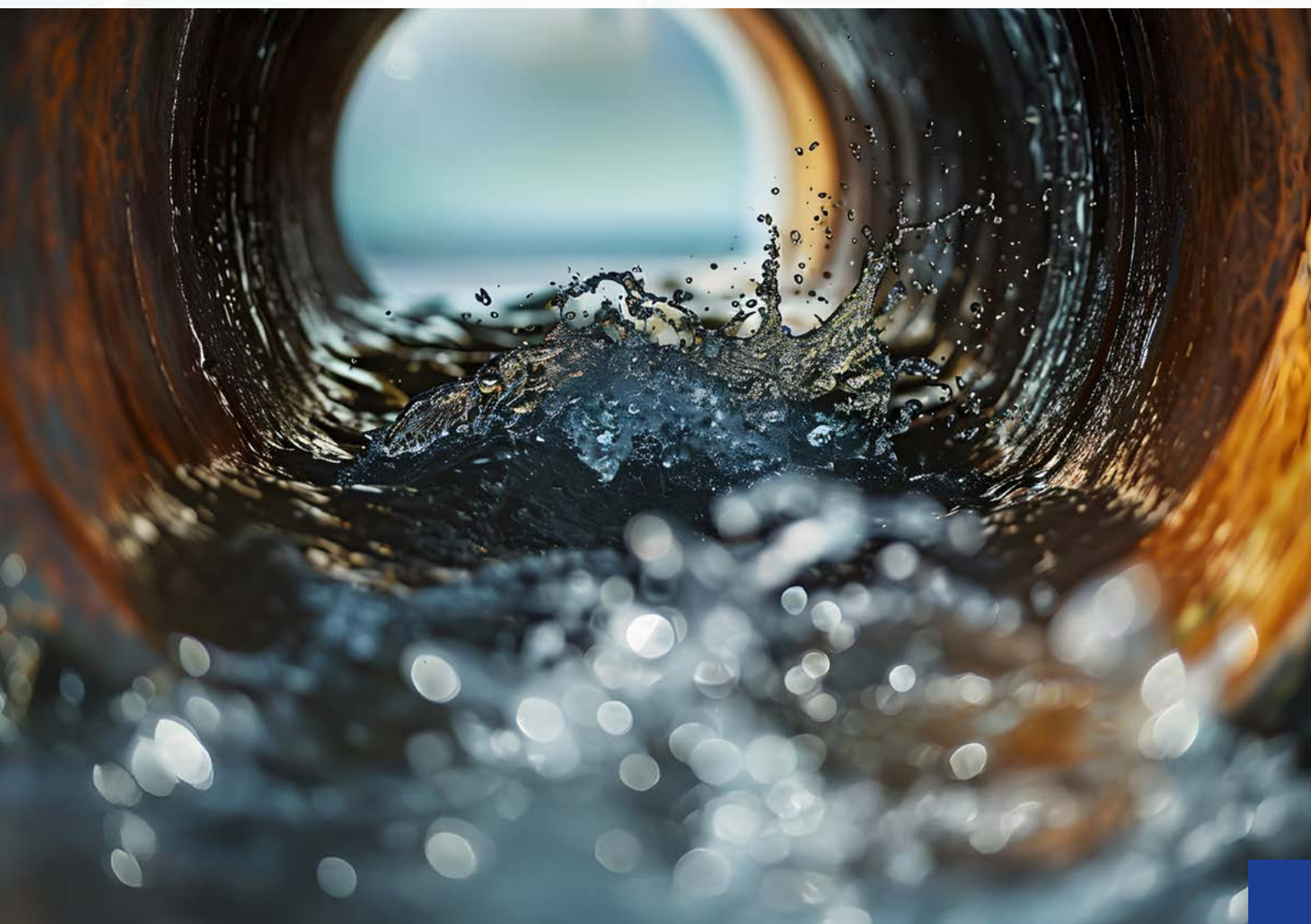


italsan

Influencia de la calidad del agua en la corrosión y formación de lodos de circuitos cerrados



Con el asesoramiento de



UNIVERSITAT DE
BARCELONA

italsan

Con el asesoramiento de



LA CORROSIÓN

¿Qué es la corrosión?

La corrosión es un proceso electroquímico inevitable que ocurre cuando los metales se oxidan en presencia de agua y otros agentes externos. Puede ser acelerada por factores como el pH, la conductividad, los microorganismos y el potencial redox.



Tipos de corrosión

- **Corrosión general:** afecta uniformemente a toda la superficie metálica.
- **Corrosión localizada:** ocurre en puntos específicos, como la corrosión por picadura, que genera perforaciones profundas.
- **Corrosión microbiológica:** producida por microorganismos que generan biopelículas y compuestos agresivos.
- **Corrosión galvánica:** se produce cuando dos metales diferentes entran en contacto en un ambiente conductor.



Factores que influyen en la corrosión

- **pH y conductividad del agua:** un pH ácido y una alta conductividad aceleran la oxidación del metal.
- **Presencia de microorganismos y biopelículas:** algunas bacterias degradan los metales o generan compuestos corrosivos.
- **Materia orgánica y sólidos suspendidos:** favorecen la acumulación de depósitos y la proliferación microbiana.
- **Tipo de metal:** el hierro del acero tiene una gran tendencia a corroerse en ambientes húmedos. Esta es la razón por la que se protege con aleaciones o recubrimientos electrolíticos.



LODOS Y BIOFILM

¿Qué son los lodos en los circuitos cerrados?

Los lodos son depósitos formados en los sistemas hidráulicos como resultado de la corrosión y la actividad microbiana. Se componen de óxidos metálicos, materia orgánica y biopelículas de microorganismos.

Causas de la formación de lodos

- **Corrosión del metal:** la oxidación del hierro y otros metales genera partículas que se acumulan en los circuitos.
- **Presencia de microorganismos:** las bacterias facilitan la formación y la acumulación de lodos.
- **Materia orgánica y sólidos suspendidos:** elementos presentes en el agua pueden favorecer la formación de depósitos y el crecimiento de microorganismos.
- **pH y conductividad inadecuados:** un pH ácido o una conductividad elevada pueden acelerar la corrosión y, por lo tanto, la generación de lodos.

¿Qué es el biofilm en un circuito cerrado?

El biofilm es una capa formada por los microorganismos existentes en el circuito cerrado consistente en los propios microorganismos y sustancias orgánicas, presentes en el agua. Esta capa gelatinosa se adhiere a la superficie interna de las tuberías y se estabiliza mediante una película protectora que la protege de cualquier acción posterior sobre ella. En esta zona se dan las condiciones ideales para la proliferación de los microorganismos, favoreciéndose, así la corrosión microbiológica (MIC), lo que resulta en una merma de la eficiencia térmica y dificulta la acción de los biocidas e inhibidores.

Factores clave en la generación de biofilm en tuberías de circuitos cerrados de climatización:

- **Presencia de microorganismos en el agua:** a pesar de que los circuitos cerrados limitan la entrada de contaminantes, bacterias, hongos y algas pueden estar presentes desde la carga inicial de agua o entrar a través de pequeñas fugas.
- **Materia orgánica y nutrientes disponibles.**
- **pH y conductividad del agua:** un pH inadecuado (demasiado ácido o alcalino) y una alta conductividad favorecen la generación de biofilm.
- **Estancamiento del fluido o baja velocidad de circulación:** circuitos con baja velocidad, zonas muertas o flujo irregular tienen mayor riesgo de acumulación de biopelículas.
- **Temperatura del fluido:** temperaturas entre 25 °C y 45 °C favorecen el crecimiento bacteriano. Cabe destacar que, en sistemas de climatización, algunas bacterias pueden desarrollarse incluso en temperaturas por debajo de 10 °C o por encima de 80 °C, aunque a menor velocidad.



La acumulación de biofilm y lodos en circuitos indica corrosión activa



Consecuencias de la corrosión y existencia de lodos en los sistemas

- Reducción de la vida útil de las instalaciones.
- Aumento de la corrosión: los lodos crean microambientes favorables para la corrosión localizada.
- Obstrucción y pérdida de eficiencia: la acumulación de óxidos y lodos afectan al flujo de agua y la transferencia de calor, generando pérdida de eficiencia en el sistema.
- Dificultad en el mantenimiento: la eliminación de lodos requiere limpiezas frecuentes y tratamientos específicos.
- Impacto económico: la corrosión y la acumulación de lodos incrementa los costes de mantenimiento y reparación.



Prevención y control de la corrosión y lodos

- Mantenimiento preventivo y monitorización constante de parámetros del agua.
- Control del pH, conductividad del agua y materia orgánica.
- Uso de inhibidores de corrosión.
- Control de microorganismos: aplicación de biocidas y monitorización de la proliferación bacteriana (biofilm).
- Sistemas de filtración y purga: eliminación de partículas antes de que se acumulen en los circuitos.



Conclusión

La corrosión y la formación de lodos en los circuitos cerrados son un problema común que afecta la eficiencia y la vida útil de los sistemas, indistintamente del material empleado, ya sea polimérico o metálico. Su impacto se puede minimizar con un adecuado control de la calidad del agua y el uso de estrategias preventivas, elementos clave para prolongar la vida útil de las instalaciones y reducir costes de mantenimiento.



CALIDAD DEL AGUA

La calidad del agua es el principal factor de problemas de corrosión y generación de lodos en los circuitos hidráulicos cerrados junto con la presión y la temperatura.



pH

Es de los parámetros más básicos para el control de procesos químicos en el agua.



pH óptimo en circuitos cerrados:

- de acero >8,5
 - de cobre o latón >6,5
 - de aluminio $6,5 < \text{pH} < 8,5$
-
- Los procesos de corrosión se aceleran en ambientes ácidos pH ($< 6,5$), aun sin oxígeno presente en el fluido.
 - El oxígeno disuelto en el agua no es peligroso para los metales en determinados valores de concentración y pH (8-9), generando capas protectoras pasivadas.
 - Los circuitos cerrados en PP-RCT tienen un mayor rango de aptitud frente al pH.



Conductividad: la autopista para la corrosión y generación de lodos

Es la capacidad del agua para conducir una corriente eléctrica mediante sus iones disueltos. Afecta de forma directamente proporcional a la velocidad y extensión de la corrosión.

Los sólidos disueltos, como los cloruros y la dureza, son los principales indicadores de conductividad.

- Acero inox AISI 304: es muy susceptible a la corrosión en presencia de cloruros.
- Acero inox AISI 316: se ve comprometido ante concentraciones elevadas de cloruros y con temperatura.



Cuanta más conductividad más peligro de corrosión

¿Cómo mantener una baja conductividad en un circuito cerrado?

Mediante tratamientos de ósmosis inversa en el agua de aporte.

¿Cómo puede ajustarse el pH de un agua de muy baja conductividad obtenida por ósmosis?

Mediante un agente químico corrector de pH.





Potencial REDOX (ORP)

Es la medida de la capacidad oxidante o reductora del agua.

Dependiendo del potencial redox del agua, los metales presentes pueden oxidarse o reducirse.

¿Puede un agua sin agentes oxidantes ser oxidante?

Sí, dependerá de qué metales están presentes y de su pH.

¿Cómo afecta el potencial redox a los circuitos cerrados?

Actividad microbiológica y formación de biofilm

- **ORP bajo o negativo:** puede ser un indicador de crecimiento de bacterias **anaeróbicas**, como las bacterias reductoras de sulfato (SRB), que generan sulfuro de hidrógeno (H_2S) y aceleración de la corrosión MIC.
- **ORP alto:** Reduce el crecimiento de bacterias anaeróbicas, pero puede favorecer **la corrosión** debido a ser un medio generalmente oxidante
- **Óptimo:** Mantener un ORP y pH controlado con biocidas adecuados para evitar la proliferación de microorganismos sin afectar la integridad de los materiales.

Formación de depósitos y lodos

- Un **potencial redox y pH inestables** puede favorecer la precipitación de minerales y óxidos metálicos, formando **lodos y depósitos** en el sistema.
- Estos depósitos pueden obstruir tuberías, reducir la transferencia de calor y afectar la eficiencia del sistema.
- **Solución:** Mantener un ORP estable mediante el control del pH, la conductividad y la presencia de inhibidores de corrosión.

Estabilidad química del sistema

- Un ORP **demasiado bajo** puede reducir la formación **de óxidos protectores** en las superficies metálicas y generar pilas galvánicas, aumentando la corrosión.
- Un ORP **demasiado alto con un pH básico (> 8)** puede provocar la **precipitación de sales insolubles**, generando incrustaciones en tuberías e intercambiadores de calor.

Consecuencias negativas de un ORP mal controlado

- | | |
|---|--|
| △ Aumento de la corrosión en metales sensibles. | △ Formación de depósitos y lodos en el circuito. |
| △ Proliferación de bacterias y formación de biofilm. | △ Mayor riesgo de fallos en componentes metálicos por descomposición electroquímica. |
| △ Reducción de la eficiencia de biocidas y tratamientos químicos. | |

¿Por qué los circuitos domésticos de radiadores se oxidan si son cerrados y disponen de tuberías metálicas, que son impermeables al oxígeno?

El acero, que contiene hierro, se oxida cuando entra en contacto con el agua.

Cuando el hierro se oxida con ausencia de oxígeno, se produce hidrógeno como resultado de la corrosión. Éste forma bolsas de gas que se acumulan en las partes más altas del circuito de tuberías y que pueden bloquear la circulación dentro del sistema, generando ruidos.

Como consecuencia, la eficiencia térmica del sistema se reduce porque las áreas afectadas por estos bloqueos ya no se calientan adecuadamente.





Presencia de microorganismos

Uno de los principales factores a considerar cuando se generan lodos en la instalación.

IMPACTO: algunas bacterias pueden degradar los metales directamente o crear condiciones favorables para la corrosión generando **biopelículas**.

Las biopelículas

Desempeñan un papel crítico en la **corrosión inducida por microorganismos (MIC, Microbiologically Influenced Corrosion)**, generando condiciones que aceleran la degradación de los metales en circuitos cerrados.

Generan resistencia a biocidas > protegen a las bacterias > dificultan su eliminación.

Reducen la eficacia de los productos inhibidores de corrosión dificultando el contacto con la superficie del metal a proteger.

BACTERIAS QUE AFECTAN LA CORROSIÓN

Aeróbicas

Necesitan oxígeno y preparan el entorno para bacterias anaeróbicas. Generan corrosión MIC moderada.

Destacan las ferrobacterias aeróbicas: oxidan el hierro, generando un microambiente ácido que facilitará la corrosión por picadura.

Anaeróbicas

No necesitan oxígeno para su metabolismo. En comparación con las aeróbicas, causan corrosión MIC más profunda, agresiva y severa. En presencia de microorganismos aeróbicos, consumidores de oxígeno, se genera un entorno favorable para su crecimiento, produciéndose un efecto sinérgico que acelera el problema de corrosión.

Destacan las reductoras de sulfato: proliferan en condiciones anaeróbicas y son altamente agresivas.

Existen evidencias científicas que constatan que los microorganismos influyen activamente y con un alto impacto en la corrosión de circuitos cerrados, incluso cuando la concentración de oxígeno es baja.





Materia orgánica

Concentración y volumen

El **glicol** es un aditivo ampliamente utilizado en circuitos cerrados para prevenir la congelación y mejorar la transferencia energética. Debido a su naturaleza, es necesario controlar su concentración en el circuito, que dependerá del volumen total del agua.

¿Cómo contribuye el glicol a la generación de materia orgánica?

Su uso prolongado puede tener efectos secundarios, especialmente en la **generación de materia orgánica**, que puede afectar la calidad del agua y la estabilidad del sistema.



El glicol puede degradarse y generar subproductos que favorecen el crecimiento de microorganismos formando depósitos orgánicos y lodos.

Consecuencias de la degradación del glicol y generación de materia orgánica

- **Reducción del pH:** el sistema se vuelve más ácido, lo que acelera la corrosión de los metales.
- **Aumento de la conductividad:** la formación de ácidos y residuos orgánicos incrementa la conductividad del agua, favoreciendo la corrosión.
- **Formación de biopelículas:** el glicol degradado favorece el crecimiento bacteriano y la formación de depósitos en el circuito.
- **Pérdida de eficiencia térmica:** la acumulación de lodos y biopelículas reduce la transferencia de calor y la circulación del fluido.
- **Mayor consumo de biocidas:** al haber más materia orgánica, se requiere una mayor cantidad de biocidas para mantener el sistema libre de microorganismos.

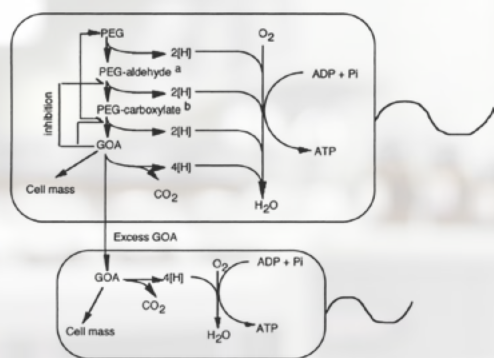


Diagrama del metabolismo del glicol por parte de determinadas bacterias





OXÍGENO DISUELTO EN CIRCUITOS CERRADOS

Impacto del oxígeno en la corrosión



El oxígeno no es el único factor en la corrosión de los metales en circuitos cerrados.

Los procesos de corrosión también ocurren en ausencia de oxígeno, ya que el hierro y otros metales pueden oxidarse por la acción del agua y los microorganismos.

Difusión del oxígeno a través tuberías poliméricas en circuitos cerrados

La cantidad de oxígeno que atraviesa los polímeros es despreciable frente a otras vías de entradas, como son las bombas, uniones y, especialmente, llenados de agua.



El impacto práctico es insignificante en comparación con otros factores como la calidad del agua (pH y conductividad) y la presencia de microorganismos.

Las normativas UNE-EN ISO 21003 y DIN 4726:2017 han establecido límites de difusión de oxígeno única y exclusivamente para sistemas de suelo radiante en solera.

Los problemas de corrosión y generación de lodos se producirán indistintamente del material empleado en el circuito.

EVOH: material internacionalmente empleado para garantizar la barrera de oxígeno en tuberías poliméricas.

El agua tiene una capacidad natural de generar oxígeno en medios con bajo contenido de este gas, especialmente con pH básico.

Mitos y realidades sobre el oxígeno en la corrosión

✗ Mitos

"La corrosión ocurre únicamente donde hay oxígeno."

"Un sistema de tuberías poliméricas introduce más oxígeno y genera corrosión y lodos."

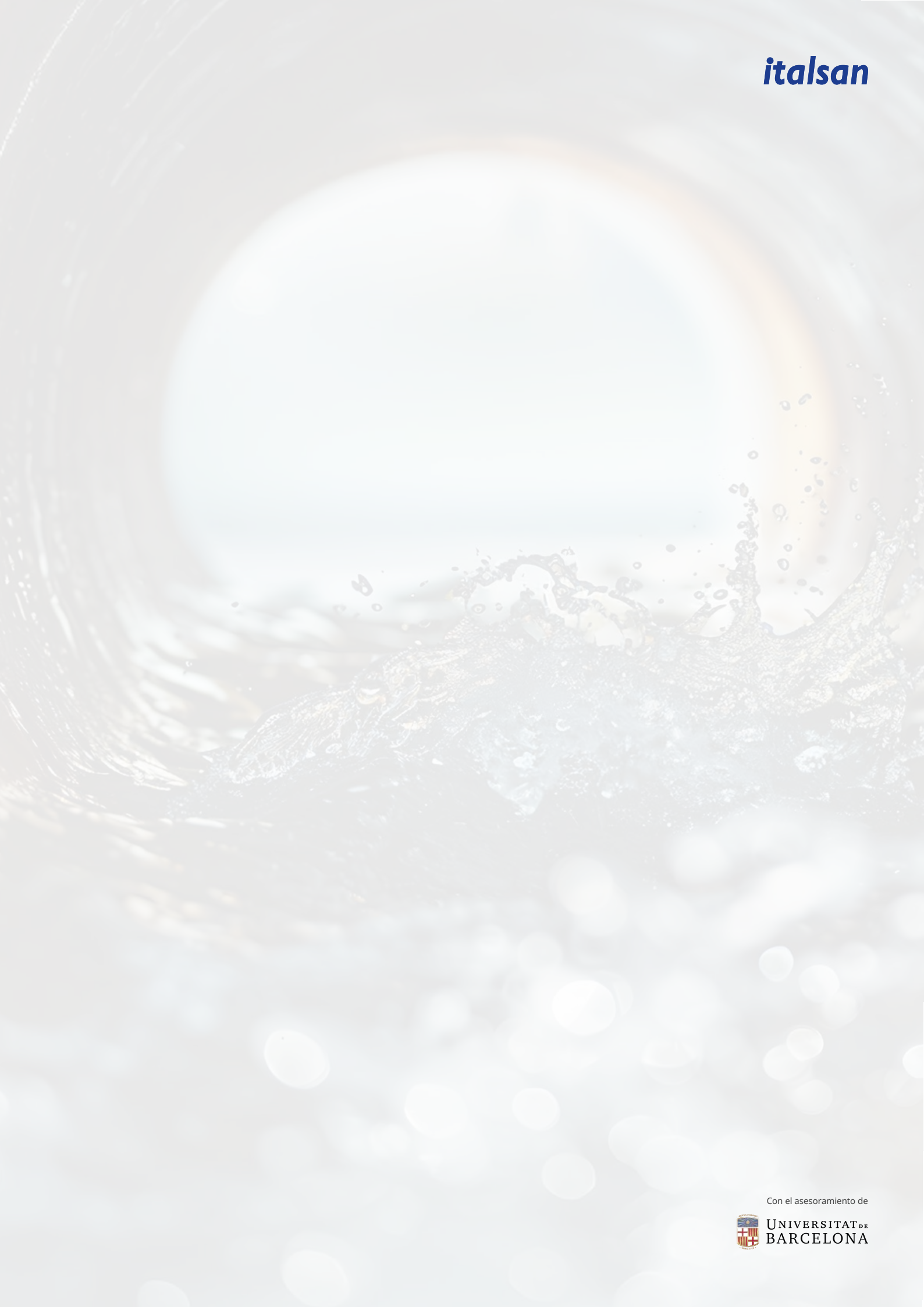
✓ Realidades

La corrosión puede tener lugar en ausencia de oxígeno y en función del pH.

Aunque los polímeros pueden permitir cierta difusión de oxígeno, la cantidad es despreciable frente al impacto de otros factores como la calidad del agua y microorganismos.

Conclusión

- ✓ La corrosión de los metales en circuitos cerrados no depende exclusivamente del oxígeno presente en el agua.
- ✓ La difusión de oxígeno a través de las tuberías poliméricas es insignificante en comparación con otras fuentes de contaminación en los circuitos.
- ✓ La calidad del agua y los microorganismos son los factores más determinantes en la formación de corrosión y lodos.
- ✓ La prevención de la corrosión y generación de lodos requieren un control adecuado del pH, conductividad y la proliferación de microorganismos.



Con el asesoramiento de

italsan

Italsan Customer Service
atencionalcliente@italsan.com
Tel. (+34) 900 921 957

www.italsan.com

Sede Madrid
Tel. (+34) 918 060 723
Oficinas y almacén
Coto de Doñana, 21
28320 Pinto - Madrid

Sede Barcelona
Tel. (+34) 936 303 040
Italsantech
C/ de la Máquina, 8B
Pol. Ind. El Regás
08850 Gavá - Barcelona

Sede Barcelona
Tel. (+34) 936 303 040
Centro logístico
C/ Progrés, 29
Pol. Ind. Les Massotes
08850 Gavá - Barcelona

Italsan Américas
Tel. (+507) 389 79 96
Oficinas y almacén
Vía Panamericana, Sector Pacora
Ofibodegas Las Américas, Bodega nº 9
0832-0588 Panamá City (Panamá)
www.italsan.com.pa

Italsan Américas RD
Tel. (+507) 6311 7264
Oficinas y almacén
Naves del Canal del Éste Fase II
Nave #368 3
23000 Bávaro (Rep. Dominicana)
www.italsan.com.pa

Italsan Chile
Tel. (+56) 2 33242880
Oficinas y almacén
Ciudad de los Valles Trade Center Mód I letra I
Calle Los Vientos 19930, Pudahuel
Región Metropolitana, Santiago (Chile)
www.italsan.cl

Italsan Perú
Tel. (+51) 1 706 32 04
Oficinas y almacén
Av. Defensores del Morro 4263
Bodega A-02
15058 Chorrillos, Lima (Perú)
www.italsan.com.pe

italsantech

TTR Test Training & Research
MECHANICAL
ulbíos

Con el asesoramiento de



UNIVERSITAT DE
BARCELONA