

Las luciérnagas arrojan luz sobre los procesos seguros de tratamiento de agua

Monitorización de la carga microbiana en el análisis de aguas industriales y ambientales

La contaminación biológica del agua representa un importante riesgo para la planta, los equipos y la salud humana en aplicaciones como la admisión de agua bruta, los sistemas de agua de refrigeración, la desmineralización de la ósmosis inversa y la distribución del agua potable. Por lo tanto, las instalaciones de tratamiento de agua, las plantas de tratamiento de petróleo y gas, los fabricantes de reactivos químicos, las plantas desalinizadoras, los centros de datos, las plantas embotelladoras y las centrales energéticas miden la carga microbiana para ayudar a minimizar la corrosión, optimizar el rendimiento de la planta y evitar brotes de patógenos como la legionela. Tradicionalmente, esto ha supuesto el muestreo para análisis en laboratorio, pero una nueva tecnología en continuo (basada en el proceso químico que utilizan las luciérnagas para atraer a sus parejas) está mejorando significativamente la efectividad, la velocidad y el valor de la monitorización.

En el siguiente artículo exponemos los motivos para recurrir a la monitorización, cómo funciona la nueva tecnología y sus ventajas con respecto a los métodos tradicionales. A continuación, presentaremos tres breves casos prácticos en los que los usuarios han aprovechado las ventajas de la monitorización continua de la carga microbiana con el analizador EZ7300 de Hach®: el primer analizador microbiológico del mundo que utiliza el ensayo del ATP de luciérnagas.

Motivos para medir la carga microbiana

La presencia de microorganismos en el agua representa un problema para muchos sectores donde la pureza del agua es primordial. Esto se debe a que la proliferación de microorganismos puede afectar a la eficacia de la planta y, cuando se liberan en el aire, a la salud humana.

Los sistemas de gestión de aguas, especialmente los que trabajan con recirculación, proporcionan un entorno favorable para el crecimiento de microorganismos, lo que pro-

voca el desarrollo de biopelículas y limo. Una biopelícula es la recopilación, sobre una superficie, de materia orgánica e inorgánica, viva e inerte. Estas biopelículas pueden reducir los niveles de desinfectantes residuales, aumentar los niveles de bacterias, reducir el oxígeno disuelto, así como causar problemas de sabor y olor al agua destinada al consumo humano. Entre los microorganismos presentes en las biopelículas pueden encontrarse bacterias, hongos y organismos mayores como nematodos, larvas, e incluso crustáceos.

Las biopelículas pueden acumularse y provocar la obstrucción de filtros y otros sistemas. Además, la presencia de una biopelícula cambia el entorno en la superficie contaminada, al crear unas condiciones anaeróbicas y anódicas. Esto crea diferencias entre sitios colonizados y no colonizados, lo que fomenta un diferencial electroquímico que puede causar corrosión. Las biopelículas a menudo crean zonas con niveles bajos de oxígeno, en las que los microbios fermentativos producen ácidos orgánicos y reducen el pH. La proliferación de microorganismos anaerobios, como las bacterias reductoras de sulfato, puede oxidar el hidrógeno que se forma en el cátodo y despolarizar la celda de corrosión. No obstante, los subproductos del sulfuro pueden ser corrosivos o contribuir adicionalmente al diferencial electroquímico entre las zonas contaminadas y no contaminadas.

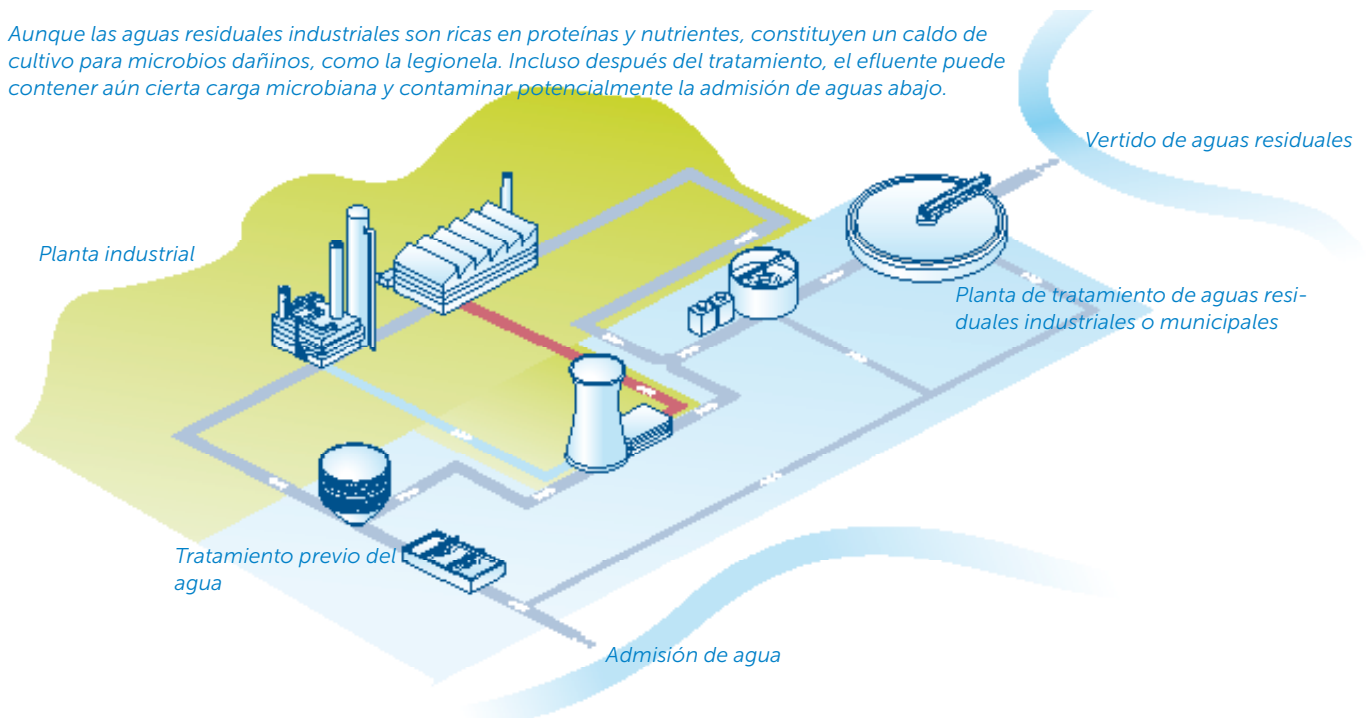
Unos niveles altos de carga microbiana pueden provocar la disipación de pequeñas gotas de agua (aerosoles) que con-



Los tests estándar para el recuento microbiano total requieren una larga incubación. Cuando por fin se obtienen los resultados, es demasiado tarde para actuar en consecuencia.

Monitorización de la carga microbiana

Aunque las aguas residuales industriales son ricas en proteínas y nutrientes, constituyen un caldo de cultivo para microbios dañinos, como la legionela. Incluso después del tratamiento, el efluente puede contener aún cierta carga microbiana y contaminar potencialmente la admisión de aguas abajo.



tienen bacterias dañinas, como la legionela. Las bacterias de la legionela proliferan en los sistemas de agua natural, pero rara vez causan enfermedades. Sin embargo, los brotes de legionelosis se producen por una exposición a la legionela causada por una gestión deficiente de las torres de refrigeración y los condensadores. La legionelosis es una enfermedad potencialmente mortal y, según la legislación de la mayoría de los países, los empresarios están obligados a realizar una evaluación adecuada y suficiente de los riesgos de cualquier trabajo susceptible de exponer a sus empleados a cualquier sustancia peligrosa para la salud, así como a evaluar los riesgos que dicho trabajo pueda entrañar para otras personas ajenas a la empresa.

En muchas aplicaciones se añaden biocidas al agua para evitar la acumulación de microorganismos, y la efectividad de este proceso debe monitorizarse, no solo para garantizar que tenga el efecto deseado, sino también para optimizar la frecuencia y la concentración de la dosificación.

La detección temprana de la contaminación microbiológica de una fuente de agua permite identificar el origen de la contaminación mediante métodos de detección específicos, de manera que puedan tomarse las medidas correctoras oportunas.

Quizás el motivo más importante para llevar a cabo la monitorización sea el riesgo que puede suponer no realizarla. La proliferación microbiana puede provocar daños e, incluso, el cierre de la planta, implicando unas pérdidas financieras considerables. Además representa una amenaza para la salud humana, con un riesgo enorme de la reputación.

Monitorización continua de la carga microbiana: ¿cómo funciona?

El "método luciérnaga" ASTM D4012-81 se desarrolló como alternativa más rápida y eficaz a los tests microbianos tradi-

cionales, como el etiquetado de celdas, el recuento de placas y la turbidez. Consiste en una determinación rápida y sensible de la biomasa viable de bacterias en el agua y en aguas residuales, así como en las aplicaciones de limpieza e higiene, mediante la monitorización de los niveles de adenosín trifosfato (ATP).

El ATP es la moneda de cambio energética de la vida y, como tal, constituye un indicador fiable de un organismo vivo. La medición del ATP imita la reacción química de las luciérnagas, por medio de la cual el ATP y la luciferina generan luz en una reacción catalizada por la enzima luciferasa de la luciérnaga. La luz generada es proporcional a la cantidad de ATP de la muestra.

El EZ7300 extrae continuamente muestras con un ciclo de análisis de 10 - 15 minutos, y cada analizador puede analizar hasta 8 corrientes de muestra. En la primera fase del proceso de medición, se mide el nivel de ATP de la muestra "bruta"; esto representa un ATP extracelular (o inerte). En la segunda fase, se utiliza un método ultrasónico (no químico) para provocar la lisis de las células de la muestra y liberar el ATP "vivo". Se toma una segunda medición, lo que proporciona el "ATP total" de la muestra. La diferencia entre estas dos mediciones representa el ATP "vivo" y es proporcional a la cantidad de microorganismos vivos de la muestra.

Con un límite de detección de 0,05 pg de ATP por mL, el EZ7300 es capaz de medir a niveles muy bajos (0,05 pg $\approx$ 50 bacterias del tamaño de una E. coli), con un amplio rango de medición que se extiende hasta más de 200 pg/mL*.

Se han desarrollado instrumentos portátiles para sacar partido al método del ATP, pero el Hach EZ7300 es el primer instrumento que ofrece esta técnica satisfactoriamente en una medición continua.

Ventajas de la monitorización continua

Antes de abordar las evidentes ventajas de la monitorización continua, es importante tener en cuenta las diferencias entre el método del ATP y las técnicas tradicionales, que suelen conllevar el cultivo de microorganismos objetivo o indicadores. Por lo general, estos métodos suelen cultivar menos de un 1 % de bacterias en una muestra, por lo que no ofrecen una buena indicación de la carga bacteriana. Además, se basan en la habilidad del operador y asumen la ausencia de errores humanos o variabilidad.

El análisis de laboratorio provoca una demora significativa entre la toma de una muestra y la entrega de un resultado. En cambio, el EZ7300 es capaz de llevar a cabo un análisis en menos de 15 minutos, 24 horas al día, todos los días del año. Esta continuidad de datos abre muchas posibilidades en el control de procesos. El suministro de datos casi en tiempo real permite a los operadores del proceso responder inmediatamente ante cualquier modificación de las condiciones. Esta respuesta rápida es a menudo más eficaz y mucho menos costosa que la que era posible obtener tras la recepción del resultado de una muestra discreta.

Una de las ventajas más importantes de la monitorización continua es su capacidad para registrar el tiempo y la severidad de los picos en los datos. En combinación con otros datos del proceso, esto ayuda a identificar las causas de los picos y, por tanto, a informar sobre las medidas de mitigación adecuadas. La carga microbiana puede aumentar muy rápidamente en determinadas condiciones (como en caso de fallo del equipo de dosificación de biocidas), y el retraso de las muestras de laboratorio supone un nivel de riesgo alto en comparación con la respuesta casi inmediata de una monitorización en continuo.

Con la capacidad de tomar muestras seis veces por hora, el EZ7300 es capaz de generar grandes grupos de datos, lo que mejora significativamente la importancia estadística de los resultados y, por tanto, la actividad de I+D y el análisis de tendencias. Como las instalaciones empiezan a obtener un valor real de los macrodatos, esto tendrá un gran valor en el desarrollo de algoritmos predictivos, sistemas inteligentes e inteligencia artificial.

Los microbiólogos están, en general, altamente cualifica-

dos, por lo que el tiempo que pasan realizando tests rutinarios en laboratorio es un tiempo malgastado. Por tanto, los analizadores en continuo liberan a este personal para realizar tareas más importantes, como la optimización de procesos, I+D y el análisis de causa y efecto de los datos obtenidos. Además, la cantidad de mano de obra y materiales necesarios para el análisis de laboratorio supone que las formas tradicionales de análisis sean mucho más costosas por muestra que el método empleado por el EZ7300.

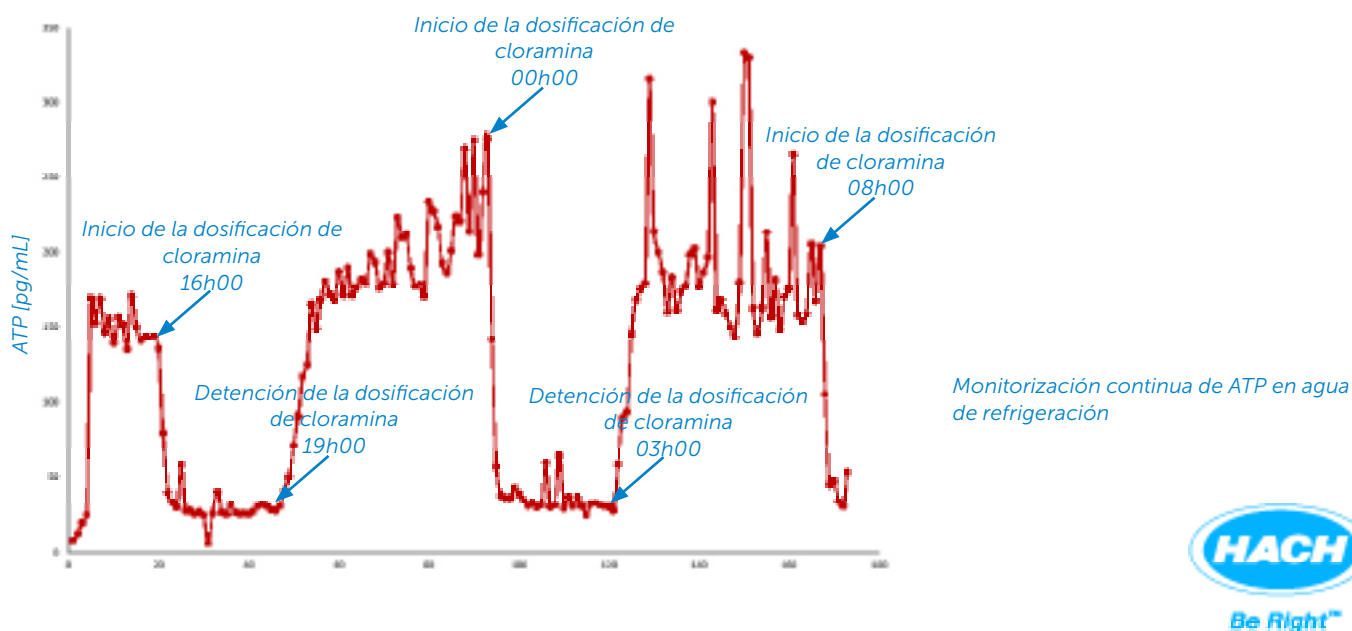
Caso práctico: generación de energía, Indiana, EE. UU.

Hay dos factores principales que afectan a la estrategia de dosificación de biocidas en las torres de refrigeración de las centrales energéticas. En primer lugar, el límite de vertido puede restringir la tasa o el momento de la dosificación, y, en segundo lugar, la estrategia de dosificación debe cumplir con la carga bacteriana del agua, que puede variar en función de la fuente y de si se emplea reciclaje.

Los operadores de una central energética de Indiana necesitaban información en tiempo real para optimizar el protocolo del tratamiento con biocidas. Estos datos eran necesarios para determinar si la dosificación intermitente o la continua (con una menor concentración de cloraminas) era más eficaz y rentable. También era necesario reducir la carga microbiana general en el circuito de agua de refrigeración y las torres de refrigeración, con el fin de reducir la formación de biopelículas y el riesgo asociado de un brote de legionela desde la torre de refrigeración grande.

Se instaló un analizador Hach EZ7300 y, durante dos meses, demostró claramente las ventajas de la monitorización continua. Por ejemplo, los datos de la dosificación de biocidas intermitente mostraron unos efectos considerables en los niveles de ATP y, por tanto, en la carga microbiana, al comparar los periodos de dosificación con periodos sin dosificación (vea el gráfico).

Basándose en los resultados obtenidos, la planta ahora monitoriza continuamente dos corrientes de muestra, lo que contribuye a optimizar la dosificación de biocidas y a miti-



gar los riesgos potenciales. Asimismo, han adquirido un segundo analizador para monitorizar el sistema de agua de una central energética asociada.

Caso práctico: plantas de tratamiento de agua potable, Nevada, EE. UU.

Las fuentes de agua pueden contener microorganismos como bacterias, virus y protozoos, que suponen un riesgo para la salud humana si no se tratan y desinfectan de manera efectiva. Un tratamiento de agua satisfactorio supone la eliminación o la inactivación de los microorganismos patógenos, para evitar la propagación de enfermedades transmitidas por medios hídricos. La eliminación de los organismos patógenos puede realizarse mediante coagulación seguida de sedimentación y filtración, y por otros procesos de filtración, como la filtración por membrana. En cambio, la inactivación de patógenos está relacionada con los efectos de un desinfectante en la destrucción de la estructura celular de los microorganismos o en la alteración de su metabolismo, biosíntesis o capacidad para crecer y reproducirse. Para las bacterias, esta inactivación se mide mediante la incapacidad de dividirse y formar colonias; los tests tradicionales, por tanto, miden las "unidades formadoras de colonias". Para los virus, la inactivación supone la incapacidad de formar placas en las células huésped. Para los ooquistes del protozoo *Cryptosporidium*, la inactivación supone la incapacidad de multiplicarse y, por tanto, se evita la infección de un huésped por parte de un *Cryptosporidium*.

Los tests de laboratorio estándar son necesarios para el cumplimiento normativo sobre agua potable. Sin embargo, el éxito de la desinfección se basa en la inactivación de todos los microorganismos, no solo de los organismos indicadores. Por tanto, con la capacidad de medir todos los organismos "vivos", la monitorización continua del ATP proporciona una herramienta útil para la medición de la eficacia de la desinfección.

En 2017, una planta grande de tratamiento de aguas (2,3 millones m³/día) instaló el analizador Hach EZ7300 en una planta de desinfección con ozono que trataba agua bruta proveniente de un lago. Los operadores estaban encantados con los resultados, ya que los datos continuos les proporcionaron mucha más información sobre el proceso, y les permitió optimizar el proceso de desinfección, a la vez que se minimizaron los costes.

La instalación fue tan satisfactoria que se adquirió después otro instrumento para un proceso de desinfección con gas cloro en el agua potable procesada. Ahora, este EZ7300 se encuentra proporcionando una optimización de desinfección

continua, a la vez que demuestra una inactivación satisfactoria de los microorganismos.

Caso práctico: optimización de los filtros biológicos, Minnesota (EE. UU.)

Los filtros biológicos eliminan los contaminantes de tres formas: biodegradación, adsorción de microcontaminantes y filtración. Los microorganismos presentes en el medio filtrante consumen materia orgánica, con lo que producen compuestos finales, como dióxido de carbono, agua, biomasa y moléculas orgánicas más simples.

El tratamiento biológico elimina una amplia variedad de contaminantes, lo que acaba con la necesidad de un tratamiento químico previo a la filtración o sedimentación, sin los problemas asociados a los subproductos. En comparación con otras tecnologías de tratamiento de agua potable que retienen los contaminantes para su eliminación, el tratamiento biológico destruye y elimina varios contaminantes a la vez y reduce la producción de lodos.

Los filtros biológicos reducen los costes en reactivos químicos, pero solo funcionan eficazmente con una población sana de microorganismos presente en los elementos del filtro. El funcionamiento de un filtro biológico se puede estimar con mediciones indirectas de parámetros como el pH y el oxígeno disuelto, pero una medición directa de los microbios en el afluente y efluente es mucho más útil.

En noviembre de 2015, se implementó un prototipo del EZ7300 para monitorizar un filtro biológico en una galardonada planta de tratamiento de aguas de Minnesota. Mediante la monitorización del afluente y el efluente de forma simultánea, el instrumento fue capaz de medir la eficacia de la eliminación de biomasa del filtro en un amplio rango de condiciones diferentes. Cabe destacar que, mediante la medición tanto del ATP libre como del intracelular, el analizador también fue capaz de demostrar la eficacia de la eliminación de microorganismos viables.

Los operadores de la planta quedaron impresionados con las capacidades del analizador, y se instaló una nueva unidad en mayo de 2017, que ha estado en funcionamiento continuo desde entonces, monitorizando el rendimiento del filtro biológico. Además, el personal de la planta ha sacado partido de la capacidad del instrumento para realizar muestreos discretos, lo que le permite tomar muestras desde otras partes de la planta para analizarlas en el mismo instrumento. Esta actividad les ha permitido, por ejemplo, investigar la corrosión provocada por microbios.