AGUA INDUSTRIAL • CONTROL DE BIOFILM

¿El biofilm afecta tu proceso o aplicación?

El biofilm es el motor silencioso del ensuciamiento, la corrosión y la pérdida de eficiencia en los sistemas de agua industriales. Las ROS de oxicloruro mineral de DZ 9966 / DZ 9450 destruyen la matriz protectora de EPS desde su origen, y no solo las células que contiene.

6-log
ELIMINACIÓN MICROBIANA IMPULSADA POR ROS

>+700 mV
ORP OBJETIVO PARA AGUA LIBRE DE BIOFILM

2.8–2.9 V
POTENCIAL DE OXIDACIÓN FRENTE A 0.94 DEL HIPOCLORITO



Biofilm establecido colonizando una superficie con agua, antes del tratamiento con DZ 9450.

Qué es realmente el biofilm

Cuando una bacteria se adhiere a una superficie, activa genes que envuelven a la colonia en una **sustancia polimérica extracelular (EPS)** adhesiva, una matriz de polisacáridos atravesada por canales de agua. La EPS ancla las células, atrapa nutrientes y protege a la comunidad en crecimiento de los desinfectantes. Los biofilms maduros son heterogéneos: combinan zonas aerobias y anaerobias y muchas especies microbianas en una comunidad interdependiente que se protege a sí misma.

Como la EPS, con carga negativa, se comporta como una resina de intercambio iónico, los oxidantes muy cargados o reactivos quedan atrapados antes de llegar a las células que están debajo. Además, las bacterias en lo profundo de la matriz pasan a un estado de crecimiento lento que resiste la eliminación dependiente del crecimiento. El resultado: las colonias sobreviven a tratamientos que destruirían a los mismos organismos si flotaran libres.

Dónde afecta el biofilm a tu proceso

Donde el agua toca una superficie, aparece el biofilm, y se forma rápido, incluso con desinfección continua:

Torres de enfriamiento e intercambiadores de calor. La capa de limo aísla mucho más que la incrustación mineral, lo que reduce la transferencia de calor y favorece la corrosión bajo depósito y la corrosión influenciada microbiológicamente (MIC).

Membranas y espaciadores de ósmosis inversa. Colonizadores primarios como *Sphingomonas* extienden una densa capa de EPS sobre las láminas de membrana, lo que eleva la presión diferencial y reduce drásticamente el flujo y la recuperación.

Sistemas potables y de distribución. El biofilm alcanza 10^4 CFU/cm² en la tubería durante la primera semana y se reforma incluso con un residual de cloro libre de 1–2 mg/L; alberga *Legionella*, *E. coli* y micobacterias.

Medios filtrantes. Los filtros de arena acumulan densidades de biofilm de 10^{11} CFU por gramo en dos días.

Procesamiento de alimentos. *Listeria monocytogenes* y *Salmonella enterica* sobreviven a tratamientos de 6 minutos con sanitizantes de hipoclorito, ácido peracético y peróxido de hidrógeno, un riesgo directo de deterioro y de inocuidad.

Sistemas de agua en petróleo y gas. Las comunidades sésiles provocan agriamiento (souring), generación de H_2S y corrosión de líneas y equipos.

ENSUCIAMIENTO DE MEMBRANAS Y ÓSMOSIS INVERSA



El bioensuciamiento por EPS en los patines de ósmosis inversa aumenta la caída de presión y reduce el flujo mucho antes de que lo haga la incrustación.

Lo que te cuesta el biofilm

Una vez que se establece la EPS, el daño se agrava: **pérdida de eficiencia** por depósitos aislantes, **ensuciamiento** de relleno, medios, espaciadores y cuencas, **corrosión y MIC** bajo el depósito, **nucleación de incrustaciones** porque la matriz atrapa calcio y fosfato, y **deterioro del producto y riesgo de patógenos**. La comunidad también agota el oxígeno disuelto y genera sulfuro de hidrógeno, lo que causa mal sabor, olor y agua turbia.

EL RETO DEL DESINFECTANTE	POR QUÉ GANA EL BIOFILM
Barrera física	La EPS bloquea y atrapa los oxidantes antes de que lleguen a las células
Captura química	La matriz con carga negativa despoja a los agentes reactivos, como una resina de intercambio iónico
Latencia	La falta de nutrientes y oxígeno lleva a las células a un estado estacionario resistente a la eliminación
Rebrote	**Las células sobrevivientes vuelven a sembrar la matriz en cuestión de días, incluso con un residual de cloro**

Por qué los desinfectantes convencionales se quedan cortos

El cloro oxida por *adición*: se une a los compuestos orgánicos en lugar de aportar energía de oxidación, por lo que su potencia se mide en ppm y no en potencial de oxidación. Incluso a 500–1,000 mg/L apenas afecta el material orgánico, salvo para formar subproductos clorados, y necesita un tiempo de contacto de 45–60 minutos a pH 4–5 para desinfectar. El UV y el ozono actúan solo en el punto de aplicación y no dejan un ORP aguas abajo que contenga el biofilm.

Cómo DZ 9966 / DZ 9450 destruye la matriz

DZ 9966 / DZ 9450 es una **solución de oxicloruro mineral** compleja que forma complejos metal-oxo con Ca, K, Mg, Fe y Mn. Al contacto con materia orgánica y microbios, estos complejos liberan una cascada de **especies reactivas de oxígeno (ROS)** —radical hidroxilo, superóxido, peróxido y oxígeno singlete— mediante las reacciones naturales de Haber-Weiss y Fenton.

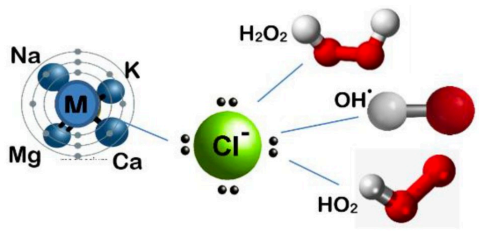
Las ROS atacan el biofilm de dos formas: **penetran y erosionan** las células, dañando membranas y ADN, y **atacan y descomponen químicamente la propia EPS**. Cuando la matriz ya no se sostiene, las células muertas y vivas se desprenden y se arrastran, así que las superficies se mantienen limpias y se suprime el rebrote.

Como los metales actúan como catalizadores, la reacción conserva y prolonga el ORP, lo que da un **residual** medible en todo el sistema. Todo el programa se monitorea con una sola lectura de ORP, sin pruebas de carga orgánica, y los subproductos de óxido mineral quedan muy por debajo del MCL de la FDA.

POTENCIAL DE OXIDACIÓN DE OXIDANTES COMUNES

REACTIVO	FÓRMULA	VOLTS
Flúor	F_2	3.06
Oxicloruro mineral	$M_xO_yCl_z$	**2.8–2.9**
Radical hidroxilo	OH•	2.80
Ion de oxígeno	O^-	2.42
Ozono	O_3	2.07
Peróxido de hidrógeno	H_2O_2	1.78
Radical perhidroxilo	HO_2	1.70
Dióxido de cloro	ClO_2	1.57
Ácido hipocloroso	HOCl	1.49
Cloro gas	Cl_2	1.36
Oxígeno (molécula)	O_2	1.23
Ion hipoclorito	OCl^-	0.94
Hipoclorito de sodio	NaOCl	0.94
Anión hidroperóxido	HO_2^-	−0.88
Radical superóxido	O_2^-	−2.40

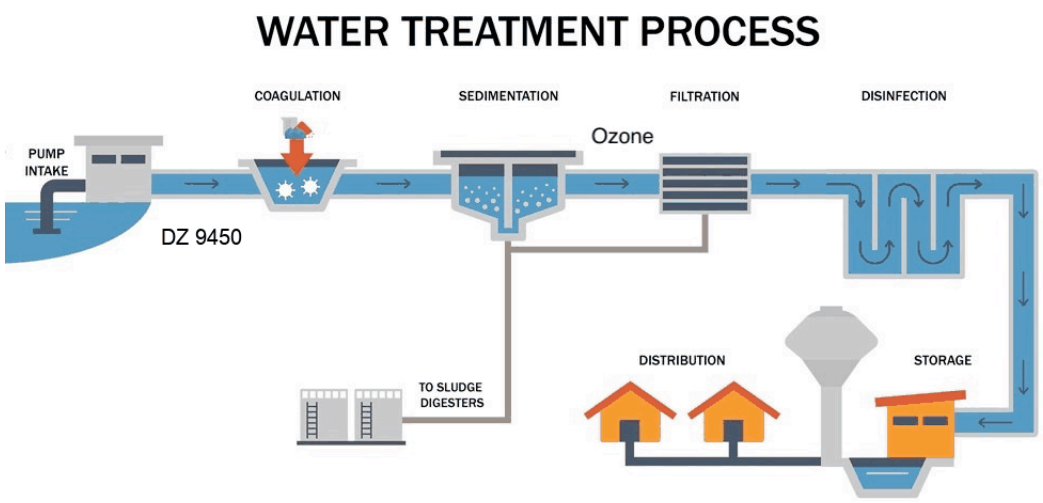
COMPLEJO ROS DE OXICLORURO MINERAL



OBJETIVO	CLORO (SOLO)	DZ 9966 / 9450
Inorgánicos	6 mg/L : 1 mg/L	<1 mg/L : 1 mg/L
Patógenos	1–3 mg/L, 45–60 min	1 : 1,000–10,000
Orgánicos	Deficiente; forma subproductos	1–8 mg/L : 1 mg/L
Residual	**Solo después de cubrir la demanda**	**Óxido mineral protector**

Relaciones de reactividad (reactivo : contaminante) a partir de los datos del programa DZ 9966 / DZ 9450.

Un solo reactivo, monitoreado en todo el sistema



DZ 9450 aporta energía de oxidación residual desde la toma hasta la distribución y el almacenamiento, donde se forma el biofilm.

LA CONCLUSIÓN

El biofilm sobrevive porque su matriz de EPS protege a las células que contiene. DZ 9966 / DZ 9450 aporta ROS que eliminan a los microbios y desmantelan la matriz, con lo que restablece la eficiencia, reduce la corrosión y el ensuciamiento y mantiene un residual de ORP protector aguas abajo. Una sola lectura de ORP te dice que el sistema está protegido.

Cada aplicación es distinta: los circuitos de enfriamiento, las membranas, las redes de distribución, el agua de proceso y de alimentos, y los sistemas petroleros tienen su propia comunidad microbiana y carga orgánica. Un programa DZ 9966 / DZ 9450 se dimensiona según la química de tu agua y el ORP objetivo, así que controlas el biofilm con menos producto, menos subproductos y un residuo mineral compatible con el metabolismo que se degrada de forma natural.

Especies reactivas de oxígeno | **Monitoreo por ORP** | **Protección residual** | **Sin subproductos clorados** | **Por debajo del MCL de la FDA**

HABLA CON OXYSOLUTION

Pregunta por una evaluación de control de biofilm para tu proceso.

ventas@oxysolution.com.mx • www.oxysolution.com.mx