

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 584 160**

51 Int. Cl.:

C02F 3/34 (2006.01)

C02F 3/02 (2006.01)

C02F 3/00 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **09.02.2004 E 04709412 (3)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **27.04.2016 EP 1599421**

54 Título: **Métodos y aparato para reducir las demandas de nitrato en la reducción de sulfuros disueltos y/o atmosféricos en aguas residuales**

30 Prioridad:

05.03.2003 US 451671 P

04.11.2003 US 700381

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:

26.09.2016

73 Titular/es:

EVOQUA WATER TECHNOLOGIES LLC (100.0%)
181 Thorn Hill Road
Warrendale, PA 15086 , US

72 Inventor/es:

HUNNIFORD, DAVID, J.;
MORANO, DAVID, L. y
HARSHMAN, JAMES, PAUL

74 Agente/Representante:

DE ELZABURU MÁRQUEZ, Alberto

ES 2 584 160 T3

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín europeo de patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre concesión de Patentes Europeas).

DESCRIPCIÓN

Métodos y aparato para reducir las demandas de nitrato en la reducción de sulfuros disueltos y/o atmosféricos en aguas residuales

Campo de la invención

5 La presente invención se refiere a procedimientos y sistemas que efectúan la retirada de sulfuro de hidrógeno disuelto en aguas residuales (por ejemplo, sistemas de alcantarillado, plantas de tratamiento de residuos municipales, aguas residuales industriales y similares) mediante la adición de iones nitrato. Más particularmente, la presente invención se refiere a procedimientos y sistemas mediante los cuales, las demandas de nitrato para reducir los sulfuros disueltos en dichas aguas residuales son menores que en el tratamiento únicamente con nitrato.

10 Descripción de la técnica relacionada

Es bien conocido que la adición de nitratos o nitritos, y/o antraquinona al sistema de alcantarillado sirve para suprimir la formación de sulfuros disueltos a través de una acción bacteriológica anaeróbica. A este respecto, véanse las patentes de EE.UU. n^{os} 3.300.404; 4.446.031; 4.681.687; 5.386.842; y 5.500.368.

15 Recientemente, se ha propuesto a través de las patentes de EE.UU. de titularidad compartida n^{os} Re 37.181 y Re 36.651 que la adición de nitrato, típicamente a través de una disolución salina acuosa de nitrato, en los sistemas de alcantarillado, plantas de tratamiento de residuos y otras aplicaciones de residuos industriales que contienen sulfuros disueltos darán como resultado la eliminación o reducción sustancial de los sulfuros, así como la eliminación de otros olores menores asociados con otros compuestos que contienen azufre. También, es conocido que al aumentar significativamente el pH de las corrientes de aguas residuales (es decir, a más de 10) mediante la adición de un material alcalino (es decir, hidróxido de sodio, hidróxido de calcio) produce una reducción significativa de la actividad biológica que produce el sulfuro disuelto.

20 Lamentablemente, este aumento significativo de pH en el agua residual puede afectar adversamente el funcionamiento de las plantas de tratamiento de aguas residuales. La adición de material alcalino también produce un desplazamiento en el equilibrio del sulfuro disuelto, de tal modo que la mayoría del sulfuro de hidrógeno disuelto volátil (H₂S) se convierte en ion sulfuro no volátil (S²⁻), por lo que se evita la liberación del gas de sulfuro de hidrógeno. Sin embargo, el sulfuro de hidrógeno todavía se puede evaporar aguas abajo (es decir, liberar en la atmósfera) conforme los flujos adicionales sin tratar se mezclan con el agua residual tratada con material alcalino, reduciendo por lo tanto su pH, y el ion sulfuro no volátil se convierte de nuevo en sulfuro de hidrógeno disuelto volátil. Como resultado, hacer funcionar un sistema de aguas residuales a tan alto nivel de pH no permite típicamente un control de olores satisfactorio de manera continuada.

Breve compendio de la invención

35 Se ha descubierto ahora que la adición menor de material alcalino teóricamente suficiente para aumentar el pH del agua residual típicamente sólo hasta 7,5 a 9, sorprendentemente da como resultado una reducción de al menos aproximadamente 10% (típicamente entre aproximadamente 20% y aproximadamente 50%) de los compuestos que contienen nitrato, en cualquier forma que se deba añadir a la corriente para reducir o eliminar significativamente los sulfuros disueltos aguas abajo del punto de adición, en comparación con la cantidad necesaria en ausencia de la coadición de material alcalino. Como resultado, este procedimiento prevé una reducción sustancial de la dosis de compuestos que contienen nitrato necesarios para lograr una reducción sustancial de los sulfuros disueltos en la corriente de agua residual y, por lo tanto, proporciona un control de olores satisfactorio con un consumo de nitrato significativamente menor.

40 Según realizaciones especialmente preferidas de la presente invención, el compuesto que contiene nitrato y un material alcalino se pueden añadir en cantidades suficientes para reducir las concentraciones del sulfuro de hidrógeno atmosférico y de los sulfuros disueltos en la corriente de agua residual al menos aproximadamente 10%, más típicamente aproximadamente 20% y lo más típicamente al menos aproximadamente 50%, en comparación con las concentraciones de sulfuro de hidrógeno atmosférico y sulfuros disueltos presentes en la corriente de agua residual antes de la adición del compuesto que contiene nitrato y del material alcalino. La particular reducción de la concentración de sulfuro de hidrógeno atmosférico y sulfuros disueltos que se puede obtener, dependerá de una variedad de consideraciones medioambientales asociadas con el sistema de recogida o tratamiento de aguas residuales en los que se utiliza la presente invención. Así, en algunas circunstancias, puede ser factible eliminar sustancialmente el sulfuro de hidrógeno atmosférico y los sulfuros disueltos de la corriente de agua residual por medio de la coadición de nitrato y material alcalino según la presente invención.

Los siguientes documentos pueden ser útiles para entender los antecedentes de la presente divulgación.

Resumen de patente japonesa Vol. 1999, n^o 03, 31 de marzo de 1999 (31-03-1999) y JP 10 328676 A (KURITA WATER IND LTD; NORSK HYDRO AS; ITOCHU CORP), 15 de diciembre de 1998 (15-12-1998).

Resumen de patente japonesa Vol. 1999, nº 11, 30 de septiembre de 1999 (30-09-1999) y JP 11 156374 A (PUB WORKS RES INST MINISTRY OF COSNTR; KURITA WATER IND LTD), 15 de junio de 1999 (15-06-1999), USRE37181E, US3607736, y US6309597.

5 El documento USRE37181E previamente mencionado, describe que el sulfuro de hidrógeno disuelto se puede retirar y reducir BOD mediante la adición de iones nitrato en sistemas de residuos, con el fin de estimular el crecimiento de bacterias que utilizan sulfuro de hidrógeno disuelto en su metabolismo. El documento US6309597 describe que la concentración de sulfuro de hidrógeno en agua que contiene bacterias reductoras de azufre y bacterias metabolizantes de sulfuro de hidrógeno, se puede reducir mediante la adición de una disolución acuosa de óxidos de nitrógeno metálicos y pequeñas partículas de quinonas policíclicas insolubles en agua.

10 Según un aspecto de la presente invención, se proporciona un método para tratar una corriente de agua residual. En una realización, el método consiste esencialmente en los actos de (a) añadir, en una primera posición en la corriente de agua residual, un compuesto que contiene nitrato a la corriente de agua residual en una cantidad suficiente para reducir una concentración de al menos uno de sulfuro de hidrógeno atmosférico y sulfuro disuelto, aguas abajo de la primera posición, hasta una concentración deseada, y (b) añadir, en una segunda posición en la corriente de agua residual, un compuesto que consiste esencialmente en un material alcalino a la corriente de agua residual, para reducir la cantidad del compuesto que contiene nitrato añadido en el acto (a).

15 Según otra realización de la presente invención, se proporciona un método para usar en un sistema de tratamiento de aguas residuales en el que se añade una cantidad de un compuesto que contiene nitrato a la corriente de agua residual en una primera posición en la corriente de agua residual, para reducir una concentración de al menos uno de sulfuro de hidrógeno atmosférico y sulfuro disuelto, aguas abajo de la primera posición, hasta una concentración deseada. El método consiste esencialmente en añadir, en una segunda posición en la corriente de agua residual, una cantidad de un compuesto que consiste esencialmente en un material alcalino a la corriente de agua residual, para reducir la cantidad del compuesto que contiene nitrato, usado para reducir la concentración de al menos uno de sulfuro de hidrógeno atmosférico y sulfuro disuelto, hasta la concentración deseada.

25 Según otra realización de la presente invención, se proporciona un método para tratar una corriente de agua residual. El método comprende actos de añadir un compuesto que contiene nitrato en una primera posición en la corriente de agua residual, añadir un material alcalino en una segunda posición en la corriente de agua residual; detectar una concentración de al menos uno de sulfuro de hidrógeno atmosférico, sulfuro disuelto, pH, y nitrato residual en la corriente de agua residual, aguas abajo de la primera y segunda posiciones; y ajustar una cantidad de al menos uno del compuesto que contiene nitrato y del material alcalino añadidos a la corriente de agua residual en respuesta al acto de detección. De manera ventajosa, uno o más de los actos antes mencionados, de cada una de las realizaciones descritas previamente se pueden implementar manualmente, por ejemplo, por un operario, o por un ordenador.

35 Según otro aspecto de la presente invención, se proporciona un sistema de tratamiento de aguas residuales. El sistema de tratamiento de aguas residuales comprende una fuente de nitrato en comunicación fluida con el agua residual, una fuente de material alcalino en comunicación fluida con el agua residual, y al menos un sensor, dispuesto en el agua residual, aguas debajo de la fuente de nitrato y de la fuente de material alcalino, para medir una concentración de al menos uno de sulfuro de hidrógeno atmosférico, sulfuro disuelto, pH, y nitrato residual, aguas abajo de la fuente de nitrato y de la fuente de material alcalino. El sistema de tratamiento de aguas residuales además comprende medios, sensibles a la concentración medida del al menos uno de sulfuro de hidrógeno atmosférico, sulfuro disuelto, pH, y nitrato residual, aguas debajo de la fuente de nitrato y de la fuente de material alcalino, para reducir una cantidad de nitrato y/o material alcalino que se añade al agua residual, para reducir la concentración de al menos uno de sulfuro de hidrógeno atmosférico y sulfuro disuelto, aguas debajo de la fuente de nitrato y de la fuente de material alcalino, hasta una concentración deseada.

45 Según aún otro aspecto de la presente invención, se proporciona un soporte legible por ordenador. El soporte legible por ordenador está codificado con un programa que, cuando se ejecuta en un procesador de un ordenador, realiza un método para tratar una corriente de agua residual, que comprende los actos de añadir un compuesto que contiene nitrato en una primera posición en la corriente de agua residual, añadir un material alcalino en una segunda posición en la corriente de agua residual, detectar una concentración de al menos uno de sulfuro de hidrógeno atmosférico, sulfuro disuelto, pH, y nitrato residual en la corriente de agua residual, aguas abajo de la primera y segunda posiciones, y ajustar una cantidad de al menos uno del compuesto que contiene nitrato y del material alcalino añadido a la corriente de agua residual en respuesta al acto de detección.

55 De manera ventajosa, las realizaciones de la presente invención permiten reducciones sustanciales de la cantidad de compuesto que contiene nitrato que se añade a la corriente de agua residual para evitar y/o reducir el sulfuro de hidrógeno atmosférico y sulfuro disuelto, independientemente de si se añade el material alcalino por separado a la corriente de agua residual, o en combinación con el compuesto que contiene nitrato. En consecuencia, las realizaciones de la presente invención se pueden adaptar fácilmente para usar en instalaciones y sistemas de tratamiento de agua residual existentes, así como en instalaciones de tratamiento de agua residual planificadas para usar en el futuro.

Breve descripción de los dibujos

Esta invención se señala con particularidad en las reivindicaciones anexas. Las anteriores u otras ventajas de esta invención se pueden entender mejor por referencia a la siguiente descripción, cuando se toma conjuntamente con los dibujos que la acompañan, en los que números de referencia similares indican elementos iguales o similares

5 En los dibujos,

La Figura 1, muestra un sistema informático de uso general sobre el cual se pueden llevar a la práctica diversas realizaciones de la invención;

La Figura 2, ilustra un sistema de almacenamiento que se puede usar con el sistema informático de la Figura 1;

La Figura 3, ilustra un sistema de tratamiento de aguas residuales según una realización de la presente invención;

10 La Figura 4, ilustra un sistema de tratamiento de aguas residuales según otra realización de la presente invención;

La Figura 5, ilustra el diseño de un sistema de tratamiento de aguas residuales, a partir del cual se recogieron ciertos resultados de ensayo experimentales; y

La Figura 6, es un diagrama de flujo que ilustra un procedimiento para el tratamiento de agua residual según otra realización de la presente invención.

15 Definiciones

Como se usa en la presente memoria, "agua residual" se define como aguas de operaciones municipales, de yacimientos petrolíferos e industriales que contienen bacteria reductora de sulfato y bacteria desnitrificadora (reductora de nitrato) y que son susceptibles a la generación de sulfuro de hidrógeno biogénico (H₂S) debido al crecimiento y actividad de la bacteria reductora de sulfato. Estas incluyen corrientes de agua resultantes de uso municipal, operaciones de producción de petróleo y gas natural, agua marina usada en operaciones de inyección de agua en yacimientos petrolíferos, aguas efluentes de procesamientos químicos y bioquímicos y operaciones de papel y pulpa, aplicaciones de tratamiento de bio-sólidos, y agua usada en operaciones de transferencia de calor industriales.

25 Como se usa en la presente memoria, la expresión "corriente de agua residual" se usa para referirse a un flujo de agua residual, típicamente a través de un conducto, o una serie de conductos que se pueden interconectar a través de una o más bombas o estaciones de levantamiento, pero también se refiere a una cantidad de agua residual almacenada en un recipiente recolector, tal como un depósito, en dos puntos distintos en el tiempo.

30 Como se usa en la presente memoria, las expresiones "sistema de tratamiento de agua residual" e "instalación de tratamiento de agua residual" se refieren a cualquier sistema o instalación de recogida y/o tratamiento de agua residual en el que el agua residual se trata o procesa para evitar, retirar, o reducir constituyentes no deseados presentes en el agua residual.

Como se usa en la presente memoria, la expresión "punto de alimentación" se refiere a ese punto en la corriente de agua residual donde se añaden compuestos que contienen nitrato, o compuestos que contienen nitrato y material alcalino, a la corriente de agua residual.

35 Como se usa en la presente memoria, la expresión "punto de ensayo" se refiere a ese punto en la corriente de agua residual, en donde se lleva a cabo la medición de datos por sensor de línea base (p. ej., pH, concentración de sulfuro disuelto, concentración de sulfuro de hidrógeno atmosférico, concentración de nitrato residual, etc.). Por conveniencia, el punto de ensayo suele estar en la misma ubicación general que el punto de alimentación.

40 Como se usa en la presente memoria, la expresión "punto de monitoreo" se refiere a ese punto en la corriente de agua residual, aguas abajo del punto de alimentación, en donde se lleva a cabo la medición de datos por sensor (p. ej., pH, concentración de sulfuro disuelto, concentración de sulfuro de hidrógeno atmosférico, concentración de nitrato residual, etc.) de la corriente de agua residual tratada.

45 Como se usa en la presente memoria, la expresión "punto de control" se refiere a ese punto en la corriente de agua residual, aguas abajo del punto de alimentación, en donde se establecen los valores métricos (tal como, por ejemplo, concentraciones de sulfuro de hidrógeno atmosférico, sulfuro disuelto, y nitrato residual) de la corriente de agua residual. Con frecuencia, el punto de control puede estar en el mismo sitio que uno de los puntos de monitoreo.

50 Como se usa en la presente memoria el término "punto" se usa, tanto en un sentido espacial como en un sentido temporal. Específicamente, en una corriente de agua residual que fluye a lo largo de una distancia, por ejemplo, a través de un conducto, el término "punto" se refiere a lo largo de esa distancia o conducto. En la corriente de agua residual que se almacena en un recipiente recolector, la expresión "punto" se usa en un sentido temporal, de tal modo que dos puntos diferentes se espacian en el tiempo, pero no necesariamente en el espacio.

Como se usa en la presente memoria, la expresión “tiempo de detección” se refiere a la cantidad de tiempo entre el punto de alimentación y el punto de monitoreo, o cuando la corriente de agua residual se almacena en un recipiente recolector, la cantidad de tiempo para dar la vuelta al volumen del recipiente.

Como se usa en la presente memoria, “pluralidad” significa dos o más.

- 5 Como se usan en la presente memoria, ya sea en la descripción escrita o en las reivindicaciones, las expresiones “que comprende,” “que incluye,” “que lleva,” “que tiene,” “que contiene,” “que implica,” y similares, se deben de entender como ilimitadas, es decir, que significan “que incluye pero no se limita a.” Sólo las frases transicionales “que consiste en” y “que consiste esencialmente en,” respectivamente, deben ser frases transicionales limitadas o semi limitadas.

10 Descripción detallada

La Figura 3 ilustra un sistema de tratamiento de aguas residuales según una realización de la presente invención. Como se muestra en la Figura 3, el sistema de tratamiento de aguas residuales **300** incluye una tubería o conducto **310** a través del cual fluye un caudal de agua residual en la dirección indicada. Una pluralidad de sensores aguas arriba **330** se disponen en comunicación fluida (p. ej., líquida y/o gaseosa) con la corriente de agua residual entrante en un punto de ensayo **302**, aguas arriba de un punto de alimentación **304**, en donde se introducen compuestos controladores del sulfuro, tales como compuestos que contienen nitrato y material alcalino. Una pluralidad de sensores aguas abajo **340** están dispuestos en comunicación fluida con la corriente de agua residual en un punto de monitoreo **306** que está situado aguas abajo del punto de alimentación **304**. Una pluralidad de sensores aguas arriba y aguas abajo **330**, **340** están conectados eléctricamente a un controlador **320**, que, depende de las señales de medición proporcionadas por los sensores, ajusta la cantidad de compuesto que contiene nitrato y/o material alcalino añadido a la corriente de agua residual entrante en el punto de alimentación **304**. Por ejemplo, en base a parámetros de la corriente de agua residual medidos por los sensores aguas arriba y aguas abajo **330**, **340**, el controlador **320** ajusta la cantidad y/o caudal de compuesto que contiene nitrato, material alcalino, o ambos añadida a la corriente de agua residual, como se analiza más adelante con respecto a la Figura 6.

25 Aunque la pluralidad de sensores aguas arriba **330** se muestran en la Figura 3 como colocados a una distancia aguas arriba del punto de alimentación **304**, debe tenerse en cuenta que la presente invención no está tan limitada. Por ejemplo, cuando el acceso a la corriente de agua residual está limitado, los sensores aguas arriba **330** pueden estar físicamente dispuestos en la misma ubicación general que el punto de alimentación **304** en donde se introducen los compuestos controladores de sulfuro en la corriente de agua residual. Además, debe tenerse en cuenta que uno o más de la pluralidad de sensores aguas arriba **330** se pueden localizar en una posición diferente en la corriente de agua residual de los otros. De manera similar, aunque los sensores aguas abajo **340** se muestran como que están colocados en una posición bien aguas abajo del punto de alimentación **304**, la ubicación de estos sensores puede variar dependiendo de la accesibilidad de la corriente de agua residual, así como de otros factores tales como el caudal de la corriente de agua residual y la concentración de sulfuros presente en la corriente de agua residual. Aunque se representa únicamente un punto de monitoreo **306** en la Figura 3, debe tenerse en cuenta que también se pueden proporcionar puntos de monitoreo adicionales, como se ilustra mediante el Ejemplo 6, analizado con detalle más adelante.

En general, la distancia entre el punto de alimentación **304** y el punto de monitoreo **306** debe ser de tal modo que en el caudal particular de la corriente de agua residual, se proporcione una cantidad suficiente de tiempo (referido como “tiempo de detección”) para permitir que los microorganismos en la corriente de agua residual reduzcan bioquímicamente el compuesto que contiene nitrato a nitrógeno gaseoso. Este tiempo de detección puede variar dependiendo de la concentración de sulfuros presente en la corriente de agua residual sin tratar, y la temperatura y el pH de la corriente de agua residual entrante. Los autores de la presente solicitud han encontrado que un tiempo de detección de al menos 15 minutos; y, más preferiblemente, de al menos 30 minutos; y, aún más preferiblemente, de al menos una hora, es por lo general suficiente para permitir un reducción apreciable de la concentración de sulfuros presentes en la corriente de agua residual a través del procedimiento de reducción bioquímica de nitrato. En el Ejemplo 3 (analizado con detalle más adelante), una distancia de aproximadamente 1,61 km (una milla) entre el punto de alimentación y el punto de monitoreo correspondía a un tiempo de detección de aproximadamente 90 minutos, y fue suficiente para dar como resultado una disminución significativa de la concentración de sulfuro de hidrógeno atmosférico y sulfuros disueltos, aguas abajo del punto de alimentación.

Debe tenerse en cuenta que en otros sistemas de tratamiento de aguas residuales, puede no haber separaciones, en términos de distancia física, entre el punto de ensayo **302**, el punto de alimentación **304**, y el punto de monitoreo **306**. Por ejemplo, en sistemas de tratamiento de agua residual en donde el agua residual sin tratar se almacena en un recipiente recolector y luego se trata y se libera (p. ej., aplicaciones de tratamientos de biosólidos), el punto de ensayo **302**, el punto de alimentación **304**, y el punto de monitoreo **306** pueden todos coincidir en el espacio, pero pueden estar separados en el tiempo. De hecho, en este tipo de sistemas de tratamiento de agua residual, los sensores aguas arriba y aguas abajo pueden ser los mismos sensores físicos, pero usados para medir parámetros del agua residual en diferentes tiempos, antes y después de la introducción de compuestos controladores y/o reductores de sulfuro.

La pluralidad de sensores aguas arriba **330** pueden incluir un sensor para medir el pH de la corriente de agua residual entrante, un sensor para medir el nivel o concentración de sulfuro en fase líquida presente en la corriente de agua residual entrante, un sensor para medir el nivel o la concentración de sulfuro de hidrógeno atmosférico presente en la corriente de agua residual, o una combinación de uno o más de estos sensores. También se pueden incluir sensores aguas arriba adicionales, por ejemplo, un sensor de temperatura para medir la temperatura de la corriente de agua residual entrante, y/o a transductor para medir el caudal de la corriente de agua residual entrante. En general, la pluralidad de sensores aguas arriba **330** incluyen un sensor para medir el pH de la corriente de agua residual entrante y un sensor para medir la concentración de sulfuros en fase líquida presentes en la corriente de agua residual entrante, aunque se proporcionan preferiblemente otros sensores adicionales.

La pluralidad de sensores aguas abajo **340** pueden incluir sensores similares a los dispuestos en el punto de ensayo **302**. Preferiblemente, la pluralidad de sensores aguas abajo **340** incluye un sensor para medir el nivel o la concentración de sulfuro en fase líquida presente en la corriente de agua residual tratada, un sensor para medir el nivel o la concentración de sulfuro de hidrógeno atmosférico presente en la corriente de agua residual tratada, y un sensor para medir la cantidad de nitrato residual presente en la corriente de agua residual tratada. También se pueden proporcionar sensores adicionales tales como un sensor de pH, un sensor de temperatura, o una combinación de uno o más de estos sensores.

Como se muestra en la Figura 3, cada uno de la pluralidad de sensores aguas arriba y aguas abajo **330**, **340** se acopla eléctricamente a un controlador **320**, el cual puede ser, por ejemplo, un sistema informático de uso general, tal como un ordenador personal o estación de trabajo. Las señales de cada uno de la pluralidad de sensores aguas arriba **330** se reciben en una entrada **322** del controlador **320**, y las señales de cada uno de la pluralidad de sensores aguas abajo **340** se reciben en una entrada **324** del controlador **320**. Basado al menos en parte en las señales recibidas de los sensores aguas arriba y aguas abajo, el controlador **320** determina si la velocidad de alimentación de la corriente del material alcalino y compuesto que contiene nitrato es óptima, y si no lo es, la ajusta en consecuencia.

Aunque las señales procedentes de los sensores aguas arriba y aguas abajo se representan en la Figura 3 como proporcionadas al controlador **320** en una sola línea, debe tenerse en cuenta que la presente invención no está tan limitada. Por ejemplo, en lugar de estar multiplexadas entre sí en la manera representada en la Figura 3, las señales de cada uno de los sensores aguas arriba y aguas abajo pueden proporcionarse de manera alternativa al controlador **320** en líneas separadas, una para cada sensor. Además, cuando las señales proporcionadas por los sensores aguas arriba y/o aguas abajo no están en una forma que se pueda utilizar directamente por el controlador **320**, se puede proporcionar un equipo de conversión de señal apropiado (no mostrado). Puesto que los detalles de comunicación de señales de sensores a un controlador son bien entendidos por los expertos en la técnica, se omite un análisis posterior de estos detalles en la presente memoria.

Una fuente de compuesto que contiene nitrato **350** se conecta fluidamente a la tubería o conducto **310** a través de una válvula y/o bomba dosificadora **355**, y una fuente de material alcalino **360** se conecta fluidamente a la tubería o conducto **310** a través de una válvula y/o bomba dosificadora **365**. Como se describe en detalle con respecto a la Figura 6, en base al menos en parte a las mediciones proporcionadas por los sensores aguas arriba y aguas abajo **330**, **340**, cada una de las válvulas/bombas dosificadoras recibe una señal de control separada procedente del controlador **320** que determina la cantidad y/o velocidad del compuesto que contiene nitrato o material alcalino añadido a la corriente de agua residual. Específicamente, la válvula y/o bomba dosificadora **355** recibe una señal de control procedente de la salida **326** del controlador **320** y la válvula y/o bomba dosificadora **365** recibe una señal de control separada procedente de la salida **328** del controlador **320**.

Según una realización de la presente invención, y cuando el compuesto que contiene nitrato y el material alcalino se proporciona a partir de fuentes separadas, el compuesto que contiene nitrato incluye preferiblemente nitrato de calcio y el material alcalino incluye preferiblemente hidróxido de sodio. Aunque otros tipos de compuestos que contienen nitrato tales como nitrato de potasio y nitrato de sodio se pueden usar de manera alternativa, el nitrato de calcio proporciona casi el doble de oxígeno basado en nitrato en disolución (aproximadamente 419,33 g/l (3,5 lbs/galón)) que el nitrato de sodio (aproximadamente 239,62 g/l (2 lbs/galón)), por lo que se reducen los costes de transporte y almacenamiento asociados con el compuesto que contiene nitrato. De manera similar, aunque se puede usar otro tipo de material alcalino, por ejemplo, hidróxido de calcio o hidróxido de potasio, la disolución de hidróxido de sodio es generalmente preferida como fuente de material alcalino, puesto que está fácilmente disponible y es relativamente económica.

Las cantidades relativas del compuesto que contiene nitrato y del material alcalino añadido a la corriente de agua residual entrante variarán, por supuesto, dependiendo de los parámetros de la corriente de agua residual entrante (p. ej., la temperatura y pH de la corriente de agua residual entrante, y las concentraciones de sulfuro de hidrógeno atmosférico y sulfuro disuelto presente en la corriente de agua residual entrante), y los valores métricos deseados de la corriente de agua residual tratada (p. ej., las concentraciones de sulfuro de hidrógeno atmosférico y de sulfuro disuelto presente en la corriente de agua residual tratada en el punto de control). Sin embargo, los autores de la presente solicitud han determinado empíricamente que para la mayoría de las corrientes de agua residual, una relación en moles de la cantidad de material alcalino con respecto a la cantidad del compuesto que contiene nitrato

de entre aproximadamente 0,5 a 1 y 2 a 1, es suficiente para reducir o eliminar sustancialmente el sulfuro de hidrógeno atmosférico y el sulfuro disuelto presente en la corriente de agua residual tratada.

Debido a que se proporcionan fuentes separadas de compuesto que contiene nitrato y de material alcalino, el sistema de tratamiento de aguas residuales **300** se puede fácilmente optimizar para satisfacer las demandas de tratamiento del agua residual entrante. Por ejemplo, cuando los parámetros de la corriente de agua residual entrante varían significativamente durante el día, la cantidad, la velocidad, y/o el tiempo de adición de compuesto que contiene nitrato y/o de material alcalino se pueden variar independientemente entre sí, para lograr las concentraciones deseadas de sulfuro de hidrógeno atmosférico y de sulfuro en fase líquida en la corriente de agua residual tratada. Un sistema altamente configurable como éste, estaría económicamente garantizado para plantas de tratamiento de agua residual mayores, en donde el coste de las materias primas (compuesto que contiene nitrato y material alcalino) forma una parte sustancial de los costes operativos.

La Figura 4 ilustra un sistema de tratamiento de aguas residuales según otra realización de la presente invención. El sistema de tratamiento de aguas residuales **400** mostrado en la Figura 4 se parece al sistema de tratamiento de aguas residuales **300** de la Figura 3, en que éste incluye una tubería o conducto de fluido **410** a través del cual fluye agua residual, una pluralidad de sensores aguas arriba **430** colocados en comunicación fluida (p. ej., líquida y/o gaseosa) con la corriente de agua residual entrante en un punto de ensayo o posición de ensayo **402**, una pluralidad de sensores aguas abajo **440** colocados en comunicación fluida con la corriente de agua residual en un punto o posición de monitoreo **406**, y un controlador **420** que está conectado eléctricamente a la pluralidad de sensores aguas arriba y aguas abajo **430**, **440**. Como en la realización descrita previamente, también se puede proporcionar puntos de monitoreo adicionales (no mostrados).

Sin embargo, en contraste con sistema de tratamiento de aguas residuales **300** de la Figura 3, el sistema de tratamiento de aguas residuales **400** incluye sólo una única fuente **455** de compuestos controladores de sulfuro que, según una realización de la presente invención, incluye una mezcla de compuesto que contiene nitrato y de material alcalino mezclados entre sí. Este sistema de tratamiento de aguas residuales tal como el mostrado en la Figura 4, puede ser más adecuado para instalaciones de tratamiento de agua residual más pequeñas, en donde el coste de las materias primas es menos significativo, o en donde no se pueden llevar a la práctica instalaciones de almacenamiento separadas.

La fuente única de compuestos controladores de sulfuro **455** se conecta fluidamente a la corriente de agua residual en el punto de alimentación **404** a través de una válvula y/o bomba dosificadora **475**. Basado al menos en parte en parámetros de la corriente de agua residual medida por los sensores aguas arriba y aguas abajo, el controlador **420** ajusta la cantidad y/o velocidad de la mezcla de compuesto que contiene nitrato y material alcalino añadido a la corriente de agua residual en el punto de alimentación **404**. Por ejemplo, cuando están presentes concentraciones apreciables de sulfuros en la corriente de agua residual entrante y la concentración de sulfuro de hidrógeno atmosférico y/o sulfuro en fase líquida en el punto de monitoreo está por encima del deseado, se pueden añadir cantidades adicionales de la mezcla de compuesto que contiene nitrato y material alcalino a la corriente de agua residual entrante.

Como en la realización descrita previamente, la pluralidad de sensores aguas arriba **430** pueden incluir un sensor para medir el pH de la corriente de agua residual entrante, un sensor para medir el nivel o la concentración de sulfuro en fase líquida presente en la corriente de agua residual entrante, un sensor para medir el nivel o la concentración de sulfuro de hidrógeno atmosférico presente en la corriente de agua residual, o una combinación de uno o más de estos sensores. También se pueden incluir sensores aguas arriba adicionales, tales como, por ejemplo, un sensor de temperatura para medir la temperatura de la corriente de agua residual entrante, y/o un transductor para medir el caudal de la corriente de agua residual entrante, etc. Como en la realización previa, la pluralidad de sensores aguas arriba **430** incluyen por lo general un sensor para medir el pH de la corriente de agua residual entrante y un sensor para medir la concentración de sulfuros en fase líquida presentes in la corriente de agua residual entrante, aunque se proporcionan preferiblemente otros sensores adicionales. Como en la realización previa, uno o más de la pluralidad de sensores aguas arriba **430** se pueden colocar en una posición diferente en la corriente de agua residual a la de los otros.

La pluralidad de sensores aguas abajo **440** pueden incluir por lo general sensores similares a los de la realización descrita previamente de la Figura 3. Preferiblemente, la pluralidad de sensores aguas abajo **440** incluyen un sensor para medir el nivel o la concentración de sulfuro en fase líquida presente en la corriente de agua residual tratada, y un sensor para medir el nivel o la concentración del sulfuro de hidrógeno atmosférico presente en la corriente de agua residual tratada. Debe tenerse en cuenta que debido a que la cantidad de compuesto que contiene nitrato y de material alcalino no se puede variar independientemente entre sí, no se necesita proporcionar un sensor para medir la cantidad de nitrato residual presente en la corriente de agua residual tratada y se puede prescindir del mismo. También se pueden proporcionar sensores adicionales tales como un sensor de pH, un sensor de temperatura, o una combinación de uno o más de dichos sensores.

Según una realización de la presente invención, cuando el compuesto que contiene nitrato y el material alcalino se mezclan entre sí y se proporcionan de una fuente combinada, el compuesto que contiene nitrato incluye preferiblemente nitrato de sodio y el material alcalino incluye preferiblemente hidróxido de sodio. Aunque también se

pueden usar de manera alternativa otros tipos de compuestos que contienen nitrato tal como nitrato de potasio y nitrato de calcio, los autores de la presente solicitud han determinado empíricamente que el nitrato de sodio es estable en disolución a aproximadamente 6°C (22°F) cuando se mezcla con una disolución cáustica al 50% de material alcalino y agua. Esto está en contraste con el nitrato de calcio que forma precipitado de hidróxido de calcio cuando se mezcla con una disolución cáustica de hidróxido de sodio. Además, el nitrato de sodio está fácil y económicamente disponible, y cuesta menos que otras formas de compuestos que contienen nitrato. Aunque se pueden usar otros tipos de material alcalino, de nuevo el hidróxido de sodio es preferido como una fuente de material alcalino, y está fácilmente disponible y es económico.

Las cantidades relativas del compuesto que contiene nitrato y el material alcalino en la mezcla de nuevo variarán dependiendo de los parámetros de la corriente de agua residual entrante, y de los valores métricos deseados de la corriente de agua residual tratada, como se analizó previamente con respecto a la Figura 3. Sin embargo, en la mayoría de corrientes de agua residual, los autores de la presente solicitud han determinado empíricamente que una relación en moles de la cantidad de material alcalino con respecto a la cantidad de compuesto que contiene nitrato de entre aproximadamente 0,5 a 1 y de 2 a 1 es suficiente para reducir o eliminar sustancialmente el sulfuro de hidrógeno atmosférico y el sulfuro disuelto presentes en la corriente de agua residual tratada.

El hecho de que el sistema de tratamiento de aguas residuales **400** incluya una fuente combinada de compuesto que contiene nitrato y de material alcalino, lo hace muy adecuado para instalaciones de tratamiento de agua residual más pequeñas donde los costes de las materias primas (p. ej., compuesto que contiene nitrato y el material alcalino) no forman una parte apreciable de los costes de funcionamiento. Sin embargo, debe tenerse en cuenta que el sistema de tratamiento de aguas residuales **400** también se puede usar en instalaciones mayores en las que se prefiere un sistema menos complicado, donde los parámetros de la corriente de agua residual no varían significativamente, o donde se prefiere o requiere una única fuente de compuestos controladores de sulfuro (p. ej., en la reconversión de un sistema de tratamiento de aguas residuales existente).

Como se analizó antes, los sistemas de tratamiento de aguas residuales **300** y **400** de las figuras 3 y 4 cada uno incluye un controlador **320**, **420** que recibe las señales de control procedentes de los sensores de las corrientes arriba y aguas abajo, y basándose al menos en parte en esas señales, ajusta la cantidad de compuestos controladores de sulfuro añadida a la corriente de agua residual. Como deben tener en cuenta los expertos en la técnica, la información distinta a las señales de control recibidas de los sensores aguas arriba y aguas abajo pueden afectar a la operación del controlador **320**, **420**. Por ejemplo, los parámetros de una corriente de agua residual entrante, tal como, por ejemplo, el caudal, el pH, la concentración de sulfuro de hidrógeno atmosférico, y la concentración de sulfuro disuelto de la corriente de agua residual entrante con frecuencia varían de manera cíclica (p. ej., por día de la semana, por la hora del día, etc.), de tal modo que los datos históricos que reflejan parámetros de la corriente de agua residual entrante, pueden ser usados por el controlador para predecir futuros parámetros. En consecuencia, aunque el funcionamiento del controlador se describe con respecto a las señales de control recibidas procedentes de los sensores aguas arriba y aguas abajo, resultará evidente que cualquier otra información puede tomarse en cuenta.

Según una realización de la presente invención, el controlador **320**, **420** puede implementarse usando un sistema informático. El sistema informático puede ser, por ejemplo, un ordenador de uso general tal como los basados en un procesador de tipo Intel PENTIUM® o, un procesador Motorola PowerPC® o, un procesador Sun Ultra SPARC® o, un procesador Hewlett-Packard PA-RISC®, o cualquier otro tipo de procesador. De manera alternativa, el sistema informático puede incluir un equipo especialmente programado, con una finalidad específica, por ejemplo, un circuito integrado para aplicaciones específicas (ASIC, del inglés application-specific integrated circuit). Un ejemplo de un sistema informático de uso general en el que puede implementarse el controlador **320**, **420**, se describe ahora con respecto a la Figura 1.

El sistema informático **100** incluye por lo general un procesador **103** conectado a uno o más dispositivos de memoria **104**, tal como una memoria de disco, una memoria RAM, u otros dispositivos para almacenar datos. La memoria **104** se usa típicamente para almacenar programas y datos durante la operación del sistema informático **100**. Por ejemplo, la memoria **104** se puede usar para almacenar datos históricos relacionados con los parámetros de la corriente de agua residual entrante durante un período de tiempo, así como datos actuales de medición de los sensores. El sistema operativo, que incluye un código de programación que implementa las realizaciones de la presente invención, se almacena generalmente en un medio de almacenamiento no volátil legible y/o grabable por ordenador (analizado más adelante con respecto a la Figura 2), y luego se copia en la memoria **104** en donde es posteriormente ejecutado por el procesador **103**. Este código de programación se puede escribir en cualquiera de una pluralidad de lenguajes de programación, por ejemplo, Java, Visual Basic, C, C#, o C++, Fortran, Pascal, Eiffel, Basic, COBAL, o cualquiera de una variedad de combinaciones de los mismos.

Los componentes de un sistema informático **100** se pueden acoplar mediante un mecanismo de interconexión **105**, que puede incluir uno o más canales (p. ej., entre componentes que están integrados dentro de una misma máquina) y/o una red (p. ej., entre componentes que residen en máquinas discretas separadas). El mecanismo de interconexión permite intercambiar comunicaciones (p. ej., datos, instrucciones) entre los componentes de sistema del sistema **100**.

Un sistema informático **100** también incluye uno o más dispositivos de entrada **102**, por ejemplo, un teclado, ratón, bola de seguimiento, micrófono, pantalla táctil, y uno o más dispositivos de salida **101**, por ejemplo, un dispositivo de impresión, pantalla de visualización, o altavoz. Además, un sistema informático **100** puede contener una o más interfaces (no mostrado) que conectan un sistema informático **100** a una red de comunicación (además de, o como alternativa, a la red que puede estar formada por uno o más de los componentes del sistema **100**).

Según una realización de la presente invención, el uno o más dispositivos de entrada **102** pueden incluir los sensores para medir parámetros de las corrientes de agua residual entrante y tratada (es decir, los sensores aguas arriba y aguas debajo de la figuras 3 y 4), y el uno o más dispositivos de salida **101** pueden incluir las válvulas y/o bombas dosificadoras **355, 365** de la Figura 3, o la válvula y/o bomba dosificadora **475** de la Figura 4. De manera alternativa, los sensores aguas arriba, los sensores aguas abajo, las válvulas y/o bombas dosificadoras, o todos estos componentes se pueden conectar a una red de comunicación que se acopla operativamente al sistema informático **100**. Por ejemplo, los sensores aguas arriba **330, 430** se pueden configurar como dispositivos de entrada que están directamente conectados al sistema informático **100**, las válvulas y/o bombas dosificadoras **355 y 365, o 475** se pueden configurar como dispositivos de salida que están directamente conectados al sistema informático **100**, y la pluralidad de sensores aguas abajo se pueden acoplar a otro sistema o componente informático para comunicar con el sistema informático **100** en una red de comunicación. Esta configuración permite que los sensores aguas abajo se sitúen a una distancia significativa de los sensores aguas arriba, al tiempo que se siguen proporcionando datos de los sensores al sistema informático **100**.

El sistema de almacenamiento **106**, mostrado con mayor detalle en la Figura 2, incluye típicamente un medio de almacenamiento no volátil legible y/o grabable por ordenador **201** en el que las señales almacenadas definen un programa a ejecutar por el procesador **103**. El medio puede ser, por ejemplo, un disco o memoria flash. Típicamente, en funcionamiento, el procesador **103** produce datos, tal como código que implementa realizaciones de la presente invención, a ser leídos desde un medio de almacenamiento no volátil **201** en otra memoria **202** que permita que el procesador acceda más rápidamente a la información de lo que lo haría el medio **201**. Esta memoria **202** es típicamente una memoria de acceso aleatorio volátil, tal como una memoria dinámica de acceso aleatorio (DRAM, del inglés dynamic random access memory) o una memoria estática de acceso aleatorio (SRAM, del inglés static random access memory), y se pueden ubicar en el sistema de almacenamiento **106**, como se muestra, o en un sistema de memoria **104**, no mostrado.

Aunque el sistema informático **100** se muestra por medio de ejemplo como un tipo de sistema informático sobre el cual se pueden llevar a la práctica diversos aspectos de la invención, debe tenerse en cuenta que la invención no se limita a ser implementada en el sistema operativo, o en el sistema informático mostrado en la Figura 1. De hecho, en lugar de implementarse en un sistema informático de uso general, el controlador se puede implementar alternativamente como un sistema de uso específico o como un controlador lógico programable de uso específico (PLC, del inglés programmable logic controller). Además, debe tenerse en cuenta que aspectos de la invención se pueden implementar en el sistema operativo, equipo o firmware, o cualquier combinación de los mismos.

La Figura 6 es un diagrama de flujo que representa el funcionamiento de un sistema de tratamiento de aguas residuales **300, 400** según una realización ilustrativa de la presente invención. Aunque el funcionamiento del sistema de tratamiento de aguas residuales se describe principalmente con respecto a un método o rutina de tratamiento de agua residual que puede ser ejecutado por un controlador (p. ej., controlador **320** de la Figura 3, o controlador **420** de la Figura 4), debe tenerse en cuenta que la presente invención no está tan limitada, y muchas de las etapas descritas más adelante pueden ser implementadas manualmente, por ejemplo, por una persona, en lugar de por un controlador, como se analiza con detalle más adelante.

En la etapa **610**, se solicita al usuario que introduzca los valores métricos correspondientes a la calidad de la corriente de agua residual tratada. Por ejemplo, al usuario se le puede solicitar que introduzca los valores máximos permitidos de la concentración de sulfuros disueltos y de sulfuro de hidrógeno atmosférico presentes en la corriente de agua residual tratada. Cuando hay requisitos municipales, estatales, o federales estipulados para la corriente de agua residual tratada, o cuando hay requisitos o pautas de seguridad y medioambientales correspondientes a las corrientes de agua residual, el usuario puede introducir esos valores. Debe tenerse en cuenta que pueden introducirse otros valores en la etapa **610**, por ejemplo, el pH máximo o mínimo de la corriente de agua residual tratada y/o caudal estimado de la corriente de agua residual, puesto que la presente invención no se limita a un grupo particular de valores métricos. Además, los parámetros físicos de la corriente de agua residual que pueden tener un impacto en el tratamiento de la corriente de agua residual, tal como el tiempo de detección, o la distancia entre el punto de alimentación y el punto de monitoreo también se pueden introducir en la etapa **610**. Después de que el usuario haya introducido los valores métricos deseados en la etapa **610**, la rutina continúa a la etapa **620**.

En la etapa **620**, la rutina de tratamiento de agua residual mide diversos parámetros de la corriente de agua residual entrante, como se determinó mediante uno o más de la pluralidad de sensores aguas arriba **330, 430**. Por ejemplo, los parámetros de la corriente de agua residual entrante que se pueden medir en la etapa **620** pueden incluir la temperatura de la corriente de agua residual entrante, el pH de la corriente de agua residual entrante, la concentración del sulfuro disuelto y/o del sulfuro de hidrógeno atmosférico presente en la corriente de agua residual entrante, o cualquier combinación de estos parámetros. Otros parámetros que se pueden medir en la etapa **620** pueden incluir, por ejemplo, el caudal de la corriente de agua residual entrante. Los parámetros medidos

de la corriente de agua residual entrante se pueden almacenar temporalmente en una memoria volátil del controlador (p. ej., RAM), y/o almacenar en una forma más permanente de memoria del controlador (p. ej., sistema de almacenamiento **106** en la Figura 1), por ejemplo, para usar como datos históricos para efectuar la operación del controlador, como se analiza más completamente a continuación.

5 Después de medir los parámetros de la corriente de agua residual entrante, la rutina continua a la etapa **630**, en donde la rutina determina una cantidad de compuesto que contiene nitrato a añadir a la corriente de agua residual entrante, y luego añade esa cantidad de compuesto determinada que contiene nitrato a la corriente de agua residual. La cantidad de compuesto que contiene nitrato añadida en la etapa **630** se puede determinar como un caudal, por ejemplo, en litros (galones) por día, o como un porcentaje del flujo de agua residual. Después de determinar la
 10 cantidad de compuesto que contiene nitrato a añadir a la corriente de agua residual, la rutina luego configura la válvula o bomba dosificadora **355** para proporcionar la cantidad determinada de compuesto que contiene nitrato a la corriente de agua residual.

En la etapa **640**, la rutina determina una cantidad de material alcalino a añadir a la corriente de agua residual entrante, y luego añade la cantidad determinada de material alcalino a la corriente de agua residual. La cantidad de material alcalino añadido en la etapa **640** se puede determinar como un caudal, por ejemplo, en litros (galones) por día, o como un porcentaje del flujo de agua residual. Esta determinación se puede basar o bien en el caudal estimado, por ejemplo, como la entrada en la etapa **610**, o bien en el caudal real como se mide por ejemplo, en la
 15 etapa **620**.

Aunque la presente invención no se limita a un particular valor o intervalo de pH para la corriente de agua residual tratada, los autores de la presente solicitud han determinado empíricamente que la cantidad de material alcalino añadido en la etapa **640** debería ser suficiente para aumentar el pH de la corriente de agua residual en aproximadamente 1 unidad de pH, como se calcula a partir de valoración, tomando un típico pH de la corriente de agua residual entrante entre 6,5 y 7,5 unidades de pH. Cuando el flujo entrante de agua residual es inusualmente alto o bajo, la cantidad de material alcalino añadido en la etapa **640** debe ser de tal modo que el pH de la corriente
 20 de agua residual tratada esté entre 7 y 9 unidades de pH, y más preferiblemente entre 7,5 y 8,5 unidades de pH. Después de determinar la cantidad de material alcalino a añadir en la corriente de agua residual, la rutina luego configura la válvula o bomba dosificadora **365** para proporcionar la cantidad determinada de material alcalino a la corriente de agua residual.

Cuando el sistema de tratamiento de aguas residuales no incluye una fuente de compuesto que contiene nitrato y de material alcalino separada, debe tenerse en cuenta que las etapas **630** y **640** se pueden combinar en una sola etapa **635**, en donde se determina una cantidad de una mezcla de compuesto que contiene nitrato y de material alcalino y se añade a la corriente de agua residual. Por ejemplo, la mezcla puede contener volúmenes iguales de un compuesto que contiene nitrato, tal como nitrato de sodio (en una concentración de aproximadamente 371,46 g de nitrato /l de disolución (3,1 lbs /galón) y una disolución cáustica al 20%, 25%, o 50% de hidróxido de sodio. La
 30 cantidad de la mezcla añadida en la etapa **635** se puede basar inicialmente en la cantidad de compuesto que contiene nitrato a añadir, o en la cantidad de material alcalino a añadir, puesto que uno determinará necesariamente al otro. Después de determinar la cantidad de la mezcla a añadir en la etapa **635**, la rutina luego configura la válvula o bomba dosificadora **475** para proporcionar la cantidad determinada de la mezcla a la corriente de agua residual.

Después de cualquiera de las etapas **635** o **640**, la rutina de tratamiento de agua residual continúa a la etapa **650**, en donde se miden los diversos parámetros de la corriente de agua residual tratada, como se determinó mediante uno o más de la pluralidad de sensores aguas abajo **340**, **440**. Por ejemplo, los parámetros de la corriente de agua residual tratada que se pueden medir en la etapa **650** incluyen por lo general la concentración o el nivel de sulfuro de hidrógeno atmosférico presente en la corriente de agua residual tratada y la concentración o el nivel de sulfuro disuelto presente en la corriente de agua residual tratada. También, se pueden medir otros parámetros tales como el
 40 pH y la concentración o el nivel de nitratos residuales presentes en la corriente de agua residual tratada. Debe tenerse en cuenta que cuando se usan fuentes de compuesto que contiene nitrato y de material alcalino separadas (p. ej., sistema de tratamiento de agua residual **300** de la Figura 3), la medición del pH de la corriente de agua residual tratada y la concentración o el nivel de nitratos residuales presentes en la corriente de agua residual pueden permitir que la cantidad de compuesto que contiene nitrato y de material alcalino se puedan variar y optimizar individualmente, dependiendo de los valores medidos.
 45

Después de medir los parámetros de la corriente de agua residual tratada, la rutina continúa a la etapa **660**, en donde se lleva a cabo la determinación de si se han alcanzado los valores métricos deseados de la corriente de agua residual tratada, y/o de si se ha optimizado el sistema. Debe tenerse en cuenta que la determinación de si se han alcanzado los valores métricos deseados de la corriente de agua residual tratada, y/o de si se ha optimizado el sistema, puede depender de la ubicación de la pluralidad de sensores aguas abajo **340**, **440**. Por ejemplo, cuando la pluralidad de sensores aguas abajo **340**, **440** están dispuestos en el punto de control, esta determinación se puede realizar por comparación de los parámetros medidos en la etapa **650** y los valores métricos deseados de la corriente de agua residual tratada.
 50

De manera alternativa, cuando la pluralidad de sensores aguas abajo están dispuestos a una distancia significativa aguas arriba del punto de control, esta determinación puede ser más compleja. Por ejemplo, cuando la pluralidad de
 55

sensores aguas abajo están dispuestos a una distancia significativa aguas arriba del punto de control, cabe esperar que se produzca más actividad biológica, de tal modo que las concentraciones de sulfuro de hidrógeno atmosférico y de sulfuro disuelto en el punto de control, puede ser mayor que las del punto de monitoreo en donde se miden los parámetros de la corriente de agua residual tratada en la etapa **650**. Cuando este es el caso, los parámetros medidos en la etapa **650** se pueden ajustar (p. ej., hacia arriba) para reflejar valores que se podrían esperar en el punto de control y luego se comparan con los valores métricos deseados, o de manera alternativa, se pueden ajustar los valores métricos deseados en el punto de control (p. ej., hacia abajo) para reflejar valores que se podrían esperar en el punto de monitoreo. Aunque la presente invención no está tan limitada, se prefiere por lo general que la pluralidad de sensores aguas abajo **340, 440** estén ubicados en el punto de control, puesto que la determinación realizada en la etapa **660** es por lo tanto más precisa y menos compleja.

Cuando se determina en la etapa **660** que los valores métricos de la corriente de agua residual tratada han sido satisfechos y el sistema se ha optimizado, la rutina en consecuencia termina. En cambio, cuando se determina que los valores métricos de la corriente de agua residual tratada no han sido satisfechos y el sistema no se ha optimizado, la rutina vuelve a la etapa **630** (de un sistema de tratamiento de aguas residuales que incluyen fuentes de compuesto que contiene nitrato y de material alcalino separadas), o a la etapa **635** (de un sistema de tratamiento de aguas residuales que incluye una fuente combinada de compuesto que contiene nitrato y de material alcalino), en donde las cantidades de compuesto que contiene nitrato, y/o de material alcalino, o la cantidad de material que contiene nitrato y de material alcalino, se ajustan dependiendo de los parámetros medidos en la etapa **650**. Debe tenerse en cuenta que el funcionamiento del sistema puede variar dependiendo de si el tratamiento de agua residual incluye fuentes de compuesto que contiene nitrato y de material alcalino separadas, o una fuente combinada de compuesto que contiene nitrato y de material alcalino. En consecuencia, el funcionamiento del sistema se describe primero como un sistema de tratamiento de aguas residuales que incluye fuentes de compuestos que contienen nitrato y de material alcalino separadas (p. ej., un sistema similar al de la Figura 3), y luego con respecto a un sistema de tratamiento de aguas residuales que incluye una fuente combinada de compuesto que contiene nitrato y de material alcalino (p. ej., un sistema similar al de la Figura 4).

Cuando se usa un sistema de tratamiento de aguas residuales tal como el ilustrado en la Figura 3, la cantidad de compuesto que contiene nitrato y la cantidad de material alcalino añadida a la corriente de agua residual entrante, se puede ajustar independientemente para satisfacer los valores métricos requeridos para la corriente de agua residual tratada de una manera eficiente económicamente. Por ejemplo, cuando se determina en la etapa **660** que los valores métricos de las concentraciones de sulfuro disuelto y de sulfuro de hidrógeno atmosférico han sido satisfechos, pero están presentes concentraciones apreciables de nitrato residual en la corriente de agua residual tratada, la cantidad de compuestos que contienen nitrato añadido en la etapa **630** puede reducirse para optimizar aún más el sistema. Debe tenerse en cuenta que la presencia de concentraciones apreciables de nitratos residuales en la corriente de agua residual tratada indica que la cantidad o velocidad de adición de compuesto que contiene nitrato añadido en la etapa **630** puede reducirse, al tiempo que se satisfacen los valores métricos deseados. Por supuesto, como se indicó previamente, la presencia de concentraciones apreciables de nitrato residual puede depender de la posición del sensor usado para medir este parámetro. Por ejemplo, cuando se usa el sensor para medir concentraciones de nitrato residuales ubicados en el punto de control, una concentración media de nitrato residual superior a 1 o 2 mg/L o una concentración pico de nitrato residual superior a aproximadamente 5 mg/L puede indicar que puede reducirse la cantidad de nitrato añadido en la etapa **630**. Dependiendo del pH de la corriente de agua residual tratada, también puede reducirse la cantidad de material alcalino añadido en la etapa **640**. Después de modificar las cantidades de compuesto que contiene nitrato y/o de material alcalino añadido, la rutina vuelve a las etapas **650** y **660**.

De manera alternativa, cuando se determina que los valores métricos de las concentraciones de sulfuro disuelto y de sulfuro de hidrógeno atmosférico no han sido satisfechos, pero se mide poco o nada de nitrato residual en la corriente de agua residual tratada, la cantidad de nitratos añadida en la etapa **630** se puede incrementar para optimizar aún más el sistema. Dependiendo del pH de la corriente de agua residual tratada, la cantidad de material alcalino añadido en la etapa **640** también se puede incrementar. Después de modificar las cantidades de compuesto que contiene nitrato y/o de material alcalino añadido, la rutina vuelve a las etapas **650** y **660**.

Cuando se satisfacen los valores métricos del sulfuro disuelto, pero no los valores métricos del sulfuro de hidrógeno atmosférico, y se miden concentraciones apreciables de nitrato residual en la corriente de agua residual tratada (p. ej., una concentración media superior a 1 o 2 mg/L, o una concentración pico superior a aproximadamente 5 mg/L, como se mide en el punto de control), la cantidad de material alcalino añadido en la etapa **630** se puede incrementar para desplazar el punto de equilibrio de $\text{H}_2\text{S} \text{---} \text{HS}^-$ en favor de HS^- , por lo que también se incrementa más la reducción de los nitratos residuales por medio de bacterias presentes en la corriente de agua residual, y se optimiza aún más el sistema. En cambio, cuando se satisfacen los valores métricos de sulfuro de hidrógeno atmosférico, y no los del sulfuro disuelto, y se miden concentraciones apreciables de nitrato residual en la corriente de agua residual tratada, la cantidad de material alcalino añadido en la etapa **630** puede disminuirse para desplazar el punto de equilibrio de $\text{H}_2\text{S} \text{---} \text{HS}^-$ en favor del sulfuro de hidrógeno atmosférico, por lo que se reduce la concentración de sulfuro disuelto. Después de modificar la cantidad de material alcalino añadido en la etapa **630**, ya sea para aumentar o disminuir la cantidad de material alcalino añadido a la corriente de agua residual, la rutina vuelve a las etapas **650** y **660**.

5 Cuando se satisfacen los valores métricos de las concentraciones de sulfuro disuelto y de sulfuro de hidrógeno atmosférico, hay poco o nada de nitrato residual presente en la corriente de agua residual tratada, y el agua residual tratada tiene un pH elevado, por ejemplo, superior a 8,5 o 9,0, la cantidad de material alcalino añadido en la etapa **640** puede reducirse para optimizar aún más el sistema, puesto que se puede determinar que la cantidad de material alcalino añadido es superior a la requerida.

10 Debe tenerse en cuenta que el sistema de tratamiento de aguas residuales descrito antes con respecto a la Figura 3, se puede configurar fácilmente para optimizar la cantidad de compuesto que contiene nitrato y de material alcalino añadida a la corriente de agua residual entrante, para satisfacer los valores métricos deseados de una manera económicamente eficiente. Aunque el sistema de tratamiento de aguas residuales de la Figura 4 puede no ser tan económicamente eficiente como el sistema de la Figura 3, también se puede configurar para satisfacer los valores métricos deseados de una manera eficiente.

15 Por ejemplo, en un sistema de tratamiento de aguas residuales similar al de la Figura 4, cuando se determina que en esa etapa **660** esos valores métricos de las concentraciones de sulfuro disuelto y de sulfuro de hidrógeno atmosférico se sobrepasan por un amplio margen (es decir, la concentración de sulfuro disuelto y la concentración de sulfuro de hidrógeno atmosférico están muy por debajo de las concentraciones deseadas), puede reducirse la cantidad de la mezcla combinada de compuesto que contiene nitrato y de material alcalino. Las etapas **650** y **660** se pueden luego repetir hasta sólo satisfacer o sobrepasar los valores métricos deseados en una predeterminada concentración, por ejemplo, en 10%. En cambio, cuando se determina que los valores métricos de las concentraciones de sulfuro disuelto y de sulfuro de hidrógeno atmosférico no se satisfacen, la cantidad de la mezcla combinada de compuesto que contiene nitrato y de material alcalino se puede incrementar hasta satisfacer o sobrepasar los valores métricos deseados en una predeterminada concentración.

20 Debe tenerse en cuenta que las realizaciones de sistemas de tratamiento de agua residual ilustradas en las figuras 3 y 4, ambas utilizan un control de retroalimentación para medir los parámetros de la corriente de agua residual tratada, y ajustan la cantidad de compuestos controladores de sulfuro añadida a la corriente de agua residual entrante en base en esas mediciones. En consecuencia, incluso si las cantidades iniciales de compuestos controladores de sulfuro añadidas a la corriente de agua residual entrante no son óptimas, los sistemas ajustaran rápidamente hasta valores óptimos en el tiempo. Además, debido a este tipo de control de retroalimentación, ambos tipos de sistemas pueden responder a cambios en la corriente de agua residual entrante.

25 Aunque varias de las etapas o actos descritos en la presente memoria se han descrito en relación a ser implementados en un sistema informático o almacenados en un medio legible por ordenador, debe tenerse en cuenta que la presente invención no está tan limitada. De hecho, cada una de las etapas **620-660** se pueden implementar sin el uso de un ordenador, por ejemplo, mediante un operario. Por ejemplo, la medición de los parámetros de las corrientes de agua residual entrante y tratada la puede llevar a cabo un operario humano, y en base a esos parámetros, ese operario, u otro operario puede ajustar manualmente la cantidad de compuesto que contiene nitrato, material alcalino, o la combinación de compuesto que contiene nitrato y de material alcalino añadido a la corriente de agua residual entrante. Además, la determinación llevada a cabo en la etapa **660** la puede realizar una persona, quizá con la ayuda de un simple diagrama de flujo. En consecuencia, aunque la rutina de tratamiento de agua residual se describió principalmente con respecto a su implementación en un ordenador, debe tenerse en cuenta que la presente invención no está tan limitada.

30 Debe tenerse en cuenta que se pueden realizar numerosas alteraciones, modificaciones, y mejoras a los sistemas de tratamiento de agua residual de las figuras 3 y 4. Por ejemplo, como se analizó antes, los parámetros de una corriente de agua residual entrante, tal como, por ejemplo, el caudal de la corriente de agua residual entrante, la temperatura y el pH de la corriente de agua residual entrante, y las concentraciones de sulfuro de hidrógeno atmosférico y de sulfuro disuelto presentes en la corriente de agua residual entrante suelen variar de manera cíclica (p. ej., por día de la semana, por la hora del día, etc.). Estos datos históricos que reflejan parámetros de la corriente de agua residual entrante pueden ser usados por el controlador **320, 420** para predecir parámetros de la corriente de agua residual entrante en un tiempo futuro, y ajustar la cantidad de compuesto que contiene nitrato, la cantidad de material alcalino, o la cantidad de la mezcla de compuesto que contiene nitrato y de material alcalino añadida a la corriente de agua residual entrante dependiendo de los mismos. Por ejemplo, si los datos históricos pasados indican que el pH de la corriente de agua residual entrante varía de una manera cíclica (p. ej., similar a la descrita con respecto al Ejemplo 5), si el flujo del agua residual entrante varía de una manera cíclica, o si las concentraciones de sulfuro de hidrógeno atmosférico o de sulfuro disuelto varía de una manera cíclica, la cantidad del compuesto o compuestos controladores del sulfuro se pueden variar anticipándose a los mismos.

35 Además, debe tenerse en cuenta que el funcionamiento del controlador **320, 420** puede variar dependiendo de la ubicación de los sensores aguas arriba **330, 430**, y/o de los sensores aguas abajo **340, 440** con respecto al punto de control. Por ejemplo, cuando los sensores aguas abajo están dispuestos en el punto de control y se determina que las concentraciones de sulfuro de hidrógeno atmosférico y/o sulfuro disuelto exceden los valores métricos deseados, puede ser muy tarde para aumentar la cantidad de compuesto o compuestos controladores del sulfuro. Cuando este es el caso, el controlador **320, 420** se puede modificar para responder a los cambios en los parámetros medidos de la corriente de agua residual entrante.

Aunque se han descrito las realizaciones de las figuras 3 y 4 como que usan una pluralidad de sensores aguas arriba y aguas abajo, debe tenerse en cuenta que la presente invención no está tan limitada. Por ejemplo, en lugar de requerir cualesquiera sensores electrónicos o electromecánicos, la medición de las concentraciones de sulfuro de hidrógeno atmosférico y de sulfuro disuelto presente en la corriente de agua residual entrante y/o tratada se podría basar manera alternativa en el sentido del olfato del operario. Como es conocido por los expertos en la técnica, los humanos son generalmente capaces de detectar concentraciones de sulfuro de hidrógeno atmosférico superiores a 50 partes por mil millones, de tal modo que un operario humano podría estar instruido para ajustar la cantidad de compuestos controladores de sulfuro añadida a la corriente de agua residual entrante, dependiendo si la concentración de sulfuro de hidrógeno atmosférico es perceptible o no.

10 Ejemplos

Durante una primera serie de experimentos, los autores de la presente solicitud han observado que cuando se añade un material alcalino, tal como soda cáustica, a la corriente de agua residual en una cantidad relativamente pequeña junto con un compuesto que contiene nitrato tal como BIOXIDE® o BIOXIDE-AQ®, disponible de United States Filter Corporation, (un agente químico de control de olores que contiene nitrato de calcio o nitrato de calcio con antraquinona, respectivamente), el efecto resultante, tanto en el sulfuro de hidrógeno atmosférico como en el sulfuro disuelto, fue mayor que el que cabría esperar del efecto combinado de los dos procedimientos que actúan independientemente. En particular, hubo un efecto sinérgico en el cual la concentración, tanto del sulfuro de hidrógeno atmosférico como del sulfuro disuelto, se redujo hasta las concentraciones deseadas, mientras que la cantidad de compuesto que contiene nitrato añadida para lograr estas concentraciones se redujo hasta en 50% con respecto a concentraciones obtenidas con la adición únicamente de nitrato.

Durante esta primera serie de experimentos, además de observó que la cantidad de material alcalino requerida para elevar el pH de la corriente de agua residual fue sustancialmente inferior a la que teóricamente cabría esperar. Aunque esta segunda observación no fue confirmada por experimentos posteriores, los experimentos posteriores han confirmado que la coadición de un compuesto que contiene nitrato y de un material alcalino reduce significativamente la cantidad de nitratos en cualquier forma que sea necesaria añadir a la corriente de agua residual para reducir o eliminar significativamente los sulfuros disueltos aguas abajo del punto de adición, en comparación con la cantidad necesaria en ausencia de la coadición de material alcalino.

Ejemplos 1 y 2

Se seleccionaron dos sitios de alimentación para introducir los agentes químicos de control de olor que contienen nitrato (BIOXIDE® y BIOXIDE-AQ®, disponibles de United States Filter Corporation) en las estaciones de bombeo de agua residual. Se analizaron muestras de agua residual bombeadas para determinar teóricamente la cantidad de material alcalino (hidróxido de sodio) que se debía añadir en los sitios de alimentación, con el fin de aumentar el pH en una unidad (calculada para que fuera de 476,9 litros (126 galones) de soda cáustica al 50% por 3.785.411 litros (un millón (10⁶) de galones de flujo de agua residual)).

En base a las observaciones preliminares, el equipo de adición de la soda cáustica adición se instaló en los sitios de alimentación, pero como una etapa preventiva la velocidad de adición de la soda cáustica en base al flujo procedente de los sitios de alimentación se preseleccionó que fuera sólo 50% del valor calculado para aumentar el pH en una unidad. Por lo tanto, se esperaba que el desplazamiento de pH cambiara menos de una unidad completa de pH. Sorprendentemente, sin embargo, con la adición de nitrato en dosis tradicionales (a través de BIOXIDE® y BIOXIDE-AQ®), se observó un desplazamiento de una unidad completa de pH aguas abajo (en lugar de un cambio de pH más pequeño del esperado). Además, no se detectaron el sulfuro disuelto y el sulfuro de hidrógeno atmosférico (H₂S) aguas abajo, al tiempo que aumentó la presencia of nitrato residual. Estos resultados muestran una inesperada reducción del consumo de nitrato sin incremento de los sulfuros disueltos aguas abajo.

Debido a la presencia de iones nitrato residuales aguas abajo, se redujo la dosis de agentes químicos de control de olor BIOXIDE®/BIOXIDE-AQ®. Posteriores ensayos de campo revelaron buenos resultados con respecto a la indetectabilidad de iones sulfuro disueltos y/o de sulfuro de hidrógeno atmosférico, aunque se seguía revelando alguna presencia de iones nitrato residuales. Por lo tanto, la cantidad de un agente químico de control de olores introducida en el agua residual se redujo de nuevo y posteriores ensayos revelaron cantidades esencialmente indetectables de iones sulfuro, sulfuro de hidrógeno e iones nitrato. Los resultados de los ensayos que confirman estas observaciones están tabulados en la Tablas I y II.

Los resultados de ensayo obtenidos en estos ensayos de campo revelaron que la adición de material alcalino a la mitad de la cantidad teórica calculada para aumentar el pH de la corriente de agua residual en un unidad completa, realmente dio como resultado en la práctica un aumento del pH en un unidad completa (en lugar del pequeño cambio que se esperaba). Se produjo una reducción sustancial de la cantidad de nitrato y/o nitrato y antraquinona añadida al agua residual, al tiempo que se logró una reducción sustancial de sulfuros disueltos presentes en el control de corriente de agua residual y de sulfuro de hidrógeno atmosférico en el punto de monitoreo aguas abajo.

ES 2 584 160 T3

Tabla I: Flujo aislado de la estación de levantamiento a alcantarilla aguas abajo

Nº de muestra	Día de la muestra	Dosis de NaOH al 50% LPD (GPD)	Dosis de nitrato* LPD (GPD)	pH	Sulfuro disuelto (mg/L)	H ₂ S atmosférico (ppm)	Nitrato residual (mg/L)
Control 1	Día 1	0,0 (0,0)	185,5 (49)			0,1	
Control 2	Día 7	0,0 (0,0)	185,5 (49)			0,0	
Control 3	Día 8	0,0 (0,0)	185,5 (49)			0,0	
Control 4	Día 9	0,0 (0,0)	185,5 (49)			0,0	
Control 5	Día 10	0,0 (0,0)	177,9 (47,0)	7,2	0,0	0,0	0,0
1	Día 12	104,5 (27,6)	129,5 (34,2)	8,2	0,0	0,0	5,0
2	Día 13	98,4 (26,0)	115,1 (30,4)	8,6	0,0	0,0	5,0
3	Día 16	98,4 (26,0)	106,0 (28,0)	7,8	0,0	0,0	0,0
4	Día 17	98,4 (26,0)	106,0 (28,0)	7,8	0,0	0,0	0,0
5	Día 18	98,4 (26,0)	106,0 (28,0)	8,0	0,2	0,0	0,0
6	Día 20	98,4 (26,0)	106,0 (28,0)	8,0	0,5	0,0	0,0
7	Día 20	98,4 (26,0)	106,0 (28,0)	8,0	1,0	0,0	0,0
8	Día 25	98,4 (26,0)	106,0 (28,0)	7,3	0,0	0,0	0,0
9	Día 33	98,4 (26,0)	106,0 (28,0)	8,6	0,0	0,0	0,0
10	Día 51	98,4 (26,0)	102,2 (27,0)	8,5	1,0	0,0	20,0

*Agente químico de control de olor nitrato de calcio y antraquinona BIOXIDE-AQ®, disponible de United States Filter Corporation.

ES 2 584 160 T3

Tabla II: combinación de flujo tratado o sin tratar a la estación de bombeo maestra

Nº de muestra	Día de muestra	Dosis de NaOH al 50% LPD (GPD)	Dosis de nitrato** LPD (GPD)	pH	Sulfuro disuelto (mg/L)	H ₂ S atmosférico (ppm)	Nitrato residual (mg/L)
Control 1	Día 1	0	249,8 (66)	7,1	3	80	0
Control 2	Día 29	0	249,8 (66)		0,4	22,7***	
Control 3	Día 31	0	249,8 (66)			20,5****	
Control 4	Día 32	0	249,8 (66)			10,0	
Control 5	Día 41	0	246,0 (65,0)	6,8	0,0	0,0	0,0
1	Día 43	79,5 (21,0)	246,0 (65,0)	7,1	0,0	10	0,0
2	Día 43	79,5 (21,0)	246,0 (65,0)	7,1	0,0	0	0,0
3	Día 44	79,5 (21,0)	246,0 (65,0)	7,2	0,0	20,0	0,0
4	Día 46	79,5 (21,0)	246,0 (65,0)	5,0	3,0	20,0	0,0
5	Día 46	79,5 (21,0)	159,0 (42)	7,1	0,0	0,0	0,5
6	Día 46	79,5 (21,0)	159,0 (42)	7,4	0,0	0,0	0,0
7	Día 47	79,5 (21,0)	159,0 (42)			0,3***	
8	Día 48	79,5 (21,0)	159,0 (42)			0,3***	
9	Día 49	79,5 (21,0)	159,0 (42)			0,6***	
10	Día 50	79,5 (21,0)	159,0 (42)			5,4***	
11	Día 51	79,5 (21,0)	159,0 (42)			9,1***	
12	Día 52	79,5 (21,0)	159,0 (42)			7,0***	
13	Día 53	79,5 (21,0)	159,0 (42)			0,9***	
14	Día 66	79,5 (21,0)	208,2 (55)	6,2	3,0	5,0	0,0
15	Día 86	79,5 (21,0)	208,2 (55)	6,8	10,0		
16	Día 89	79,5 (21,0)	208,2 (55)	7,3	0	5	
17	Día 101	79,5 (21,0)	208,2 (55)	7,0	1	20	0
18	Día 155	79,5 (21,0)	208,2 (55)	6,8	2	30	0
Control	Día 178	0,0	208,2 (55)	6,5	3	120+	0

ES 2 584 160 T3

Nº de muestra	Día de muestra	Dosis de NaOH al 50% LPD (GPD)	Dosis de nitrato** LPD (GPD)	pH	Sulfuro disuelto (mg/L)	H ₂ S atmosférico (ppm)	Nitrato residual (mg/L)
6							
Control	Día 197	0,0	217,7 (57,5)	6,76	3	25	0
7							
** Agente de control de olores BIOXIDE®, disponible de United States Filter Corporation. *** La media de 24 horas, muestreado cada 5 minutos por datalogger. **** La media de 11 horas, muestreado cada 5 minutos por datalogger.							

Ejemplo 3

Se llevaron a cabo una serie de ensayos durante un período de 120 días en una instalación de tratamiento de agua residual. La distancia del punto de alimentación (una estación de bombeo) al punto de monitoreo (una alcantarilla de descarga) fue de aproximadamente 1,61 km (1 milla), más o menos 161 cm (un décimo de milla), con un tiempo de detección que se midió (en una ocasión) a aproximadamente 90 minutos. Durante esta serie de ensayos, se midieron los siguientes parámetros dos veces a la semana: pH, sulfuro de hidrógeno atmosférico (H₂S), sulfuro en fase líquida, temperatura, y nitrato residual.

El Ejemplo 3 se dividió en nueve períodos de tiempo durante los cuales se ajustaron y mantuvieron las variables independientes (la cantidad de compuesto que contiene nitrato y la cantidad de material alcalino), y se monitorizó su efecto sobre las variables dependientes (la concentración de sulfuro de hidrógeno atmosférico, la concentración de sulfuro en fase líquida, y pH).

Los resultados del Ejemplo 3 muestran que la adición de un compuesto que contiene nitrato, en combinación con la adición de un material alcalino, tiene un efecto sinérgico sobre la prevención y la retirada, tanto del sulfuro de hidrógeno atmosférico como del sulfuro en fase líquida de la corriente de agua residual. Específicamente, como se puede ver en la comparación de los resultados del período de tiempo 3 y del período de tiempo 7, la adición de una cantidad de material alcalino mejora la prevención y retirada de sulfuros de la corriente de agua residual, en comparación con un tratamiento únicamente con nitrato de esa corriente. Además, como se puede ver en la comparación de los resultados del período de tiempo 2 y del período de tiempo 7, la coadición de un material alcalino permitió que se lograra una concentración deseada de aproximadamente 0,5 a 2 PPM de H₂S en el punto de monitoreo, usando sólo aproximadamente 66% de la cantidad de compuesto que contiene nitrato que era previamente requerida en ausencia de la coadición de material alcalino.

Durante el período de tiempo 1 (7 días), se determinó que a las actuales concentraciones de dosis de compuesto que contiene nitrato, la cantidad de sulfuro de hidrógeno atmosférico (H₂S) fue imperceptible. En consecuencia, el segundo período de tiempo (14 días) se usó para optimizar la cantidad de compuesto que contiene nitrato añadida a la corriente de agua residual, de tal modo que se obtuvo un valor diana de aproximadamente 0,5 a 2 PPM de H₂S atmosférico. Se determinó que la adición de aproximadamente 71,9 litros por día LPD (19 GPD) de compuesto que contiene nitrato añadido a la corriente de agua residual entrante, sin la coadición de material alcalino dio como resultado una concentración media de sulfuro de hidrógeno atmosférico de 1 PPM y dentro del intervalo deseado de 0,5 a 2 PPM.

Los períodos de tiempo 3 (8 días) y 5 (cuatro días) muestran que sin la coadición de material alcalino, la adición de menos de 71,9 LPD (19 GPD) del compuesto que contiene nitrato fue incapaz de satisfacer las concentraciones de 0,5 a 2 PPM de sulfuro de hidrógeno atmosférico.

El período de tiempo 4 (11 días) ilustra la eficacia de la adición de compuestos que contienen nitrato en la reducción, tanto de las concentraciones del sulfuro de hidrógeno atmosférico como las del sulfuro en fase líquida. Durante este período de tiempo, se experimentaron problemas mecánicos dando como resultado una cantidad sustancialmente reducida de material de nitrato añadida a la corriente de agua residual. Como se puede ver en los resultados de la Tabla III, las concentraciones de sulfuro de hidrógeno atmosférico y de sulfuro en fase líquida aumentaron drásticamente.

Durante el período de tiempo 6 (13 días), y con un flujo estimado de aproximadamente 0,415 MGD, el material alcalino (hidróxido de sodio al 50%) fue añadido a la corriente de agua residual a una velocidad de calculada a partir

de la valoración, siendo aproximadamente la mitad de la requerida para aumentar el pH de la corriente de agua residual en una unidad de pH. Aunque el flujo real del agua residual fue aproximadamente 20% mayor que el flujo estimado usado para calcular la velocidad de adición de nitrato para este período de tiempo, el pH de la corriente de agua residual aumentó en sólo aproximadamente 0,2 unidades de pH, muy inferior al aumento en 0,7 unidades de pH que se había anticipado.

Durante el período de tiempo 7, el material alcalino fue añadido a la corriente de agua residual a una velocidad calculada para aumentar el pH en una unidad completa. Aunque el flujo real del agua residual fue aproximadamente 30% mayor que el flujo estimado usado para calcular la velocidad de adición de nitrato para este período de tiempo, el aumento de la concentración de pH de la corriente de agua residual de nuevo cayó muy por debajo del valor esperado. Debido a que el aumento de la concentración de pH se quedó muy por debajo del valor esperado en ambos períodos de tiempo 6 y 7, los autores de la presente solicitud suponen que algo del material alcalino está siendo consumido por las reacciones en la corriente de agua residual.

Los períodos de tiempo 8 (8 días), 9 (3 días) y 10 (21 días) se usaron como controles para duplicar las condiciones en los anteriores períodos de tiempos. Específicamente, el período de tiempo 8 muestra resultados similares a los del período de tiempo 6, en donde la cantidad de material alcalino añadido no fue suficiente para lograr las concentraciones de sulfuro de hidrógeno atmosférico deseadas. El período de tiempo 9 muestra resultados similares a los del período de tiempo 2, y el período de tiempo 10 muestra resultados similares a los del período de tiempo 1 y reestablece la velocidad de adición de los compuestos que contienen nitrato a la corriente de agua residual.

Los resultados del Ejemplo 3 muestran que la adición de un compuesto que contiene nitrato, en combinación con la adición de un material alcalino, tiene un efecto sinérgico sobre la prevención y retirada, tanto del sulfuro de hidrógeno atmosférico como del sulfuro en fase líquida, de la corriente de agua residual. Además, el aumento relativamente modesto del pH de la corriente de agua residual tratada, comparado con el aumento de pH esperado calculado a partir de la valoración, sugiere que el material alcalino se usa en el procedimiento de nitrificación que da como resultado la retirada y/o prevención de sulfuros en la corriente de agua residual. De hecho, como se muestra en los resultados del período de tiempo 5 y de los períodos de tiempo 6-8, las concentraciones de sulfuro en fase líquida en realidad se redujeron debido a la coadición del material alcalino, por lo que se demuestra que la coadición de material alcalino tiene un efecto sinérgico sobre la reducción de sulfuros de la corriente de agua residual, y no simplemente que los sulfuros se volvieron insolubles debido al aumento del pH.

Tabla III: Tabla de resumen de resultados (medias de los períodos ± desviación estándar para el período)

Período de tiempo	Dosis de nitrato* LPD (GPD)	Alimentación de soda caustica al 50% LPD (GPD)	H ₂ S atmosférico (PPM)	Sulfuro en fase líquida (mg/L)	pH	Flujo (MGD)
1	110,5 ± 17,8 (29,2 ± 4,7)	0,0	0,0 ± 0,0	0,0 ± 0,0	8,0 ± 0,2	0,60 ± 0,09
2	71,9 ± 5,3 (19,0 ± 1,4)	0,0	1,0 ± 0,7	0,0 ± 0,0	8,0 ± 0,1	0,55 ± 0,07
3	52,6 ± 3,0 (13,9 ± 0,8)	0,0	4,9 ± 3,4	0,7 ± 0,5	7,9 ± 0,2	0,47 ± 0,09
4	16,3 ± 22,3 (4,3 ± 5,9)	0,0	31,9 ± 24,0	3,0 ± 1,6	7,9 ± 0,2	0,44 ± 0,14
5	48,1 ± 0,76 (12,7 ± 0,2)	0,0	8,5 ± 4,4	3,0 ± 0,0	7,9 ± 0,3	0,53 ± 0,14
6	47,3 ± 0,14 (12,5 ± 0,3)	29,1 ± 9,8 (7,7 ± 2,6)	3,6 ± 2,8	2,6 ± 1,1	8,1 ± 0,2	0,48 ± 0,11
7	47,3 ± 0,38 (12,5 ± 0,1)	68,5 ± 3,8 (18,1 ± 1,0)	1,1 ± 0,8	0,5 ± 0,5	8,3 ± 0,3	0,54 ± 0,10
8	47,7 ± 0,38 (12,6 ± 0,1)	39,0 ± 1,5 (10,3 ± 0,4)	2,8 ± 1,9	0,9 ± 0,8	8,3 ± 0,1	0,83 ± 0,27
9	76,5 ± 4,5 (20,2 ± 1,2)	0,0	3,7 ± 2,3	0,5 ± 0,0	7,8 ± 0,1	0,95 ± 0,09

ES 2 584 160 T3

10	90,6 ± 17,8 (24,2 ± 4,7)	0,0	0,4 ± 0,8	0,3 ± 0,2	7,9 ± 0,2	0,85 ± 0,18
----	-----------------------------	-----	-----------	-----------	-----------	-------------

*El agente de control de olores BLOXIDE-AQ®, de United States Filter Corporation.

El H₂S atmosférico (PPM) se deriva de las medias diarias de un datalogger T82 que registraba cada cinco minutos, dando un material compuesto de mediodía a mediodía.

Los monitores se utilizaron durante intervalos de tres o cuatro días, se calibraron antes de utilizar, y se verificó su buen funcionamiento con aire y gas de calibración tras retirar.

Los valores de sulfuro en fase líquida (mg/L) se obtuvieron a partir de muestras recogidas una vez cada tres o cuatro días y se analizaron por el método de azul de metileno usando un LaMotte Kit.

Los valores de PH se determinaron usando un medidor Extech calibrado cada lunes.

El caudal (MGD) se determinó a partir de los tiempos de bombeo proporcionados por el municipio multiplicados por una velocidad de bombeo de 775 GPM.

Ejemplo 4

5 Se llevaron a cabo una serie de ensayos durante un período de 36 días en una instalación de agua residual. La distancia del punto de alimentación (una estación de bombeo) al punto de monitoreo fue de aproximadamente 10 km (6,3 millas, 33,116 pies) y se formó mediante un conducto de 2,54 cm (30 pulgadas) de diámetro que tenía un caudal medio diario de 4 MGD, o aproximadamente diez veces el caudal medio diario de la instalación usada en el Ejemplo 3. Durante esta serie de ensayos, se midieron los siguientes parámetros cada día laborable: pH, sulfuro de hidrógeno atmosférico (H₂S), sulfuro en fase líquida, temperatura, y nitrato residual.

10 El Ejemplo 4 se divide en cinco períodos de tiempo durante los cuales se ajustaron y mantuvieron las variables independientes (la cantidad de compuesto que contiene nitrato y la cantidad de material alcalino) y se monitorizó su efecto sobre las variables dependientes (la concentración de sulfuro de hidrógeno atmosférico, la concentración de sulfuro en fase líquida, y pH).

15 Los resultados del Ejemplo 4 de nuevo demuestran que la adición de un compuesto que contiene nitrato, en combinación con la adición de un material alcalino, tiene un efecto sinérgico sobre la prevención y la retirada, tanto del sulfuro de hidrógeno atmosférico como del sulfuro en fase líquida, de la corriente de agua residual. Específicamente, como se puede ver en la comparación de los resultados del período de tiempo 1 y del período de tiempo 4, la coadición de una cantidad de material alcalino redujo las concentraciones atmosféricas de sulfuro de hidrógeno en 93%, y redujo las concentraciones de sulfuro en fase líquida hasta concentraciones indetectables, utilizando 20% menos de material que contiene nitrato, en comparación con un tratamiento únicamente con nitrato de la corriente de agua residual. Se cree que se podría haber logrado fácilmente una mayor optimización de las cantidades de material alcalino y de compuestos que contienen nitrato, si hubiera habido tiempo adicional para más experimentación.

25 El período de tiempo 1 (9 días) se empleó recogiendo datos de antecedentes. Con la adición de compuesto que contiene nitrato a una velocidad de 476 GPD, la concentración media de H₂S atmosférico fue de 34 PPM. Durante el período de tiempo 2 (10 días), la cantidad de material que contiene nitrato se mantuvo a aproximadamente la misma concentración (dentro de una variación de bombeo) y el material alcalino se añadió a una velocidad de 174 GPD (aproximadamente 162,8 litros por 3.785.4112 litros de agua residual (43 galones por millón de galones)). Durante el período de tiempo 2, la concentración de sulfuro de hidrógeno atmosférico se redujo a la mitad 17 PPM, y las concentraciones de sulfuro en fase líquida se redujeron significativamente.

30 Durante el período de tiempo 3 (2 días), la velocidad de alimentación de material alcalino fue aproximadamente el doble con respecto al período de tiempo 2, mientras que la cantidad de compuesto que contiene nitrato se mantuvo aproximadamente constante. A estas velocidades de alimentación, la concentración de sulfuro de hidrógeno atmosférico se redujo en 86% (hasta 4,9 PPM) con respecto al tratamiento únicamente con nitrato, y la concentración de sulfuro en fase líquida se redujo 50% con respecto al tratamiento únicamente con nitrato.

35 Durante el período de tiempo 4 (3 días), las velocidades de alimentación, tanto del compuesto que contiene nitrato como del material alcalino, se redujeron en aproximadamente 20% sin consecuencias adversas para la concentración, ya sea del sulfuro atmosférico o del sulfuro en fase líquida. De hecho, la concentración del sulfuro atmosférico o del sulfuro en fase líquida se redujo más con respecto al período de tiempo 3. Se cree que la cantidad de material alcalino y de compuesto que contiene nitrato se podía haber reducido más, manteniéndose las concentraciones de sulfuro atmosférico o en fase líquida en una concentración comparable a la del período de tiempo 1, sin embargo se produjeron numerosos problemas durante esta serie de ensayos, que incluyen un caso de

ES 2 584 160 T3

lluvia significativa, problemas mecánicos, y la enfermedad de uno de los principales recopiladores de datos, lo que evitó más experimentación.

Durante el período de tiempo 5 (8 días), se detuvo la adición de material alcalino y se reanudó la velocidad de adición inicial del material que contiene nitrato.

- 5 Los resultados del Ejemplo 4 además muestran que la adición de un compuesto que contiene nitrato, en combinación con la adición de un material alcalino, tiene un efecto sinérgico sobre la prevención y retirada, tanto del sulfuro de hidrógeno atmosférico como del sulfuro en fase líquida, de la corriente de agua residual. Además, el aumento relativamente modesto del pH de la corriente de agua residual tratada sugiere que el material alcalino se usa en el procedimiento de desnitrificación. Específicamente, la concentración de sulfuro en fase líquida realmente se redujo en el período de tiempo 4 con respecto al período de tiempo 1, por lo que se respalda la conclusión de que el material alcalino se usa en el procedimiento de desnitrificación, y no que los sulfuros se volvieron simplemente insolubles debido al aumento del pH.

Tabla IV: Tabla de resumen de resultados (las medias de los períodos \pm desviación estándar de los períodos)

Período de tiempo	Dosis de nitrato** LPD (GPD)	Alimentación de soda cáustica al 50% LPD (GPD)	H ₂ S atmosférico (PPM)	Sulfuro en fase líquida (mg/L)	pH	Lluvia (in)
1	1.802 \pm 56,8 (476 \pm 15)	0,0	34 \pm 13	0,16 \pm 0,26	7,01 \pm 0,12	0,17 \pm 0,18
2	1.870 \pm 0,38 (494 \pm 0,1)	658,7 \pm 246,1 (174 \pm 65)	17 \pm 8	0.03 \pm 0.08	7,24 \pm 0,26	0,43 \pm 0,58
3	1.862 \pm 0 (492 \pm 0)	1.461 (386)	4,9 \pm 3,4	0.7 \pm 0.5	7,99 \pm 0,20	0,0 \pm 0,0
4	1.427 \pm 68,1 (377 \pm 18)	1.261 \pm 7,57 (333 \pm 2)	2,3 \pm 0,3	0.0	7,55	0,35 \pm 0,31
5	1.862 \pm 0 (492 \pm 0)	0,0	Sin datos	Sin datos	6,91	0,42 \pm 1,03

**El agente de control de olores BIOXIDE®, disponible de United States Filter Corporation.

El H₂S atmosférico (PPM) se deriva de las medias diarias de un datalogger T82 o OdaLog que registraba cada cinco minutos, dando un material compuesto de 7 AM a 7 PM.

Los monitores se utilizaron durante intervalos de tres o cuatro días, se calibraron antes de utilizar, y se verificó su buen funcionamiento con aire y gas de calibración tras retirar.

Los valores de sulfuro en fase líquida (mg/L) se obtuvieron a partir de muestras recogidas una vez cada tres o cuatro días y se analizaron por el método de azul de metileno usando un LaMotte Kit.

15 Ejemplo 5

Se llevaron a cabo una serie de ensayos durante un período de un mes en una instalación de agua residual. La distancia del punto de alimentación (una estación de bombeo) al punto de monitoreo fue de aproximadamente 4,8 km (3 millas, 15.850 pies) y se formó mediante un conducto de 2,54 cm (16 pulgadas) de diámetro que tenía un caudal medio diario de 0,65 MGD. Durante esta serie de ensayos, se midieron los siguientes parámetros cada día laborable: pH, sulfuro de hidrógeno atmosférico (H₂S), sulfuro en fase líquida, temperatura, y nitrato residual.

El Ejemplo 5 se divide en cinco períodos de tiempo durante los cuales se ajustaron y mantuvieron las variables independientes (la cantidad de compuesto que contiene nitrato y la cantidad de material alcalino) y se monitorizó su efecto sobre las variables dependientes (la concentración de sulfuro de hidrógeno atmosférico, la concentración de sulfuro en fase líquida, y pH). Debido a la preocupación del municipio con respecto a la cristalización del material alcalino (hidróxido de sodio), se usó una disolución cáustica al 25% en lugar de una disolución cáustica al 50% que se utiliza habitualmente (para convertir a un volumen equivalente de disolución cáustica al 50%, dividir los valores en la columna 3 de la Tabla V por 2,33).

Los resultados del Ejemplo 5 muestran que la coadición de un material alcalino puede reducir significativamente la cantidad de compuestos que contienen nitrato añadido a la corriente de agua residual para controlar las concentraciones de sulfuro atmosférico y en fase líquida. Estos resultados además muestran que cuando los

5 parámetros de la corriente de agua residual entrante varían considerablemente en el tiempo, un modelo simple de proporcionar la velocidad de alimentación del compuesto que contiene nitrato con respecto al del material alcalino puede no ser económicamente óptimo. En particular, cuando los parámetros de la corriente de agua residual entrante varían considerablemente en el tiempo, la velocidad de adición del compuesto que contiene nitrato y/o la velocidad de adición de material alcalino se pueden variar dependiendo de los parámetros de la corriente de agua residual entrante, para lograr un sistema de tratamiento de agua residual económicamente eficiente.

El período de tiempo **1** (3 días) se empleó en recoger datos de antecedentes, con la adición de compuesto que contiene nitrato a una velocidad de 594,3 LPD (157 GPD), y una concentración media de H₂S atmosférico de 0,4 PPM.

10 Durante el período de tiempo **2** (6 días), la velocidad de adición del material que contiene nitrato se redujo a aproximadamente 461,8 LPD (122 GPD) y se añadió el material alcalino a una velocidad de 151,4 (40 GPD). Durante el período de tiempo **2**, la concentración de sulfuro de hidrógeno atmosférico se mantuvo en 2,1 PPM, manteniéndose las concentraciones de sulfuro en fase líquida en aproximadamente la misma concentración que en el período de tiempo **1**.

15 Durante el período de tiempo **3** (4 días), la velocidad de adición del material alcalino se incrementó en aproximadamente 63% con respecto al período de tiempo **2** hasta una concentración de 246,0 LPD (65 GPD), y la cantidad de compuesto que contiene nitrato se mantuvo aproximadamente constante sin cambios significativos en la concentración de sulfuro de hidrógeno atmosférico o en el pH. En este punto, se observó que el pH de esta corriente de agua residual fue significativamente mayor que el de la mayoría de las corrientes de agua residual y además, que el pH de esta corriente de agua residual varió considerablemente durante el día, en hasta 1,5 unidades de pH durante un período de tiempo de veinticuatro horas. En la mayoría de las corrientes de agua residual, el pH del agua residual sin tratar está generalmente entre 6,5 y 7,5, y la variación del pH es por lo general de aproximadamente 0,2 unidades de pH o inferior. Debido a la gran variación de pH, se determinó que la velocidad de adición del material alcalino debe variar durante el día, puesto que tenía poco sentido añadir material alcalino a la corriente de agua residual cuando el pH ya era superior a 8,0.

20 Antes de implementar la variación planificada de la velocidad de adición del material alcalino, se interrumpieron los ensayos, de tal modo que el siguiente período de tiempo (período de tiempo **4** (8 días)) se empleó en restablecer las condiciones iniciales con la adición sólo del compuesto que contienen nitrato. Después de una interrupción posterior en los ensayos (que duró 3 días), la velocidad de adición del compuesto que contiene nitrato se redujo a 461,8 LPD (122 GPD) y la velocidad de adición del material alcalino se aumentó hasta 265,0 LPD (70 GPD), añadiéndose la mayoría del material alcalino cuando la corriente de agua residual se encontraba en su pH más ácido. Durante este período de tiempo **5** (3 días), las concentraciones de sulfuro de hidrógeno atmosférico se mantuvieron en aproximadamente 3 PPM, usando 78% de la cantidad de compuesto que contiene nitrato usado en el período de tiempo **1**, y sólo 69% de la cantidad de compuesto que contiene nitrato usado en el período de tiempo **4**.

35 Aunque hubo una cantidad insuficiente de tiempo para optimizar completamente el sistema, se cree que se podía haber logrado una mayor reducción de las concentraciones de sulfuro atmosférico y en fase líquida, la cantidad de compuesto que contiene nitrato añadido, y la cantidad de material alcalino añadido, si la velocidad de adición del material alcalino se hubiera reducido durante los períodos de tiempo de alto pH, y aumentado durante los períodos tiempo de bajo pH.

40 Los resultados del Ejemplo 5 muestran que la coadición de un material alcalino puede reducir significativamente la cantidad de compuestos que contienen nitrato añadida a la corriente de agua residual para controlar las concentraciones de sulfuro atmosférico y en fase líquida. Además, estos resultados también muestran que proporcionar la velocidad de alimentación del compuesto que contiene nitrato con respecto a la del material alcalino, puede no ser económicamente rentable, cuando el pH de la corriente de agua residual varía considerablemente durante un período de tiempo relativamente corto. En particular, en ciertos casos, la velocidad de adición del compuesto que contiene nitrato y/o la velocidad de adición del material alcalino se puede variar independientemente, dependiendo de los parámetros de la corriente de agua residual entrante, para lograr un sistema de tratamiento de agua residual económicamente eficiente.

Tabla V: Tabla de resumen de resultados (las medias de los períodos ± desviación estándar de los períodos)

50

ES 2 584 160 T3

Período de tiempo	Dosis de nitrato** LPD (GPD)	Alimentación de soda cáustica al 25% LPD (GPD)	H ₂ S atmosférico (PPM)	Sulfuro en fase líquida (mg/L)	pH	Nitrato residual (mg/L)
1	594,3 ± 0 (157 ± 0)	0,0	0,4 ± 1,5	0,3 ± 0,3	8,3 ± 0,2	0,17 ± 0,18
2	461,8 ± 34,1 (122 ± 9)	151,4 ± 22,7 (40 ± 6)	2,1 ± 0,1	0,5 ± 0,6	8,2 ± 0,5	21 ± 31
3	446,7 ± 30,3 (118 ± 8)	246,1 ± 45,4 (65 ± 12)	2,6 ± 1,8	2,5 ± 0,2	7,8 ± 0,4	1,2 ± 2,0
4	670,0 ± 0 (177 ± 0)	0	2,1 ± 2,6	0,6 ± 0,6	7,9 ± 0,3	7 ± 11
5	461,8 ± 11,4 (122 ± 3)	265,0 ± 0 (70,0 ± 0)	3,1 ± 1,0	1,8 ± 0,7	8,4 ± 0,1	3,6 ± 3,1

**El agente de control de olores BIOXIDE®, disponible de United States Filter Corporation.

El H₂S atmosférico (PPM) se deriva de las medias diarias de un datalogger T82 o OdaLog que registraba cada cinco minutos, dando un material compuesto de medianoche a medianoche.

Los monitores se utilizaron durante intervalos de tres o cuatro días, se calibraron antes de utilizar, y se verificó su buen funcionamiento con aire y gas de calibración tras retirar.

Los valores de sulfuro en fase líquida (mg/L) se obtuvieron a partir de muestras recogidas una vez cada tres o cuatro días y se analizaron por el método de azul de metileno usando un LaMotte Kit.

Ejemplo 6

5 Se llevaron a cabo una serie de ensayos durante un período de aproximadamente cuatro meses en una instalación de agua residual. Los resultados del Ejemplo 6 muestran claramente que la adición de un compuesto que contiene nitrato, en combinación con la adición de un material alcalino, tiene un efecto sinérgico sobre la prevención y retirada, tanto del sulfuro de hidrógeno atmosférico como del sulfuro en fase líquida, de la corriente de agua residual. En particular, la comparación de los períodos de tiempo **3** y **5** muestra, que la concentración de sulfuro de hidrógeno en fase líquida se puede reducir por encima del 60% y la concentración de sulfuro de hidrógeno atmosférico se puede reducir en aproximadamente 30% mediante la adición de material alcalino, en comparación con un tratamiento únicamente con nitrato. Además, estos resultados se logran con una reducción de la cantidad de compuesto que contiene nitrato de más de 32% con respecto a un tratamiento únicamente con nitrato.

15 El diseño físico general de esta instalación de tratamiento se describe ahora con respecto a la Figura 5. Como se representa en la Figura 5, el agua residual procedente de la estación de bombeo **1 510** y de la estación de bombeo **2 520** pasa a lo largo de un conducto de aproximadamente 3,22 km (2 millas) a una válvula de alivio de presión **1 530**. Muy poco después de la válvula de alivio de presión **1 530**, este caudal se une a un caudal procedente de la estación de bombeo **3 540**, y los caudales combinados recorrieron aproximadamente 3,22 km (2 millas) después de pasar la válvula de alivio de presión **2 550** y llegar a la planta de tratamiento **560**. En la planta de tratamiento **560**, este caudal se une con un caudal de agua residual procedente de la estación de levantamiento **570**, y el caudal combinado se trata para reducir las concentraciones de sulfuro atmosférico y en fase líquida. El caudal total de agua residual recibido y tratado en la planta **560** es de aproximadamente 1,5 MGD, recibándose aproximadamente 1,1 MGD del norte, y pasando aproximadamente 0,8 MGD de ese caudal a través de válvula de alivio de presión **1 530**.

25 Antes del tratamiento en el que se usa compuestos que contienen nitrato y de material alcalino, las concentraciones de sulfuro de hidrógeno atmosférico superiores a 2.000 PPM se midieron con frecuencia en la estación de levantamiento **570**. El tratamiento con agente de control de olores, corrosión, y vapores ODOPHOS™, aproximadamente 30 metros (100 pies) antes de la estación de levantamiento **570** y la instalación de un depurador en la estación de levantamiento alivió el peor problema de olores en la estación de levantamiento **570**, aunque en la planta de tratamiento **560** donde el flujo procedente del sur se combina con el flujo procedente del norte, los problemas de olores continuaron con concentraciones pico de sulfuro de hidrógeno atmosférico superiores a 1.000

PPM. La meta de esta serie de ensayos fue reducir las concentraciones de sulfuro en fase líquida a menos de 10 mg/L.

5 Durante esta serie de ensayos, las cantidades de compuesto que contiene nitrato y/o de material alcalino se añadieron en la estación de bombeo **2520** (es decir, el punto de alimentación) y se midieron los siguientes parámetros dos veces por semana, tanto en la válvula de alivio de presión **1 530** como en la planta de tratamiento **560** (los puntos de monitoreo): pH, sulfuro de hidrógeno atmosférico (H₂S), sulfuro en fase líquida, temperatura, y nitrato residual. Los resultados del Ejemplo 6, se dividieron en cinco períodos de tiempo durante los cuales se ajustaron y mantuvieron las variables independientes (la cantidad de compuesto que contiene nitrato y la cantidad de material alcalino) y se monitorizó su efecto sobre las variables dependientes (la concentración desulfuro de hidrógeno atmosférico, la concentración desulfuro en fase líquida, y pH).

10 El período de tiempo **1** (15 días) se empleó en recopilar datos de antecedentes en ausencia de la adición de compuesto que contiene nitrato y de material alcalino. En ausencia de tratamiento, las concentraciones de sulfuro en fase líquida en PRV **1** (la válvula de alivio de presión **1**) fueron de 23 mg/L, y concentraciones de sulfuro en fase líquida y de sulfuro de hidrógeno atmosférico en la planta de tratamiento fueron de 29 mg/L y 123 PPM, respectivamente.

15 Durante el período de tiempo **2** (32 días), el compuesto que contiene nitrato fue añadido a una velocidad constante de 363,4 LPD (96 GPD) sin adición de material alcalino. Durante este período de tiempo, las concentraciones de sulfuro en fase líquida, tanto en la PRV**1** como en la planta de tratamiento se redujeron a la mitad, reduciéndose la concentración de sulfuro de hidrógeno atmosférico en la planta de tratamiento hasta aproximadamente 117 PPM.

20 Durante este período de tiempo **3** (26 días), la velocidad de alimentación del compuesto que contiene nitrato se incrementó a aproximadamente 567,8 LPD (150 GPD) sin adición de material alcalino. A esta velocidad de alimentación, la concentración de sulfuro en fase líquida se redujo a 5 mg/L en PRV **1**, y a 9 mg/L en la planta de tratamiento. La concentración de sulfuro de hidrógeno atmosférico en la planta de tratamiento se redujo 30% con respecto al flujo sin tratar.

25 Durante este período de tiempo **4** (8 días), la velocidad de alimentación del compuesto que contiene nitrato se mantuvo (dentro de la variación del bombeo) a la misma concentración que en el período de tiempo **3**, pero se añadió material alcalino a una velocidad constante de 71,9 LPD (19 GPD). Durante este período de tiempo, las concentraciones de sulfuro en fase líquida en PRV **1** se redujeron casi a la mitad, y las de la planta de tratamiento se redujeron en dos tercios con respecto al tratamiento únicamente con el compuesto que contiene nitrato (es decir, con respecto al período de tiempo **3**). Con respecto al periodo sin tratamiento (es decir, período de tiempo **1**), las concentraciones de sulfuros en fase líquida en PRV **1** y en la planta de tratamiento se redujeron por encima de 87%, y las concentraciones de sulfuro de hidrógeno atmosférico en la planta de tratamiento se redujeron por encima de 66%.

35 Durante este período de tiempo **5** (19 días), la velocidad de alimentación del compuesto que contiene nitrato se redujo en aproximadamente 34% y la velocidad de alimentación de material alcalino se incrementó a 189,3 LPD (50 GPD). Como se puede ver en la comparación de los resultados de los períodos de tiempo **4** y **5**, pese a una reducción significativa de la cantidad de compuesto que contiene nitrato, las concentraciones de sulfuros atmosférico y en fase líquida permaneció esencialmente igual en la planta de tratamiento, y la concentración de sulfuro de hidrógeno en fase líquida en PRV **1** se redujo a 0,06 mg/L. Se cree que se podía hacer logrado una mayor reducción de la cantidad de compuesto que contiene nitrato y/o de la cantidad de material alcalino, puesto que la concentración de sulfuro en fase líquida medida en la planta de tratamiento estuvo muy por debajo de la meta de 10 mg/L.

40 Los resultados del Ejemplo 6 muestran claramente que la adición de un compuesto que contiene nitrato, en combinación con la adición de un material alcalino, tiene un efecto sinérgico sobre la prevención y retirada, tanto del sulfuro de hidrógeno atmosférico como del sulfuro en fase líquida de la corriente de agua residual. En particular, como muestra una comparación de los períodos de tiempo **3** y **5**, la concentración del sulfuro de hidrógeno en fase líquida se puede reducir por encima de 60%, la concentración de sulfuro de hidrógeno atmosférico se puede reducir en aproximadamente 30%, y la cantidad de compuesto que contiene nitrato se puede reducir por encima de 32% por la coadición de material alcalino, en comparación con el tratamiento únicamente con nitrato. Además, el efecto sinérgico en las concentraciones, tanto del sulfuro de hidrógeno atmosférico como del sulfuro en fase líquida, no se limitó a la proximidad inmediata del tratamiento, sino que se extendió significativamente aguas abajo del punto de alimentación.

Tabla VI: Tabla de resumen de resultados (las medias de los períodos ± desviación estándar de los períodos)

Período de tiempo	Dosis de nitrato** LPD (GPD)	Alimentación de soda cáustica al 25% LPD (GPD)	Sulfuro en fase líquida en PRV 1 (mg/L)	pH en PRV 1	Sulfuro en fase líquida en planta (mg/L)	pH en planta	H ₂ S atmosférico en planta (PPM)
1	0	0	23 ± 5	7,2 ± 0,1	29 ± 3	7,0 ± 0,1	123 ± 46
2	363,4 ± 34,1 (96 ± 9)	0	12 ± 13	7,4 ± 0,3	15 ± 10	7,1 ± 0,1	117 ± 30
3	564,0 ± 11,4 (149 ± 3)	0	5 ± 7	7,1 ± 0,2	9 ± 6	6,9 ± 0,1	87 ± 40
4	552,7 ± 3,8 (146 ± 1)	73,1 ± 1,1 (19,3 ± 0,3)	3 ± 3	7,5 ± 0,2	3 ± 4	7,0 ± 0,3	54 ± 10
5	382,3 ± 7,6 (101 ± 2)	188,5 ± 1,51 (49,8 ± 0,4)	0.06 ± 0.12	7,8 ± 0,5	3 ± 2	7,3 ± 0,1	60 ± 18

**El agente de control de olores BIOXIDE®, disponible de United States Filter Corporation.

El H₂S atmosférico (PPM) se deriva de las medias diarias de un datalogger T82 o OdaLog que registraba cada cinco minutos, dando un material compuesto de medianoche a medianoche.

Los monitores se utilizaron durante intervalos de tres o cuatro días, se calibraron antes de utilizar, y se verificó su buen funcionamiento con aire y gas de calibración tras retirar.

Los valores de sulfuro en fase líquida (mg/L) se obtuvieron a partir de muestras recogidas una vez cada tres o cuatro días y se analizaron por el método de azul de metileno usando un LaMotte Kit.

5 Las realizaciones de la presente invención descritas previamente se pueden implementar en cualquiera de múltiples maneras. Por ejemplo, la funcionalidad antes analizada de reducir la concentración de sulfuro de hidrógeno atmosférico y/o la concentración de sulfuro en fase líquida se puede implementar usando un equipo informático, un sistema operativo o una combinación de los mismos. Cuando se implementa en sistema operativo, el código del sistema operativo se puede ejecutar en cualquier procesador adecuado. Además, debe tenerse en cuenta que cualquier componente único o colección de múltiple componentes del sistema informático que lleva a cabo las funciones descritas antes, se pueden generalmente considerar como uno o más controladores que controlan las funciones antes analizadas. El uno o más controladores se pueden implementar de múltiples maneras, tal como con un equipo específico, o usando un procesador que se programa usando microcódigo o sistema operativo para llevar a cabo las funciones descritas antes.

15 A este respecto, debe tenerse en cuenta que una implementación de las realizaciones de la presente invención comprende al menos un medio legible por ordenador (p. ej., una memoria informática, un disco flexible, un disco compacto, una cinta, etc.) codificados con un programa informático (es decir, una pluralidad de instrucciones), el cual, cuando se ejecuta en un procesador, lleva a cabo las funciones antes descritas de las realizaciones de la presente invención. El medio legible por ordenador puede ser portátil de tal modo que el programa almacenado en el mismo, se pueda cargar en cualquier recurso de sistema informático para implementar los aspectos de la invención analizados en la presente memoria. Además, debe tenerse en cuenta que la referencia a un programa informático que, cuando se ejecuta, lleva a cabo las funciones descritas antes, no se limita a un programa de aplicación que se ejecuta en el ordenador host. Más bien, la expresión programa informático se usa en la presente memoria en un sentido genérico, para referirse a cualquier tipo de código informático (p. ej., sistema operativo o microcódigo) que se puede emplear para programar un procesador para implementar los aspectos de la presente invención descritos previamente.

25 Habiendo ahora descrito algunas de las realizaciones ilustrativas de la invención, debería de resultar evidente para los expertos en la técnica que lo anterior es simplemente ilustrativo y no limitativo, habiéndose presentado únicamente por medio de ejemplos. Numerosas modificaciones y otras realizaciones ilustrativas están contempladas y dentro del alcance de un experto en la técnica. En particular, aunque muchos de los ejemplos presentados en la presente memoria implican combinaciones específicas de actos de métodos, o elementos de sistema, se debe de entender que todos esos actos y esos elementos se pueden combinar de otras maneras para lograr los mismos objetivos. No se pretenden excluir los actos, elementos y rasgos analizados sólo en conexión con una realización de

un papel similar a otras realizaciones. Además, en la una o más limitaciones de "medios más función" mencionadas en las siguientes reivindicaciones, no se pretende limitar los medios a los descritos en la presente memoria para llevar a cabo la función mencionada, sino que se pretende cubrir en alcance a cualesquiera medios, ahora conocidos o posteriormente desarrollados, para llevar a cabo la función mencionada.

- 5 El uso de términos ordinales como "primero", "segundo", "tercero", etc., en las reivindicaciones para modificar un elemento de las reivindicaciones no tienen la connotación en sí mismos de ninguna prioridad, precedencia, ni orden de un elemento de las reivindicaciones sobre otro o el orden temporal en que las acciones de un método se realizan, sino que se usan meramente como etiquetas para distinguir un elemento de las reivindicaciones que tiene un cierto nombre de otro elemento que tiene un mismo nombre (excepto por el uso del término ordinal) para distinguir los
- 10 elementos de las reivindicaciones.

REIVINDICACIONES

1. Un método para tratar una corriente de agua residual, que comprende los actos de:

- (a) añadir un compuesto que contiene nitrato en una primera posición en la corriente de agua residual;
- (b) añadir un material alcalino en una segunda posición en la corriente de agua residual;

- 5 (c) detectar una concentración de al menos uno de sulfuro de hidrógeno atmosférico, sulfuro disuelto, y nitrato residual en la corriente de agua residual, aguas abajo de la primera y segunda posiciones; y
- (d) ajustar una cantidad de al menos uno del compuesto que contiene nitrato y del material alcalino añadidos a la corriente de agua residual en respuesta al acto de detección.

10 En donde el acto (b) incluye un acto de añadir el material alcalino en una cantidad suficiente para aumentar un pH del agua residual aguas abajo de la primera y segunda posiciones para que sea de aproximadamente 7,5 a 8,5 unidades de pH.

2. El método según la reivindicación 1, en donde el acto (d) es llevado a cabo por un controlador informático.

3. El método según la reivindicación 1 o 2, en donde el material alcalino es hidróxido de calcio, hidróxido de potasio o hidróxido de sodio.

- 15 4. El método según la reivindicación 1 a 3, en donde el compuesto que contiene nitrato es nitrato de potasio, nitrato de sodio o nitrato de calcio.

- 5. El método según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4, en donde el acto (c) incluye un acto de detectar la concentración de sulfuro de hidrógeno atmosférico y la concentración de sulfuro disuelto en la corriente de agua residual aguas abajo de la primera y segunda posiciones, y en donde el acto (d) incluye un acto de aumentar una cantidad de compuesto que contiene nitrato añadida en el acto (a) cuando la concentración de al menos uno de sulfuro de hidrógeno atmosférico y de sulfuro disuelto detectada en el acto (c) es mayor que una concentración deseada, y/o en donde el acto (d) incluye un acto de aumentar una cantidad del material alcalino añadida en el acto (b) cuando la concentración de al menos uno de sulfuro de hidrógeno atmosférico y de sulfuro disuelto detectada en el acto (c) es menor que una concentración deseada, o en donde el acto (d) incluye un acto de disminuir una cantidad de compuesto que contiene nitrato añadida en el acto (a) cuando la concentración de al menos uno de sulfuro de hidrógeno atmosférico y de sulfuro disuelto detectada en el acto (c) es menor que una concentración deseada, y/o en donde el acto (d) incluye un acto de disminuir una cantidad del material alcalino añadida en el acto (b) cuando la concentración de al menos uno de sulfuro de hidrógeno atmosférico y de sulfuro disuelto detectada en el acto (c) es menor que una concentración deseada.

- 30 6. El método según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 5, en donde el acto (c) incluye un acto de detectar la concentración de sulfuro de hidrógeno atmosférico, la concentración de sulfuro disuelto, y la concentración de nitrato residual en la corriente de agua residual aguas abajo de la primera y segunda posiciones, y en donde el acto (d) incluye un acto de disminuir una cantidad de compuesto que contiene nitrato añadida en el acto (a) cuando la concentración de sulfuro de hidrógeno atmosférico y de sulfuro disuelto detectada en el acto (c) es menor que una concentración deseada y una concentración media de nitrato residual detectada en el acto (c) es de aproximadamente 1-2 mg/l o superior, y/o en donde el acto (d) incluye un acto de disminuir una cantidad del material alcalino añadida en el acto (b) cuando la concentración del sulfuro de hidrógeno atmosférico detectada en el acto (c) es menor que una primera concentración deseada, la concentración del sulfuro disuelto detectada en el acto (c) es mayor que una segunda concentración deseada y la concentración media de nitrato residual detectada en el acto (c) es de aproximadamente 1-2 mg/l o superior, o en donde el acto (d) incluye un acto de aumentar una cantidad del material alcalino añadida en el acto (b) cuando la concentración del sulfuro de hidrógeno atmosférico detectada en el acto (c) es mayor que una primera concentración deseada, la concentración del sulfuro disuelto detectada en el acto (c) es menor que una segunda concentración deseada, y una concentración media de nitrato residual detectada en el acto (c) es de aproximadamente 1-2 mg/l o mayor.

- 45 7. El método según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 6, que además comprende los actos de:

(e) detectar un pH de la corriente de agua residual en o antes de la segunda posición; y

(f) detectar un pH de la corriente de agua residual de la primera y segunda posiciones, preferiblemente en donde el acto (c) incluye un acto de detectar la concentración de sulfuro de hidrógeno atmosférico y la concentración de sulfuro disuelto en la corriente de agua residual aguas abajo de la primera y segunda posiciones, y en donde el acto (d) incluye un acto de disminuir una cantidad del material alcalino añadido en el acto (b) cuando la concentración de sulfuro de hidrógeno atmosférico y la concentración de sulfuro disuelto detectada en el acto (c) es menor que una concentración deseada, y el acto (f) indica que el pH de la corriente de agua residual de la primera y segunda posiciones es de al menos una unidad de pH superior al pH de la corriente de agua residual detectada en el acto (c), o en donde el acto (c) incluye un acto de detectar la concentración de sulfuro de hidrógeno atmosférico, la

- concentración de sulfuro disuelto, y la concentración de nitrato residual en la corriente de agua residual aguas abajo de la primera y segunda posiciones y en donde el acto (d) incluye un acto de disminuir una cantidad del material alcalino añadida en el acto (b) cuando la concentración de sulfuro de hidrógeno atmosférico y la concentración de sulfuro disuelto detectada en el acto (c) es menor que una concentración deseada, la concentración de nitrato residual detectada en el acto (c) es imperceptible, y el acto (f) indica que el pH de la corriente de agua residual de la primera y segunda posiciones es de al menos una unidad de pH superior al pH de la corriente de agua residual detectada en el acto (e).
8. El método según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 7, en donde los actos (a) y (b) se llevan a cabo en una misma posición en la corriente de agua residual.
9. Un sistema de tratamiento de agua residual, que comprende:
- una fuente de nitrato en comunicación fluida con el agua residual;
 - una fuente de material alcalino en comunicación fluida con el agua residual,
 - al menos un sensor, dispuesto en el agua residual, aguas abajo de la fuente de nitrato y de la fuente de material alcalino, para medir una concentración de al menos uno de sulfuro de hidrógeno atmosférico y de sulfuro disuelto, aguas abajo de la fuente de nitrato y de la fuente de material alcalino; y
 - medios, sensibles a la concentración medida del al menos uno de sulfuro de hidrógeno atmosférico y de sulfuro disuelto, aguas abajo de la fuente de nitrato y de la fuente de material alcalino, para reducir una cantidad de nitrato que se añade al agua residual, para reducir la concentración de al menos uno de sulfuro de hidrógeno atmosférico y de sulfuro disuelto, aguas abajo de la fuente de nitrato y de la fuente de material alcalino, hasta una concentración deseada, en donde los medios para reducir la cantidad de nitrato añadida al agua residual, incluyen un controlador implementado por ordenador conectado operativamente a una fuente de nitrato, a la fuente de material alcalino, y al menos a un sensor, y en donde el controlador está programado para añadir una cantidad suficiente de material alcalino al agua residual para aumentar un pH del agua residual aguas abajo de la fuente de nitrato y de la fuente de material alcalino para que sea de aproximadamente 7,5 a 8,5 unidades de pH.
10. El sistema de tratamiento de agua residual según la reivindicación 9, en donde los medios para reducir la cantidad de nitrato añadida al agua residual incluye medios para añadir una cantidad de material alcalino al agua residual, y/o en donde los medios para reducir la cantidad de nitrato añadida al agua residual incluye:
- al menos una de una primera válvula o bomba en comunicación fluida con la fuente de nitrato y el agua residual;
 - al menos una de una segunda válvula o bomba en comunicación fluida con la fuente de material alcalino y el agua residual; y
 - un controlador implementado por ordenador, acoplado eléctricamente a al menos una de la primera válvula o bomba, la al menos una de la segunda válvula o bomba, y el al menos un sensor.
11. El sistema de tratamiento de agua residual según la reivindicación 9 o 10, en donde el al menos un sensor incluye:
- un primer sensor dispuesto aguas abajo de la fuente de nitrato y de la fuente de material alcalino, para medir la concentración de sulfuro de hidrógeno atmosférico aguas abajo de la fuente de nitrato y de la fuente de material alcalino; y
 - un segundo sensor dispuesto aguas abajo de la fuente de nitrato y de la fuente de material alcalino, para medir la concentración de sulfuro disuelto aguas abajo de la fuente de nitrato y de la fuente de material alcalino, preferiblemente en donde el controlador se programa para ajustar la cantidad de material alcalino añadida al agua residual en respuesta a la concentración medida de sulfuro de hidrógeno atmosférico procedente del primer sensor y la concentración medida de sulfuro disuelto procedente del segundo sensor.
12. Un medio legible por ordenador codificado con un programa que, cuando se ejecuta en un procesador de un ordenador, dirige un controlador informático para realizar el método para tratar una corriente de agua residual según la reivindicación 1.
13. Un medio legible por ordenador según la reivindicación 12, en donde el acto (c) incluye un acto de detectar la concentración de sulfuro de hidrógeno atmosférico y la concentración de sulfuro disuelto en la corriente de agua residual aguas abajo de la primera y segunda posiciones, y en donde el acto (d) incluye un acto de aumentar una cantidad de compuesto que contiene nitrato añadida en el acto (a) cuando la concentración de al menos uno de sulfuro de hidrógeno atmosférico y de sulfuro disuelto detectada en el acto (c) es mayor que una concentración deseada, y/o en donde el acto (d) incluye un acto de disminuir una cantidad del compuesto que contiene nitrato añadida en el acto (a) cuando la concentración de al menos uno de sulfuro de hidrógeno atmosférico y de sulfuro disuelto detectada en el acto (c) es menor que una concentración deseada, y/o en donde el acto (d) incluye un acto de disminuir una cantidad de material alcalino añadida en el acto (b) cuando la concentración de al menos uno de

- 5 sulfuro de hidrógeno atmosférico y de sulfuro disuelto detectada en el acto (c) es menor que una concentración deseada, o en donde el acto (d) incluye un acto de disminuir una cantidad del compuesto que contiene nitrato añadida en el acto (a) cuando la concentración de al menos uno de sulfuro de hidrógeno atmosférico y de sulfuro disuelto detectada en el acto (c) es menor que una concentración deseada, o en donde el acto (d) incluye un acto de disminuir una cantidad del material alcalino añadida en el acto (c) cuando la concentración de al menos uno de sulfuro de hidrógeno atmosférico y de sulfuro disuelto detectada en el acto (c) es menor que una concentración deseada.
- 10 14. Un medio legible por ordenador según la reivindicación 12 o 13, en donde el acto (c) incluye un acto de detectar la concentración de sulfuro de hidrógeno atmosférico, la concentración de sulfuro disuelto, y la concentración de nitrato residual en la corriente de agua residual aguas abajo de la primera y segunda posiciones, y en donde el acto (d) incluye un acto de disminuir una cantidad de compuesto que contiene nitrato añadida en el acto (a) cuando la concentración de sulfuro de hidrógeno atmosférico y de sulfuro disuelto detectada en el acto (c) es menor que una concentración deseada y una concentración media de nitrato residual detectada en el acto (c) es de aproximadamente 1-2 mg/l o superior y/o en donde el acto (d) incluye un acto de disminuir una cantidad del material alcalino añadida en el acto (b) cuando la concentración del sulfuro de hidrógeno atmosférico y del sulfuro disuelto detectada en el acto (c) es menor que una primera concentración deseada, la concentración del sulfuro disuelto detectada en el acto (c) es mayor que una segunda concentración deseada, y una concentración media de nitrato residual es de aproximadamente 1-2 mg/l o superior, y/o en donde el acto (d) incluye un acto de aumentar una cantidad del material alcalino añadida en el acto (b) cuando la concentración del sulfuro de hidrógeno atmosférico detectada en el acto (c) es mayor que una primera concentración deseada, la concentración del sulfuro disuelto detectada en el acto (c) es menor que una segunda concentración deseada, y una concentración media de nitrato residual detectada en el acto (c) es de aproximadamente 1-2 mg/l o mayor.
- 15 15. Un medio legible por ordenador según la reivindicación 14, que además comprende los actos de:
- 20 (e) detectar un pH de la corriente de agua residual en o antes de la segunda posición; y
- 25 (f) detectar un pH de la corriente de agua residual de la primera y segunda posiciones, preferiblemente en donde el acto (d) incluye además un acto de disminuir una cantidad del material alcalino añadido en el acto (b) cuando el acto de (f) indica que el pH de la corriente de agua residual de la primera y segunda posiciones es de al menos una unidad de pH superior al pH de la corriente de agua residual detectada en el acto (e).

FIG. 1

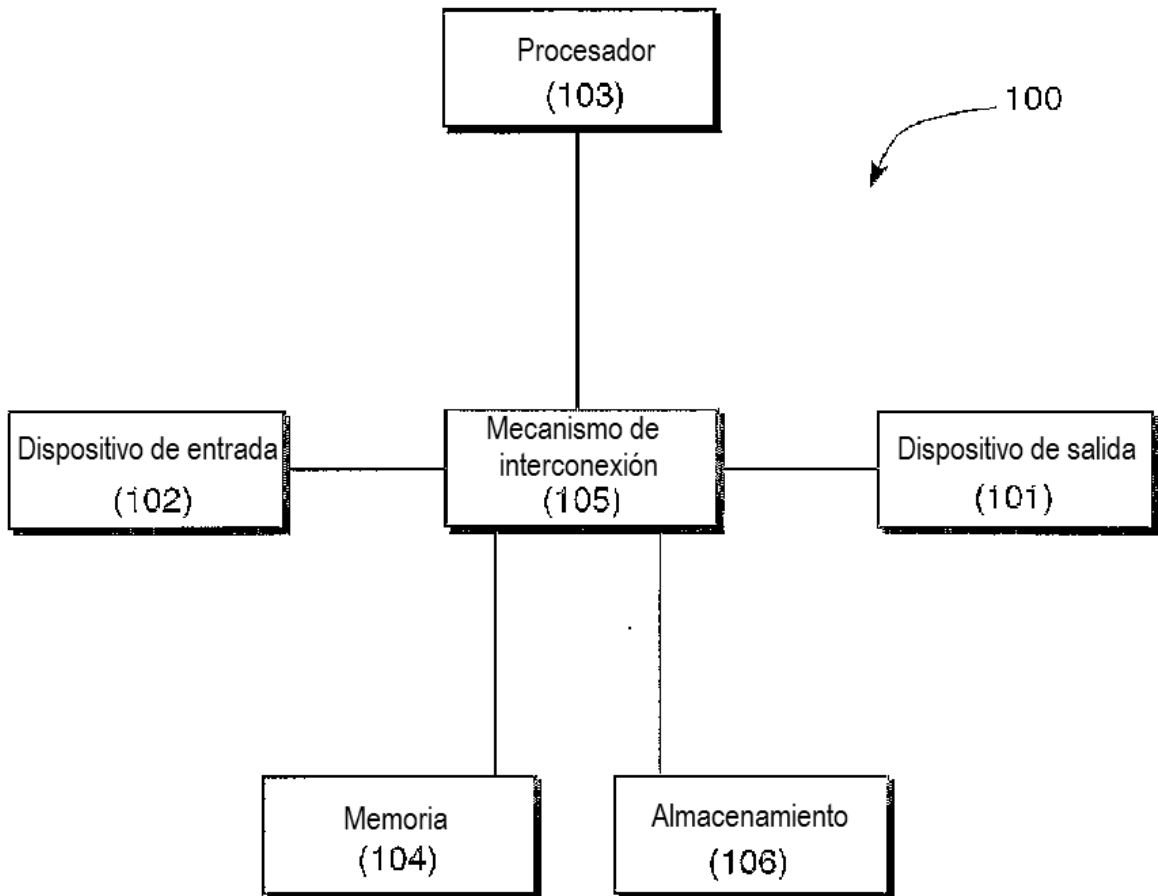


FIG. 2

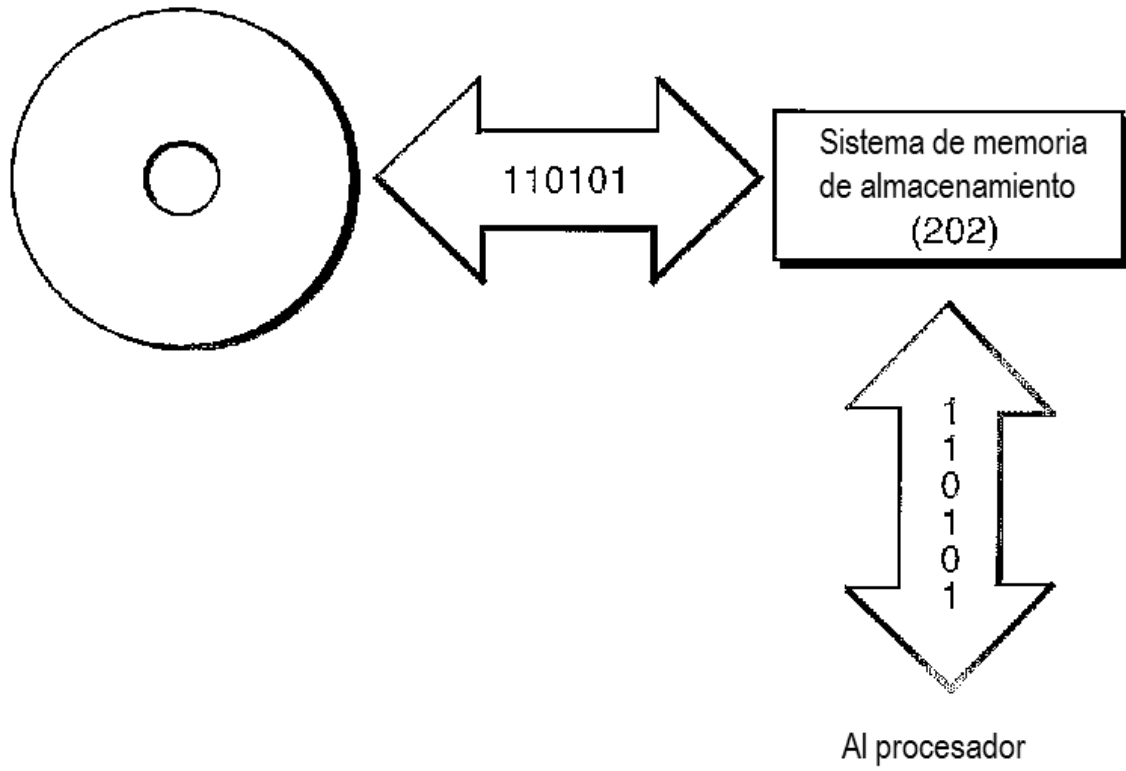
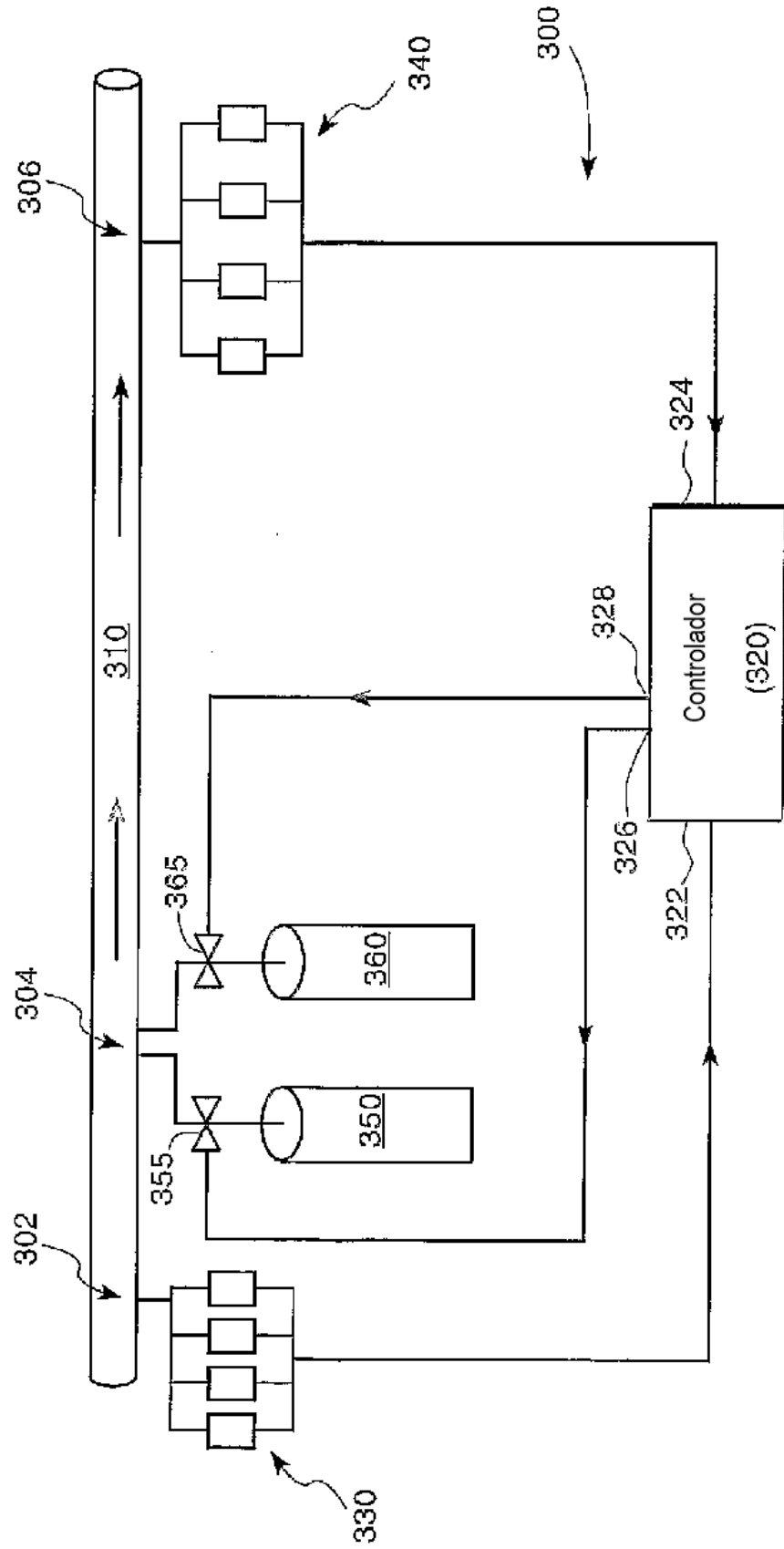


FIG. 3



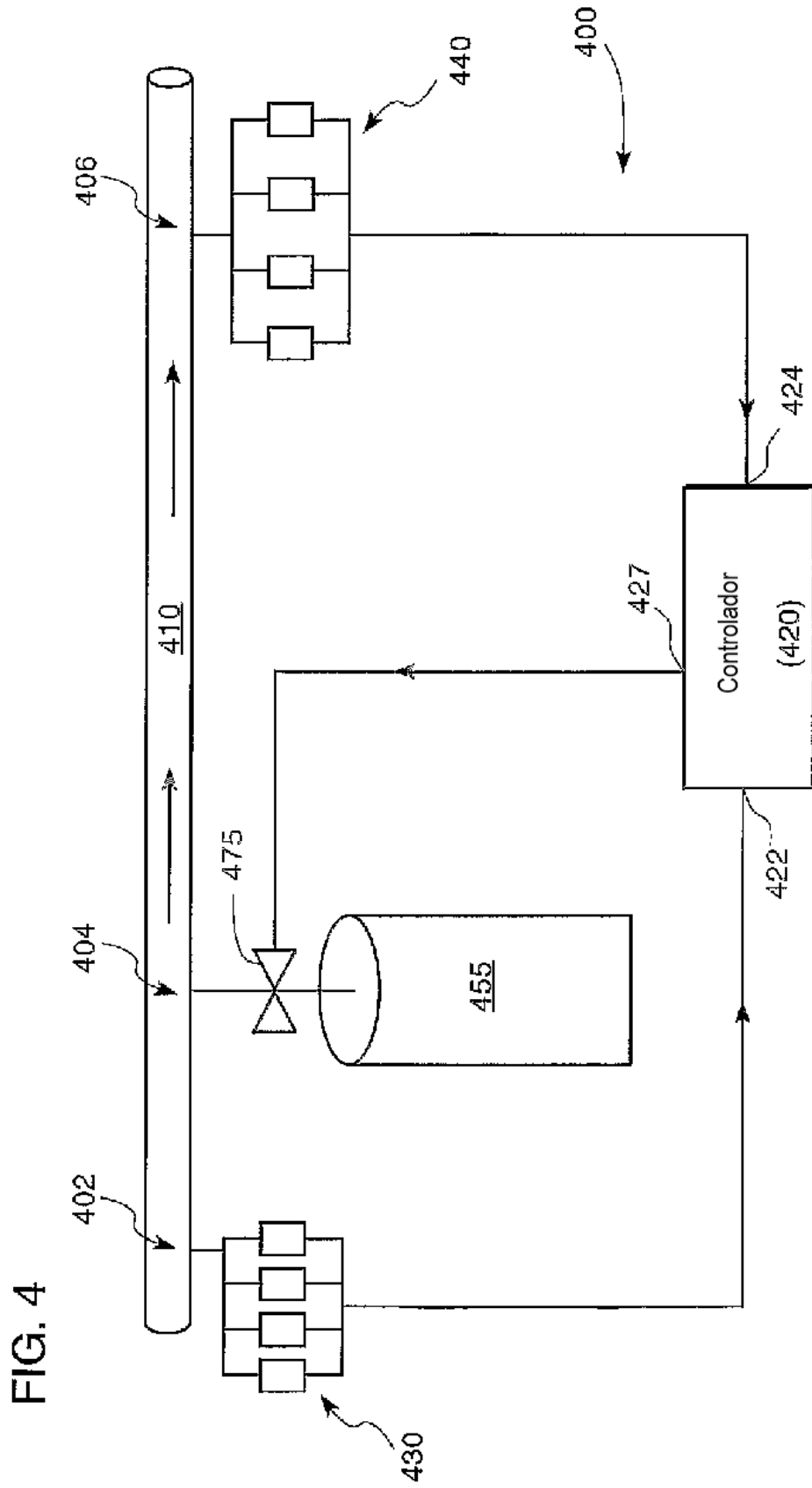


FIG. 4

FIG. 5

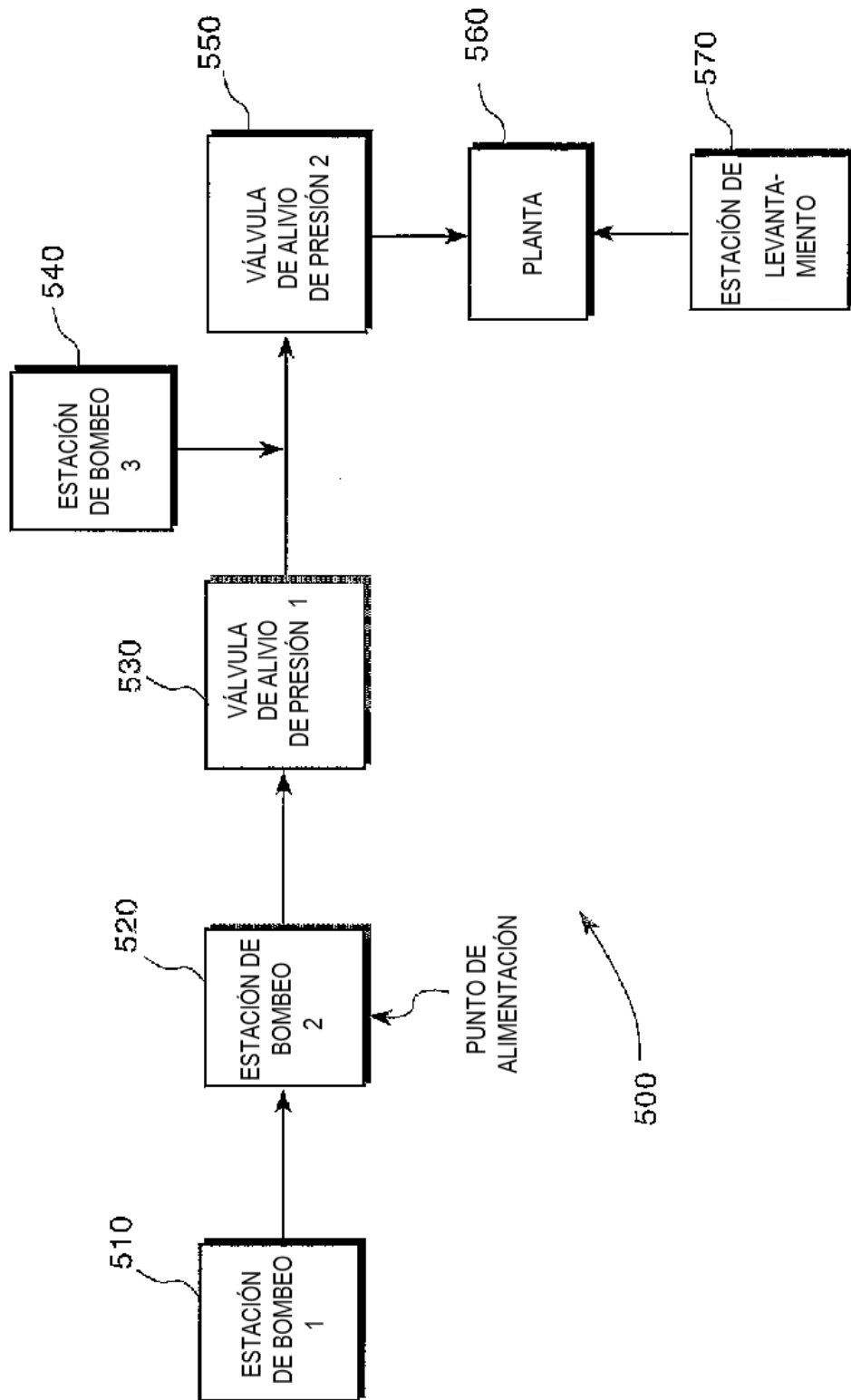


FIG. 6

