie interior de los tubos dificulta, como es lógico y, en su caso, anula el funcionamiento de estas pilas de corrosión. Al igual que la disposición de manguitos que aíslen eléctricamente los dos metales.

La otra manera, antes apuntada, de formación de pares galvánicos en tuberías metálicas de conducción de agua es la deposición de partículas de un metal sobre otro de potenciales electroquímicos distintos. Los dos metales quedan en contacto eléctrico directo y rodeados del electrolito que supone el agua que los tubos conducen. Si la partícula es del metal menos noble se disolverá con cierta rapidez y la pila dejará de funcionar, pero si, por el contrario, es del metal más noble, quedará protegida y la pila seguirá funcionando mientras las circunstancias no lo impidan pudiendo llegar a formar un cráter creciente con la posible perforación de la pared del tubo.

Estas deposiciones pueden verificarse cuando en la misma instalación participan elementos metálicos de diferente potencial y el de mayor nobleza se ubica “aguas arriba” del otro. De ahí la tan repetida prescripción de ubicar siempre los metales más nobles “aguas abajo” de los de menor nobleza.

## 8.6 Corrosión-erosión

Dadas las limitadas características mecánicas de algunos metales, como es el caso del cobre, en ocasiones se pueden producir efectos relacionados con el rozamiento o choque de los fluidos y las partículas sólidas en suspensión contra las paredes internas de los tubos. Se pueden producir estos efectos en los cambios de dirección afectando a los codos o tubos situados a continuación éstos.

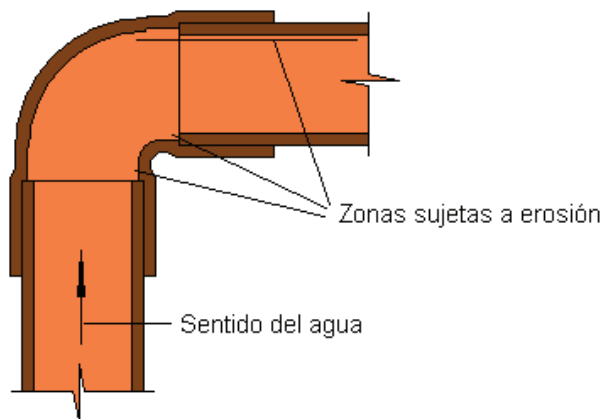


Figura 8.6. Zonas propensas a sufrir erosión en las conducciones.

Es de especial incidencia en los lugares propensos a la formación de turbulencias que en ocasiones se producen por las reducciones de sección debidas a la formación de rebabas durante el proceso de corte de los tubos. Rebabas que han de eliminarse antes de la colocación de los mismos.

La erosión es una de las razones fundamentales para la limitación de la velocidad del agua en las conducciones aunque este parámetro es difícil de controlar en las, anteriormente mencionadas, zonas de turbulencias. Actualmente el Código Técnico de la Edificación limita la velocidad del agua en las conducciones metálicas a un máximo de 2 m/s.

## Corrosión en instalaciones

### Corrosión en elementos de acero por el exterior



*Ejemplo de referencia: Codo de acero negro con síntomas de corrosión*

### Comentario

La corrosión de elementos metálicos de acero, tanto negro como galvanizado, por el exterior está condicionada a las condiciones de humedad existentes sobre su superficie así como las circunstancias de recubrimiento.

Con carácter general en la construcción los tubos se colocan o bien empotrados bajo morteros, hormigones o rellenos de otro tipo o en otros casos, discurren vistos sobre paredes o bajo techos.

En este último caso en que las tuberías van “al aire” la corrosión esta determinada por las condiciones de los locales por donde discurran. Se hace precisa, entonces, la protección mediante sistemas de pintura, adecuados al ambiente reinante, siendo imprescindibles en el caso de ambientes industriales y marinos aunque se trate de aceros galvanizados.

Los problemas en las tuberías empotradas suelen ser los más preocupantes, habida cuenta que su reparación implica dificultades de acceso, con roturas y sustituciones de los elementos constructivos que las envuelven. En este caso es, habitualmente, la calidad de estos recubrimientos, esencialmente los que están en contacto directo con los tubos, la que condiciona la evolución de los procesos de corrosión.

## Los factores de riesgo

- La ubicación de elementos de acero al carbono en el exterior sin protección o sin una protección adecuada es siempre causa de la corrosión superficial de los mismos. Las características del medio determinarán la morfología y gravedad de los ataques siendo especialmente importantes en ambiente industriales y marinos. Los elementos de acero galvanizado tienen, sin embargo, un comportamiento aceptable al exterior en ambientes rurales sin contaminación.
- El empotramiento de tuberías de acero, tanto negro como galvanizado, supone siempre un factor de riesgo en especial si no se cuida adecuadamente el revestimiento. Los revestimientos de morteros de cemento adecuadamente dosificados suponen generalmente una buena protección sin embargo los rellenos contaminados con materiales de desecho, las envolturas de papel u otros materiales higroscópicos acrecientan el riesgo de deterioro.
- La presencia de humedad de cualquier procedencia: condensaciones, filtraciones ascensión capilar, etc. que afecte de forma periódica o permanente a la superficie de los tubos determina el funcionamiento de las pilas de corrosión.

## Los síntomas y la evolución de los daños

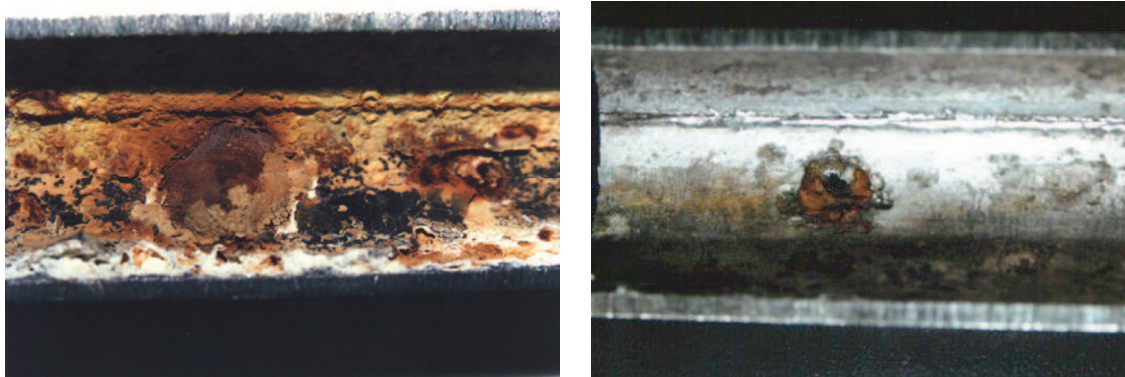
- Es obvio que, en el caso de tubos dispuestos al exterior sin protección, el seguimiento de los procesos de corrosión es sencillo con la observación de la formación, en la superficie, de óxidos pardos, rojizos o amarillentos en el hierro o blancos en el cinc del galvanizado. Cuando están protegidos con capas de pintura su evolución se puede seguir a partir de las observaciones de manchas, formación de ampollas, agrietamientos, etc.
- En el caso de las conducciones empotradas sin posibilidad de observación los daños se manifiestan, habitualmente, tras la perforación de la pared de los tubos y la consiguiente pérdida de agua.
- Una vez iniciada la pérdida de agua los mecanismos de corrosión pueden activarse en mayor medida incrementando los daños de manera importante.

## Ayuda para el diagnóstico

- Valorar la agresividad del ambiente en relación al metal corroído.
- Separar con cuidado los materiales en contacto con las partes dañadas de los tubos y realizar determinaciones de iones despasivantes, especialmente, cloruros. En general, concentraciones moderadas pueden ya coadyuvar a la activación de procesos de corrosión por picaduras, teniendo en cuenta que concentraciones de ión cloruro superiores a 500 partes por millón ya son consideradas suficientemente agresivas en el campo de los morteros, hormigones o materiales de construcción en general.
- Evaluar las posibilidades de acumulaciones de humedad. En especial las condensaciones o filtraciones de agua procedente de fuentes externas y la retención de esta humedad en materiales higroscópicos en contacto con los tubos.

## Corrosión en instalaciones

### Corrosión en tubos de acero galvanizado por el interior



*Ejemplo de referencia: Interior de un tubo de acero galvanizado. La fotografía de la derecha muestra la picadura una vez retirados los productos de corrosión y el resto de las adherencias.*

### Comentario

Los amplios depósitos blanquecinos que quedan de manifiesto en la parte inferior de la fotografía de la izquierda denotan la extrema dureza del agua que ha circulado por el tubo. Por otra parte el aspecto poroso y escasamente compacto de las incrustaciones pone de manifiesto la, muy posiblemente elevada, concentración de cloruros en el agua.

Estas irregularidades en las capas calcáreas provocan que bajo ellas puedan quedar zonas aisladas donde se puedan iniciar picaduras en las que a su vez se incrementa fuertemente la acidificación progresando la corrosión de manera generalizada.

La gran pústula observable en la primera de las fotografías señala la picadura perforante reflejada con claridad en la segunda. Paralelamente, otras picaduras se han iniciado sobre la cara interna del tubo, que no alcanzan la magnitud de la primera.



## Los factores de riesgo

- La calidad del agua con amplia tendencia a las incrustaciones calcáreas.
- La elevada tasa de sustancias disueltas en especial las elevadas concentraciones de cloruros.
- El uso ocasional de las instalaciones con amplios periodos de parada.
- La utilización, en las instalaciones, de materiales no compatibles con la calidad del agua.
- La ausencia de tratamientos que mejoren sustancialmente la calidad del agua.

## Los síntomas y la evolución de los daños

- Los síntomas de corrosión no son directamente observables hasta el momento que las picaduras traspasan los tubos y se producen las primeras pérdidas de agua. No obstante no es difícil de intuir la existencia de problemas cuando sistemáticamente se producen atascos y disfunciones en las instalaciones y sus elementos como consecuencias del elevado nivel de las incrustaciones.
- Solamente en ocasiones muy especiales se colocan “tubos testigo” para el posible seguimiento de la evolución de incrustaciones o procesos de deterioro de las conducciones.

## Ayuda para el diagnóstico

- El camino para el diagnóstico de este tipo de procesos se inicia por una parte en el examen del aspecto de la cara interna de los tubos valorando la intensidad de las incrustaciones y fundamentalmente su continuidad y porosidad.
- Paralelamente los análisis del agua deben aportar la tendencia a la formación de incrustaciones medida por el índice de saturación u otro equivalente.
- Es fundamental determinar el contenido de cloruros y sulfatos con el fin de justificar la propensión a la generación de picaduras.
- No obstante ha de tenerse en cuenta que cuando se dispone de aguas de tan escasa calidad es muy posible que los parámetros determinados en los análisis del agua varíen ampliamente y que durante tiempo hayan circulado por los tubos aguas distintas a la que en el momento del ensayo se dispone

## Corrosión en instalaciones

### Corrosión en elementos de cobre por el exterior



*Ejemplo de referencia: Corrosión de un tubo de cobre*

### Comentario

Es difícil, en la práctica, encontrar ejemplos de elementos de cobre corroídos en el grado en que se muestra en la fotografía, sin embargo, en ocasiones, el medio en que se encuentran ubicados puede ser enormemente agresivo.

La morfología de la corrosión marcada por picaduras, que han llegado a perforar el tubo desde el exterior, ya insinúa la formación de celdas fuertemente acidificadas que activan procesos muy intensos de disolución metálica con la participación de iones despasivantes.

En el caso representado en la imagen el tubo se presentaba recubierto parcialmente por una especie de lechada blanquecina con un contenido de cloruros superior a 3500 partes por millón.

## Los factores de riesgo

- En el caso de picaduras en tubos de cobre por el exterior en las instalaciones convencionales de los edificios los factores de riesgo se circunscriben, como en el caso comentado, a la presencia de cloruros en cantidad suficiente, normalmente muy elevada.
- Cuando los tubos van empotrados el empleo de materiales con concentraciones de cloruros importantes o la contaminación posterior de estos materiales, en principio, sanos con aguas marinas o industriales suele constituir el factor de riesgo más frecuente.
- El concurso de humedad que imprescindible para la consumación de los procesos de corrosión está en la mayoría de los casos garantizado por el habitual mecanismo de condensación.

## Los síntomas y la evolución de los daños

- Los síntomas de corrosión en este tipo de elementos son habitualmente difíciles de percibir habida cuenta que se trata de elementos empotrados o disimulados con falsos techos y solamente se perciben los daños cuando se produce la perforación.

## Ayuda para el diagnóstico

- Separar con cuidado los materiales en contacto con las partes dañadas de los tubos y realizar determinaciones de iones despasivantes, especialmente, cloruros. En general se encontrarán concentraciones muy elevadas, teniendo en cuenta que concentraciones de ión cloruro superiores a 1000 partes por millón ya son normalmente consideradas elevadas en el campo de los morteros, hormigones o materiales de construcción en general.
- Evaluar las posibilidades de acumulaciones de humedad. En especial las condensaciones o filtraciones de agua procedente de fuentes externas y la retención de esta humedad en materiales higroscópicos en contacto con los tubos.

## Corrosión en exterior en instalaciones

### Corrosión por picaduras en por el interior



*Ejemplo de referencia: Tubo de cobre con una picadura por el interior*

### Comentario

La utilización de tubos de cobre en instalaciones de agua fría o caliente no implica la garantía de la no corrosión. Como en el caso de la corrosión exterior no es fácil encontrar ejemplos de tubos corroídos por el interior. No obstante se dan casos de formación de picaduras perforantes como en el mostrado en la figura. Al margen de la corrosión uniforme de escasa entidad, que queda delatada por el color verdoso de las paredes del tubo, se marca una picadura que en este caso perfora la pared del conducto.

En la bibliografía se dan referencias de dos tipos de picaduras denominadas tipo I y tipo II. Las primeras de contorno amplio, redondeado y bien definido y presentes con mucha mayor frecuencia en las conducciones de agua fría. Por el contrario las de tipo II son de pequeño tamaño y presentes primordialmente en las conducciones de agua caliente.

## Los factores de riesgo

- Las aguas procedentes de pozos profundos, con dureza moderada, se ha asociado con frecuencia a la aparición de picaduras de tipo I.
- En aguas con durezas elevadas con altos contenidos de sulfatos y bajos contenidos de cloruros los efectos de las picaduras de tipo I parecen manifestarse más rápidamente.
- El empleo de tubos de cobre recocido que conservan residuos carbonosos procedentes de transformaciones de aceites de estirado en durante el proceso de recocido supone asimismo un factor de riesgo.
- Los tubos de cobre en estado duro son menos susceptibles al ataque por picaduras de los semiduros y éstos a su vez presentan un comportamiento mejor que los de cobre en estado blando, siendo siempre recomendable los tubos de cobre desoxidados con fósforo.

## Los síntomas y la evolución de los daños

- Los síntomas de corrosión no son directamente observables hasta el momento que las picaduras traspasan los tubos y se producen las primeras pérdidas de agua.
- Solamente en ocasiones muy especiales se colocan “tubos testigo” para el posible seguimiento de la evolución de incrustaciones o procesos de deterioro de las conducciones.
- Una vez iniciada la salida del agua, la corrosión se puede extender a la cara exterior de los tubos dependiendo de las circunstancias de recubrimiento de los mismos. No obstante, lo normal, es la reparación inmediata, cuando se advierten las pérdidas de agua. De lo que se deriva que se actúe antes de que los procesos de corrosión por el exterior adquiera entidad.

## Ayuda para el diagnóstico

- Estudiar la morfología de las picaduras y relacionarla con los tipos descritos en la bibliografía.
- Investigar la frecuencia en la ocurrencia de este tipo de procesos en la zona de ubicación de la instalación.
- Investigar la procedencia de las aguas en especial su carácter superficial o profundo.
- Realizar determinaciones sobre las características de las aguas en especial encaminadas a valorar su dureza y el contenido de sulfatos y cloruros.





## Capítulo 9

# Técnicas para el diagnóstico

### 9.1 Introducción

El estudio de los problemas concretos de corrosión que pueden presentarse en los edificios, como en otros muchos ámbitos, pueden ser extraordinariamente complicados especialmente cuando se entra en el campo de la previsión es decir en el campo del pronóstico, habida cuenta de la multitud de variables que pueden actuar sobre estos procesos.

La variedad de metales y aleaciones, multiplicada por la variedad de soluciones constructivas en las que pueden participar y especialmente, la variabilidad de las condiciones ambientales posibles, hace que en muchas ocasiones solamente se puedan realizar algunos acercamientos al conocimiento de lo que ha sucedido y meras especulaciones sobre lo que pueda, en el futuro, suceder.

Sin embargo, en otras ocasiones, a partir de un tratamiento ordenado de la información disponible y de los estudios y análisis adecuados se podrá llegar a determinar y mostrar los fundamentos de los procesos de deterioro observados y de alguna manera, establecer consideraciones solventes sobre su posible evolución.

De cualquier manera, el estudio detenido de estos casos siempre será una fuente de experiencia valiosa para el incremento de su conocimiento y la aplicación en el campo de la prevención de la corrosión metálica y del deterioro de los edificios en general.

En las siguientes páginas se recogen una serie de indicaciones básicas para la inspección así como para la realización de determinaciones cuantitativas o simplemente cualitativas de aplicación a los casos de ocurrencia más frecuente. Estos métodos y análisis se deben complementar necesariamente y adaptar, en su caso, con la experiencia propia del técnico que decida participar en este campo del estudio del deterioro por corrosión metálica.

El esquema de desarrollo del presente capítulo es el siguiente:

- Estrategia general para las inspecciones
- La inspección visual
- Las determinaciones y ensayos
- El diagnóstico
- La redacción de dictámenes

## 9.2 Estrategia general para las inspecciones

Con el fin de realizar un correcto diagnóstico de las causas de los daños por corrosión, conviene enfocar adecuadamente tanto la forma, como el alcance de las inspecciones y demás actividades a realizar, huyendo, siempre, de lo que habitualmente conforman las fuentes de error, cuales son, la precipitación y el establecimiento de prejuicios poco fundamentados.

Previamente al inicio de los trabajos y aconsejablemente antes de aceptar el encargo, interesa realizar una visita o inspección previa con el fin de recoger la información imprescindible para, en principio, aceptar hacerse cargo del estudio y en su caso, preparar las operaciones posteriores sin olvidar aspectos económicos como la previsión de costes de los trabajos.

Este primer contacto ha de aportar, dentro de lo posible, una primera percepción de los daños y su extensión. De la misma manera, ha de detectar los obstáculos que pueden entorpecer las actividades y servir para preparar los medios necesarios tales como: electricidad, suministro de agua, equipamientos precisos de cualquier tipo, formularios o impresos para la inspección, envases para toma de muestras, etc., etc.

Por otra parte la información obtenida ha de servir, asimismo, para documentarse en los aspectos técnico-científicos relacionados con el o los metales dañados, sus recubrimientos o protecciones, las normas de aplicación etc.

Una primera impresión también orientará sobre las fases de actuación y los parámetros a verificar en cada una de ellas sin renunciar nunca a la posibilidad de realizar alteraciones programáticas en función de los datos que secuencialmente se vayan obteniendo. De hecho, la complejidad de algunos casos aconsejará no dar por cerrada la posibilidad de completar las inspecciones hasta que realmente se disponga de un diagnóstico relativamente sostenible.

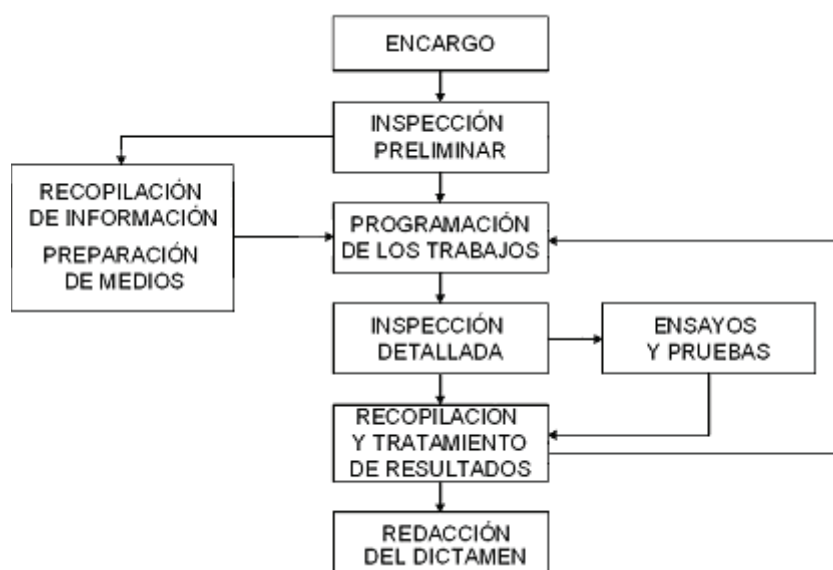


Figura 9.2 Ejemplo de esquema general de organización para abordar los trabajos

Tras una adecuada organización las inspecciones y ensayos el resto de los trabajos serán, dentro de las complicaciones que los aspectos de corrosión implican, más llevaderos y productivos.

La idea de partida para un buen trabajo de inspección es, en primer lugar, la acotación de los daños o elementos dañados, distinguiendo entre los problemas que puedan tener un carácter generalizado y los que, por el contrario, presenten matices localizados. En segundo lugar la preocupación ha de encaminarse hacia la evaluación de la intensidad de los daños, recabando la máxima información posible sobre su inicio y evolución.

En otro orden de cosas, es una ley general, para toda inspección, bien sea preliminar o de detalle, mantener la discreción en cuanto a los juicios u opiniones que uno mismo se forma a tenor de las impresiones que se van recibiendo. En muchas ocasiones los nuevos datos u observaciones hacen que estos juicios se puedan alterar y resulte complicado hacer comprender esos cambios a los demás. El técnico, por tanto, ha de reservar, sus opiniones hasta que estén lo suficientemente fundamentadas, lo cual es aconsejable que coincida en el tiempo con la emisión de su dictamen formal.

Esto no implica no avanzar algunos aspectos genéricos de la investigación primordialmente los que se refieran a la seguridad del edificio y sus ocupantes. Normalmente serán llamadas a la tranquilidad si los daños no conducen a situaciones preocupantes. En caso contrario habrá que tomar las decisiones que la prudencia aconseje.

En los cuadros de las páginas siguientes se recoge un resumen de estos aspectos generales relativos al estudio de los problemas de corrosión metálica remarcando las actividades, los objetivos, los medios precisos, etc.

Actividad	Objetivos	Medios	Producto	Observaciones
Inspección visual	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Identificar síntomas.</li> <li>-Evaluar la profundidad y extensión de daños.</li> <li>-Identificar fuentes de humedad y otras circunstancias ambientales.</li> </ul>	Instrumental básico: -Cinta métrica -Pie de rey -Cámara fotográfica -Medidor de fisuras... Empleo de "kits" o reactivos químicos preparados a propósito para estas determinaciones	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Mapas de deterioro.</li> <li>-Anotaciones sobre la morfología de la corrosión</li> <li>-Circunstancias ambientales</li> </ul>	Se aconseja una actuación paciente y ordenada.
Ensayos y determinaciones "in situ"	Detección cualitativa de agentes activadores de corrosión	Empleo de "kits" o reactivos químicos preparados a propósito para estas determinaciones	-Determinación cualitativa de la presencia de cloruros o sulfatos en zonas corroídas o no.	Se precisa formación específica para la aplicación de métodos que, aunque sencillos, necesitan de cierto rigor para llegar a resultados fiables.
	Evaluación de la humedad ambiental o en materiales de recubrimiento como hormigones o morteros. Medición de espesores de recubrimiento	-Higrómetros -Medidores de humedad -Medidores electrónicos de espesores	-Cuantificación de la humedad relativa del aire. -Porcentaje de humedad en mortero u hormigones -Cuantificación de los espesores de recubrimiento (anodizados, cincados, pinturas...)	Estas determinaciones están sujetas, habitualmente, a variaciones importantes por lo que sus resultados han de ser juiciosamente interpretados. La variabilidad de las medidas de espesor de recubrimiento aconseja, en ocasiones, recurrir a criterios estadísticos para su consideración.
Ensayos de laboratorio	Evaluación de la calidad de recubrimientos	-Reactivos químicos preparados a propósito para estas determinaciones	-Determinación de la calidad de recubrimientos como la del sellado en el caso de anodizado. Determinaciones relacionadas con la carbonatación de hormigones y morteros.	Este tipo de determinaciones está sujeto a ciertas limitaciones como en el caso del anodizado. El ensayo disponible habitualmente, método de la gota colorante, es únicamente para la tonalidad en plata
	Detección cuantitativa o cualitativa de agentes coadyuvantes de la corrosión en materiales de recubrimiento del metal como hormigones o morteros. Evaluación de recubrimientos	Medios específicos en laboratorio. Medios específicos en laboratorio.	-Determinación cuantitativa o cualitativa de la presencia de cloruros o sulfatos en zonas corroídas o no. -Características de los recubrimientos: peso, espesor u otras características como la calidad del sellado en recubrimientos anodizados. -Evaluación de la calidad del hormigón de recubrimiento mediante medida de su porosidad	Existe una amplia gama de "kits" de reactivos disponibles para estos fines. En el caso de los galvanizados en caliente sobre acero la evaluación del recubrimiento se realiza a partir del peso, habida cuenta de la difusión del hierro en el cinc durante el proceso de galvanización.

Actividad	Objetivos	Estrategia	Producto	Observaciones
Análisis e interpretación de resultados	Deducir las causas que han provocado la corrosión metálica	<p>Buscar relación entre la morfología de los ataques y determinados factores de riesgo.</p> <p>Comparar, en extensión, la supuesta actuación de los diversos factores de riesgo con la efectiva materialización de daños: Presencia de humedad, concentración de iones despasivantes, inadecuación de recubrimientos o protecciones, etc.</p>	Obtención de evidencias que impliquen a determinados factores de riesgo en la materialización del proceso corrosivo	<p>La aparición de picaduras, por ejemplo, debe conducir normalmente a la presencia de iones despasivantes. Especialmente los cloruros.</p> <p>Para llevar a cabo esta actividad es siempre recomendable la comparación entre mapas de daños, en donde estos se representen categorizados p.e. Leves, medios e Intensos y mapas de riesgo p.e. cloruros en concentraciones bajas, medias o altas. El paralelismo entre estas categorizaciones puede dar pistas sobre la influencia del parámetro considerado en el proceso de corrosión.</p>
Redacción del dictamen	Explicar fundamentadamente la opinión sobre las causas de los procesos de corrosión analizados	Plantear claramente la relación causa-efecto en los procesos estudiados.	Dictamen que recoja una parte de exposición descriptiva clara y precisa, una segunda parte explicativa de los mecanismos que han actuado para que se haya producido el deterioro y unas conclusiones en las que queden de manifiesto las certezas y obscuridades que sobre el proceso observado.	La redacción de un adecuado dictamen siempre es difícil, por lo que el redactor ha agudizar sus habilidades de buen técnico complementando su formación, si fuera preciso, para este trance. Téngase en cuenta, por ejemplo, que en ocasiones ha de explicar su dictamen ante un juez.

Cuadro general de actividades para la inspección y diagnóstico

### 9.3 La inspección visual

La realización del examen visual ha de comprender, en principio, dos aspectos fundamentales: de un lado, la extensión de los daños y su posible relación con la ubicación de fuentes de humedad o de contaminantes y por otro, la morfología del deterioro en especial la aparición de tipologías singulares como las picaduras que puedan llevar a la necesidad de comprobaciones complementarias. Bien es cierto que, en determinados casos, como es el de elementos expuestos al ambiente marino, la aparición de esta forma de corrosión está prácticamente asegurada ya que la presencia de ión cloruro está garantizada.

De la misma manera se debe graduar la posible magnitud del ataque como el ampollamiento y desprendimiento de recubrimientos, disminución de secciones metálicas, perforaciones y roturas, etc. y cualquier circunstancia que pueda afectar a la resistencia o funcionalidad de los elementos afectados.

Conviene realizar esquemas de deterioro que pueden colorearse con intensidades en proporción al grado de deterioro observado que siempre ayudan, en el gabinete, a la apreciación de los daños con una mayor visión general.

En la figura se representa un esquema de mapa de deterioro, en este caso para un conjunto de soportes de hormigón armado que están afectados de corrosión en sus armaduras. En este caso se han establecido cuatro clases relacionadas con el deterioro y se han coloreado desde el verde al rojo para tratar de graduar visualmente el nivel del daño

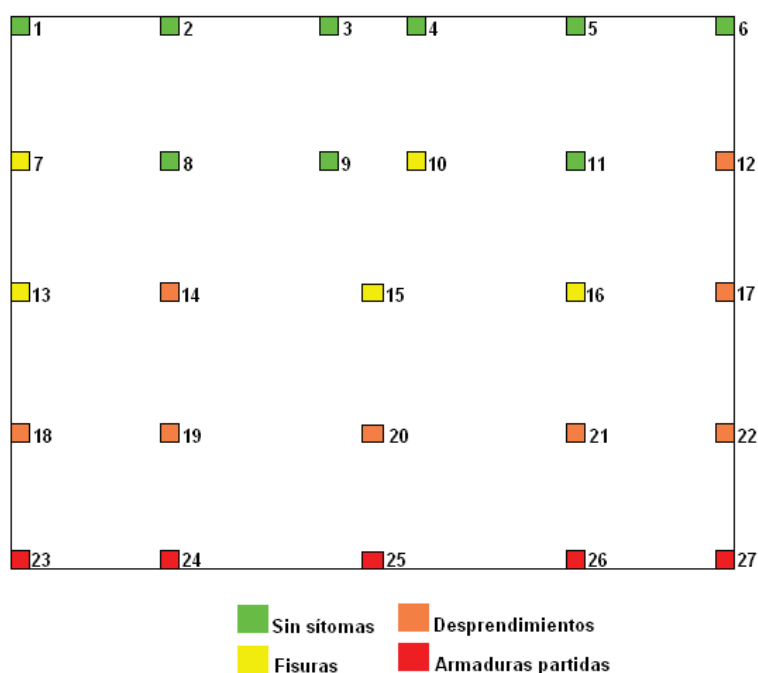


Figura 9.3.a Ejemplo de "mapa de deterioro" de una planta de soportes de hormigón armado..



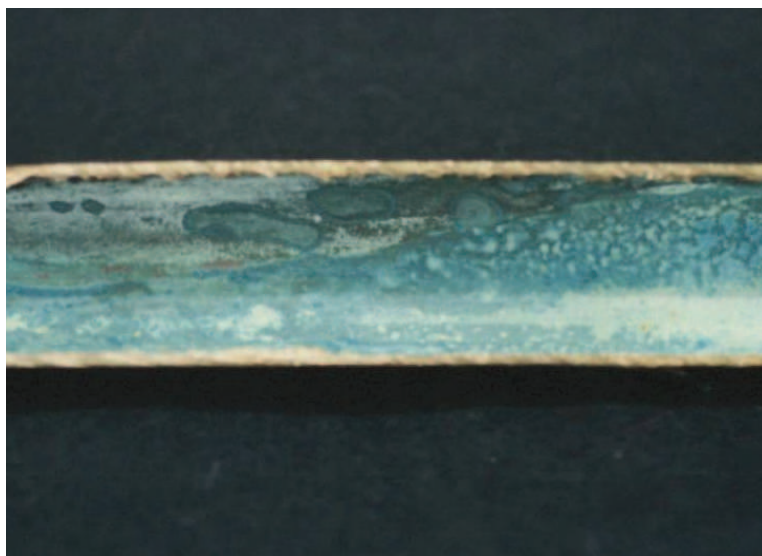
Des su observación se deduce la concentración del deterioro en la alineación inferior mientras que aparece mucho menor afectada la partes opuesta.

Otra acción a lleva a cabo durante el examen visual es la toma de datos relativa a la naturaleza y de los materiales y, en lo posible, la calidad de los mismos y de sus recubrimientos y protecciones. La edad y las características de funcionamiento etc.

La inspección se completa con la valoración del ambiente en el que se encuentra ubicados los elementos metálicos analizados. En el caso de exposiciones al exterior considerando las clases generales habitualmente manejadas. En los casos en que no quede clara la posible influencia de las condiciones concretas de un lugar, siempre es conveniente la observación de los elementos metálicos de edificios colindantes, del mobiliario urbano, fustes de farolas, etc. que puedan aportar síntomas que clarifiquen la calidad del ambiente del lugar. Las acumulaciones de suciedad en recovecos, la existencia de resquicios y cualquier circunstancia proclive acumulación continua o periódica de humedad han de ser localizadas y valorar si tienen relación con la degradación observada.

En el caso de elementos situados al interior de los edificios han de localizarse las fuentes de humedad o contaminantes marcadas por filtraciones, condensaciones, etc. Cuando los elementos se encuentran empotrados ha de valorarse la naturaleza y estado de los recubrimientos sean morteros, hormigones o rellenos de cualquier otra naturaleza.

El técnico ha de huir siempre de inspecciones apresuradas dedicando el tiempo preciso para realizar las operaciones precisas y ha de preverse, siempre, la posibilidad de tener que volver a realizar otra visita para completar alguna cuestión que pueda suscitarse después, a la vista de la información disponible y los estudios correspondientes.



*Figura 9.3.b. Aspecto de un tubo de cobre por el interior observable al seccionarlo.*

Es imprescindible, en ocasiones, completar las observaciones visuales realizadas “in situ” trasladando especímenes al laboratorio. Las razones pueden ser varias, por ejemplo, limpiar o despojar las muestra metálicas o de otro tipo de obstáculos que impiden ver capas ocultas o la morfología de las zona corroídas con más precisión, o bien, como es el caso de los ataques a los tubos por el interior, proceder a seccionarlos para ver su aspecto interior con mayor comodidad que en las obras.

En muchas ocasiones se recurre, para aumentar la potencia de observación, al empleo de lupas binoculares. Solamente y cuando las circunstancias lo requieren, se emplean microscopios. Son los casos en que se requiere comprobar, por ejemplo, estructura interna de los metales o aleaciones, calidad de las soldaduras, etc.

#### **9.4 Las determinaciones o ensayos**

Al margen de la inspección visual, siempre puede ser precisa la realización de algún tipo de determinaciones, unas veces sencillas, como puede ser la medición del espesor de recubrimiento de hormigón sobre las armaduras y otras más complejas donde se precisa el concurso de equipos o reactivos especiales. Determinaciones que habrá que realizarlas a veces “in situ” y en otras ocasiones en laboratorio.

A continuación se describen los aspectos básicos de las determinaciones que con mayor frecuencia se realizan en los caso de investigaciones de fenómenos de corrosión y que van desde las técnicas para el estudio de algunas características de los recubrimientos hasta las más complejas de aplicación de medidas electroquímicas.

##### **9.4.1 Determinaciones sobre los recubrimientos protectores**

Muchas de las determinaciones y ensayos que se realizan van orientadas al conocimiento de las características de los recubrimientos de protección de los elementos metálicos. La determinación más habitual es la del espesor aunque en ocasiones es preciso el conocimiento de otros parámetros que incidan en su calidad como lo es el caso de la porosidad.

###### **9.4.1.1 Medida de espesores de recubrimiento**

La medida de espesores de los recubrimientos protectores de los metales es una actividad muy común dentro de las operaciones de inspección de elementos con problemas de corrosión. La diferente naturaleza de los recubrimientos empleados así como las variedades de los metales recubiertos da lugar a una gama de procedimientos para la determinación de su espesor.

Para la medida de pequeños espesores como pueden ser los de pinturas o recubrimientos anódicos del aluminio se recurre al empleo de medidores de espesores basados en corrientes inducidas o ultrasonidos. Existen diferentes modalidades de estos equipos según se pretenda medir sobre base férrea o base no férrea, los recubrimientos sean o no conductores etc. Estos aparatos permiten apreciar con facilidad el micrómetro. No obstante es importantísimo mantenerlos adecuadamente calibrados.



Figura 9.4.1.1. Medidor de espesores 3000EZ-E Series. Checkline Europe

Estas técnicas de medida permiten en obra realizar gran número de medidas y tienen la ventaja de ser determinaciones no destructivas. En ocasiones conviene reforzar los resultados de las medidas con algunas determinaciones de contraste realizadas en laboratorio. Es el caso del espesor de anodizado en el aluminio en la que la realización de cortes metalográficos constituyen el ensayo de referencia.

Los recubrimientos de cinc sobre acero pueden determinarse mediante el empleo de medidores de espesores de recubrimiento sobre base férrea sin embargo, en el caso de los recubrimientos de galvanizado en caliente, las medidas con estos procedimientos ofrecen las dificultades derivadas del efecto de difusión del hierro que se produce durante el proceso de recubrimiento. En estos casos ha de hablarse, mejor, del parámetro “peso del recubrimiento” de cinc y su determinación no puede realizarse “in situ”.

Las técnicas gravimétricas basadas en la diferencia de pesada de las probetas antes y después de disolver el recubrimiento, mediante un ataque selectivo, permiten conocer el peso de recubrimientos por unidad de superficie. Si se conoce la densidad es posible, asimismo, disponer de una evaluación del espesor. Por ejemplo la capa de anodizado (alúmina) es atacada en medio fosfocrómico que no afecta al aluminio base, el ácido clorhídrico, con hidróxido antimonioso como inhibidor, disuelve las capas de cinc si atacar al acero.

### **Espesor de recubrimiento de hormigón**

Todos los procesos de difusión de agentes agresivos en el hormigón se efectúan a igualdad de otras características, en proporción inversa, aunque no lineal, al espesor de aglomerado a traspasar. El progreso de la carbonatación o la invasión de cloruros son ejemplos en este sentido.

Tanto la instrucción española EHE como la normativa europea establecen valores mínimos para el espesor de recubrimiento en hormigones en función del ambiente en que se ubiquen los elementos estructurales.

Determinar el espesor de recubrimiento, por ejemplo, y compararlo con la profundidad de carbonatación es una actividad usual en la investigación de las causas de la corrosión en las armaduras de hormigón.

La medida del espesor de recubrimiento se realiza generalmente mediante catas que habitualmente se aprovechan para la observación de la profundidad de carbonatación.



*Figura 9.4.1.1 Dos barras del mismo elemento con distinto espesor de recubrimiento una de ellas corroída*

En muchas ocasiones se ofrecen equipos electrónicos para la medida de los espesores de recubrimiento sin la necesidad de realizar catas. En estos casos el técnico deberá asegurarse del adecuado empleo de equipo y de conocer las cautelas que el propio fabricante establezca para su utilización así como la incertidumbre de medida que ofrezca.

#### **9.4.1.2 Evaluación de la calidad de recubrimientos**

Una gama de ensayos a realizar con frecuencia en laboratorio son las determinaciones de las características de algunos recubrimientos bien sean recubrimientos metálicos, orgánicos o cerámicos como el anodizado del aluminio o el propio hormigón. En general se pretenden evaluar los aspectos que puedan tener relación con su capacidad protectora como son su composición su porosidad o su capacidad de adherencia.

En el caso de los recubrimientos anódicos de aluminio se realizan ensayos “in situ” para disponer de información sobre la calidad del recubrimiento, en este caso la

calidad del sellado, parámetro relacionado con la porosidad. El ensayo de mayor empleo es el denominado “de la gota colorante” para aluminio en tonalidades plata.

Este ensayo consiste en la aplicación, previa una preparación superficial, de una gota de un colorante denominado “azul aluminio” durante una pequeña fracción de tiempo. Una vez retirada se evalúa la huella residual. Una intensa huella significa una deficiente calidad del sellado y por tanto del recubrimiento anódico. Por el contrario la desaparición completa de la marca de colorante supone una calidad adecuada del mismo.

Otro tipo de determinaciones, de mayor complejidad y de menor utilización, con la aplicación de microscopía óptica o electrónica persiguen disponer de información sobre la composición o estructura de las capas de recubrimiento como en el caso del estudio de las capas de galvanizado en caliente dada la importancia de la pureza en cinc de la capas externas.

Sin duda en la práctica las determinaciones más frecuentes se suelen realizar para determinar las características de los hormigones que protegen armaduras y que pueden alcanzar a los parámetros que se recogen en la siguiente tabla:

Ensayo	Técnica	Observaciones
Porosidad	Gravimetría. Medida del agua absorbida por unidad de volumen. Habitualmente en %.	La porosidad se toma como un parámetro opuesto a la compacidad de un hormigón y por tanto como un factor que regula el poder protector del hormigón. Hormigones porosos con porosidades por encima del 15% se consideran poco protectores. Porosidades por debajo del 10 % se pueden considerar buenos protectores.
Resistencia	Rotura a compresión de probetas-testigo	La resistencia a compresión es otro parámetro que indirectamente puede implicar una mayor capacidad protectora del hormigón. Resistencias elevadas, por encima de los 30 N/mm <sup>2</sup> son consideradas excelentes para proteger armaduras. Es frecuente en edificios antiguos encontrar resistencia por debajo de los 15 N/mm <sup>2</sup> lo que en general se consideran hormigones escasamente protectores.
Contenido de humedad	Gravimetría. Medida del contenido de agua mediante secado.	El contenido de humedad puede ser muy variable dependiendo de las condiciones de exposición. La humedad es imprescindible para la consecución de las reacciones químicas de corrosión pero también las de carbonatación. No en vano regula la difusión del oxígeno, dióxido de carbono, etc. Contenidos de humedad próximos a la saturación impiden la carbonatación del hormigón y pueden amortiguar las reacciones de corrosión al ejercer un posible control catódico. En el otro extremo, con hormigones secos las reacciones son imposibles.
Resistividad	Medidas eléctricas	Este tipo de determinación no es frecuente. De alguna manera un hormigón conductivo permite obviamente mejor el funcionamiento de pilas de corrosión pero ha de tenerse en cuenta diferentes variables principalmente el contenido de humedad.

Tabla 9.4.1.2. Ensayos habituales sobre recubrimientos de hormigón.

El “Manual para la Inspección de Obras Dañadas por Corrosión de Armaduras publicado por el Instituto Eduardo Torroja describe y da criterios para la interpretación de los ensayos sobre hormigones.



### Medida de la profundidad de carbonatación del hormigón como parámetro fundamental en el estudio de la corrosión de armaduras,

La carbonatación, como se ha apuntado con anterioridad, supone la pérdida de basicidad (pH) en el hormigón desde valores, habitualmente, por encima de pH13 a valores del entorno a pH7 (neutralidad). La evaluación de la profundidad del hormigón del que se estima que ya ha perdido la capacidad protectora, en la práctica, es relativamente sencilla mediante la aplicación de una solución alcohólica de fenolftaleína, sobre una fractura reciente del hormigón que vira al rojo en hormigón no carbonatado mientras se mantiene sin viraje en el carbonatado.



Figura 9.4.1.2.a Se puede apreciar la costra carbonatada del hormigón de más de un centímetro de espesor. El núcleo permanece con carácter básico la fenolftaleína vira al rojo-violeta.

Es relativamente sencillo estimar la profundidad de carbonatación a una edad determinada conociendo la profundidad alcanzada a una edad dada, teniendo en cuenta que el frente carbonatado avanza en proporción a la raíz cuadrada del tiempo según la expresión:

$$E = K\sqrt{t}$$

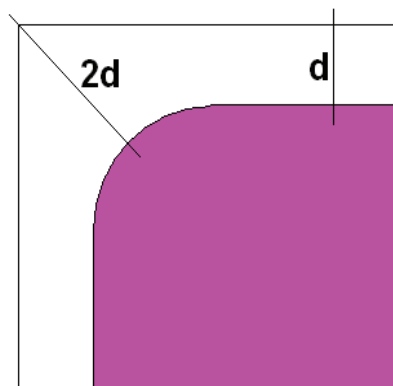
Donde:

- E es la profundidad a una determinada edad
- K es una constante que depende de las circunstancias de cada caso
- t es el tiempo en años

Comoquiera que al conocer la profundidad a una edad determinada se puede deducir K admitiendo que se mantengan las mismas condiciones ambientales se puede calcular la profundidad a otra edad.



En las esquinas de los elementos de hormigón ha de considerarse que el frente carbonatado adquiere una forma redondeada, como la marcada en el gráfico siguiente, lo que es fundamental a la hora de interpretar los resultados de las determinaciones de profundidad de carbonatación y su relación con la posición de las armaduras.



*Figura 9.4.1.2.b. En las esquinas de los elementos de hormigón se produce un incremento de la profundidad de carbonatación si las dos caras están expuestas.*

Ha de tenerse en cuenta que para que se consuma el proceso de carbonatación se precisa de cierta cantidad de humedad ya que en un ambiente extremadamente seco no se pueden verificar estas reacciones, por otra parte en ambientes saturados de agua tampoco es posible la materialización de este proceso por lo que es, en una situación intermedia de humedad, cuando con mayor velocidad se verifica. Esto explica la aparente paradoja de la normativa que considera un ambiente más agresivo aquél con menor humedad (véase la tabla 8.2.2 de la Instrucción EHE-08 donde la clase general de exposición IIa considerada para zonas con precipitaciones superiores al 600 mm es, a los efectos de protección, menos restrictiva que la IIb para precipitaciones inferiores a la citada cifra).

## **9.4.2 Determinación de la presencia de agentes agresivos**

### **9.4.2.1 Determinaciones cualitativas “in situ”**

En general se trata de determinaciones que por su propia naturaleza no pueden realizarse en el laboratorio ante la imposibilidad del traslado del objeto a ensayar. Cuando se trata de determinaciones de tipo químico lo son, normalmente de orden cualitativo. Por otra parte hay que reconocer que las determinaciones en laboratorio y en especial en algunos campos ofrecen una mayor garantía y precisión.

En ocasiones se realizan este tipo de determinaciones cuando se sospecha la presencia de cloruros sobre la superficie de elementos afectados fundamentalmente por picaduras.

Uno de los métodos sencillos para este tipo de determinación es la precipitación de los cloruros mediante nitrato de plata, en medio ácido. El precipitado blanco de cloruro de plata formado delata la presencia de este tipo de iones.

La técnica consiste extender agua destilada sobre la zona a estudiar y recogerla, tras unos segundos, con una pipeta, por ejemplo. Esta solución se vierte en un vaso de precipitados con agua destilada acidificada, con una pequeña proporción de ácido nítrico. Al añadir unas gotas de nitrato de plata se formará, inmediatamente, el precipitado blanco, en el caso de la existencia de iones cloruro.

En la figura se recoge esquemáticamente este ensayo. Interesa siempre hacer, en primer lugar, lo que se denomina un ensayo en blanco con el fin de detectar los posibles fallos en el proceso principalmente la posible contaminación del instrumental empleado.

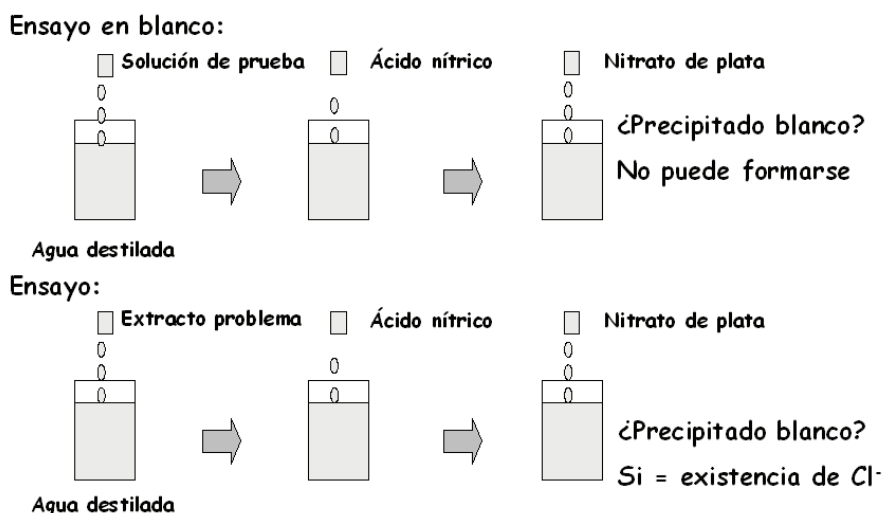
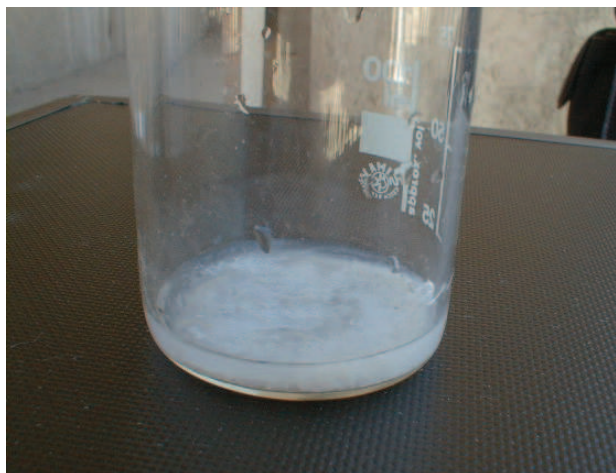


Figura 9.4.2.1.a Secuencia de la determinación cualitativa de cloruros

La claridad o pequeña turbidez de la solución ensayada puede no informar de mucho, sin embargo, un precipitado abundante como el mostrado en la imagen de la figura siguiente ofrece, sin lugar a dudas, el reflejo de una concentración importantísima de cloruros. En este caso el ensayo se realizó simplemente deslizando por el perfil de una ventana un algodón empapado en agua destilada. La presencia de cloruros era en este caso muy importante y en otros ensayos el precipitado era todavía más intenso.



*Figura 9.4.2.1.b Precipitado de cloruro de plata tras un ensayo cualitativo.*

Este tipo de determinaciones añade la ventaja de poder repetirse en multitud de puntos en poco tiempo y poder decidir sobre la marcha, cuántas más y dónde se realizan.

En cualquier caso siempre merece la pena, si es posible, verificar en el laboratorio la presencia de cloruros en alguna muestra de referencia.

#### **9.4.2.2 Ensayos cuantitativos en laboratorio**

Las determinaciones de tipo químico y especialmente si son de orden cuantitativo han de realizarse en laboratorio mediante la aplicación de métodos contrastados que, en muchas ocasiones, están normalizados.

Es muy frecuente recurrir a la determinación de la concentración de iones considerados agresivos en los materiales que están en contacto con los elementos metálicos afectados por corrosión y a tal fin existe metodología al efecto. Lo importante en estos casos es la toma y tratamiento de las muestras hasta que llega el momento del ensayo.

Primordialmente se efectúan determinaciones de cloruros y sulfatos en materiales como morteros y hormigones en contacto con las armaduras o tubos metálicos. Hay que tener en cuenta, en estos casos, que estos iones pueden estar presentes en los materiales desde el momento en que se elaboraron o haber sido adquiridos en la etapa de servicio, en cuyo caso las capas exteriores tendrán habitualmente una mayor concentración.

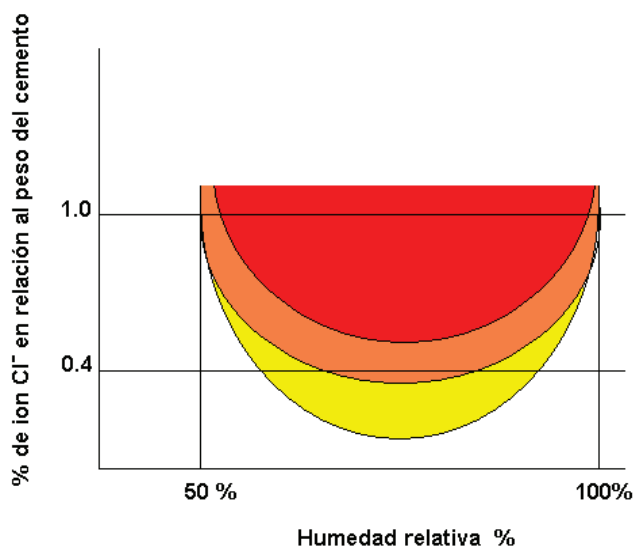


Figura nº 9.4.2.2 Umbral de cloruros en el hormigón en relación al peso del cemento y la humedad relativa. En rojo la zona de mayor agresividad.

Un procedimiento para la determinación de cloruros en el hormigón es la norma UNE112010 Corrosión de armaduras. Determinación de cloruros en hormigones endurecidos y puestos en servicio.

### Determinaciones sobre aguas en instalaciones

Es muy frecuente dentro de los ensayos de laboratorio realizar determinaciones sobre las características de las aguas que circulan en las instalaciones de los edificios con el fin de determinar su incustrabilidad o corrosividad.

En tal sentido existe una amplia gama de ensayos de entre los cuales se remarcan los siguientes:

- Dureza total, permanente y/o temporal
- Alcalinidad (TAC)
- Contenido de sulfatos y cloruros
- Resistividad
- pH
- Contenido de O<sub>2</sub>
- Contenido de CO<sub>2</sub>

En las tablas 8.4.3 se recogen especificaciones del Código Técnico de la Edificación en su sección HS-4 a tener en cuenta en relación a estos ensayos y su aplicación a la necesidad o no, del tratamiento de las aguas.

#### 9.4.4 Medidas de tipo electroquímico

Una gama de ensayos más directamente relacionados con los aspectos electroquímicos de la corrosión metálica lo constituyen las medidas de algunos parámetros como el potencial de corrosión o la velocidad de corrosión.

En el caso del potencial de corrosión las medidas sirven para dar una idea de la probabilidad de que los procesos corrosivos estén activos o puedan activarse, en función de la ubicación en el diagrama de equilibrio electroquímico. Estas medidas son, por ejemplo imprescindibles en los casos de seguimientos de la protección catódica.

Por el contrario las medidas de velocidad de corrosión están emparentadas con la cinética real de corrosión del sistema propuesto.

#### Determinación del potencial de corrosión

Aunque no es frecuente ya que se precisa de equipos específicos, se puede con relativa facilidad determinar el potencial de corrosión de elementos metálicos. Se necesita un electrodo de referencia y un milivoltímetro de alta impedancia.

Con esta técnica se pueden obtener resultados cualitativos no fáciles de interpretar, dependiendo lógicamente del metal y del medio en que se trate. Una utilización juiciosa de la medida de potenciales puede dar lugar a la realización de mapas de riesgo de corrosión por ejemplo en elementos de hormigón armado como se representa en el esquema de la figura.

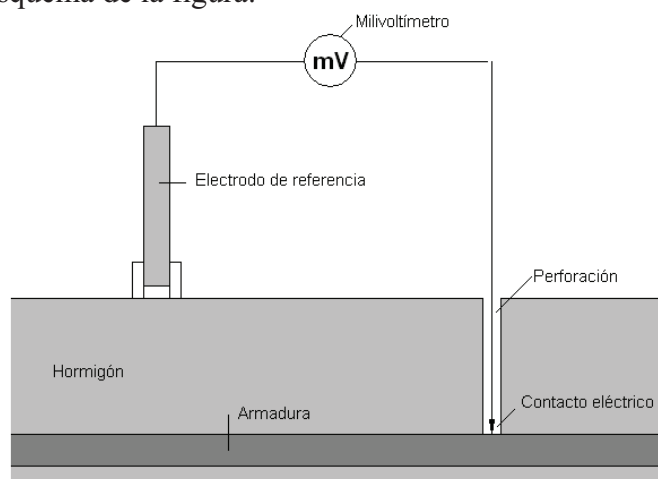


Figura 9.3.7 Esquema de la medida del potencial de corrosión en una armadura,

Basta con establecer un contacto eléctrico con las armaduras mediante una perforación según el esquema. Las diferentes posiciones del electrodo de referencia (calomelanos saturados, por ejemplo), marcarán los valores del potencial de electrodo en cada punto. Valores por debajo de  $-300$  mV (E.C.S) en hormigón pueden ser significativos de riesgo de corrosión. Valores positivos sin embargo puede considerarse de bajo riesgo.

## **Medida de la velocidad de corrosión**

Sin duda la medida de la velocidad de corrosión es un aspecto decisivo la hora de enfrentarse al estudio de procesos de corrosión. Este tipo de técnicas es de aplicación ya antigua en laboratorio mediante la aplicación de diversos métodos como el de la medida de resistencia a la polarización, en corriente continua o medidas de impedancia eléctrica, en corriente alterna.

En general estos métodos consisten en la aplicación a un sistema, metal-medio, de señales eléctricas que alteran ligeramente su equilibrio electroquímico y se estudia su respuesta.

Las muy diferentes y cambiantes circunstancias de los elementos incluidos en los edificios reales hacen que, la aplicación de estas técnicas, requieran de equipamientos muy especiales y de una complicada interpretación de los resultados obtenidos habida cuenta, entre otros factores, del carácter instantáneo de las determinaciones.

### **9.5 El diagnóstico**

A partir de las observaciones y determinaciones realizadas, el experto trata de establecer un juicio que buscando paralelismo son los términos utilizados en medicina se ha dado en denominar diagnóstico.

Diagnosticar consiste en el establecer la relación entre las causas y los efectos, es decir, entre los procesos físicos o químicos que se producen en una situación determinada y los daños que han producido. El técnico, conocedor del proceso de deterioro por su formación y experiencia y apoyándose en datos y referencias de la mayor solidez posible, explica la relación entre las señales de deterioro (síntomas) y el modelo de deterioro (enfermedad) que los causa, descartando otras posibilidades con las que pudiese coincidir.

En ocasiones se diferencian dos escalones dentro de las causas. Se denomina el primero como causas “próximas” (fenómenos que explican desarrollo del deterioro) y el segundo causas “remotas” (defectos que provocan el desencadenamiento de estos fenómenos). En definitiva, el primero consistiría en explicar “qué pasa” y el segundo trataría de explicar “por qué pasa”.

Mientras que la determinación de las causas próximas depende del análisis científico de la cuestión, para el establecimiento de las causas remotas se precisa de la comparación con una referencia concreta que implica la solución adecuada que debió adoptarse.

Se puede, por ejemplo, justificar la corrosión de las armaduras de un soporte de hormigón en base a la acción de iones cloruro, que desde el exterior han accedido a la superficie metálica, como causa próxima. Sin embargo otro planteamiento, que ya



señala ciertas responsabilidades, es la asignación de la causa al escaso recubrimiento de hormigón que las protege y que no cumple las especificaciones de la Instrucción correspondiente.

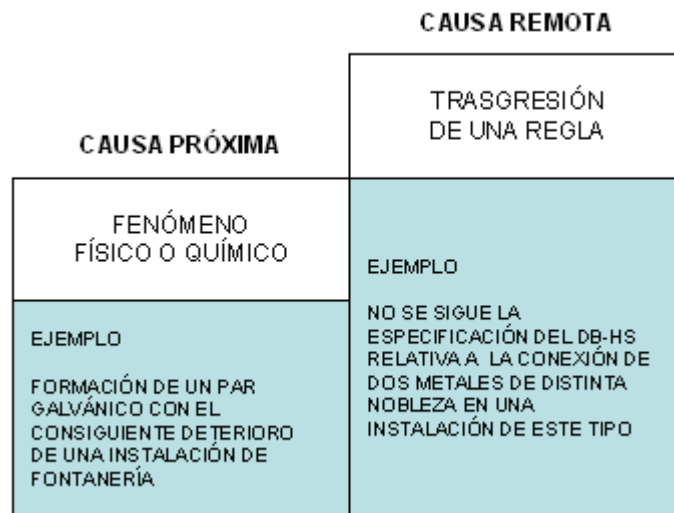


Figura 9.5.a Esquema de los dos escalones primeros de clasificación de las causas.

Como norma general, en los casos habituales en la edificación, ha de comenarse por valorar las fuentes de humedad, factor imprescindible para que los mecanismos de corrosión se activen a temperatura ambiente, considerando su persistencia o su estacionalidad. La simple presencia de humedad sobre la superficie de los metales, habitualmente utilizados en la edificación, puede causar su corrosión aunque en la mayoría de los casos con carácter uniforme y de no muy intensa magnitud.

En segundo lugar ha de considerarse la ubicación y morfología de los elementos dañados valorando la posibilidad de activación de pilas de concentración, pares galvánicos, etc., en zonas de acumulación de humedad. Estudiando la relación entre estas posibles circunstancias y la aparición de los daños.

Por último ha de considerarse la participación de agentes agresivos ligados especialmente a efectos de corrosión de velocidades altas y morfologías de ataque muy localizadas y profundas como son las picaduras. La participación de agentes despasivantes como los cloruros es lo habitual en estos casos. La exposición en ambiente marino, la contaminación de suelos o materiales de recubrimiento o simplemente, la concentración de estos iones en aguas conducidas por tuberías metálicas resumen los casos típicos en donde los efectos de los cloruros o sulfatos pueden aparecer.

En el diagrama de la figura se esquematiza un itinerario habitual para el diagnóstico. En la rama de la izquierda se considera únicamente la acción de la humedad a la que se suman otros factores en las otras ramas en donde la humedad ha de estar también presente.

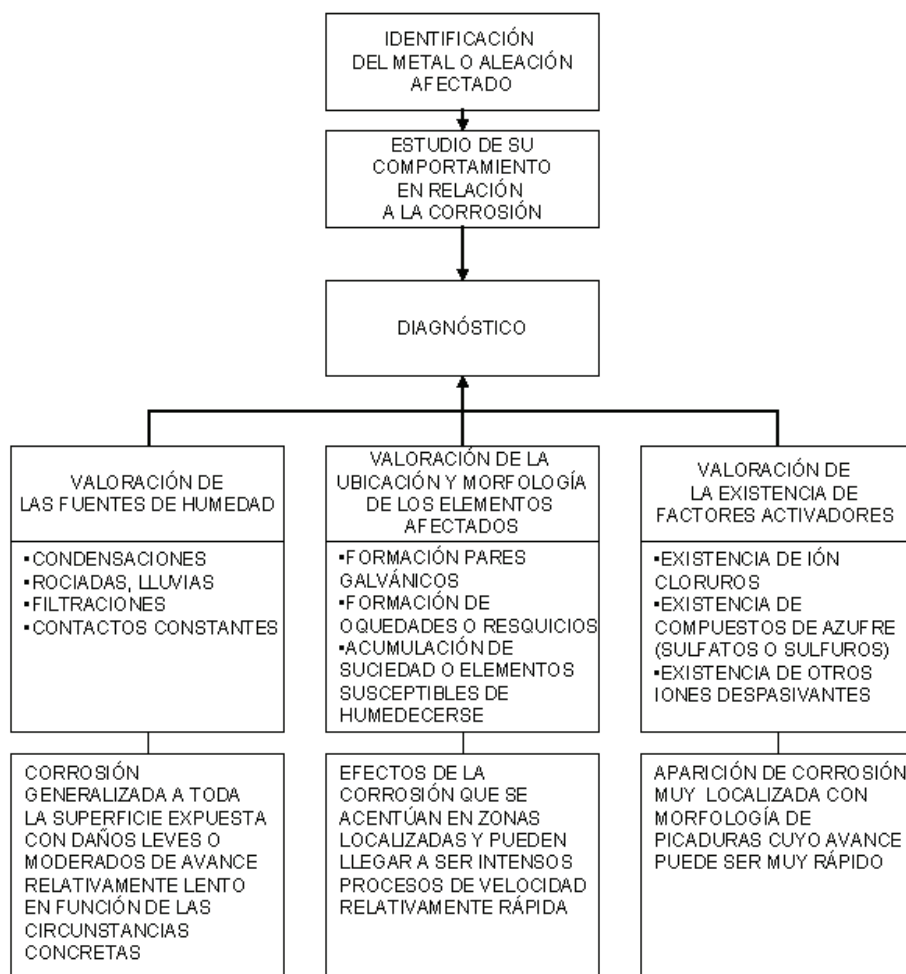


Figura 9.5.b Esquema básico de itinerario para el diagnóstico

Una metodología relativamente sencilla y sobre todo muy expresiva para trabajar y después explicar el diagnóstico, de una manera bastante gráfica, es la elaboración de “mapas de riesgo” comparables con los “mapas de deterioro” que se desarrollan en la inspección visual.

Se trata de identificar los factores de riesgo de corrosión que se consideren compatibles con el modelo de deterioro observado y representarlos gráficamente y de manera graduada al igual que se hacía para el mapa de deterioro. Una comparación de los diferentes mapas de riesgo con el mapa de deterioro puede orientar sobre la influencia de cada uno de ellos sobre el proceso de corrosión. En las diferentes figuras 9.5.a y 9.5.b se representan, a modo de ejemplo, dos mapas de riesgo a comparar con el mapa de deterioro de la 9.5.c.

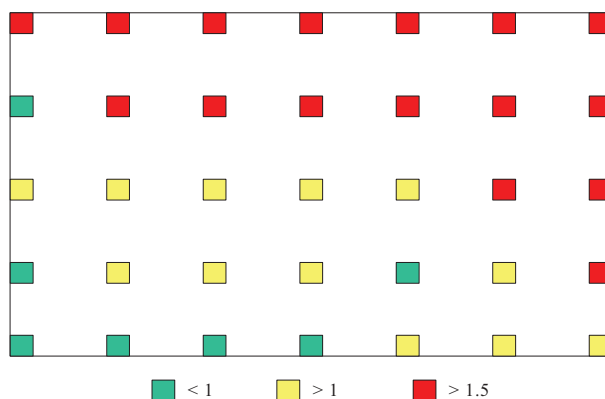


Figura nº 9.5.a Mapa de riesgo. Profundidad de carbonatación/espesor de recubrimiento de una planta de soportes.

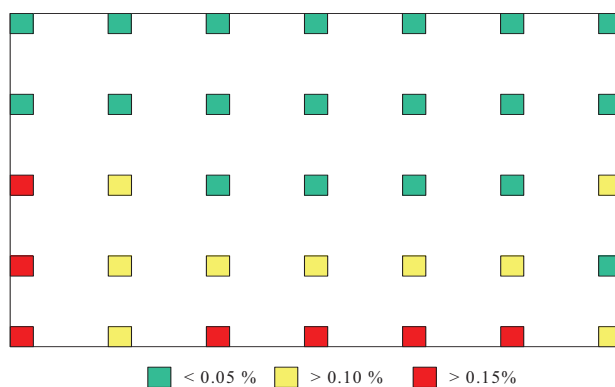


Figura nº 9.5.b. Mapa de riesgo. Concentración de Ion cloruro.

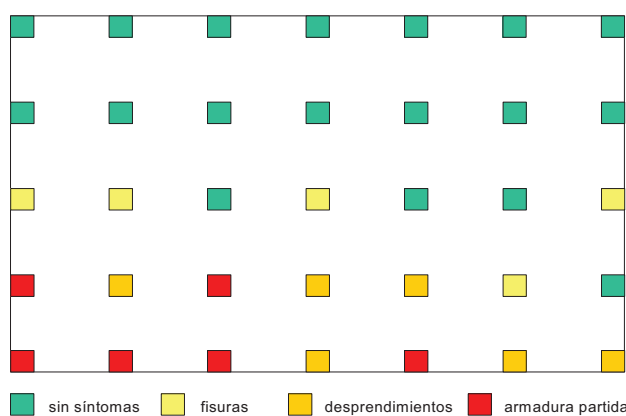


Figura nº 9.5.c Mapa de deterioro.

En este caso se trata de soportes de hormigón armado con armaduras corroídas en diferente grado y los riesgos considerados son: por un lado, la pérdida de la protección del hormigón medida por la profundidad de carbonatación y por otro, la activación de la corrosión medida por la concentración de ión cloruro.

Si esto fuera así, como resultado de la comparación se podría establecer una influencia mayor del segundo parámetro manejado, en el proceso de deterioro abordado.

Para el establecimiento de la causa remota han de hacerse otras consideraciones por ejemplo, si los cloruros estaban incluidos en la masa de hormigón o por el contrario, han sido adquiridos en servicio y, en este caso, si las condiciones de protección son las adecuadas, medidas en calidad del hormigón de recubrimiento o espesor de recubrimiento y comparar, estos datos, con las normativas de aplicación al caso concreto.

## 9.6 La redacción de dictámenes

La redacción de dictámenes sobre problemas de corrosión supone plasmar por escrito la opinión del experto de forma, lo suficientemente ordenada y justificada, que transmita al lector que esta opinión es solvente.

Un dictamen, al margen de los aspectos formales, habitualmente consta de dos partes fundamentales: una primera en donde se describen los trabajos realizados y sus resultados y otra segunda que constituyen los razonamientos que llevan al técnico a una determinada opinión. Todo ello finalizado en un apartado de conclusiones.

La primera parte constituiría lo que técnicamente se considera como “informe” y no debe pasar de ser una parte descriptiva. Su virtualidad radica, por tanto, en la calidad de la descripción. Bien en su aspecto literario, bien en la calidad de sus gráficos, esquemas o fotografías. Se trata de poner delante del lector la información objetiva, precisa, completa y ordenada de manera que pudiera permitirle generar su propia opinión, en su caso<sup>1</sup>.

En la segunda parte el autor despliega los argumentos que fundamentan su opinión. Argumentos en los que maneja las observaciones, los resultados de los ensayos o pruebas, las referencias bibliográficas o normativas utilizadas, etc. Esta parte termina con las conclusiones en las que se resumen los aspectos relevantes del documento y expresamente se remarca la opinión sobre los aspectos planteados como objetivos, normalmente el establecimiento de las causas, la probable evolución de los daños y en su caso, las recomendaciones correspondientes.

Es frecuente encontrar dictámenes en donde, después de la parte expositiva, se pasa directamente a las conclusiones resultando entonces, éste, un apartado largo y denso en donde cuesta trabajo encontrar las verdaderas conclusiones. Es conveniente, por tanto, al menos, separar en dos apartados esta última parte: uno titulado, por ejemplo, “discusión” y otro final conclusiones.

A continuación se relacionan una serie de apartados típicos que pueden aparecer en un dictamen típico:

---

<sup>1</sup> Se refiere aquí la lectura del informe por una persona técnicamente formada.

## **INTRODUCCIÓN**

Es frecuente incluir un apartado de introducción en muchas ocasiones titulado “antecedentes” como encabezamiento de los informes. Este apartado tiene como cometido recoger tanto el objeto como el alcance. Aquí ha de quedar claro qué se pretende con el escrito y quién lo encarga. Equivale, en otros términos, al enunciado del problema.

## **DATOS Y DOCUMENTOS DE PARTIDA**

Cuando aparece este apartado normalmente se reserva para indicar alguna información de que se dispone con anterioridad al inicio de los trabajos, bien recogida en documentos o en manifestaciones relacionadas con el objeto del informe y que el técnico redactor considera relevante como punto de partida o como información complementaria.

## **REGLAMENTOS O NORMAS DE REFERENCIA**

Este apartado queda reservado para reflejar la normativa o la reglamentación que se haya utilizado bien como referencia para la confección del informe, bien por su obligatoria aplicación a los objetos estudiados o simplemente como apoyo. Se puede, asimismo, incluir la referencia a textos especializados que han servido para la confección del documento e incluso puedan servir de guía o complemento para su comprensión.

## **INSPECCIONES VISUALES**

Es habitual incluir apartados dedicados a inspecciones visuales que reflejan con el detalle suficiente la información que el técnico recoge, en sus trabajos de campo, siempre precedidos de una pequeña introducción en la que se indica la fecha de realización u otros datos genéricos de interés.

Esta información se refleja como descripciones escritas complementadas normalmente por gráficos o fotografías que den una idea clara al lector del panorama general o de detalle de lo inspeccionado. En estas descripciones, muchas veces el técnico puede enredarse al tratar de describir, con palabras, aspectos complejos que, muchas veces, se aclaran fácilmente con un gráfico, medio de expresión, por otra parte, al que los técnicos estamos acostumbrados. También se incluyen fotografías que dan una visión más realista aunque, algunas veces, no más aclaratoria.

La descripción ha de iniciarse siempre por los aspectos más genéricos y caminar hacia los detalles más precisos. En los informes dedicados al estudio de los daños de un

edificio es frecuente dedicar el inicio a la descripción del los objetos en su supuesto estado inicial para posteriormente describir los daños correspondientes.

La inclusión de gráficos o fotografías ha de hacerse de una forma selectiva, incluyendo la cantidad necesaria de las mismas sin que en ningún momento supongan una interrupción en la lectura “corrida” del documento.

Es también frecuente incluir, dentro de este apartado mediciones o determinaciones sencillas que el propio técnico realiza con la ayuda del equipamiento correspondiente (cintas métricas, medidores de fisuras, calibres, etc.) cuya aplicación no requieren de un procedimiento complejo. Sus resultados se pueden ir reflejando en el texto pero cuando constituyen un bloque de cierta entidad es conveniente la realización de tablas en donde se inserten ordenadamente.

Cuando el volumen de información es grande lo razonable es disponer un anexo, al final del informe, con los datos en el formato adecuado. En ese caso en este apartado se hace simplemente mención a que *en el Anexo .. se recogen ordenadamente los datos resultantes de .....*

## **ENSAYOS Y PRUEBAS**

Se reserva, este apartado, para las determinaciones experimentales que, en general, superan en complejidad a las que se realizan en la inspección visual, normalmente responden, asimismo, a la aplicación de procedimientos normalizados y con frecuencia son realizadas por entidades ajenas al técnico que son contratadas por él o actúan por cuenta del peticionario previo acuerdo con el redactor del informe.

Dado que los resultados de estas determinaciones se reciben en forma de actas o informes de resultados es normal hacer mención simplemente al objeto de dichos experimentos y un resumen ordenado de sus resultados, relegando a un anexo las copias de los documentos emitidos por la entidad que los realiza.

## **DISCUSIÓN**

Este apartado puede denominarse de otras formas. En ocasiones se denomina “Interpretación de resultados”, “Comentarios sobre los resultado”, etc. porque en realidad se trata de establecer qué quieren decir los datos que tenemos delante y en concreto qué traducción técnica realiza el técnico redactor. En ocasiones se obvia este apartado, incomprensiblemente, pasando a las conclusiones directamente. Esto implica la renuncia, en parte, a explicar el fundamento de la opinión corriendo el riesgo de que ésta tenga las trazas de ser una opinión “gratuita”.

Discutir es confrontar y es el sentido final de este apartado que se integra en los dictámenes precisamente para, dadas una serie de posibilidades o de diferentes opciones, que surgen en la cabeza del experto, elegir una sobre otras, habida cuenta de que tiene una explicación más plausible.



En definitiva, en este apartado, el técnico explica sus razonamientos basados en comparaciones o en deducciones lógicas que a partir de los datos terminan por conformar su opinión.

## CONCLUSIONES

Si el apartado precedente ha sido adecuadamente redactado, el establecimiento de las conclusiones es relativamente fácil. Se trata de resumir en términos sencillos los aspectos más significativos de los razonamientos expuestos, dando respuestas claras y entendibles, a las incógnitas que se planteaban al comienzo del proceso. Habitualmente el peticionario de nuestro dictamen es lo que, en principio, quiere encontrar. Un lector de mayor formación o curiosidad técnica estará más interesado por leer los apartados anteriores.

Un guión razonable para la redacción de las conclusiones de un informe de corrosión puede ser:

Descripción de la causa o causas próximas

*La causa de que se hayan producido los fenómenos de corrosión en las armaduras, de los soporte estudiados, es la activación de pilas de concentración sobre la superficie metálica. Este proceso se ha consumado una vez que el hormigón de recubrimiento se ha carbonatado perdiendo, por tanto, su carácter protector. El deterioro ha progresado paralelamente a existencia de humedad que en este caso está garantizada dada.....*

Descripción de la causa o causas remotas

*Los recubrimientos de hormigón utilizados no cumplen las especificaciones mínimas establecidas por la reglamentación vigente. Los espesores medidos son del orden de la mitad de los necesarios.*

Otra versión más edulcorada podría ser:

*La utilización de un recubrimiento de hormigón de mayor espesor habría retardado sustancialmente la aparición de los daños descritos.*

Es habitual en este tipo de dictámenes introducir los comentarios precisos sobre la posible evolución de los daños.

*De mantenerse la situación actual, los daños observados tenderán a incrementarse de manera progresiva pudiendo llegar a medio plazo a la rotura de algunas armaduras primordialmente los estribos.*

También en ocasiones se complementan con recomendaciones de actuación futura.

*Dado el panorama descrito es recomendable acometer la reparación de los daños de acuerdo con las prescripciones de los expertos en este tipo de actuaciones. Con el fin de conjurar posibles situaciones derivadas del avance de los daños se establece, asimismo, la necesidad de proceder a un apuntalamiento provisional del elemento dañado.*

Al pie de las conclusiones figura como es habitual en cualquier documento de este tipo la fecha de redacción y la firma del o los, redactores.

## **ANEXOS**

Los anexos constituyen apartados dedicados, generalmente a recoger información o muy extensa, o muy especializada que pueda suponer un obstáculo para la lectura coherente del informe, distrayendo o confundiendo al lector. También pueden tener un objetivo ilustrativo o complementario de la información específica del informe.

Son ejemplos de anejos típicos en informes:

- Reportajes fotográficos extensos
- Informes complementarios
- Actas de resultados de ensayos
- Cálculos complejos o extensos
- Hojas de trabajo, formularios utilizados en campo, etc., etc.

# Capítulo 10

## La prevención de la corrosión en los elementos metálicos

### 10.1 Introducción

La corrosión de los elementos metálicos empleados en los edificios puede en mayor o menor medida evitarse bien utilizando metales o aleaciones resistentes a estos procesos de degradación, en los ambientes concretos en que éstos se hallen o bien evitando, de algún modo, el funcionamiento de las pilas de corrosión que inicien o mantengan el proceso.

En la figura siguiente se tratan de resumir los caminos habituales para evitar o minimizar la corrosión y que van desde el diseño de las soluciones procurando morfologías que favorezcan el anidamiento de humedad, en definitiva de electrolito, hasta las soluciones más sofisticadas con la aplicación de técnicas electroquímicas, pasando por el empleo de metales resistentes a la corrosión o recubrimientos protectores. Es menos frecuente el empleo de inhibidores de corrosión a los que no obstante se dedicará un apartado.

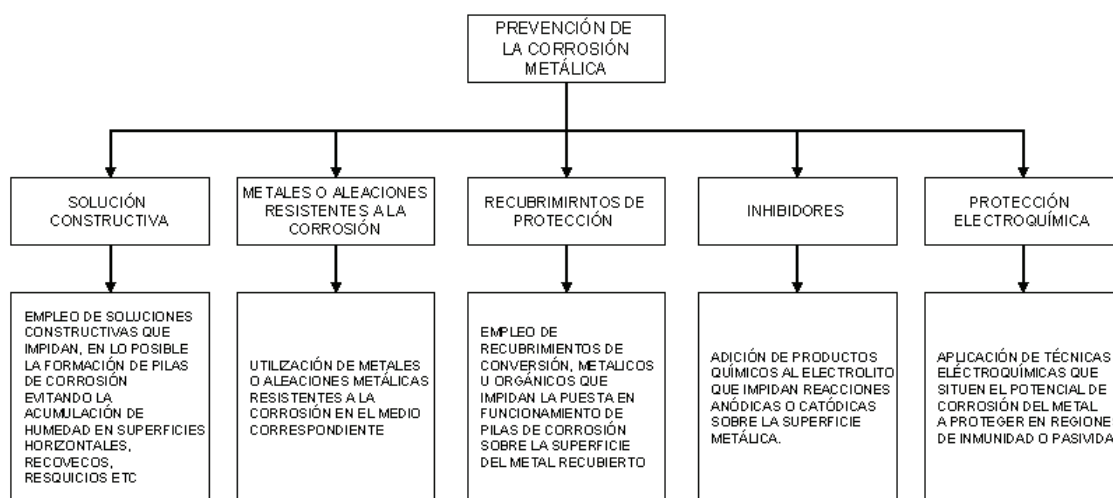


Figura 10.1 Resumen del las técnicas de prevención de la corrosión metálica

En las siguientes líneas se tratará de orientar la lucha contra la corrosión realizando en primer lugar una descripción de metales o aleaciones resistentes a la corrosión y en segundo lugar un recorrido por las técnicas de protección más frecuentes en especial en los recubrimientos de los distintos tipos y finalmente unas ideas sobre la protección anódica y catódica.

## 10.2 El diseño de la solución constructiva

Al margen de las consideraciones que se realizarán en los apartados siguientes una cuestión fundamental, en especial para los elementos ubicados en el exterior, es evitar formas que los hagan vulnerables a la corrosión favoreciendo encharcamientos en los que el agua perdure o provocando la acumulación de humedad en resquicios y recovecos bien por simple escorrentía o por otras vías como la condensación. Se podría asimismo hacer una consideración respecto de las acumulaciones de polvo o suciedad que paralelamente conllevan retenciones de humedad.

La Instrucción EHE-08, por ejemplo, incluye condiciones en este sentido en su apartado 37.2.2. Selección de la forma estructural, que resultan ilustrativas y que son aplicables a cualquier otro caso con una juiciosa adaptación y que se reproducen a continuación.

*En el proyecto se definirán los esquemas estructurales, las formas geométricas y los detalles que sean compatibles con la consecución de una adecuada durabilidad de la estructura.*

*Se evitará el empleo de diseños estructurales que sean especialmente sensibles frente a la acción del agua y, en la medida de lo posible, se reducirá al mínimo el contacto directo entre ésta y el hormigón.*

*Además, se diseñarán los detalles de proyecto necesarios para facilitar la rápida evacuación del agua, previendo los sistemas adecuados para su conducción y drenaje (imbornales, conducciones, etc.). En especial, se procurará evitar el paso de agua sobre las zonas de juntas y sellados.*

*Se deberán prever los sistemas adecuados para evitar la existencia de superficies sometidas a salpicaduras o encharcamiento de agua.*

*Cuando la estructura presente secciones con aligeramientos u oquedades internas, se procurará disponer los sistemas necesarios para su ventilación y drenaje.*

*Salvo en obras de pequeña importancia, se deberá prever, en la medida de lo posible, el acceso a todos los elementos de la estructura, estudiando la conveniencia de disponer sistemas específicos que faciliten la inspección y el mantenimiento durante la fase de servicio.....*



*Figura 10.2. El diseño plano de la cara superior de este bolardo permite la permanencia del agua de lluvia y el polvo favoreciendo el inicio de la corrosión. Otra zona sensible es la próxima al suelo.*

### **10.3 Los metales y aleaciones resistentes a la corrosión**

Un procedimiento directo para paliar o evitar la corrosión es el empleo de metales o aleaciones resistentes a este tipo de deterioro. No obstante es razonable pensar en las dificultades que tal camino implica puesto que, raramente, se puede asegurar un comportamiento impecable de un metal en cualquier tipo de situación y ambiente.

Únicamente los metales como el oro y el platino de alta nobleza termodinámica y el titanio, que en la práctica se comporta como tal, aspiran con solvencia a ese tipo de comportamiento pero también es cierto que su uso no es tampoco habitual en los edificios.

Quedan como metales y aleaciones relativamente resistentes a la corrosión el cobre, el acero inoxidable y algunas otras aleaciones de cobre y acero todos con limitaciones, en especial, en ambientes muy agresivos presididos por lo general por la inclusión de cloruros. Dado que en el capítulo dedicado a los metales se hacían consideraciones respecto del cobre, se desarrollan a continuación unos apuntes sobre algunas de las aleaciones de cobre y acero.

#### **10.3.2 Las aleaciones del cobre**

En el apartado 3.3 se hacía referencia al cobre como metal relativamente noble de utilización frecuente en la edificación en componentes de instalaciones, cubiertas etc. No obstante se recurre a algunas aleaciones con el fin de mejorar algunas propiedades especialmente mecánicas que se extienden también al ámbito de su resistencia a la corrosión. El latón y el bronce son las dos aleaciones clásicas en donde el cobre participa de forma determinante como garante de su resistencia a la corrosión.

##### **10.3.2.1 El latón**

Los latones son aleaciones de cobre y cinc con contenidos variables de ambos componentes en las que el cobre sería mayoritario y con la posible concurrencia de otros elementos minoritarios. Se fabrican variantes para forja y en menor medida para moldeo.

Las propiedades de los latones varían en función de la proporción de cinc que alberguen así como su color que va de los más rojizos, los ricos en cobre, tornándose más amarillentos conforme va incrementándose la proporción de cinc. El color similar al oro se obtiene con una proporción del 15% de cinc.

El denominado “Latón del Almirantazgo” de alta resistencia a la corrosión en agua de mar contiene cobre en proporciones de alrededor del 70 al 73%, cinc del 26 al

28%, estaño del 0,9 al 1,2% y otros componentes como el plomo o el hierro en proporciones menores. El latón al aluminio y el latón rojo son variedades que también presentan mejores comportamientos que el propio cobre en especial en ambientes marinos.

Los latones pueden aparecer en los edificios en componentes de instalaciones y como elementos de decoración interior o exterior con buenos resultados frente a los procesos de degradación metálica.

#### **10.3.2.2 El bronce**

Al igual que los latones el bronce puede aparecer en los edificios como componente de instalaciones de fontanería como componente de cuerpos de válvulas y otras piezas especiales. Igualmente su utilización en escultura, complementos de la carpintería, campanas etc. hace que sea un antiguo participante en los edificios, especialmente los de cierto nivel artístico.

Sus productos de corrosión verdes o azules turquesas son asimismo típicos en los elementos de bronce situados al exterior.

Los broncees son aleaciones de cobre y estaño con un contenido de estaño de hasta el 20%. Los broncees especiales como el bronce de campanas superan esta proporción. Se complementa esta aleación con componentes minoritarios como el fósforo, cinc, níquel y plomo.

En general este tipo de aleación se prepara para moldeo y en mucha menor medida para forja. Los broncees de mayor tradición para aplicaciones exteriores en edificios como placas, puertas o elementos esculturales, contienen el 10% de estaño y un 2 % de cinc y presentan una adecuada resistencia a la corrosión.





*Figura 10.3.2.2 Existe una gran tradición del bronce en elementos metálicos situados al exterior*

### **10.3.3 Las aleaciones de hierro**

#### **10.3.3.1 El acero inoxidable**

Los aceros inoxidable forman una familia de productos con resistencias mejoradas frente a la corrosión respecto del acero al carbono. La adición de cromo o cromo y níquel en proporciones adecuadas logran fortalecer en gran medida el comportamiento de los aceros frente a la corrosión. Dependiendo de la proporción de carbono cromo y níquel se obtienen diversas variedades de acero inoxidable:

Los aceros inoxidable martensíticos (AISI 420 por ejemplo) tienen una proporción de cromo, habitualmente, por debajo del 13 % y los ferríticos (AISI 430 por ejemplo) por encima de esta cifra, ambos sin el concurso del níquel. Cuando se añade níquel junto con una proporción de cromo suficiente (del orden del 17 % como mínimo) se obtiene los denominados aceros inoxidable austeníticos (AISI 304 por ejemplo) de mayor interés para las aplicaciones habituales en la construcción. No obstante estos tipos de acero son sensibles a la presencia de cloruros, en mayor grado los ferríticos. Para fortalecer la resistencia al ataque por picaduras, consecuencia de la presencia de ión cloruro en concentraciones de importancia, se recurre a los aceros austeníticos con cierta proporción de molibdeno (Tipo AISI 316 por ejemplo).

El Código Técnico de la Edificación, por ejemplo establece, en su Documento Básico DB HS Salubridad que *“para las tuberías de acero inoxidable las calidades se seleccionarán en función del contenido de cloruros disueltos en el agua. Cuando éstos no sobrepasen los 200 mg/l se puede emplear el AISI-304. Para concentraciones superiores es necesario utilizar el AISI-316”*.

### 10.3.3.2 El acero “corten”

Este tipo de acero se corresponde con aceros de mayor resistencia a la corrosión atmosférica, en ambientes urbanos e industriales, fruto de su composición química en la que participan el cobre, el cromo y el níquel como elementos representativos. En los ambientes marinos, sin embargo su comportamiento está más cercano al de los aceros comunes al carbono aunque superándolos.

El mecanismo que provoca este mejor comportamiento es la formación de capas autoprotectoras de óxidos pardo-rojizos de aspecto uniforme a la que se le ha dado, asimismo, cierto valor estético.

## 10.4 Los tratamientos superficiales

Una de los caminos para mejorar el comportamiento frente a la corrosión consiste en someter el metal a determinados tratamientos químicos que creen una capa superficial que tenga un mejor comportamiento frente a estos procesos.

Existen diversos tratamientos en este sentido. A continuación se describen los típicos tratamientos de protección sobre el acero y el aluminio. En general a este revestimiento se les denomina recubrimientos de conversión.

### 10.4.1 El fosfatado

Consiste, el fosfatado, en la formación de determinados tipos de fosfatos, producto del sometimiento de la superficie del acero a soluciones de ácido fosfórico o fosfatos que crean capas protectoras de estructura cristalina o amorfa, según el caso.

En el primero, el tratamiento con ácido fosfórico, se obtienen capas entre 2  $\mu\text{m}$  y más de 50  $\mu\text{m}$ , mientras el tratamiento con fosfatos primarios y amonio las capas son más delgadas de 0,25  $\mu\text{m}$  a 1  $\mu\text{m}$ , lo que permite mejor su doblado, embutido, etc.

En general, estos tratamientos mejoran las condiciones frente a la corrosión, pero solo en cierta medida, lo que los hace adecuados para su utilización en ambientes interiores no agresivos.

### 10.4.2 El cromatado

Los cromatados consisten en la precipitación sobre la superficie del metal de un gel complejo de óxidos y cromatos, fruto de la acción de soluciones con iones  $\text{CrO}_4^{=}$  o  $\text{Cr}_2\text{O}_7^{=}$ .

En función del proceso concreto de cromatado se obtiene recubrimientos de distinto color que crece en oscuridad desde el incoloro al verde oliva, pasando por el amarillo y paralelamente crece en riqueza de iones  $\text{Cr}^{+6}$  lo que le confiere asimismo una mayor resistencia a la corrosión.

En cualquier caso, estos recubrimientos son de pequeños espesores, del orden de  $0,50\mu\text{m}$  y en algunas variantes hasta  $3\mu\text{m}$  lo que hace que los productos cromatados puedan ser objeto de tratamientos de deformación y de recubrimiento con pinturas.

Los cromatados se pueden utilizar para la protección de acero, cinc, aluminio, etc.

### 10.4.3 El pavonado

El pavonado es un tratamiento para el acero que conduce a recubrimientos de óxidos logrados a elevada temperatura, sobre los  $500^\circ\text{C}$ , con la participación de sales fundidas ( $\text{NaOH}/\text{NO}_3\text{K}$  ó  $\text{Cr}_2\text{O}_7\text{K}_2/\text{Cr}_2\text{O}_7\text{Na}$ ). El acabado es prácticamente de color negro. El aspecto del acabado de los cañones de algunas escopetas de caza puede ser ilustrativo, en este sentido.

Son recubrimientos de escasa resistencia a la corrosión pero que mejoran de manera importante con el añadido de otras sustancias como aceites. Su aplicación práctica se reserva a ambientes interiores.

### 10.4.4 El anodizado

Sin duda el recubrimiento de conversión de mayor popularidad, en el ámbito de la construcción, es el anodizado, habida cuenta del éxito de este tipo de tratamiento sobre el aluminio empleado en carpinterías y otros elementos de los edificios.

El proceso de anodizado consiste en la generación de una capa de alúmina mediante la corrosión, controlada industrialmente, de los elementos de aluminio. En este proceso las piezas hacen el papel de ánodos, en un proceso electrolítico, normalmente realizado en medio ácido. Esto provoca el posicionamiento en una zona de su diagrama de equilibrio electroquímico en donde parte del metal se disuelve con la formación de alúmina con espesores que normalmente pueden llegar desde  $5\mu\text{m}$  hasta  $25\mu\text{m}$ . La alúmina es un material cerámico, no conductor y de alta dureza (corindón). Por otra parte, estas capas son transparentes, lo que implica cierta ventaja a la hora de la fabricación de elementos coloreados.

Habitualmente el electrolito empleado es una solución de ácido sulfúrico, aunque pueden emplearse otros como el oxálico, el crómico, el fosfórico, bórico. Etc. Los procesos de anodizado pueden ser, por tanto, muy variados y los productos resultantes de ellos múltiples en sus características y aplicaciones.

No obstante la capa de óxido de aluminio formada en este proceso es, sin embargo, irregular en el sentido que, aunque se forma una primera capa continua, de pequeño espesor denominada “estrato barrera”, el grueso de la capa de alúmina adolece de cierta porosidad. El esquema de la figura trata de dar una idea de la estructura de las capas anódicas.

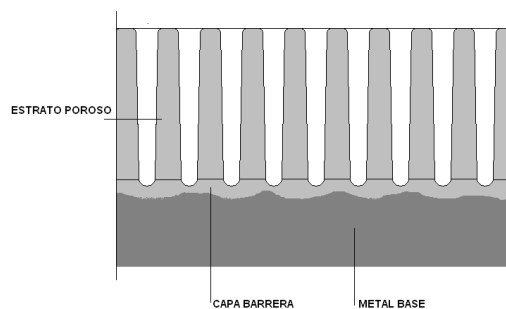


Figura nº 10.4.4.a Esquema de la morfología de la capa de alúmina

Esto hace que haya de someterse a un proceso complementario denominado “sellado” que tiene como misión “taponar” estos poros logrando entonces un recubrimiento compacto y con gran poder protector, si el proceso se realiza adecuadamente.

La capacidad de protección final de esta capa de alúmina depende de dos parámetros principales: el espesor de la capa y la calidad de su sellado.

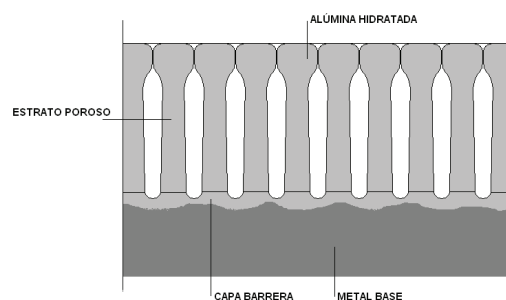


Figura nº 10.4.4.b Esquema de una capa de anodizado tras el sellado

En general las capas de anodizado para perfiles se clasifican en clases que se identifican por su medida nominal en micrómetros. La tabla de la figura 10.4.4.c

Clase	Espesor	Aplicaciones
5	5 $\mu\text{m}$	Interiores sin desgaste y con limpieza.
10	10 $\mu\text{m}$	Interiores sin desgaste y sin limpieza.
15	15 $\mu\text{m}$	Exteriores en atmósfera rural; atmósfera marina o industrial con limpieza frecuente; siempre sin desgaste.
20	20 $\mu\text{m}$	Interiores con rozamiento; atmósfera rural sin desgaste; atmósfera marina o industrial con desgaste.
25	25 $\mu\text{m}$	Exteriores en atmósfera marina e industrial simultáneamente o cualquiera de ellas con desgaste.

Figura 10.4.4.c Tabla de clases de espesor de la capa anódica

## **10.5 Los recubrimientos metálicos**

El recubrimiento de un metal por una capa de otro distinto es un antiguo camino para mejorar el comportamiento frente a la corrosión del elemento recubierto. Se dispone así de un sistema que conserva las características mecánicas del primero, metal base y el mejor comportamiento frente a la corrosión del segundo metal de recubrimiento.

En general se admite que los parámetros para juzgar los recubrimientos metálicos son el espesor, la uniformidad y continuidad, la adherencia al metal base, la ductilidad y lógicamente la capacidad de protección.

La combinación de los dos metales puede formar obviamente una pila galvánica y de hecho en algunas circunstancias la forman y este efecto también se aprovecha, en ocasiones, a favor de la protección del metal que forma el sustrato.

A continuación se hará una aproximación a recubrimientos anódicos como es el caso del cinc sobre acero y otros catódicos como el estaño sobre el mismo metal base.

### **10.5.1 Los recubrimientos de cinc**

Hoy en día existe una amplia gama de recubrimientos de cinc sobre base de acero al carbono bien como metal único de recubrimiento o aleado con otros metales, como el aluminio, que exigen de una tecnología de fabricación más desarrollada. Dentro de los recubrimientos constituidos únicamente por cinc a su vez se encuentra una variedad de técnicas de las que, con el mismo fundamento de protección, se obtienen diversos espesores y características de la capa añadida.

A continuación se hará una aproximación a los recubrimientos de galvanizado y cincado electrolítico. En los apartados dedicados a las pinturas se dedicará un espacio para las pinturas de polvo de cinc.

#### **El galvanizado**

El uso de mayor frecuencia del cinc en elementos de construcción viene en la forma de recubrimientos de galvanizado en caliente. Esta forma de revestimiento se consigue por medio de inmersión de las piezas de acero en baños de cinc fundido. El resultado es un recubrimiento continuo aunque no muy uniforme en su espesor. No obstante este detalle no es decisivo habida cuenta que aquí el cinc se comporta como un ánodo de sacrificio protegiendo al acero y su distribución superficial, hasta cierto punto no importa.



*10.5.1 Fuste de una farola galvanizado con el clásico efecto del “floreado”. Obsérvese ciertas acumulaciones de cinc, en la parte superior propias de un proceso de inmersión en caliente.*

Al tratarse de un proceso en caliente, no se puede evitar cierta difusión del hierro en el cinc, de manera que, las capas de cinc, más próximas al metal base tienen un mayor contenido de hierro frente a las más alejadas, en donde el cinc es prácticamente puro, circunstancia ésta importante habida cuenta del mucho mejor comportamiento del cinc puro frente a algunos ataques.

Los espesores de galvanizado pueden alcanzar desde los 20 $\mu$ m a los 150 $\mu$ m en función del procedimiento utilizado. Fundamentalmente si se trata de procesos discontinuos, donde se obtienen mayores espesores o continuos, para la obtención de bandas, en donde los espesores no suelen sobrepasar lo 40 $\mu$ m. En la fabricación de alambre galvanizado se puede llegar a espesores sustancialmente menores.

Los recubrimientos galvánicos sobre elementos de acero son muy recomendables en especial cuando se trata de elementos al exterior. Pueden de hecho constituir una garantía de conservación en la mayoría de los ambientes no contaminados. Estos recubrimientos pueden perfectamente complementarse con recubrimientos de pintura constituyendo el denominado sistema “duplex” de resultados muy atractivos en muchas ocasiones.

Las prescripciones del CTE para la galvanización de estructuras metálicas se reproducen a continuación

- a) se realizará de acuerdo con UNE-EN-ISO 1460:1996 o UNE-EN-ISO 1461:1999, según proceda;*
- b) en su caso, las soldaduras deben estar selladas antes de usar un decapado previo a la galvanización;*
- c) si hay espacios cerrados en el elemento fabricado se dispondrán agujeros de venteo o purga donde indique el pliego de condiciones;*
- d) las superficies galvanizadas deben limpiarse y tratarse con pintura de imprimación anticorrosivo con diluyente ácido o chorreado barredor antes de ser pintadas.*



### **Los cincados electrolíticos**

Otra forma de recubrimiento de cinc sobre acero es la gama de recubrimientos obtenidos por deposición de cinc por medios electrolíticos. En estos casos la pureza del cinc de recubrimiento está garantizada, si el proceso se realiza correctamente, debido a que el proceso se realiza en frío y, al contrario que en el galvanizado, la difusión del hierro no se puede producir.

Estas capas puras ganan en capacidad de protección aunque ha de valorarse también la mayor repercusión económica del proceso. Los espesores que se ofrecen en los productos con cincado electrolítico no superan los 25 $\mu$ m.

#### **10.5.2 Los recubrimientos de cadmio**

Otro de los recubrimientos típicos sobre el acero es de cadmio. Este metal resulta, en la práctica, ligeramente anódico frente al hierro.

Los recubrimientos de cadmio sobre acero resultan parecidos en su comportamiento a los de cinc, sin embargo parece que se admite, en general un mejor comportamiento del cadmio en ambientes marinos y del cinc en ambientes industriales.

El exiguo carácter anódico del cadmio respecto de hierro hace que su capacidad de “sacrificio” sea menor que la del cinc y por lo tanto las discontinuidades del recubrimiento resultan menos protegidas.

#### **10.5.3 Los recubrimientos de cromo y níquel-cromo**

El cromo, como el aluminio, es un metal termodinámicamente más activo (menos noble) que el hierro aunque, en orden a la nobleza práctica, lo supera ampliamente como consecuencia de las capas protectoras de óxido que se producen en presencia de oxidantes como el oxígeno atmosférico.

En muchas ocasiones se emplean recubrimientos de cromo de espesores muy pequeños, del orden de 0,2 $\mu$ m a 0,5 $\mu$ m sobre subcapa de níquel. El níquel es un metal con un comportamiento prácticamente noble en medios no excesivamente contaminados aunque sufre cierto empañamiento con el tiempo. Las capas de cromo complementarias solucionan este aspecto.

#### **10.5.4 Los recubrimientos de estaño**

Como ejemplo de recubrimiento netamente catódico se puede poner el recubrimiento de estaño sobre acero al carbono. El estaño es un metal con escasas propiedades mecánicas y con un buen comportamiento frente a la corrosión. Su uso



como componente de los materiales de aporte en las soldaduras blandas es sobradamente conocido.

El recubrimiento de estaño más popular lo constituye la denominada “hojalata” de uso variado con especial intensidad en la industria alimentaria entre otras razones por su nula toxicidad.

El estaño es catódico respecto al hierro y su capacidad de protección se fundamenta en constituir una capa compacta, con el suficiente espesor, que no permita la formación de pilas galvánicas en donde el hierro base se corroería. En la imagen de la figura 10.5.4 se trata de representar la corrosión del acero base aprovechando la rotura de la capa de recubrimiento.

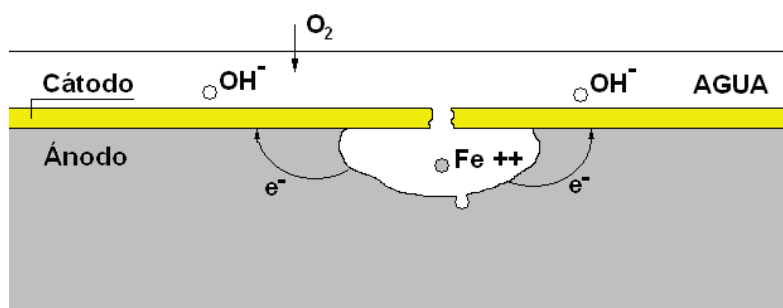


Figura 10.5.4 Esquema del funcionamiento de una pila galvánica en un recubrimiento catódico sobre hierro.

En estos casos ha de tenerse en cuenta la desproporción entre la relativamente grande área catódica y la anódica lo que intensifica la profundidad de la corrosión.

### 10.5.5 Los recubrimientos de oro

Aunque poco habituales en la edificación convencional existen griferías que aunque se “venden” como griferías de oro son normalmente elementos de otros metales recubiertos de un baño de oro.

Lógicamente un recubrimiento adecuado en continuidad, espesor y adherencia de este metal noble garantiza la resistencia a la corrosión del conjunto para la inmensa mayoría de los casos (el oro solamente es atacado por el agua regia).

No obstante, en ocasiones, los espesores son tan exigüos que al tratarse siempre de un recubrimiento catódico respecto a su base, cualquier defecto o discontinuidad provocado por un rayado o abrasión, por ejemplo, puede provocar la corrosión del metal base que constituye el ánodo de la pila galvánica.

## 10.6 Los sistemas de pinturas

Los sistemas de pinturas o recubrimientos orgánicos constituyen una inagotable fuente de posibilidades que enlazan los aspectos estéticos y de aspecto de los elementos metálicos a los que recubren y los de protección. La inmensa mayoría de la superficie metálica expuesta en el mundo está recubierta por pinturas.

Los recubrimientos orgánicos no alcanzan, en la mayoría de las ocasiones, la estanqueidad de los recubrimientos metálicos y por tanto, en mayor o menor medida, ha de considerarse cierta permeabilidad que puede favorecer la llegada a la superficie metálica de agua y contaminantes capaces de desarrollar procesos de corrosión. No obstante, ofrecen en su conjunto una barrera física que, de alguna manera entorpece la formación de pilas de corrosión.

Se habla aquí de “sistemas de pinturas” y no de capas de pintura, tratando de dar la idea clara de que, raramente, una o varias capa de pintura, por mucha calidad que tenga, será capaz de ofrecer una adecuada protección frente a la corrosión del sustrato metálico. Se precisará normalmente su acompañamiento por una serie de operaciones y capas auxiliares que las complementen al margen de una adecuada aplicación. En definitiva, lo que constituye un “sistema”.

Las prestaciones que un sistema de pinturas ha de ofrecer son fundamentalmente: un adecuado anclaje del conjunto al metal base; una protección frente a la corrosión y un acabado acorde con las expectativas planteadas sin olvidar las prestaciones complementarias que se hayan previsto como, por ejemplo la protección frente al fuego.



*Figura 10.6.a Elemento metálico deficientemente recubierto con procesos de corrosión iniciados.*

Básicamente, un sistema de pinturas estará compuesto por operaciones de preparación de la superficie, capas de protección anticorrosiva y capas complementarias y acabado

En la tabla siguiente se trata de esquematizar un sistema de pinturas.

	Función	Actividades
Preparación de la superficie	Eliminar contaminantes, heterogeneidades y cualquier elemento que pueda favorecer la iniciación de pilas de corrosión y el deficiente anclaje de las siguientes capas.	Eliminación de restos de pinturas, grasas, etc.  Eliminación total de restos de óxidos. Pueden ocultar picaduras o cavernas contaminadas.  Valorar la capacidad de anclaje de las capas sucesivas.
Capas de protección	Establecer mecanismos específicos de protección contra la corrosión del metal base	Alguna de la posibilidades siguientes: -Capas de pinturas de fondo inhibidoras de corrosión. -Capas de wash-primer en especial cuando se precise fomentar el anclaje de las capas de acabado. -Capas de pinturas con cargas de polvos metálicos que proporcionen protección anticorrosivo. -Capas de recubrimientos metálicos protectores.
Capas finales	Dotar al sistema de otras prestaciones	-Capas complementarias de protección contra el fuego u otras prestaciones especiales. -Capas de acabado que proporcionen las condiciones estéticas precisas.

Tabla 10.6. Esquema de los elementos básicos de los sistemas de pinturas

### La preparación de la superficie

La preparación de la superficie puede constar de una serie de actividades de diversa naturaleza que pueden ir desde los decapados químicos hasta la limpieza mecánica mediante chorros de abrasivos, pasando por cepillados manuales, mecánicos etc. El objetivo es ofrecer una superficie limpia, exenta de restos de cualquier clase que puedan ofrecer recovecos en donde puedan almacenarse contaminantes o puedan ser obstáculos para un adecuado anclaje del sistema.

La preparación de la superficie puede comenzar por la limpieza con la aplicación de métodos adecuados al estado superficial hasta conseguir la total eliminación de productos de corrosión y materiales ajenos al metal base y un desengrasado hasta la eliminación de capas de grasa y elementos líquidos que impidan el contacto directo con el metal.

Las prescripciones del Documento Básico SE-A Acero, del CTE para la preparación de las superficies se reproducen a continuación:

*1 Las superficies se prepararán adecuadamente. Pueden tomarse como referencia las normas UNE-EN ISO 8504-1:2002 e UNE-EN-ISO 8504-2:2002 para limpieza por chorro abrasivo, y UNE-EN ISO 8504-3:2002 para limpieza por herramientas mecánicas y manuales.*

*2 Se realizarán ensayos de procedimiento de los procesos por chorreado a lo largo de la producción, con objeto de asegurar su adecuación para el proceso de recubrimiento posterior.*

*3 Se repararán, de acuerdo con esta norma, todos los defectos de superficie detectados en el proceso de preparación.*

*4 Las superficies que esté previsto que vayan a estar en contacto con el hormigón, no deben en general pintarse, sino simplemente limpiarse.*

*5 El sistema de tratamiento en zonas que lindan una superficie que estará en contacto con el hormigón, debe extenderse al menos 30 mm de dicha zona.*

*6 Se debe extremar el cuidado y acuerdo con lo especificado en el pliego de condiciones en el caso de superficies de rozamiento, siguiendo lo indicado en el punto de ejecución y montaje en taller. En cualquier caso estas superficies deben protegerse tras su preparación hasta su armado con cubiertas impermeables.*

*7 No se utilizarán materiales que perjudiquen la calidad de una soldadura a menos de 150 mm de la zona a soldar y tras realizar la soldadura, no se debe pintar sin antes haber eliminado las escorias.*



*Figura 10.6.b Elemento metálico antes y después del tratamiento superficial*

### **Aplicación de capas de protección anticorrosiva**

Estas capas tienen la misión fundamental de brindar una protección específica contra la corrosión y pueden ser de muy distinta naturaleza. Las imprimaciones anticorrosivas, los denominados wash-primer, las pinturas con añadidos metálicos e incluso los recubrimientos metálicos, como el galvanizado para el acero, pueden hacer esta función.



*Figura 10.6.c Perfiles estructurales preparados para su montaje*

Ha sido tradicional en la construcción el empleo de imprimaciones de minio de plomo como tratamiento previo a la pintura en estructura metálicas, protección basada en su acción como inhibidor de adsorción. Hoy este tipo de imprimación ha sido sustituida por otras (cromatos o fosfatos de cinc, por ejemplo), huyendo del carácter tóxico del plomo.

### **Capas wash-primer**

Como sucesoras de los procesos de fosfatado aparecieron la capas de wash-primer básicamente constituidas por mezclas de ácido fosfórico, resinas, y cromatos de cinc que aplicadas sobre metal bien limpio ofrecen un buena protección inhibidora de la corrosión y un excelente sustrato para la aplicación de pinturas de acabado.

Estas capas se adhieren fuertemente al metal base y en muchas ocasiones son imprescindibles como puentes de adherencia cuando la superficie a tratar es excesivamente lisa. Este tipo de recubrimiento mejora el comportamiento de las imprimaciones clásicas de cromato sobre todo en presencia de concentraciones importantes de cloruros.

### **Pinturas a base de cinc**

Al igual que otros procedimientos de metalización con cinc como el galvanizado o el cincado se pueden aplicar pinturas con polvo de cinc como protección del acero. Igual que en los otros casos la protección se basa e la protección catódica que brinda un ánodo de sacrificio como el cinc. La adecuada preparación de la superficie junto con las características no adherentes de los productos de corrosión del cinc, cuando se utiliza



como pintura de acabado, favorece un fácil repintado haciendo de estas pinturas una opción muy interesante.

### **Aplicación de capas complementarias o de acabado**

Aplicación de la pintura de recubrimiento. Pinturas adecuadas al ambiente y a las necesidades estéticas en su caso.

Las prescripciones del Documento Básico SE-A Acero, del CTE para la preparación de las superficies y la aplicación de pinturas se reproducen a continuación:

*a) inmediatamente antes de comenzar a pintar se comprobará que las superficies cumplen los requisitos del fabricante;*

*b) se pintará siguiendo las instrucciones del fabricante y si se da más de una capa, se usará en cada una de ellas una sombra de color diferente;*

*c) se protegerá las superficies pintadas de la acumulación de agua durante cierto período, de acuerdo con los datos del fabricante de pintura.*

### **10.7 Recubrimientos de hormigones y morteros de cemento**

Sin duda uno de los sistemas de protección que merece toda la atención de los técnicos de la edificación lo constituyen los hormigones que recubren a las armaduras de acero en la estructuras de hormigón armado. Como ya se ha avanzado en algunos apartados la estabilidad electroquímica de las armaduras de acero al carbono en el hormigón está garantizada siempre que se cumplan ciertas condiciones en el material de recubrimiento:

- Basicidad suficiente que garantice un elevado pH en el entorno metálico. Lo que se consigue con un contenido de cemento acorde al ambiente de ubicación.
- Compacidad adecuada que obstaculice los procesos de difusión de las sustancias ácidas del medio, principalmente CO<sub>2</sub> y por consiguiente la pérdida de esta basicidad y asimismo impida la penetración de cloruros y otros iones despasivantes. Esta compacidad depende fundamentalmente de la relación agua/cemento.
- Espesor de recubrimiento de la entidad necesaria para que el hormigón que está en contacto con las armaduras no se carbonate en plazos inferiores a la vida útil de la estructura.
- Ausencia de iones despasivantes especialmente cloruros en los componentes del hormigón.

Todos estos aspectos son tan decisivos que las últimas reformas de los códigos referidos al hormigón han estado dedicadas, en gran medida, a reforzar el diseño y el cumplimiento de prescripciones relacionadas con los parámetros antedichos.

La instrucción española del hormigón actualmente EHE-08 dedica por primera vez un título en exclusiva a la durabilidad en donde se establecen condiciones muy concretas en este sentido.

### **10.8 El empleo de inhibidores de corrosión**

Una de las posibilidades para la lucha contra la corrosión metálica es el empleo de los llamados inhibidores de corrosión.

Se trata de sustancias añadidas al medio, en pequeñas proporciones, que obstaculicen o paraliquen las reacciones de disolución metálica.

Quizás el ejemplo más plástico del empleo de inhibidores de corrosión sean los inhibidores de decapado. Productos que añadidos a un baño, agresivo, en principio, para el metal base muchas veces por su carácter fuertemente ácido, permiten la disolución de las capas de pintura, productos de corrosión u otros recubrimientos incluso metales mientras paralizan la acción corrosiva ante el metal base desnudo.

Una pequeña proporción de hexametilentetramina,  $(\text{CH}_2)_6\text{N}_4$ , por ejemplo, añadida a un baño de ácido clorhídrico, disuelve rápidamente la capa de galvanizado de un tubo de acero incluso las capas de óxidos que hallan podido formarse pero no ataca al acero que queda absolutamente limpio.

Dos son los grandes grupos de inhibidores de corrosión. El primero lo forman los denominados inhibidores oxidantes y el segundo los inhibidores de adsorción.

Los inhibidores oxidantes basan su funcionamiento en la elevación del potencial de electrodo hasta regiones de pasividad. Esto supone de hecho provocar la activación de la corrosión del metal para formar capas protectoras de óxido. Paralelamente el producto de la reducción del inhibidor se deposita sobre las imperfecciones de esta capa de óxido como un derivado insoluble. Si esto así sucede el inhibidor será eficaz.

Es el caso de la acción de los cromatos sobre la superficie del hierro. Los desperfectos de la capa de óxido férrico provocada por la elevación del potencial se colmatan por la deposición de óxidos de cromo,  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ . Sin embargo, como en otros muchos casos, la existencia de cloruros en el medio puede rápidamente descomponer este sistema de protección. Los inhibidores oxidantes tienen, por tanto las limitaciones derivadas de la debilidad de las capas protectoras cuando existen iones despasivantes.

Por otra parte es preciso controlar la magnitud de la elevación del potencial de electrodo del metal ya que una elevación insuficiente que no lo sitúe en la región de pasividad puede incrementar notablemente la velocidad de corrosión.

Al contrario que los inhibidores oxidantes, los inhibidores de adsorción no alteran sustancialmente el potencial de electrodo del metal o al menos no basan su acción en este aspecto. Su intervención consiste en la interposición de capas continuas de distinta naturaleza que impiden la materialización de las reacciones de corrosión.



Se trata, por lo general de sustancias orgánicas que generan emulsiones acuosas de aceites, jabones, ácidos grasos o alcoholes. El mino de plomo, de antigua utilización en la protección de elementos metálicos en la construcción, pertenece a este grupo de inhibidores.

En general, desde el punto de vista electroquímico, el uso de los inhibidores de adsorción resulta más seguro que los oxidantes aunque esto queda condicionado por un adecuado acceso a toda la superficie del metal a proteger.

### 10.9 La protección anódica y catódica

La forma quizás más sofisticada para la protección metálica es la protección anódica o catódica en su caso. Se trata de alterar el potencial de electrodo del metal a proteger de manera que el proceso de corrosión no se verifique. Estos sistemas requieren de juiciosos estudios y de un mantenimiento adecuado habida cuenta de que una alteración accidental del potencial puede convertir el resultado del proceso a todo lo contrario de lo perseguido.

Si se observa el diagrama que equilibrio potencial/pH del hierro, por ejemplo, las tres regiones típicas de inmunidad, pasividad y corrosión suponen situaciones distintas respecto de la estabilidad del hierro respecto a los procesos de corrosión. Si en un caso concreto<sup>1</sup>, un elemento de este metal se encuentra en el punto A dentro de la región de corrosión lo que supone un potencial de electrodo de -0,30 V y un pH próximo a la neutralidad.

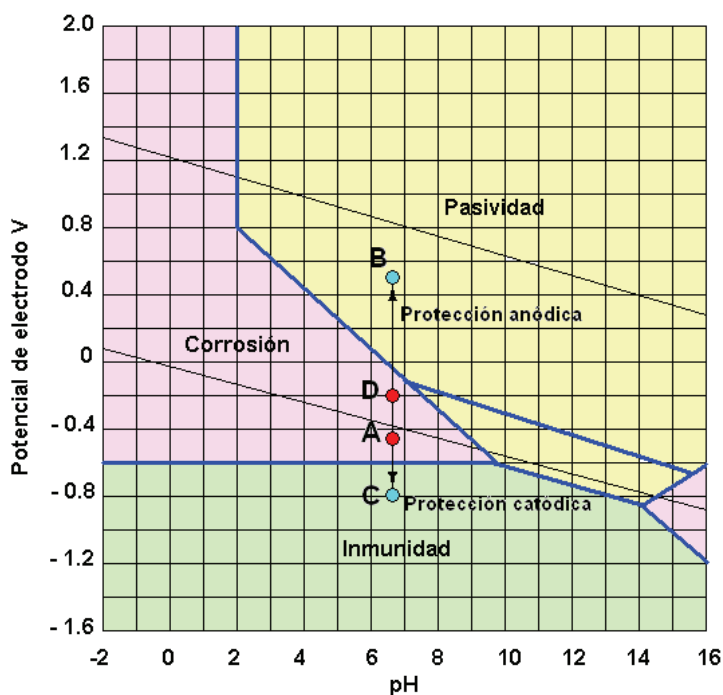


Figura 10.9.a. Esquema del fundamento de la protección anódica y catódica del hierro.

<sup>1</sup> A los efectos de este ejemplo se suponen las condiciones para las que está elaborado el diagrama: temperatura 25° C, ausencia de cloruros, etc.

En ese punto el metal se estará disolviendo y lo continuará haciendo mientras no se alteren las circunstancias. Si se puede conseguir elevar el potencial hasta el punto B, por encima de los 0,40 V, se habrá trasladado la situación del metal hasta la región de pasivación. Los óxidos de hierro formados, que constituyen aquí una capa estable, impiden el progreso de la corrosión. Este es el fundamento de la protección anódica en la que el material sigue ocupando la posición de ánodo pero el resultado de la reacción anódica (disolución metálica) es el establecimiento de una barrera estable que paraliza la corrosión.

Si, por las razones que fuere, el potencial queda en el punto D se habrá incrementado la tendencia a la corrosión sin entrar en la región de pasividad.

En el caso en que la alteración del potencial se realice hacia el punto C, el resultado será la entrada en la región de inmunidad en donde la disolución metálica es imposible. Esta forma de protección es la denominada protección catódica en la que el metal ocupa la posición de cátodo.

La forma de conseguir estas alteraciones de potencial se pueden llevar a cabo mediante diversos métodos. En la figura 10.9.b se representa un esquema para la protección catódica basada en la imposición de corrientes impresas.

Mediante un generador de corriente continua y una resistencia variable se puede imponer la circulación de una corriente eléctrica entre un ánodo (contraelectrodo) constituido por un conductor inalterable, por ejemplo grafito y el metal a proteger. La magnitud de la alteración del potencial se puede seguir mediante un voltímetro y un electrodo de referencia.

En este caso el metal conectado al polo negativo del generador se constituye como cátodo y su superficie será un “surtidor” de electrones prestos a participar en la reacción catódica.

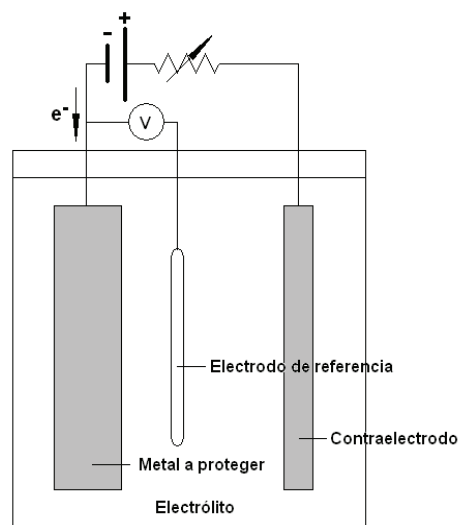
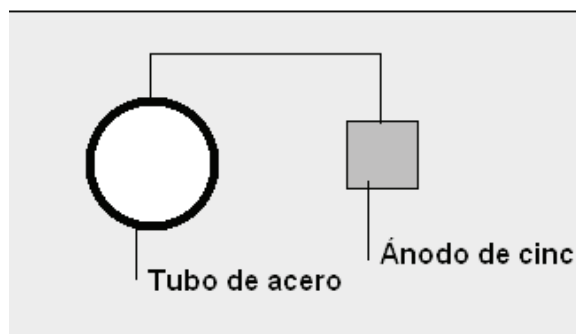


Figura 10.9.b. Esquema teórico para la protección catódica mediante corrientes impresas.

La forma de llevar a la práctica este esquema teórico está sujeta a las características de los elementos a proteger y las circunstancias a las que están sometidos y como antes se avisaba, la complejidad del proceso exige siempre la realización de estudios y determinaciones previas con la participación de expertos en estas prácticas.

Una forma tradicional de protección catódica es la utilización de “ánodos de sacrificio”. Al igual que el cinc del galvanizado supone una protección catódica para el acero base, la adhesión de núcleos de cinc a la chapa de acero del casco de un buque ha supuesto una forma de protección basada en el mismo principio. En ocasiones se utilizan ánodos de sacrificio de magnesio en algunos elementos destinados al almacenamiento de agua construidos en acero.



*Figura 10.9.c Esquema sencillo de la protección catódica de un tubo enterrado mediante ánodo de sacrificio de cinc.*

El propio término “ánodo de sacrificio” ya avanza su condición de desgaste lo que supone la necesidad de su reposición cuando su funcionamiento provoque su desaparición por corrosión.



## Principales Normas UNE relacionadas con la corrosión

### Aceros inoxidables

UNE EN 10088-2

Aceros inoxidables. Parte 2: Condiciones técnicas de suministro para chapas y bandas de acero resistente a la corrosión para usos generales.

UNE EN 10088-2

Aceros inoxidables. Parte 3: Condiciones técnicas de suministro para productos semiacabados, barras, alambón, alambre, perfiles y productos calibrados de aceros resistentes a la corrosión para usos generales.

UNE-EN ISO 3651

Determinación de la resistencia a la corrosión intergranular en los aceros inoxidables.

### Armaduras en hormigón

UNE 112010

Corrosión de armaduras. Determinación de cloruros en hormigones endurecidos y puestos en servicio.

UNE 112013

Corrosión en armaduras. Determinación de la profundidad de carbonatación en hormigones endurecidos y puestos en servicio.

UNE EN 12696

Protección catódica del acero en el hormigón.

UNE EN 1504-7

Productos y sistemas para la protección y reparación de estructuras de hormigón. Definiciones, requisitos, control de calidad y evaluación de la conformidad. Parte 7: Protección contra la corrosión de armaduras.

UNE EN 15183

Productos y sistemas para la protección y reparación de estructuras de hormigón. Métodos de ensayo. Ensayo de protección frente a la corrosión.

UNE EN 15361

Determinación de la influencia del recubrimiento de protección contra la corrosión sobre la capacidad de anclaje de las barras de anclaje transversales de los elementos prefabricados de hormigón curado en autoclave armado.

UNE EN 480-14

Aditivos para hormigones morteros y pastas. Métodos de ensayo. Parte 14: Determinación del efecto sobre la susceptibilidad a la corrosión del acero para las armaduras por medio de un ensayo electroquímico potencioestático.

### **Corrosión atmosférica**

EN 12500

Protección de los materiales metálicos contra la corrosión. Riesgo de corrosión en ambiente atmosférico. Clasificación, determinación y estimación de la corrosividad de los ambientes atmosféricos.

UNE-EN ISO 8565

Metales y aleaciones. Ensayos de corrosión atmosférica. Requisitos generales para realizar los ensayos in situ.

UNE EN ISO 11303

Corrosión de metales y aleaciones. Directrices para la selección de métodos de protección contra la corrosión atmosférica.

UNE EN ISO 11844

Corrosión de metales y aleaciones. Clasificación de la baja corrosividad de las atmósferas de interior.

UNE-EN ISO 7384

Ensayos de corrosión atmosférica artificial. Prescripciones generales.

### **Corrosión en instalaciones**

EN ISO 16784

Corrosión de metales y aleaciones. Corrosión e incrustaciones en circuitos industriales de refrigeración por agua.

UNE 112076

Prevención de la corrosión en circuitos de agua.

UNE 112081

Instalaciones de fontanería realizadas con tubo de acero galvanizado. Recomendaciones para la prevención de la corrosión prematura.

UNE EN 12502

Protección de materiales metálicos contra la corrosión. Recomendaciones para la evaluación de riesgos de corrosión. Recomendaciones para la evaluación del riesgo de corrosión en sistemas de distribución y almacenamiento de agua.

UNE EN 13636

Protección catódica de tanques metálicos enterrados y de tuberías asociadas.

UNE EN 14868

Protección de los materiales metálicos contra la corrosión. Guía para la evaluación del riesgo de corrosión en los sistemas cerrados de circulación de agua.



### **Estructuras metálicas**

UNE EN 10025-5

Productos laminados de acero para estructuras. Parte 5: Condiciones técnicas de suministro de los aceros estructurales con resistencia mejorada a la corrosión atmosférica.

UNE EN 12499

Protección catódica interna de estructuras metálicas

UNE EN 12954

Protección catódica de estructuras metálicas enterradas o sumergidas. Principios generales y aplicación para tuberías.

UNE-EN ISO 14713

Protección frente a la corrosión de las estructuras de hierro y acero. Recubrimientos de cinc y aluminio. Directrices.

UNE-EN ISO 8502

Preparación de sustratos de acero previa a la aplicación de pinturas y productos relacionados. Ensayos para la evaluación de la limpieza de las superficies.

UNE-EN ISO 16276

Protección de las estructuras de acero frente a la corrosión mediante sistemas de pinturas protectoras. Evaluación y criterios aceptación de la adherencia/cohesión (resistencia a fracturas) de un recubrimiento.

### **Recubrimientos**

UNE-EN ISO 1460

Recubrimientos metálicos. Recubrimientos de galvanización en caliente sobre materiales férricos. Determinación gravimétrica de la masa por unidad de área.

UNE-EN ISO 1461

Recubrimientos de galvanización en caliente sobre piezas de hierro y acero. Especificaciones y métodos de ensayo.

UNE-EN ISO 1463

Recubrimientos metálicos y capas de óxido. Medida del espesor. Método de corte micrográfico.

UNE 37505

Recubrimientos galvanizados en caliente sobre tubos de acero. Características y métodos de ensayo.

UNE 7183

Método de ensayo para determinar la uniformidad de los recubrimientos galvanizados aplicados a materiales manufacturados de hierro y acero.

UNE-EN ISO 9220

Recubrimientos metálicos. Medida del espesor del recubrimiento. Método de microscopía electrónica de barrido.

UNE EN 12476

Recubrimientos de conversión fosfatantes de metales. Método de especificación de requisitos.

UNE EN 1403

Protección contra la corrosión de metales. Recubrimientos electrolíticos. Métodos de especificación de los requisitos generales.

UNE EN ISO 12683

Recubrimiento de cinc depositados por medios mecánicos. Especificaciones y métodos de ensayo.

UNE-EN ISO 3892

Recubrimientos de conversión sobre materiales metálicos. Determinación de la masa de recubrimiento por unidad de superficie. Métodos gravimétricos.

UNE-EN ISO 2360

Recubrimientos no conductores sobre materiales base conductores no magnéticos. Medición del espesor de recubrimiento. Método por corrientes inducidas sensibles a la variación de amplitud.

UNE-EN ISO 21968

Recubrimientos metálicos no magnéticos sobre sustratos metálicos y no metálicos. Medición del espesor del recubrimiento. Método por corrientes inducidas sensible a la variación de fase.

UNE-EN ISO 2064

Recubrimientos metálicos y otros recubrimientos no orgánicos. Definiciones y principios concernientes a la medida del espesor.

UNE-EN ISO 2178

Recubrimientos metálicos no magnéticos sobre metal base magnético. Medida del espesor. Método magnético.

**Varios**

UNE-EN ISO 8044

Corrosión de metales y aleaciones. Términos principales y definiciones.

UNE EN 1670

Herrajes para la edificación. Resistencia a la corrosión. Requisitos y métodos de ensayo.

UNE-EN ISO 9227

Ensayos de corrosión en atmósferas artificiales. Ensayos de niebla salina.

UNE-EN ISO 7539

Corrosión de metales y aleaciones. Ensayos de corrosión bajo tensión.

UNE-EN ISO 7441

Corrosión de los metales y aleaciones. Determinación de la corrosión bimetalica mediante ensayos de corrosión en medio exterior.

UNE EN 12501

Protección de materiales metálicos contra la corrosión. Probabilidad de corrosión en suelo.

UNE EN 50162

Protección contra la corrosión debida a corrientes vagabundas provenientes de sistemas de corriente continua.

UNE EN ISO 11463

Corrosión de metales y aleaciones. Evaluación de la corrosión por picaduras.

UNE-EN ISO 16701

Corrosión de metales y aleaciones. Corrosión en atmósfera artificial. Ensayo de corrosión acelerada con exposición en condiciones controladas y vaporización intermitente de solución salina.

UNE EN ISO 11997

Pinturas y barnices. Determinación de la resistencia a condiciones cíclicas de corrosión.

UNE EN ISO 12944

Pinturas y barnices. Protección de estructuras de acero frente a la corrosión mediante sistemas de pinturas protectoras.

UNE-EN ISO 4623

Pinturas y barnices. Determinación de la resistencia a la corrosión filiforme.



## Bibliografía para consulta

- Marcel Pourbaix. Lecciones de corrosión electroquímica. Instituto Español de Corrosión y Protección. ISBN 84-404-02256-2.
- Manual. Inspección de obras dañadas por corrosión de armaduras. Instituto de Ciencias de la Construcción. Eduardo Torroja.
- Alfonso Cobo Escamilla. Corrosión de armaduras en estructuras de hormigón armado: Causas y procedimientos de rehabilitación. Escuela de la edificación. ISBN 84-86957-88-5.
- Teoría y práctica de la lucha contra la corrosión. Consejo superior de investigaciones científicas. Centro Nacional de Investigaciones metalúrgicas. ISBN 84-00-05670-1
- Fundamentos de la corrosión. J.C. Scully. Editorial Alambra.
- Fundamentos de ciencia de materiales. A.G.Guy. M<sup>c</sup> Garw Hill. ISBN-968-6046-46-1
- Directrices de la Marca de Calidad de Qualanod. Edición 15.09.2004. ASESAN
- Directrices de la Marca de Calidad Qualicoat 10<sup>a</sup> Edición ASELAC.
- Cerramientos de aluminio. ASEFAVE