

CORROSIVIDAD DEL AGUA POTABLE

Fritz Rächle* e Isabel Díaz Tang**

INTRODUCCION

Numerosos estudios exhaustivos demuestran que los daños económicos por corrosión oscilan entre el 3-4.5% del PNB de los diversos países según el grado de desarrollo. Como en gran parte la corrosión se verifica a temperatura ambiente y según un mecanismo electroquímico, es el agua la que actúa predominantemente como electrólito que facilita el mecanismo mencionado, el cual requiere de la existencia de una diferencia de potencial dentro de un mismo material metálico, rodeado por un conductor iónico.

Las leyes electroquímicas rigen entonces el fenómeno de la "corrosión húmeda" y dentro de ellas, el factor taxativo es la conductividad y, naturalmente, el contenido salino —o no— de los diversos tipos de agua, además de la temperatura.

La temperatura del electrólito a su vez, determina la solubilidad del oxígeno y del dióxido de carbono, según la ley de Henry. Además, la temperatura condiciona un posible crecimiento de microorganismos, otro factor que debe tenerse en cuenta al estimar la corrosividad del agua.

* PUCP, Profesor Honorario, Departamento de Ciencias.

** PUCP, Departamento de Ciencias, Sección Química.

CARACTERIZACION GENERAL DEL AGUA POTABLE

Propiedades físicas recomendadas del agua potable
(según Norma Europea = NE) [1]

<i>Temperatura</i>	:	3 - 12 °C (máx. 15°C)
<i>Conductividad</i>	:	900 μ S/cm
<i>pH</i>	:	7,3 - 8,5

Propiedades químicas recomendadas del agua potable en mg/L
(según NE)

Oxígeno:

6 - 10 ó 60 - 100% del valor de saturación

Dióxido de carbono:

Acido carbónico "libre" (véase más adelante, "Curva de Tillmann").

Acido carbónico "en exceso" = 0

Grados de dureza:

Véase acápite posterior, "Grados de dureza del agua"

Iones alcalinotérreos:

Ca²⁺ : 40 - 200 ; según OMS : 75 (mín.) ; 200 (máx.)

Mg²⁺ : 30 ; según OMS : 30 (mín.) ; 125 (máx.)

Aniones:

SO₄²⁻ : 150

Cl⁻ : 40

NO₃⁻ : 40

PO₄³⁻ : 4 - 6

Silicato: 4 - 6 (SiO₂)

Amonio: 0,02

Iones de metales pesados:

Fe²⁺ : 0,02

Mn²⁺ : 0,05

Zn²⁺ : 1,5

Cu²⁺ : 0,3

A continuación, comentamos la influencia de algunas de estas propiedades.

Conductividad

Como esta propiedad física determina directamente la magnitud del fenómeno de la corrosión electroquímica, es menester conocerla con cierta exactitud.

Son los sulfatos, cloruros y bicarbonatos, los aniones más decisivos en este aspecto. Cuanto más alto es el contenido en sales, más pronunciada es la conductividad del agua.

La conductividad eléctrica específica de una solución acuosa es una medida directa del contenido total salino de la misma.

Con los diagramas auxiliares siguientes se puede determinar aproximadamente la conductividad (Figs. 1 y 2).

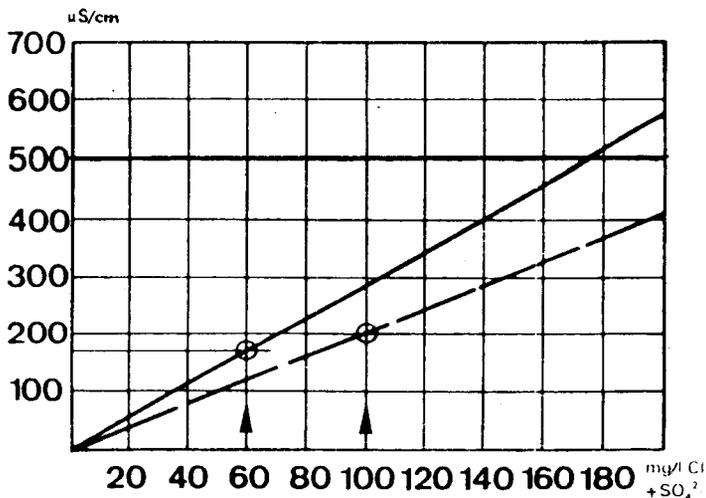


Fig. 1. Diagrama mostrando la relación entre la dureza carbonatática medida en grados franceses (DC °f) y la conductividad del agua en $\mu\text{S/cm}$.

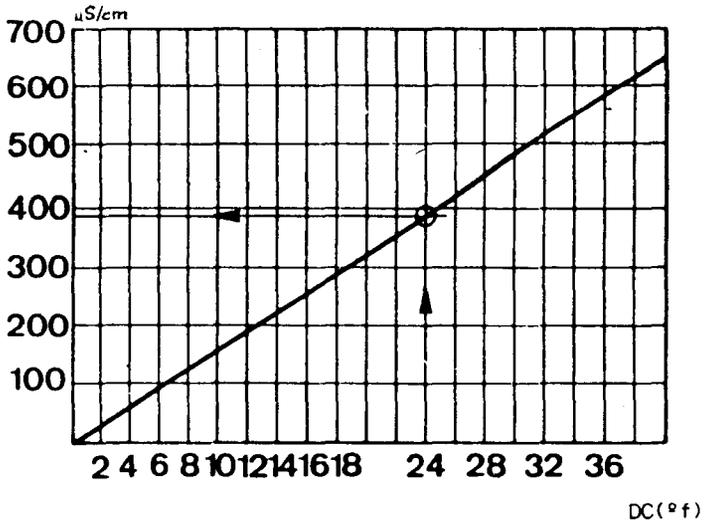


Fig. 2 Diagrama mostrando la relación entre el contenido de cloruros y de sulfatos con la conductividad del agua en $\mu\text{S/cm}$.

A partir de los diagramas mostrados, se puede deducir:

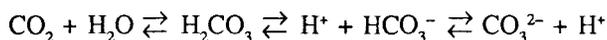
Iones cloruro (Cl^-)	=	60 mg/L	=	170 $\mu\text{S/cm}$
iones sulfato (SO_4^{2-})	=	100 mg/L	=	205 $\mu\text{S/cm}$
dureza carbonat. ($^\circ\text{F}$)	=	24	=	390 $\mu\text{S/cm}$
<hr/>				
conductividad total			=	765 $\mu\text{S/cm}$

También debe tenerse en cuenta que la conductividad eléctrica del agua aumenta con la temperatura.

pH

El valor del pH es sumamente importante en la corrosión húmeda, porque define el mecanismo de corrosión. Para agua potable, el reactivo catódico de la corrosión es el oxígeno, debido al pH 7,5 - 8,3, eliminándose una posible reducción de los protones.

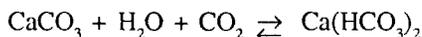
La acidez o la alcalinidad del agua están determinadas por el siguiente equilibrio:



En presencia del ion Ca^{2+} , este equilibrio regula la precipitación de las “capas calcáreas” a través del producto de solubilidad del carbonato cálcico:

$$[\text{Ca}^{2+}] [\text{CO}_3^{2-}] = 10^{-7.92}$$

Tillmann publicó un diagrama relacionando el valor de pH y la dureza del agua para saber si el agua en cuestión es capaz de hacer precipitar el carbonato de calcio, o sea, de formar las capas calcáreas protectoras de las tuberías metálicas (Fig. 3). La presencia de un exceso de CO_2 es taxativa, porque evidentemente, sin CO_2 en exceso se disuelve el carbonato según:



El bicarbonato muestra una solubilidad relativamente alta en agua.

El ácido carbónico

El CO_2 siempre está presente en aguas naturales. En aguas subterráneas el contenido oscila entre 10 - 20 mg/L, mientras que en aguas superficiales este valor descende a 1 - 10 mg/L. En aguas minerales se puede encontrar hasta 1000 mg/L.

Sólo el CO_2 “libre” en exceso, es relevante en la corrosión, como acabamos de ver.

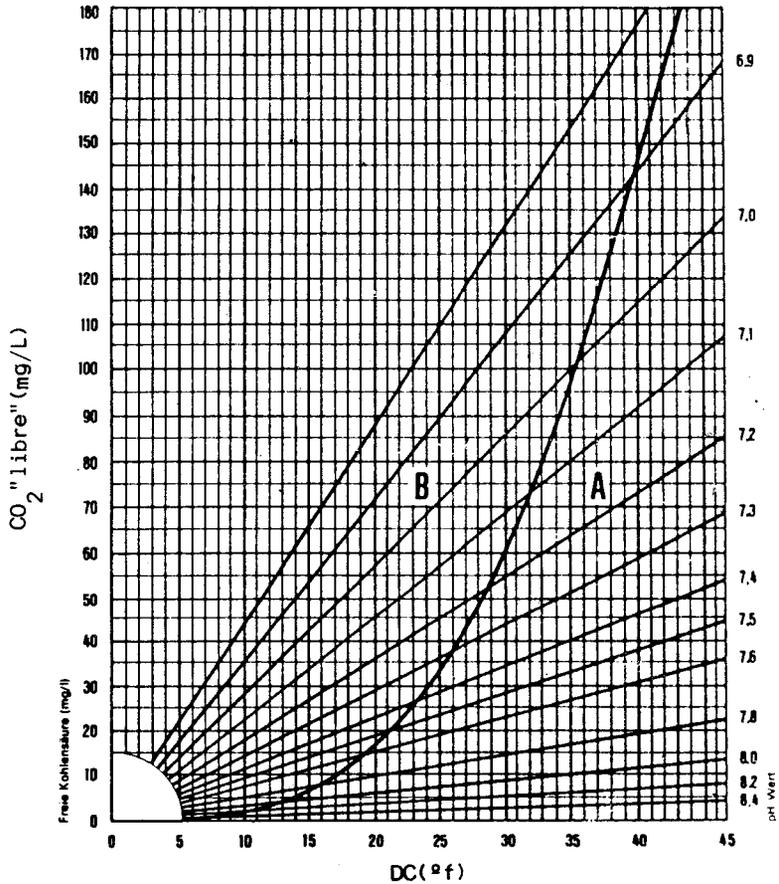


Fig. 3 Diagrama de Tillmann para el equilibrio $\text{CO}_2\text{-CaCO}_3$
 Región A : no agresiva (CO_2 "libre")
 Región B : CO_2 "agresivo"

Oxígeno

El papel dual del oxígeno en la corrosión se comprende al estudiar las "capas calcáreas" que se depositan en el interior de los ductos metálicos de agua potable.

Valores promedio del análisis químico de las capas protectoras, son los que se muestran a continuación:

Fe (como Fe ₂ O ₃)	:	40 - 56%
Zn (como ZnO)	:	0,4 - 6%
CaO	:	0,3 - 3%
SiO ₂	:	1 - 2%

La formación de herrumbre depende directamente de la presencia de oxígeno. Es, por lo tanto, indispensable la presencia de este elemento para que se formen capas realmente protectoras.

Como se puede apreciar, las llamadas capas calcáreas son, en realidad, capas “mixtas” entre herrumbre y carbonato de calcio.

Temperatura del agua

La temperatura del agua es sumamente importante con respecto al tipo de corrosión resultante.

En el caso del agua caliente (por encima de 60°C), no se puede esperar la formación de capas calcáreas protectoras, debido a la alta porosidad con la cual se depositan las mismas a temperaturas superiores. Además, la llamada “inversión de polaridad” del par galvánico Zn/Fe no permite que el Zn confiera al Fe una protección catódica en el caso de tubos de acero galvanizado. El efecto es del todo contraproducente, porque es el Zn quien fomenta la destrucción anódica del acero.

En el caso del uso de una tubería de cobre, aparecen tipos de corrosión muy característicos, según la temperatura. La llamada “picadura tipo I” se encuentra preferentemente en agua fría, mientras que la “picadura tipo II” se desarrolla en aguas calientes, mostrando ambos tipos una fenomenología muy peculiar.

Grados de dureza del agua

Bajo dureza del agua se entiende básicamente su contenido en iones alcalinotérreos.

Un agua “dura” presenta ventajas y desventajas. Dentro de los aspectos positivos, se puede mencionar que tiene “buen sabor” debido a sus componentes minerales y que es saludable. Por medio de estudios científicos ha quedado demostrado además, que el contenido calcáreo del agua potable es

beneficioso para la formación de los dientes y huesos y parece ser que los consumidores de aguas más duras están más protegidos contra enfermedades del corazón, según estudios estadísticos en regiones con diferentes grados de dureza de agua [2].

Acerca de las ventajas técnicas, se ha tratado ya en este mismo artículo la formación de capas calcáreas protectoras y también se analizó los aspectos negativos, sobre todo los fenómenos relacionados a una elevación de la temperatura del agua por encima de 60°C.

Dureza total: Este parámetro abarca la suma de los contenidos en iones calcio y magnesio (los iones estroncio y bario están presentes sólo como trazas apenas detectables).

La dureza total tiene importancia por el intercambio iónico de iones alcalinotérreos frente a los iones sodio o protones.

Existen varias “Escala de Dureza” con las cuales se suele caracterizar los diferentes tipos de agua. Muy utilizadas son la escala francesa y la alemana, que se presentan en las siguientes tablas.

CLASIFICACION DE AGUAS SEGUN SU DUREZA

Dureza total (mmol/L)	Grados franceses (°f)	Clasificación del agua
hasta 0,7	< 7	muy blanda
0,7 - 1,5	7 - 15	blanda
1,5 - 2,2	15 - 22	medio dura
2,2 - 3,2	22 - 32	bastante dura
3,2 - 4,2	32 - 42	dura
> 4,2	> 42	muy dura

1 °f = 1 grado de dureza francés : 1 mg CaCO₃ en 100 mL de agua
 : 0,2 meq iones alcalino - térreos/L
 : 0,1 mmol iones alcalino - térreos/L

Dureza total (mmol/L)	Clase	Grados alemanes (°d)	Clasificación del agua
hasta 1,3	1	hasta 7	blanda
1,3 - 2,5	2	7 - 14	medio dura
2,5 - 3,8	3	14 - 21	dura
> 3,8	4	> 21	muy dura

1 °d = 1 grado de dureza alemán : 1 mg CaO en 100 mL de agua
: 0,357 meq iones alcalino - térreos/L
: 0,18 mmol iones alcalino - térreos/L

Equivalencia entre ambas escalas:

$$1\text{ }^{\circ}\text{f} = 0,560\text{ }^{\circ}\text{d}$$

$$1\text{ }^{\circ}\text{d} = 1,78\text{ }^{\circ}\text{f}$$

La **dureza de carbonatos** (o carbonatática) se denomina también “dureza temporal” y es el equivalente al contenido en carbonatos y bicarbonatos. Lógicamente, la dureza de carbonatos es menor que la total.

La **dureza no-carbonatática**, también llamada “dureza permanente”, es la diferencia de la dureza total menos la dureza carbonatática. Esto quiere decir, que esta dureza proviene de iones alcalinotérreos que tienen como aniones sulfatos, cloruros, nitratos, silicatos y fosfatos. Habitualmente, corresponde al ion sulfato esta dureza y por ello se le denomina también “dureza de yeso”.

PREVENCIÓN DE LA CORROSIÓN MEDIANTE EL USO DE INHIBIDORES

La selección de un determinado tipo de inhibidor de corrosión a utilizar en sistemas de agua potable debe principalmente —además de las consideraciones económicas y técnicas [3]— garantizar la inocuidad del sistema, ya que el agua potable es considerada jurídicamente como un alimento. Esto limita notablemente el número de inhibidores permisibles.

Para controlar la formación de capas calcáreas, por ejemplo, se suele añadir polifosfatos como inhibidores, los cuales ejercen una influencia positiva en el equilibrio cal-ácido carbónico y en la formación de capas protectoras.

Algunos autores [4] señalan que la relación de concentraciones Ca^{2+} : polifosfato, es incluso más importante que la concentración de polifosfato presente, aconsejando un valor mínimo de 1: 5 para esta relación, con una concentración total por encima de 10 ppm. Para lograr esta máxima eficiencia inhibidora de los polifosfatos, el pH óptimo está en el rango de 5 - 7 y es favorecida también por la adición de iones zinc.

También es posible el uso de silicatos, aunque éstos no previenen completamente de la corrosión y su efecto inhibidor es más notorio en aguas blandas. La razón molar Na_2O : SiO_2 es importante. Por ejemplo, Stericker [5] propuso la relación Na_2O : SiO_2 (3: 3) en 8 ppm para la mayoría de aguas, pero de preferencia una relación 2: 1 si el pH es menor que 6,0. El rango de concentraciones recomendado es de 4 - 10 ppm.

PREVENCION DE LA CORROSION POR EL LADO DEL MATERIAL

El material más usado para las tuberías conductoras de agua potable es el acero galvanizado. Es obvio que la calidad del galvanizado es determinante en la corrosión del material.

Adicionalmente, en el momento del montaje —sea por soldadura o por atornillamiento— hay que tener en cuenta que un daño de la capa de zinc puede ser el inicio de un ataque. La experiencia enseña que, en muchos casos, es el cordón de soldadura con protuberancias o residuos de fluyente, quien no permite una buena formación de las capas protectoras internas, lo que causa una corrosión generalizada de la tubería.

Tuberías sin cordón y con un galvanizado no poroso y liso, garantizan un óptimo comportamiento del material.

REGLAS DE DISEÑO Y CONDICIONES DE OPERACION

Al dejar el agua corriente sin régimen de flujo laminar causado por:

- enroscamiento inadecuado (demasiado largo)
- cáñamo no apropiado
- cambio brusco de sección
- cambio brusco de dirección

el régimen turbulento produce cavitaciones que son consecuencia del fenómeno corrosión-erosión.

Por otro lado, son focos de corrosión los tramos de tubería que no experimentan ningún flujo o uno insuficiente. ¡Aguas estancadas son peligrosas! En instalaciones caseras, se admite valores de flujo entre 1,5 - 1,8 m/s (para troncales de suministro) y 3 m/s para tuberías de abastecimiento local.

Instalaciones mixtas son instalaciones que combinan materiales muy disímiles y son muy perjudiciales desde el punto de vista de la corrosión.

La combinación más frecuente es la del acero galvanizado con latones, o sea, el par Zn - Cu. Fuera de la corrosión galvánica —que se puede suprimir separando el lugar del contacto por medio de un plástico (Teflon^R, por ejemplo)—, existe el gran peligro de la formación de picaduras siempre y cuando el flujo de agua primero pase por la tubería de latón y después por la de acero galvanizado. No existe peligro si primero —considerando la dirección del flujo— aparece la parte de la tubería montada con acero galvanizado.

Finalmente, cabe mencionar, que en el momento del montaje de la tubería, se debe evitar tramos completamente horizontales, para asegurar que en estas partes no se depositen partículas extrañas, que a su vez fomentarían la creación de células de aireación diferencial (lo mismo pasa en tuberías que permiten la existencia de bolsas de aire).

BIBLIOGRAFIA

1. Bösch, Karl, (1981) **Korrosion in Wasserleitungen**, AT-Verlag Aaran-Stuttgart.
2. Aurand, Karl; Hässelbarth, Ulrich y Müller, Gertrud (1988) **Atlas zur Trinkwasserqualität der Bundesrepublik Deutschland** (BIBIDAT), Erich Schmidt Verlag.
3. Räuchle, Fritz y Díaz, Isabel (1990), *Rev. Química. PUCP*, 4, 57.
4. Shreir, L. L. (1976), **Corrosion**, Vol. 2, Newnes-Butterworths, London, 18:19.
5. Stericker, W. (1945), *Industr. Engnr. Chem.*, 37, 716.