

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 529 138**

51 Int. Cl.:

**C02F 1/52** (2006.01)

**B01F 7/26** (2006.01)

**C02F 1/76** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **25.06.2008** **E 12170122 (1)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **12.11.2014** **EP 2495219**

54 Título: **Sistema y proceso para tratamiento de agua**

30 Prioridad:

**27.06.2007 US 946462 P**

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

**17.02.2015**

73 Titular/es:

**H R D CORPORATION (100.0%)**  
**14549 Minetta**  
**Houston, Texas 77035, US**

72 Inventor/es:

**HASSAN, ABBAS;**  
**BAGHERZADEH, EBRAHIM;**  
**ANTHONY, RAYFORD G.;**  
**HASSAN, AZIZ y**  
**BORSINGER, GREGORY**

74 Agente/Representante:

**VALLEJO LÓPEZ, Juan Pedro**

**ES 2 529 138 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**

Sistema y proceso para tratamiento de agua

5 **Antecedentes de la invención**

**Campo técnico**

10 La presente invención hace referencia en general al tratamiento de aguas. Más en particular, la presente invención hace referencia a un proceso para el tratamiento de aguas. El método publicado puede utilizarse para tratar aguas residuales o aguas sin tratar que contienen contaminantes, mediante el cual se pueden desinfectar, estabilizar y/o separar los contaminantes del agua.

15 **Antecedentes de la invención**

Los procesos para reciclar aguas residuales procedentes de actividades industriales presentan desafiantes problemas medioambientales y el gobierno regula estos procesos. El impacto sobre el medio ambiente de las aguas residuales utilizadas en actividades industriales ha llevado a la creación de regulaciones tanto a nivel local como federal. Estas regulaciones exigen la depuración de las aguas residuales antes de su liberación al medio ambiente y/o su introducción en los sistemas públicos de alcantarillado.

20 Se presentan varios problemas al depurar las aguas residuales industriales y domésticas. Por ejemplo, las aguas residuales comprenden a menudo cantidades significativas de sólidos en suspensión, minerales disueltos no deseables, y gases nocivos. Las aguas residuales también pueden comprender cantidades significativas de materia orgánica, incluyendo hidrocarburos (por ejemplo, aceites) y bacterias.

25 Por ejemplo, el documento BP 1541532A1 divulga un proceso de eliminación de aguas residuales en forma de un método de "biosólidos" que usa un tratamiento atomizador en línea que comprende: (A) una etapa en la que se prepara una dispersión gas-líquido que contiene un gas reactivo que consiste en oxígeno o un gas mixto de oxígeno y ozono en forma de burbujas ultrafinas por medio de dispersión en agua residual retornada o en agua limpia en una ubicación diferente de los recipientes y piscinas que pertenecen a un sistema de tratamiento de aguas residuales; y (B) una etapa en la que se introduce la dispersión gas-líquido en el agua residual en un recipiente de reacción para suministrar oxígeno a los microorganismos de la misma. Un ejemplo de generador de burbujas se puede encontrar en el documento WO 2007/023864A1.

30 Similarmente, el documento EP 1736444A1 divulga un proceso para la depuración biológica de agua residual bajo presión, en el que el agua residual se depura biológicamente usando una función de depuración llevada a cabo por medio de microorganismos a través de una reacción de oxidación y/o una reacción de reducción en un recipiente de reacción presurizado.

35 Además, el documento US 6251289B1 divulga un método para retirar contaminantes orgánicos de un líquido, por medio de la formación de un gas oxidante, preferentemente seleccionado entre un grupo que incluye ozono y dióxido de cloro, en burbujas de tamaño sub-micrónico, que se dispersan en un líquido inicialmente contaminado, después de lo cual se recupera el líquido.

40 Alternativamente, el documento US 5888403A divulga un tratamiento de agua por medio de la introducción de la misma en un primer mezclador de ozono y someténdola a una fuerza magnética, en la que el ozono suministrado a partir de un primer ozonizador se inyecta en el agua por medio de oxidación y coagulación de las sustancias objeto de oxidación. Posteriormente, se retiran las sustancias coaguladas por medio de un primer filtro y se introduce el agua resultante en un segundo mezclador de ozono, se somete de nuevo a una fuerza magnética, y se inyecta el ozono suministrado a partir de un segundo ozonizador en el agua. Finalmente, se hace pasar el agua a través de un recipiente de reacción lleno con carbono activado, y posteriormente se retiran las sustancias del agua por medio de un segundo filtro.

45 Además, con frecuencia, el agua sin tratar procedente de fuentes superficiales (por ejemplo, manantiales) o fuentes de agua subterránea requiere tratamiento para la retirada de contaminantes antes de su uso, por ejemplo, antes de su uso como agua potable.

50 Como se ha comentado anteriormente, existen numerosos esquemas de tratamiento de agua. Por ejemplo, se usan de forma rutinaria procesos de oxidación química para retirar los contaminantes orgánicos del agua residual. También se conocen los sistemas físicos de tratamiento de aguas residuales, incluyendo floculación/flotación de partículas sólidas. No obstante, todavía son necesarios en la industria procesos y sistemas para el tratamiento de agua en los cuales se permitan un rendimiento mejorado, mayor retirada de contaminantes y/o el uso de cantidades reducidas de coadyuvante de tratamiento (por ejemplo, gases tales como cloro y aire o líquidos tales como floculantes).

55

## Sumario

De acuerdo con la invención, se proporciona un método para retirar contaminantes de agua de alimentación, comprendiendo el método formar una dispersión que comprende burbujas de un gas de tratamiento en fase continua que comprende agua de alimentación por medio de la puesta en contacto del gas de tratamiento y la fase continua en un dispositivo de alta velocidad de cizallamiento que comprende al menos una combinación de rotor-estátor, en el que las burbujas tienen un diámetro medio menor de  $5\ \mu\text{m}$  y en el que el gas de tratamiento es un gas seleccionado entre aire, oxígeno y cloro. El agua de alimentación puede comprender agua residual, agua superficial, agua subterránea o una combinación de ellas. El contaminante puede estar seleccionado entre ácido sulfhídrico, hidrocarburos, materia particulada, bacterias y componentes volátiles. Las burbujas de gas pueden tener un diámetro de menos de  $1\ \mu\text{m}$  o no más de  $400\ \text{nm}$ . La formación de la dispersión puede comprender, someter una mezcla del gas de tratamiento y la fase continua a una tasa de cizallamiento mayor de aproximadamente  $20.000\ \text{s}^{-1}$ . Se puede hacer rotar al menos un rotor de una combinación de rotores-estátor del dispositivo de alta velocidad de cizallamiento a una velocidad periférica de al menos  $22,9\ \text{m/s}$  ( $4.500\ \text{pies/min}$ ) durante la formación de la dispersión. En los modos de realización, el dispositivo de alta velocidad de cizallamiento produce una presión local de al menos aproximadamente  $1034,2\ \text{MPa}$  ( $150.000\ \text{psi}$ ) en la punta de al menos un rotor durante la formación de la dispersión. El consumo energético del dispositivo de alta velocidad de cizallamiento durante la formación de la dispersión puede ser mayor de  $1000\ \text{W/m}^3$  de fluido. El método puede además comprender la introducción de la dispersión en un recipiente y la extracción de agua que contiene partículas a partir del recipiente. En los modos de realización, el método además comprende introducir al menos una parte del agua que contiene partículas en un separador. El sistema puede utilizar al menos dos dispositivos de mezcla de alta velocidad de cizallamiento. Al menos un dispositivo de alta velocidad de cizallamiento puede comprender al menos dos combinaciones de rotor-estátor. La tasa de cizallamiento proporcionada por una combinación de rotor-estátor puede ser mayor que la tasa de cizallamiento proporcionada por otra combinación de rotor-estátor.

Se divulga un proceso de alta velocidad de cizallamiento para mejorar el tratamiento de aguas residuales. El proceso de alta velocidad de cizallamiento puede reducir las limitaciones de transferencia de masa con respecto a los procesos convencionales de tratamiento de agua, aumentando de este modo la tasa de tratamiento de agua y permitiendo potencialmente una reducción del tiempo de contacto, una mayor retirada/neutralización de contaminantes no deseados y/o la reducción del coadyuvante de tratamiento. El proceso emplea un dispositivo mecánico de alta velocidad de cizallamiento externo para proporcionar un contacto mejorado entre los reaccionantes. En algunos modos de realización, este contacto mejorado tiene como resultado reacciones químicas aceleradas entre los reaccionantes de multifase. En un modo de realización, el proceso comprende el uso de un dispositivo externo de alta velocidad de cizallamiento presurizado para proporcionar el tratamiento de agua sin necesidad de recipientes de gran volumen en los cuales el agua consume tiempos de residencia elevados.

Ciertos modos de realización del método arriba descrito, proporcionan potencialmente unas condiciones de tiempo, temperatura y presión más óptimas que las posibles con otros métodos, y aumentan potencialmente la velocidad del proceso del tratamiento de aguas. Ciertos modos de realización de los métodos arriba descritos proporcionan potencialmente una reducción del coste total funcionando con tiempos de permanencia reducidos, proporcionando un aumento de producto por unidad de coadyuvante de tratamiento consumido, y/o reducido capital y/o costes de funcionamiento. Estos y otros modos de realización y ventajas potenciales serán apreciables en la siguiente descripción detallada y los dibujos.

## Breve descripción de los dibujos

Para una descripción más detallada del modo de realización preferido de la presente invención, se hará referencia ahora a los dibujos adjuntos, en los que:

La Figura 1 es un diagrama de flujo de un sistema de tratamiento de agua de acuerdo con un modo de realización de la presente divulgación.

La Figura 2 es una vista longitudinal de sección transversal de un dispositivo multi-etapa de alta velocidad de cizallamiento, como el empleado en un modo de realización del sistema.

Según se utiliza aquí, el término "dispersión" se refiere a una mezcla licuada que contiene al menos dos sustancias distinguibles (o "fases") que no se mezclan o disuelven juntas de forma sencilla. Según se utiliza aquí, una "dispersión" comprende una fase "continua" (o "matriz"), que sostiene en sí misma gotas, burbujas, y/o partículas discontinuas de la otra fase o sustancia. El término dispersión puede referirse por lo tanto a espumas que comprenden burbujas de gas suspendidas en una fase líquida continua, emulsiones en las que las gotas de un primer líquido se dispersan por toda una fase continua comprendiendo un segundo líquido con el que el primer líquido es insoluble, y las fases líquidas continuas a través de las cuales las partículas sólidas se distribuyen. Según se utiliza aquí, el término "dispersión" engloba fases líquidas continuas a través de las cuales las burbujas de gas se distribuyen, fases líquidas continuas a través de las cuales las partículas sólidas (por ejemplo un catalizador o contaminante sólido) se distribuyen, las fases líquidas continuas a través de las cuales se distribuyen gotas de un segundo líquido que es sustancialmente insoluble en la fase continua, y fases líquidas a través de las cuales se distribuye cualquier combinación de partículas sólidas, gotas de líquido insoluble y burbujas de gas. Por lo tanto, una dispersión puede existir como una mezcla homogénea

en algunos casos (por ejemplo un líquido/fase líquida), como una mezcla heterogénea (por ejemplo gas/líquido, sólido/líquido, o gas/sólido/líquido), dependiendo de la naturaleza de las materias seleccionadas para combinar. El término emulsión será utilizado aquí de manera más específica para referirse a dispersiones líquido/líquido o líquido/líquido/sólido.

La expresión "coadyuvante de tratamiento" se utilizará para referirse a cualquier componente añadido a agua contaminada. Por ejemplo, en modos de realización, un "coadyuvante de tratamiento" puede comprender un gas de tratamiento como el aire, el oxígeno, o el gas de cloro. En otros modos de realización, el "coadyuvante de tratamiento" puede comprender un líquido como un agente líquido floculante.

## Descripción detallada

**Visión general.** La velocidad de las reacciones químicas que comprenden líquidos, gases y sólidos depende del tiempo de contacto, la temperatura y la presión. En los casos en los que se desea hacer reaccionar dos o más materias primas de diferentes fases (por ejemplo sólido y líquido; líquido y gas; sólido, líquido y gas), uno de los factores de limitación que controla la velocidad de la reacción comprende el tiempo de contacto de los reactivos. En el caso de reacciones catalizadas de manera heterogénea existe un factor de limitación adicional de velocidad para eliminar los productos reactivos de la superficie del catalizador para permitir que el catalizador catalice otros reactivos. Frecuentemente, el tiempo de contacto para los reactivos y/o el catalizador se controla al mezclarlos, lo que proporciona un contacto con uno o más reactivos envueltos en una reacción química. En el caso de reacciones homogéneas, por ejemplo reacciones líquido/líquido, una mezcla mejorada puede aumentar la velocidad o extensión de la interacción y también homogeneizar la temperatura dentro de la(s) zona(s) de reacción.

Un sistema y un proceso para el tratamiento de agua comprende un dispositivo mecánico externo de alta velocidad de cizallamiento que proporciona un rápido contacto y mezcla de ingredientes químicos en un ambiente controlado en el dispositivo reactor/mezclador. El sistema y método de alta velocidad de cizallamiento publicado pueden incorporarse a procesos de tratamiento de agua convencionales, mejorando así la eliminación o neutralización del contaminante (por ejemplo hidrocarburo, bacterias, gas nocivo etc.) y/o la velocidad de aireación. El dispositivo de alta velocidad de cizallamiento puede utilizarse en varios procesos de tratamiento de agua, como los procesos de tratamiento biológico que eliminan materia orgánica disuelta en el agua, los procesos de separación física, y los procesos de tratamiento químicos. El uso de la alta velocidad de cizallamiento puede reducir las limitaciones de transferencia de masa en las reacciones/interacciones deseadas y así reducir el tiempo requerido para el tratamiento del agua, aumentando de ese modo el rendimiento obtenible. El producto expulsado puede aumentar como resultado del sistema y proceso de alta velocidad de cizallamiento. El uso del proceso de alta velocidad de cizallamiento que pone en contacto el coadyuvante de tratamiento con agua a tratar puede permitir el uso de menores cantidades de gas (por ejemplo de aire, cloro) y/o coadyuvantes de tratamiento líquidos (por ejemplo agentes líquidos floculantes) que en los procesos convencionales de tratamiento de agua.

El sistema de alta velocidad de cizallamiento puede utilizarse para formar una dispersión de un gas de tratamiento en un líquido, por ejemplo, una dispersión de oxígeno, aire, o cloro en el agua a tratar. Dicha dispersión puede aumentar la cantidad de gas disuelto debido al diámetro reducido de las burbujas en la dispersión, que normalmente tienen un promedio de diámetro de burbuja menor de aproximadamente 5 µm. Pese a que no se ha tratado en detalle aquí, el sistema de alta velocidad de cizallamiento también puede utilizarse para mezclar íntimamente dos corrientes de líquido, por ejemplo, una corriente de agua a tratar y un agente líquido floculante. En estos modos de realización, el dispositivo de alta velocidad de cizallamiento puede aumentar la floculación de los contaminantes por el efecto inmediato de la mezcla íntima dentro de la(s) zona(s) de interacción.

Otros usos del sistema y método publicados serán perceptibles tras la lectura de la publicación y tras observar los dibujos adjuntos. Mientras que la siguiente descripción se proporcionará con respecto a los procesos de tratamiento de aguas residuales comprendiendo la cloración y la aireación, los modos de realización aquí descritos sirven únicamente como ejemplo, y no como limitación. Por ejemplo, el sistema y proceso de alta velocidad de cizallamiento pueden utilizarse para el tratamiento de aguas residuales o aguas sin tratar y pueden utilizarse para aumentar la cloración y la aireación de forma particular, o cualquier combinación de inyección de líquido y/o gas conocida por aquellos expertos de la técnica para utilizarse en el tratamiento de corrientes de agua.

**Sistema de tratamiento de agua.** Un sistema de tratamiento de agua de alta velocidad de cizallamiento se describe ahora en relación con la Figura 1, que es un diagrama de flujo de proceso de un modo de realización de un sistema 1 de tratamiento de agua de alta velocidad de cizallamiento, para el tratamiento de agua que comprende al menos un contaminante que debe ser al menos parcialmente eliminado, estabilizado y/o neutralizado. Dicho sistema 1 puede utilizarse para la aireación en un sistema de tratamiento de aguas residuales biológico o bioquímico de acuerdo con el sistema de lodos activados o de aireación en un estanque/laguna aeróbico/a de aireación. En los modos de realización, el sistema 1 de alta velocidad de cizallamiento se usa para generar burbujas de aire en un sistema de tratamiento físico de agua residual (por ejemplo, un sistema de flotación de partículas sólidas). El proceso y sistema de alta velocidad de cizallamiento se pueden utilizar también para el tratamiento bactericida del agua con, por ejemplo, gas de cloro.

Es ampliamente conocido que el cloro puede utilizarse efectivamente para matar bacterias contenidas en el agua. El

cloro se utiliza comúnmente para el tratamiento de agua potable, y también para el tratamiento de agua utilizada en los sistemas de piscina, y ha sido extensamente utilizado para tratar aguas residuales durante los procesos de tratamiento de aguas residuales. Pese a que la adición de cloro al agua ha demostrado ser un método efectivo de matar bacterias contenidas en el agua, también tiene algunas desventajas. En primer lugar, el cloro, que es un gas relativamente volátil en su estado natural, se disipa fácilmente desde el agua cuando se deja expuesto a la atmósfera, en particular cuando el agua tiene una temperatura mayor de 21 °C (70 °F). Por lo tanto, es generalmente necesario realizar adiciones frecuentes de cloro al agua bajo estas condiciones con tal de mantener los niveles de bacterias en el agua dentro de unos intervalos seguros. Esto puede resultar económicamente indeseable. Tal y como se tratará más abajo, el sistema y proceso de alta velocidad de cizallamiento pueden permitir una reducción de la cantidad de cloro necesaria para el tratamiento de agua y/o el aumento de la velocidad del tratamiento de aguas minimizando la resistencia a la transferencia de masa a través de mezcla de alta velocidad de cizallamiento y creación de una dispersión de gas desinfectante en una fase acuosa continua.

Los componentes básicos de un sistema representativo de alta velocidad de cizallamiento incluyen un dispositivo mezclador externo de alta velocidad de cizallamiento (HSD), un recipiente, y una bomba. Cada uno de estos componentes se describe con más detalle abajo. Como se muestra en la Figura 1, el dispositivo de alta velocidad de cizallamiento 40 se localiza externo al recipiente/reactor 10. La línea 21 está conectada a la bomba 5 para introducir agua a tratar. La línea 13 conecta la bomba 5 al HSD 40, y la línea 18 conecta el HSD 40 al recipiente 10. La línea 22 puede estar conectada a la línea 13 para introducir un gas de tratamiento (por ejemplo aire, oxígeno, o cloro) o un líquido coadyuvante de tratamiento. De manera alternativa, la línea 22 puede estar conectada a una entrada del HSD 40. La línea 17 puede estar conectada a un recipiente 10 para la eliminación de un gas de tratamiento que no ha reaccionado, ácido sulfhídrico u otro gas eliminado del agua mediante su tratamiento. Componentes o pasos adicionales del proceso pueden incorporarse entre el recipiente 10 y HSD 40 o delante de la bomba 5 o HSD 40, si se desea, como será apreciable tras la lectura de la descripción del proceso de tratamiento de agua de alta velocidad de cizallamiento descrito aquí a continuación.

El sistema 1 de alta velocidad de cizallamiento puede comprender además un aparato de tratamiento preliminar, como la unidad 60 que puede utilizarse para eliminar grandes sólidos y grasas del agua a tratar en la línea 25. La unidad de pretratamiento 50 puede estar conectada a la bomba 5 a través de la línea 21. El sistema 1 de alta velocidad de cizallamiento también puede comprender un separador 30 posterior al HSD 40 para separar los productos sólidos pesados y los sólidos reducidos. El separador 30 puede estar conectado a un recipiente 10 a través de la línea 16. La línea 33 o la línea 36 del separador 30 pueden estar conectadas a la línea 21 o la línea 13 para proporcionar un funcionamiento multi-pase, si así se desea. Las líneas de entrada pueden incorporarse al sistema 1 de alta velocidad de cizallamiento para introducir materia en el sistema. Por ejemplo, la línea 14 puede estar conectada a un recipiente 10 para la introducción de materia, como un coadyuvante de ajuste del pH, en el recipiente 10; y la línea 35 puede conectarse a la línea 16 o a cualquier otra en un sistema 1 de alta velocidad de cizallamiento para introducir materia, como un floculante en el sistema 1 de alta velocidad de cizallamiento. Debería tenerse en cuenta que la Figura 1 es un diagrama de proceso simplificado y que las piezas potenciales del equipo del proceso, como los separadores, válvulas y compresores, se han omitido por motivos de claridad.

**Unidad(es) de Pretratamiento.** El sistema 1 de alta velocidad de cizallamiento puede comprender unidad(es) de pretratamiento 60 para la separación física de los componentes del agua a tratar. La unidad de pretratamiento 60 puede estar configurada para separar grandes objetos sólidos y/o grasa de la corriente de agua en la línea 25. Sin limitar, los ejemplos de un aparato de pretratamiento adecuado son tamices de barras, tanques de arena y tanques de sedimentación.

**Dispositivo de Mezcla de Alta Velocidad de Cizallamiento.** El dispositivo 40 externo de mezcla de alta velocidad de cizallamiento (HSD), algunas veces también denominado dispositivo de alta velocidad de cizallamiento o dispositivo de mezcla de alta velocidad de cizallamiento, se configura para recibir una corriente de entrada, a través de la línea 13, comprendiendo el agua a tratar y el coadyuvante de tratamiento. De manera alternativa, el HSD 40 puede estar configurado para recibir agua y el coadyuvante de tratamiento a través de líneas de entrada separadas (no mostradas). Pese a que en la Figura 1 se muestra un sistema 40 de alta velocidad de cizallamiento, debería entenderse que algunos modos de realización del sistema pueden tener uno o más de dos dispositivos de mezcla de alta velocidad de cizallamiento configurados en serie o en flujo paralelo. El HSD 40 es un dispositivo mecánico que utiliza una o más combinaciones de rotor-estátor, cada una de las cuales tiene un espacio entre el estátor y el rotor. El espacio entre el rotor y el estátor en cada combinación de rotor-estátor puede ser fijo o ajustable. El HSD 40 está configurado de tal manera que es capaz de producir burbujas o gotas de tamaño micrométrico o submicrométrico del coadyuvante de tratamiento en una mezcla acuosa fluyendo a través del dispositivo de alta velocidad de cizallamiento. El dispositivo de alta velocidad de cizallamiento comprende una estructura o alojamiento para que la presión y la temperatura de la mezcla acuosa puedan controlarse.

Los dispositivos de mezcla de alta velocidad de cizallamiento se dividen generalmente en tres clases generales, basadas en su capacidad para mezclar fluidos. Mezclar es el proceso de reducir el tamaño de las partículas o las especies carentes de homogeneidad dentro del fluido. Una forma de medir el grado de rigurosidad de la mezcla es a través del volumen de densidad de energía por unidad que genera el dispositivo de mezcla para alterar las partículas de fluido. Las clases se distinguen basándose en las densidades de energía obtenidas. Tres clases de mezcladores

- industriales con suficiente densidad de energía para producir consistentemente mezclas o emulsiones con tamaños de partículas en el intervalo de partículas submicrónicas de  $5 \times 10^{-5} \text{ m}$  (50 micrómetros) incluyen sistemas de válvula de homogeneización, molinos coloidales y mezcladores de alta velocidad. En la primera clase de dispositivos de alta velocidad de cizallamiento, denominados sistemas de válvula de homogeneización, el fluido a procesar se bombea con una presión muy alta a través de una válvula con abertura estrecha hacia un entorno de menor presión. La presión se gradúa a través de la válvula y la turbulencia y cavitación resultantes actúan para romper cualquier partícula en el fluido. Estos sistemas de válvula se utilizan comúnmente en la homogeneización de leche y pueden alterar los tamaños medios de las partículas en el intervalo de partículas submicrónicas a aproximadamente 1 micrómetro.
- En el extremo opuesto del espectro de densidad de energía se encuentra la tercera clase de dispositivos denominados dispositivos de baja energía. Estos sistemas comúnmente tienen palas o rotores de fluido que giran a gran velocidad en una reserva del fluido a procesar, el cual es en muchas de las aplicaciones comunes un producto alimenticio. Estos sistemas de baja energía se utilizan habitualmente cuando el tamaño medio de las partículas mayor de  $2 \times 10^{-5} \text{ m}$  (20 micrómetros) es aceptable en el fluido procesado.
- Entre los dispositivos de baja energía y los sistemas de válvula de homogeneización, en términos de la densidad de energía de mezcla transmitida al fluido, se encuentran los molinos coloidales y otros dispositivos de rotor-estátor de alta velocidad, que se clasifican como dispositivos de energía intermedia. Una configuración típica de molino coloidal incluye un rotor cónico o de disco separado de un estátor complementario, enfriado con líquido, mediante un espacio de rotor-estátor cuidadosamente controlado, que suele ser de entre 0,02 mm y 10 mm (0,001-0,40 pulgadas). Los rotores suelen activarse con un motor eléctrico a través de un mecanismo de activación directa o de correa. A medida que el rotor rota a alta velocidad, bombea el fluido entre el rotor y el estátor, y las fuerzas de cizallamiento generadas en el espacio procesan el fluido. La mayoría de los molinos coloidales con un ajuste adecuado consiguen una media de tamaño de partícula de  $1 \times 10^{-7} \text{ m}$  a  $2,5 \times 10^{-5} \text{ m}$  (0,1-25 micrómetros) en el fluido procesado. Estas capacidades proporcionan molinos coloidales adecuados para varias aplicaciones incluyendo el procesamiento de emulsiones basadas en coloide y aceite/agua como la requerida para la formación de cosméticos, mayonesa, o amalgama de silicona/plata, para la mezcla de alquitrán para tejados.
- La velocidad periférica es la distancia circunferencial recorrida por la punta del rotor por unidad de tiempo. La velocidad periférica es por lo tanto una función del diámetro de rotor y la frecuencia rotacional. La velocidad periférica (en metros por minuto, por ejemplo) puede calcularse multiplicando la distancia circunferencial transcrita por la punta del rotor,  $2\pi R$ , donde R es el radio del rotor (metros, por ejemplo) por la frecuencia de revolución (por ejemplo revoluciones por minuto, rpm). Un molino coloidal, por ejemplo, puede tener una velocidad periférica que excede 22,9 m/s (4500 pies/min) y puede exceder 40 m/s (7900 pies/min). Para el objetivo de esta publicación, la expresión 'alta velocidad de cizallamiento' se refiere a dispositivos mecánicos de rotor estátor (por ejemplo molinos coloidales o dispersores rotor-estátor) que consiguen velocidades periféricas que exceden 5,1 m/s (1000 pies/min) y requieren un dispositivo de potencia externo activado de manera mecánica para transportar la energía a la corriente de productos a reaccionar. Por ejemplo, en HSD 40, se puede alcanzar una velocidad periférica mayor de 22,9 m/s (4500 pies/min), y puede exceder 40 m/s (7900 pies/min). En algunos modos de realización, el HSD 40 es capaz de procesar al menos 300 l/h a una velocidad periférica de al menos 22,9 m/s (4500 pies/min). El consumo de energía puede ser de aproximadamente 1,5 kW. El HSD 40 combina una alta velocidad periférica con un espacio de cizallamiento muy pequeño para producir un cizallamiento significativo en la materia a procesar. El volumen de cizallamiento dependerá de la viscosidad del fluido. Por lo tanto, una región local de elevada presión y temperatura se crea en la punta del rotor durante el funcionamiento del dispositivo de alta velocidad de cizallamiento. En algunos casos la presión elevada local es de aproximadamente 1034,2 MPa (150.000 psi). En algunos casos la temperatura elevada local es de aproximadamente 500 °C. En algunos casos, estas elevadas presiones y temperaturas pueden persistir durante nanosegundos o picosegundos.
- Una aproximación de entrada de energía en el fluido (kW/l/min) puede estimarse midiendo la energía del motor (kW) y la salida de fluido (l/min). Como se menciona anteriormente, la velocidad periférica es la velocidad (pies/min o m/s) asociada al extremo de uno o más elementos giratorios que crean la fuerza mecánica aplicada al fluido. En los modos de realización, el gasto de energía del HSD 40 es mayor de 1000 W/m<sup>3</sup>. En los modos de realización, el gasto de energía del HSD 40 está en el intervalo entre 3000 W/m<sup>3</sup> y 7500 W/m<sup>3</sup> aproximadamente.
- La velocidad de cizallamiento es la velocidad periférica dividida entre el ancho de espacio de cizallamiento (mínima holgura entre el rotor y el estátor). La velocidad de cizallamiento generada en HSD 40 puede ser mayor de 20.000 s<sup>-1</sup>. En algunos modos de realización la velocidad de cizallamiento es de al menos 40.000 s<sup>-1</sup>. En algunos modos de realización la velocidad de cizallamiento es de al menos 100.000 s<sup>-1</sup>. En algunos modos de realización la velocidad de cizallamiento es de al menos 500.000 s<sup>-1</sup>. En algunos modos de realización la velocidad de cizallamiento es de al menos 1.000.000 s<sup>-1</sup>. En algunos modos de realización la velocidad de cizallamiento es de al menos 1.600.000 s<sup>-1</sup>. En los modos de realización, la velocidad de cizallamiento generada por HSD 40 está en el intervalo entre 20.000 s<sup>-1</sup> y 100.000 s<sup>-1</sup>. Por ejemplo, en una aplicación, la velocidad periférica del rotor es de 40 m/s (7900 pies/min) y el ancho de espacio de cizallamiento es de 0,0254 (0,001 pulgadas) produciendo una velocidad de cizallamiento de 1.600.000 s<sup>-1</sup>. En otra aplicación la velocidad periférica del rotor es de 22,9 m/s (4500 pies/min) y el ancho de espacio de cizallamiento es de 0,0254 mm (0,001 pulgadas) produciendo una velocidad de cizallamiento de 901.600 s<sup>-1</sup>. HSD 40 es capaz de dispersar o transportar rápidamente el coadyuvante de tratamiento en una fase líquida principal

(fase continua) que comprende agua, con la que normalmente sería insoluble, en las condiciones en las que al menos una parte del coadyuvante de tratamiento reacciona/interacciona con el contaminante en el agua. En algunos modos de realización, HSD 40 comprende un molino coloidal. Molinos coloidales adecuados son fabricados por *IKA® Works, Inc. Wilmington, NC* y *APV North America, Inc. Wilmington, MA*, por ejemplo. En algunos casos, HSD 40 comprende el reactor *Dispax Reactor®* de *IKA® Works, Inc.*

El dispositivo de alta velocidad de cizallamiento comprende al menos un elemento giratorio que crea una fuerza mecánica aplicada sobre la mezcla acuosa. El dispositivo de alta velocidad de cizallamiento comprende al menos un estátor y al menos un rotor separados por un espacio. Por ejemplo, los rotores pueden tener forma cónica o de disco y pueden estar separados de un estátor con forma complementaria. En los modos de realización, tanto el rotor como el estátor comprenden una pluralidad de dientes espaciados de manera circunferencial. En algunos modos de realización, el estátor o estátors son ajustables para obtener el espacio de cizallamiento deseado entre el rotor y el estátor de cada generador (serie de rotor/estátor). Las ranuras entre los dientes del rotor y/o el estátor pueden alternar la dirección en fases alternas para el incremento de turbulencia. Cada generador puede activarse con cualquier sistema de activación adecuado configurado para proporcionar la rotación necesaria.

En algunos modos de realización, el espacio mínimo (ancho de espacio de cizallamiento) entre el estátor y el rotor está en el intervalo entre aproximadamente 0,0254 mm (0,001 pulgadas) y 3,175 mm (0,125 pulgadas). En ciertos modos de realización, el mínimo espacio (ancho de espacio de cizallamiento) entre el estátor y el rotor es de aproximadamente 1,5 mm (0,060 pulgadas). En ciertas configuraciones, el espacio mínimo (espacio de cizallamiento) entre el rotor y el estátor es de al menos 1,7 mm (0,07 pulgadas). La velocidad de cizallamiento producida por el dispositivo de alta velocidad de cizallamiento puede variar con la posición longitudinal a lo largo del circuito del flujo. En algunos modos de realización, el rotor se establece para rotar a una velocidad acorde con el diámetro del rotor y la velocidad periférica deseada. En algunos modos de realización, el dispositivo de alta velocidad de cizallamiento tiene un espacio fijo (ancho de espacio de cizallamiento) entre el estátor y el rotor. De manera alternativa, el dispositivo de alta velocidad de cizallamiento tiene un espacio (ancho de espacio de cizallamiento) ajustable.

En algunos modos de realización, el HSD 40 comprende una cámara de fase única de dispersión (por ejemplo, una combinación de un sólo rotor/estátor, un único generador). En algunos modos de realización, el dispositivo de alta velocidad de cizallamiento 40 es un dispersor de fase múltiple en línea y comprende una pluralidad de generadores. En ciertos modos de realización, el HSD 40 comprende al menos dos generadores. En otros modos de realización, el dispositivo de alta velocidad de cizallamiento 40 comprende al menos 3 generadores de alta velocidad de cizallamiento. En algunos modos de realización, el dispositivo 40 de alta velocidad de cizallamiento es un mezclador multi-fase en el que la velocidad de cizallamiento (que, como se menciona anteriormente, varía de manera proporcional con la velocidad periférica y de manera inversa con el ancho de espacio del rotor/estátor) varía con la posición longitudinal a lo largo del recorrido del flujo como se describe con detalle a continuación.

En algunos modos de realización, cada fase del dispositivo de alta velocidad de cizallamiento tiene herramientas de mezcla intercambiables, que ofrecen flexibilidad. Por ejemplo, el reactor *DR 2000/4 Dispax 20 Reactor®* de *IKA® Works, Inc. Wilmington, NC* y *APV North America, Inc. Wilmington, MA*, comprende un módulo de dispersión de tres fases. Este módulo puede comprender hasta tres combinaciones (generadores) de rotor/estátor, eligiendo entre fino, medio, grueso, y súper fino para cada fase. Esto permite la creación de dispersiones con una distribución estrecha de la burbuja deseada (por ejemplo las burbujas de gas de tratamiento). En algunos modos de realización, cada una de las fases se activa con un generador súper fino. En algunos modos de realización, al menos una de las series del generador tiene un espacio mínimo de rotor/estátor (ancho de espacio de cizallamiento) mayor de aproximadamente 5 mm (0,2 pulgadas). En los modos de realización alternativos, al menos una de las series de generador tiene un espacio mínimo de rotor/estátor mayor de aproximadamente 1,7 mm (0,07 pulgadas).

En referencia ahora a la Figura 2, se presenta una sección transversal longitudinal de un dispositivo 200 de alta velocidad de cizallamiento adecuado. El dispositivo 200 de alta velocidad de cizallamiento de la Figura 2 es un dispositivo de dispersión que comprende tres fases o combinaciones de rotor-estátor. El dispositivo 200 de alta velocidad de cizallamiento es un dispositivo de dispersión que comprende tres fases o combinaciones rotor-estátor, 220, 230 y 240. Las combinaciones rotor-estátor se conocen como generadores 220, 230, 240 o fases sin limitación. Tres series rotor/estátor o generadores 220, 230 y 240 se alinean en serie a lo largo del eje de activación 250.

El primer generador 220 comprende un rotor 222 y un estátor 227. El segundo generador 230 comprende un rotor 223 y un estátor 228. El tercer generador 240 comprende un rotor 224 y un estátor 229. Para cada generador el rotor se activa de manera giratoria mediante entrada 250 y rota sobre el eje 260 como se indica con la flecha 265. La dirección de rotación puede ser opuesta a la mostrada por la flecha 265 (por ejemplo en dirección de las agujas del reloj o en el sentido contrario a las agujas del reloj sobre el eje de rotación 260). Los estátors 227, 228, y 229 pueden estar acoplados de manera fija al muro 255 del dispositivo de alta velocidad de cizallamiento 200.

Como se ha mencionado aquí anteriormente, cada generador tiene un ancho de espacio de cizallamiento que es la distancia mínima entre el rotor y estátor. En el modo de realización de la figura 2, el primer generador 220 comprende un primer espacio de cizallamiento 225; el segundo generador 230 comprende un segundo espacio de cizallamiento 235; y el tercer generador 240 comprende un tercer espacio de cizallamiento 245. En los modos de realización, los

espacios de cizallamiento 225, 235, 245 tienen un ancho en el intervalo de entre 0,025 mm a 10 mm. Alternativamente, el proceso comprende el uso de un dispositivo de alta velocidad de cizallamiento 200 en el que los espacios 225, 235, 245 tienen un ancho en el intervalo entre 0,5 mm y 2,5 mm aproximadamente. En algunos casos el ancho del espacio de cizallamiento se mantiene aproximadamente a 1,5 mm. De manera alternativa, los anchos de espacio de cizallamiento 225, 235, 245 son diferentes para los generadores 220, 230, 240. En algunos casos, el ancho del espacio de cizallamiento 225 del primer generador 220 es mayor al ancho del espacio de cizallamiento 235 del segundo generador 230, que es a su vez mayor que el ancho de espacio de cizallamiento 245 del tercer generador 240. Según se ha mencionado arriba, los generadores de cada fase pueden ser intercambiables, lo que ofrece flexibilidad. El dispositivo de alta velocidad de cizallamiento 200 puede configurarse para que la velocidad de cizallamiento aumente de forma gradual longitudinalmente a lo largo de la dirección del flujo 260.

Los generadores 220, 230, y 240 pueden comprender una caracterización gruesa, media, fina, y súper fina. Los rotores 222, 223 y 224 y los estatores 227, 228 y 229 pueden tener un diseño dentado. Cada generador puede comprender dos o más series de dientes de rotor-estátor. En los modos de realización, los rotores 222, 223 y 224 comprenden más de 10 dientes de rotor espaciados de manera circunferencial de la circunferencia de cada rotor. En los modos de realización, los estatores 227, 228 y 229 comprenden más de 10 dientes de estátor espaciados de manera circunferencial de la circunferencia de cada rotor. En los modos de realización, el diámetro interior del rotor es de unos 12 cm. En los modos de realización, el diámetro del rotor es de unos 6 cm. En los modos de realización, el diámetro exterior del estátor es de unos 15 cm. En los modos de realización, el diámetro del estátor es de unos 6,4 cm. En algunos modos de realización los rotores tienen un diámetro de 60 mm y los estatores de 64 mm, proporcionado un espacio de unos 4 mm. En ciertos modos de realización, cada una de las tres fases funciona con un generador súper fino, comprendiendo un espacio de cizallamiento de entre aproximadamente 0,025 mm y aproximadamente 4 mm. Para las aplicaciones en las que se envían partículas sólidas a través del dispositivo 40 de alta velocidad de cizallamiento, el ancho del espacio de cizallamiento apropiado (mínimo espacio entre el rotor y el estátor) puede seleccionarse para una reducción apropiada del tamaño de la partícula y aumentar el área de superficie de la partícula. En los modos de realización, esto puede ser beneficioso para aumentar la floración de partículas sólidas.

Un dispositivo 200 de alta velocidad de cizallamiento se configura para recibir desde la línea 13 una mezcla en la entrada 205. La mezcla comprende el coadyuvante de tratamiento como la fase dispersable y el agua a tratar como la fase continua. El agua de alimentación comprenderá también normalmente un componente de partícula sólida (por ejemplo un contaminante). El agua de alimentación que accede por la entrada 205 se bombea en serie a través de los generadores 220, 230, y después el 240, para que se forme la dispersión producto. La dispersión producto sale del dispositivo de alta velocidad de cizallamiento 200 a través de la salida 210 (y de la línea 18 de la figura 1). Los rotores 222, 223, 224 de cada generador rotan a una velocidad alta relativa a los estatores fijos 227, 228, 229, proporcionando una alta velocidad de cizallamiento. La rotación de los rotores bombea el fluido, tal como el agua de alimentación que accede por la entrada 205, hacia el exterior a través de los espacios de cizallamiento (y, si existen, a través de los espacios entre los dientes de rotor y los espacios entre los dientes de estátor), creando una condición localizada de alta velocidad de cizallamiento. Las fuerzas de alta velocidad de cizallamiento ejercidas sobre el fluido en los espacios de cizallamiento 225, 235 y 245 (y, si existen, en los espacios entre los dientes de rotor y los dientes de estátor) a través de los cuales el fluido fluye, procesan dicho fluido y crean una dispersión producto. La dispersión producto sale del dispositivo de alta velocidad de cizallamiento 200 a través de la salida 210 (y de la línea 18 de la figura 1).

La dispersión producto tiene un tamaño medio de burbuja de gas, gota, o partícula de menos de 5  $\mu\text{m}$  aproximadamente. En los modos de realización, el HSD 40, produce una dispersión con un promedio de tamaño de burbuja, gota y/o partícula de menos de 1,5  $\mu\text{m}$  aproximadamente. En los modos de realización, el HSD 40 produce una dispersión con un promedio de tamaño de burbuja, gota y/o partícula de menos de 1  $\mu\text{m}$ ; preferiblemente las burbujas, gotas o partículas del coadyuvante de tratamiento tienen un diámetro de partícula submicrónico. En ciertos casos, el tamaño medio de la burbuja, gota o partícula es de entre 0,1  $\mu\text{m}$  y 1,0  $\mu\text{m}$  aproximadamente. En los modos de realización, el HSD 40 produce una dispersión con un tamaño medio de burbuja, gota, o partícula de menos de 400 nm aproximadamente. En los modos de realización, el HSD 40, produce una dispersión con un promedio de tamaño de burbuja, gota y/o partícula de menos de 100 nm. El dispositivo 40 de alta velocidad de cizallamiento produce una dispersión que comprende gotas, partículas y/o burbujas de gas capaces de permanecer dispersas bajo presión atmosférica durante al menos 15 minutos aproximadamente.

Sin estar limitado por la teoría, se conoce en química de emulsión que las partículas o burbujas submicrónicas dispersas en un líquido sufren movimiento fundamentalmente a través de efectos de movimiento de Brown. Las burbujas en la dispersión producto creadas mediante el dispositivo de alta velocidad de cizallamiento 200 pueden tener una mayor movilidad a través de las capas límite de las partículas contaminantes sólidas, facilitando y acelerando así la reacción/interacción a través del transporte mejorado de reactivos.

En algunos casos, el dispositivo 200 de alta velocidad de cizallamiento comprende un reactor *Dispax Reactor*<sup>®</sup> de *IKA*<sup>®</sup> Works, Inc. *Wilmington, NC* y *APV North America, Inc. Wilmington, MA*. Hay varios modelos disponibles con varias conexiones de entrada/salida, caballos de potencia, velocidades periféricas, revoluciones por minuto de salida, y velocidades de flujo. La selección del dispositivo de alta velocidad de cizallamiento dependerá de los requerimientos del rendimiento y del tamaño de partícula, gota o burbuja deseados en la línea de dispersión 18 (figura 1) emergiendo por la salida 210 del dispositivo de alta velocidad de cizallamiento 200. El modelo *IKA*<sup>®</sup> DR 2000/4, por ejemplo,



comprende una correa de transmisión, un generador 4M, un anillo de sellado de politetrafluoroetileno, una pestaña de entrada de abrazadera sanitaria de 25,4 mm (1 pulgada), una pestaña de salida de abrazadera sanitaria de 19 mm (3/4 pulgadas), 2 caballos de potencia de energía, una velocidad de salida de unas 7900 revoluciones por minuto, una capacidad de flujo (de agua) aproximadamente de 300-700 l/h (dependiendo del generador), una velocidad periférica de entre 9,4 - 41 m/s (1850 pies/min a 8070 pies/min).

**Recipiente.** El recipiente o reactor 10 es cualquier tipo de recipiente en el que se pueda propagar el tratamiento de agua. Por ejemplo, un tanque reactor con depósito de mezcla continua o semicontinua, o uno o más reactores por lotes pueden utilizarse en serie o en paralelo. En algunas aplicaciones el recipiente 10 puede ser un clarificador o cualquier otro tipo de separador. En los modos de realización, el recipiente es un tanque de aireación. Se prevé cualquier número de líneas de entrada del reactor, con dos mostradas en la figura 1 (líneas 14 y 18). La línea de entrada 14 puede ser una línea de entrada alcalina conectada al recipiente 10 para introducir un coadyuvante de ajuste del pH durante el funcionamiento del sistema. El recipiente 10 puede comprender una línea de salida 17 para el gas de evacuación, y una línea de salida del producto 16 para una corriente acuosa. En los modos de realización, el recipiente 10 comprende una pluralidad de líneas de producto del reactor 16; por ejemplo, si el recipiente 10 es un separador, el recipiente puede comprender una salida para sólidos y una salida para agua depurada.

El tratamiento (por ejemplo la aireación o cloración) se llevará a cabo cuando existan un momento, temperatura y condiciones de presión adecuadas. En este sentido la interacción del contaminante y el coadyuvante de tratamiento, por ejemplo la oxidación química, pueden ocurrir en cualquier punto del diagrama de flujo de la figura 1, si el contacto es adecuado. En los modos de realización, una reacción significativa (por ejemplo de cloración) puede ocurrir dentro del HSD 40 y un recipiente 10 separado puede resultar innecesario. Es decir, en algunas aplicaciones el recipiente 10 puede omitirse. Por ejemplo, si los múltiples dispositivos/reactores de alta velocidad de cizallamiento se utilizan en serie o si el HSD 40 se utiliza para airear agua antes de su introducción en una laguna de aireación, como se describe con más detalle abajo, el recipiente 10 puede estar ausente. En dicho casos, el producto del HSD 40 puede introducirse directamente en el separador 30 o en una laguna o un estanque de aireación. El tamaño del reactor 10 puede variar considerablemente, dependiendo del equipo y la cantidad de materia residual a procesar en él.

El recipiente 10 puede incluir uno o más de los siguientes componentes: un sistema de agitación, medios de calentamiento y/o enfriamiento, instrumentación para medir la presión, instrumentación para medir la temperatura, uno o más puntos de inyección, y un regulador de nivel (no mostrado), como se conoce en la técnica del recipiente de reacción. Por ejemplo, un sistema de mezcla puede incluir un mezclador activado por motor. Un aparato de calentamiento y/o enfriamiento puede comprender, por ejemplo, un intercambiador de calor.

**Bombas.** La bomba 5 está configurada para un funcionamiento continuo o semicontinuo, y puede ser cualquier dispositivo de bombeo adecuado capaz de proporcionar un flujo controlado a través del HSD 40 y del sistema 1 de alta velocidad de cizallamiento. En los modos de realización, el sistema se activa con una presión atmosférica o cercana. La bomba 5 puede configurarse para proporcionar una presión mayor a 202,65kPa (2 atm) o mayor a 303,975 kPa (3 atm). Por ejemplo, una bomba de engranajes *Roper Type 1*, Roper Pump Company (Commerce Georgia) Dayton Pressure Booster Pump Model 2P372E, Dayton Electric Co (Niles, IL) es una bomba adecuada. Preferiblemente, todas las partes de contacto de la bomba comprenden acero inoxidable, por ejemplo, acero inoxidable 316. En algunos modos de realización del sistema, la bomba 5 llega a presiones mayores de 2026,5 kPa (20 atm) aproximadamente. Además de la bomba 5, una o más bombas adicionales (no mostradas) pueden incluirse en el sistema ilustrado en la figura 1. Por ejemplo, una bomba de carga, que puede ser similar a la bomba 5, puede incluirse entre el HSD 40 y el recipiente 10 para cargar la presión en el recipiente 10, o una bomba de reciclaje puede situarse en la línea 17 para reciclar gas desde el recipiente 10 hacia el HSD 40. Otro ejemplo puede ser una bomba de alimentación complementaria, que puede ser similar a la bomba 5, puede incluirse para introducir materia adicional en el recipiente 10.

**Separador.** El separador 30 es un recipiente adecuado que puede configurarse para separar el agua tratada de un contaminante sólido. El separador 30 puede ser, por ejemplo, un clarificador. En los modos de realización, el agua tratada se elimina desde debajo de los sólidos flotados en el separador 30 a través de la línea 36, mientras que, en otros modos de realización, el agua tratada se extrae a través de la línea 33 por encima de los sólidos a los que se les ha permitido establecerse en una parte inferior del separador 30.

**Proceso de tratamiento del agua.** El funcionamiento del sistema 1 de tratamiento de alta velocidad de cizallamiento se trata a continuación con referencia a la aireación y la cloración.

**Corriente de alimentación.** La línea 25 comprende agua objeto de tratamiento. El agua de alimentación de la línea 25 puede ser un material de residuo, como por ejemplo aguas residuales o sépticas de una pequeña comunidad o de una fábrica. En los modos de realización, el agua de alimentación comprende material residual de otras fuentes, como del sistema de tratamiento municipal, un sistema de descarga de residuos de una planta industrial o una instalación de procesamiento de comida, etc. En los modos de realización, una parte del agua en el sistema de alta velocidad de cizallamiento de la línea de entrada 21 comprende agua reciclada a través de la línea 45 desde el separador 30 o el recipiente 10. En los modos de realización, el agua a tratar comprende agua sin tratar, por ejemplo agua superficial o subterránea que puede tratarse mediante, por ejemplo, cloración a través del sistema publicado y el proceso de

desinfección de agua antes de su uso como agua potable. Dichas aguas sin tratar superficiales o subterráneas pueden comprender gas como ocurre normalmente: ácido sulfhídrico, gases producidos a través de la materia orgánica viva como algas, gases producidos a través de la degradación de la materia orgánica, cloro residual, etc. El agua puede por lo tanto airearse, de acuerdo con modos de realización de la presente publicación, para facilitar la liberación de estos gases. Dicha eliminación de gases del agua sin tratar puede mitigar los problemas de sabor y/u olor previos al uso del agua como agua potable. En los modos de realización, el agua se airea e introduce en el recipiente de aireación 10 que comprende microorganismos conocidos por consumir oxígeno y materia orgánica en las aguas residuales.

**Pretratamiento.** En los modos de realización, las aguas residuales entran en un dispositivo de pretratamiento 60 a través de la línea de entrada 25. Por ejemplo, el dispositivo de pretratamiento 60 puede comprender un tamiz de barras, un tanque de sedimentación o un subsistema de filtración, conocidos por aquellos expertos en la técnica. El dispositivo de pretratamiento 60 puede comprender, por ejemplo, un filtro de bolsa. La unidad de pretratamiento 60 puede configurarse para eliminar grasa y/o grandes sólidos como componentes de metal en el agua en la línea 25. La descarga de pretratamiento en la línea 26 comprende materia que no debe incorporarse al agua de la línea 21 que se procesa en el HSD 40.

**Formación de la Dispersión.** La línea 21 introduce agua a tratar en la bomba 5. Un coadyuvante de tratamiento gaseoso dispersable que comprende aire, oxígeno, o cloro o un líquido coadyuvante de tratamiento dispersable, se introduce en el sistema 1 a través de la línea 22, y se combina en la línea 13 con el flujo acuoso a tratar. En los modos de realización, el gas dispersable de la línea 22 comprende oxígeno. En los modos de realización, el gas dispersable de la línea 22 comprende cloro. En los modos de realización, el gas dispersable de la línea 22 comprende aire. En los modos de realización, la línea 22 comprende un líquido dispersable coadyuvante de tratamiento (por ejemplo un floculante).

En los modos de realización, el coadyuvante de tratamiento dispersable se transmite directamente al HSD 40, en lugar de combinarse con el flujo líquido de agua de alimentación de la línea 13. La bomba 5 puede activarse para bombear el líquido de la fuente de alimentación de agua a través de la línea 21, puede provocar presión y alimentar el HSD 40, y puede proporcionar un flujo controlado por todo el dispositivo de alta velocidad de cizallamiento (HSD 40) y el sistema de alta velocidad de cizallamiento 1. En algunos modos de realización, la bomba 5 aumenta la presión del flujo de entrada del HSD a más de 200 kPa (2 atm) o a más de 300 kPa (3 atmósferas). En este sentido, el sistema 1 de alta velocidad de cizallamiento puede combinar la alta velocidad de cizallamiento con la presión para mejorar la mezcla íntima del agua y el coadyuvante de tratamiento.

Después del bombeo, el coadyuvante de tratamiento dispersable y el agua de alimentación a tratar se mezclan en el HSD 40, lo que sirve para crear una dispersión fina (que puede ser, por ejemplo, una emulsión líquido/líquido o una dispersión gas/líquido) del coadyuvante de tratamiento en el agua de alimentación. Dentro del HSD 40, el coadyuvante de tratamiento y el agua de alimentación están altamente dispersados para que se formen nanoburbujas (nanogotas), burbujas (gotas) de tamaño submicrónico, y/o microburbujas (microgotas) del coadyuvante de tratamiento, con el fin de lograr una disolución superior mejorando la disolución y la mezcla. Por ejemplo, puede utilizarse el dispersor *IKA® model DR 2000/4*, un dispositivo de alta velocidad de cizallamiento, con tres fases de dispersión configurado con tres rotores en combinación con estátores, alineado en serie, para crear la dispersión del coadyuvante de tratamiento en un medio líquido que comprende agua de alimentación. Las series de rotor/estátor pueden configurarse como se ilustra en la figura 2, por ejemplo. Los reactivos combinados entran en el dispositivo de alta velocidad de cizallamiento a través de la línea 13 y entran en una primera fase de combinación del rotor/estátor. Los rotores y estátores de la primera fase pueden tener dientes de rotor y dientes de estátor de la primera fase espaciados de manera circunferencial, respectivamente. La dispersión bruta que sale de la primera fase entra en la segunda fase del rotor/estátor. El rotor y estátor de la segunda fase pueden comprender también dientes de rotor y dientes de estátor espaciados de manera circunferencial, respectivamente. La dispersión de burbuja o gota de tamaño reducido que sale de la segunda fase entra en la tercera fase de combinación rotor/estátor, que puede comprender un rotor y un estátor con dientes de rotor y dientes de estátor, respectivamente. La dispersión sale del dispositivo de alta velocidad de cizallamiento a través de la línea 18. En algunos modos de realización, la velocidad de cizallamiento aumenta de manera gradual longitudinalmente a lo largo de la dirección del flujo 260. Por ejemplo, en algunos modos de realización, la velocidad de cizallamiento en la primera fase rotor/estátor es mayor a la velocidad de cizallamiento en la(s) fase(s) subsiguiente(s). En otros modos de realización, la velocidad de cizallamiento es sustancialmente constante a lo largo de la dirección del flujo, con la velocidad de cizallamiento en cada fase siendo sustancialmente la misma.

Si el HSD 40 incluye un sellado de politetrafluoroetileno (PTFE), el sellado puede enfriarse usando cualquier técnica adecuada reconocida en la técnica. Por ejemplo, puede utilizarse el agua de alimentación de la línea 13 o de la línea 21 para enfriar el sellado y para hacer esto se precalienta antes de entrar en el dispositivo de alta velocidad de cizallamiento 40.

El rotor(es) de HSD 40 puede(n) ajustarse para rotar a una velocidad en proporción con el diámetro del rotor y la velocidad periférica deseada. Como se ha descrito anteriormente, el dispositivo de alta velocidad de cizallamiento (por ejemplo el molino coloidal o el dispositivo de dispersión de filo dentado) tiene un espacio fijo entre el estátor y el rotor o tiene un espacio ajustable. El HSD 40 sirve para mezclar íntimamente el coadyuvante de tratamiento dispersable y el

agua de alimentación. En algunos modos de realización del proceso, la resistencia al transporte de los reactivos se reduce con la activación del dispositivo de alta velocidad de cizallamiento para que la velocidad de reacción/interacción aumente por encima de un 5 % aproximadamente. En algunos modos de realización del proceso, la resistencia al transporte de los reactivos se reduce mediante el uso del dispositivo de alta velocidad de cizallamiento para que la velocidad de reacción/interacción aumente por encima de un factor 5 aproximadamente. En algunos modos de realización, la velocidad de reacción/interacción aumenta al menos en un factor de 10. En algunos modos de realización, la velocidad aumenta en un factor en el intervalo entre 10 y aproximadamente 100.

En algunos modos de realización, el HSD 40 emite al menos 300 L/h a una velocidad periférica de al menos 22,9 m/s (4500 pies/min) y que puede exceder 40 m/s (7900 pies/min). El consumo de energía puede ser de aproximadamente 1,5 kW. Pese a que es difícil medir la temperatura y presión instantánea en la punta de la unidad de rotación de cizallamiento o en el elemento giratorio del HSD 40, se estima que la temperatura localizada del fluido en él excede los 500°C y las presiones exceden los 500kg/cm<sup>2</sup> bajo condiciones de cavitación. La mezcla de alta velocidad de cizallamiento tiene como resultado una dispersión del coadyuvante de tratamiento dispersable en burbujas o gotas de tamaño de micrónico o submicrónico. En algunos modos de realización, la dispersión resultante tiene una burbuja o gota de tamaño medio menor de 1,5 µm aproximadamente. Por consiguiente, la dispersión que sale del HSD 40 a través de la línea 18 comprende gotas o burbujas de gas de tamaño micrónico y/o submicrónico. En algunos modos de realización, el tamaño medio de la burbuja o gota está en el intervalo entre 0,4 µm y 1,5 µm. En algunos modos de realización, la dispersión resultante tiene una burbuja o gota de tamaño medio menor a 1 µm. En algunos modos de realización, el tamaño medio de la burbuja o gota es menor a 400 nm, y puede ser de aproximadamente 100 nm en algunos casos. En muchos modos de realización, la dispersión es capaz de permanecer dispersa con presión atmosférica durante al menos 15 minutos.

Una vez dispersada, la dispersión gas/líquido/sólido o líquido/líquido/sólido resultante, sale del HSD 40 a través de la línea 18 y llena el recipiente 10 como se muestra en la figura 1.

**Aireación.** En los casos en los que el sistema 1 de alta velocidad de cizallamiento se usa para la aireación, la dispersión de la línea 18 comprende oxígeno o aire dispersado en agua. La aireación se puede usar para el tratamiento físico de agua residual o el tratamiento biológico de agua residual utilizando micro-organismos que consumen oxígeno.

En un sistema de tratamiento de agua residual de acuerdo con el proceso de lodos activados, se mantiene un cultivo continuo de microorganismos mixtos en presencia de oxígeno disuelto usando sustancias orgánicas presentes en el agua residual como medio de cultivo. Se oxidan las sustancias orgánicas y se separan (por ejemplo, por medio de sedimentación) a partir de un flóculo de microorganismos o un lodo activado que comprende el medio y los microorganismos mixtos. El proceso de lagunas aerobias aireadas funciona basado en un principio similar, pero no incluye la retroalimentación del lodo activado.

En el tratamiento bioquímico del agua residual, la aireación lleva a cabo la disolución del oxígeno del aire en el agua residual y/o la disipación del gas innecesario o el material volátil presente en el agua. Normalmente, la aireación acompaña a la mezcla o agitación del agua residual. El suministro de oxígeno permite el transcurso de reacciones bioquímicas tales como la oxidación de sustancias orgánicas, proliferación de microorganismos o la auto-oxidación por medio del lodo activado al tiempo que la mezcla y la agitación permiten una suspensión satisfactoria del lodo activado para lograr un contacto eficaz entre el oxígeno absorbido y el lodo. La aireación puede tener lugar con HSD 40 y un recipiente 10 en cuyo interior la dispersión de aire/oxígeno del agua residual fluye y al cual se retroalimenta el lodo activado. En proceso de lagunaje, la aireación puede continuar en la laguna en la cual descansa el agua residual durante un período de tiempo relativamente largo. Las velocidades de las reacciones bioquímicas dependen del período de aireación y de la cantidad de microorganismos y materiales orgánicos; normalmente dichas reacciones transcurren a una velocidad lenta en comparación con otras reacciones químicas. Por consiguiente, generalmente se requieren recipientes de tratamiento más grandes y un espacio mayor para la instalación. El uso de un dispositivo 40 de alta velocidad de cizallamiento en dicho proceso de aireación puede servir para aumentar la velocidad y/o la eficacia de dichos procesos de aireación y puede reducir los requisitos de volumen del recipiente de tratamiento o las cantidades de coadyuvante de tratamiento necesarios para el tratamiento suficiente del agua.

En los modos de realización, se usa el sistema de alta velocidad de cizallamiento para mejorar la aireación de la corriente de agua. La Demanda Bioquímica de Oxígeno o la Demanda Biológica de Oxígeno (DBO) es un procedimiento químico usado para determinar cómo de rápido los organismos biológicos usan el oxígeno en un cuerpo de agua. DBO se puede usar para indicar la eficacia del tratamiento de aguas residuales. En el proceso de alta velocidad de cizallamiento divulgado aquí, la absorción de oxígeno con respecto a la cantidad de oxígeno inyectado, o la eficacia de absorción de oxígeno, se pueden mejorar en gran medida. En los modos de realización, se aumenta DBO utilizando alta velocidad de cizallamiento. Por consiguiente, se puede reducir el período de aireación necesario, se puede diseñar un recipiente 10 de aireación más compacto que tenga una demanda de volumen elevada o, en algunos modos de realización, se elimina el recipiente discreto 10.

En los procesos de aireación, se puede introducir una dispersión que comprende aire dispersado en una fase continua del agua objeto de tratamiento, en el interior de un recipiente de aireación 10. En los modos de realización, el recipiente 10 comprende microorganismos. Alternativamente, la dispersión de la línea 18 se puede introducir directamente en un estanque o laguna en la cual están presentes microorganismos que consumen el material orgánico disuelto en el agua.

En los modos de realización, en el tratamiento físico de aguas residuales que usa aireación, el recipiente 10 se encuentra ausente, y se introduce la dispersión que comprende oxígeno dispersado en agua directamente en el interior de un separador 30, o estanque o laguna. Dentro del estanque o laguna de aireación, se puede permitir la sedimentación de los sólidos a partir del agua que se puede retirar por medio de bombeo, evaporación u otra técnica convencional de retirada de agua.

En los modos de realización que utilizan un recipiente 10, se puede operar el recipiente/reactor 10 en modo de flujo continuo o semicontinuo, o se puede operar en modo por lotes. Se pueden mantener los contenidos del recipiente 10 a una temperatura de reacción especificada usando medios de calentamiento y/o enfriamiento (por ejemplo, bobinas de refrigeración) e instrumentación de medición de temperatura. Se puede controlar la presión en el recipiente usando instrumentación apropiada de medición de presión, y se puede controlar el nivel de reactivos en el recipiente usando un regulador de nivel (no mostrado), empleando técnicas que son conocidas por los expertos en la técnica. Se pueden agitar de forma continua o semicontinua los contenidos con un aparato de mezcla mecánica, por ejemplo. Se puede operar el recipiente 10 a temperatura ambiente o a una temperatura próxima a temperatura ambiente y presión atmosférica. El recipiente 10 puede comprender micro-organismos. En dichos modos de realización, los microorganismos consumen al menos una parte de la materia orgánica disuelta en el agua y consumen gas de tratamiento (por ejemplo, oxígeno) en el proceso.

El gas producto, tal como ácido sulfhídrico liberado en el proceso de aireación, y el gas de tratamiento no consumido pueden abandonar el recipiente 10 por medio de la línea de gas 17. Se puede retirar el gas de tratamiento que no ha reaccionado por medio de la línea 17 y se puede reciclar en HSD 40 o en el recipiente 10, si se desea.

En el modo de realización de la Figura 1, el agua abandona el recipiente 10 por medio de la línea 16. En los modos de realización, la corriente producto de la línea 16 comprende agua y sólidos. En los modos de realización en los cuales el recipiente 10 comprende micro-organismos, el producto de la línea de salida 16 puede además comprender micro-organismos. En los modos de realización, se introduce el producto de la línea 16 en el separador 30. El separador 30 puede separar el agua tratada de los sólidos. En los modos de realización, se flocculan los sólidos y se retira el agua tratada de la parte inferior del separador 30. En los modos de realización, la línea 35 puede introducir un agente de floculación en la línea 16 para mejorar la flotación de los sólidos por encima del agua tratada en el separador 30. El agente de floculación puede ser un floculante convencional que contribuye a floccular las partículas finas de manera que experimenten coalescencia de manera más rápida y floten en forma de lodo sobre el agua. También se prevé que se puede usar un dispositivo de alta velocidad de cizallamiento similar a HSD 40 para introducir un floculante líquido (o sólido).

En otros modos de realización, se introduce el producto de la línea 16 en el separador 30, se dejan sedimentar los sólidos en la parte inferior del separador, y se retira el agua tratada por medio de la línea 33 a partir de la parte superior del separador 30. En los modos de realización en los cuales el recipiente 10 y el producto de la línea 16 comprenden micro-organismos, se puede reciclar una parte de los microorganismos separados a partir del agua tratada en el separador 30 hasta el recipiente 10 por medio de la línea 36 (si se sedimentan los sólidos dentro del separador 30) o la tubería 33 (si se hacen flotar los sólidos dentro del separador 30) y reciclar en la línea 44 para repoblar los microorganismos en el recipiente 10. Se pueden enviar los sólidos restantes separados a partir del agua tratada a un sistema de manipulación de sólidos. El agua tratada producida por medio de aireación como se ha descrito se puede tratar posteriormente con oxidación química como se comenta a continuación.

**Oxidación química.** El sistema 1 de alta velocidad de cizallamiento puede utilizarse en un método de tratamiento de aguas residuales por oxidación con cloro. La oxidación química puede desinfectar o estabilizar partículas sólidas en el agua y producir lodo parcialmente libre de agua. En estas aplicaciones, el coadyuvante de tratamiento apto para dispersión en la línea 22 comprende gas de cloro para la oxidación química de las aguas residuales y la dispersión producto en la línea 18 comprende cloro disperso en una fase acuosa continua. Una parte del gas apto para dispersión de la línea 22 puede comprender gas de cloro reciclado de cualquier parte del sistema, por ejemplo, extraído del gas que sale del recipiente 10 a través de la línea de gas 17. La dispersión puede introducirse en el recipiente 10. Como resultado de la mezcla íntima de los reactivos antes de entrar en el recipiente 10, una parte significativa de la oxidación química puede producirse en el HSD 40.

La introducción del gas apto para dispersión que comprende cloro en la línea 22 del agua a tratar produce ácido hipocloroso, que produce oxígeno nativo e iones hipoclorito. Las partículas orgánicas sólidas en el agua se oxidan y se forman minúsculas burbujas de gas, incluyendo dióxido de nitrógeno y de carbono, que puede adherirse a las partículas. La reacción entre el gas de cloro y las materias de las aguas residuales producen ácido clorhídrico y ácido hipocloroso. En el intervalo de pH deseado (sustancialmente neutro), puede formarse más ácido hipocloroso con el cloro gaseoso que ácido clorhídrico. Pese a que el ácido clorhídrico (HCl) no oxidará las partículas orgánicas sólidas, ayudará a la desinfección. El ácido hipocloroso (HOCl) así como el ion hipoclorito, que se forma también mediante y con el HOCl, son potentes oxidantes. El pH puede controlarse para que esté presente una cantidad suficiente de

oxidantes potentes, particularmente ácido hipocloroso, que es el oxidante presente más potente.

El pH de las aguas residuales puede alterarse con medios conocidos por aquellos expertos en la técnica. Por ejemplo, se puede utilizar un pretratamiento posterior al pretratamiento 60, un tanque contenedor para ajustar el pH a un nivel que está cercano a la neutralidad del ácido alcalino, que está en el intervalo de pH entre 6,5 hasta 7,5 aproximadamente o más preferiblemente en el intervalo de pH entre 6,8 y 7,0 aproximadamente. Las aguas residuales están normalmente a un nivel pH más bajo que éste, y por lo tanto, puede utilizarse la adición de hidróxido sódico, cal o similares en el sistema 1 de alta velocidad de cizallamiento para elevar el pH al nivel deseado. De manera inversa, si la materia residual es demasiado alcalina, el pH puede disminuirse añadiendo agua a un pH o ácido bajos. En algunos modos de realización, la materia de ajuste del pH se añade en otra parte del sistema 1 de alta velocidad de cizallamiento, por ejemplo a través de la entrada del reactor en la línea 14 o en la línea 13. Un pretratamiento de ajuste del pH de la materia a tratar introducido a través de la línea 21 puede permitir la formación de mayores cantidades de más oxidantes efectivos, en particular de ácido hipocloroso. Esto puede ayudar a la estabilización de los sólidos residuales.

El uso de un nivel pH sustancialmente neutro en un sistema 1 de alta velocidad de cizallamiento, puede así resultar deseable para la eliminación de olores desagradables y provoca un mayor grado de desinfección y/o estabilización del sedimento resultante. El uso del sistema de alta velocidad de cizallamiento 40 puede permitir una oxidación más completa de las partículas sólidas residuales al mejorar el contacto de los contaminantes con el oxidante. Cuando el proceso se activa en el intervalo deseado de pH mencionado anteriormente, se puede formar suficiente ácido hipocloroso para desinfectar de manera eficaz las materias sólidas, es decir, para destruir los patógenos (por ejemplo las bacterias y los virus, etc.) y eliminar el crecimiento de otras bacterias.

En un modo de realización, la materia de aguas residuales que comprende partículas de sólidos orgánicos suspendidos en el agua se trata mezclando el agua de alimentación completamente con el gas de cloro en el dispositivo 40 de alta velocidad de cizallamiento. Las reacciones de oxidación entre el cloro y el agua estabilizan y/o desinfectan las partículas sólidas residuales de otro modo putrescibles e inestables. El gas de cloro puede introducirse en la línea 13 o directamente en el HSD 40. La cantidad de cloro introducida en el sistema 1 de alta velocidad de cizallamiento varía dependiendo de la naturaleza de la materia a tratar, velocidad del flujo, etc. La dosis de cloro puede ser de entre 700-3000 mg/l.

Se puede introducir la dispersión de la línea 18 que comprende cloro disperso en una fase continua del agua a tratar en el recipiente 10. Dentro del recipiente 10, las reacciones de oxidación química continúan. El recipiente/reactor 10 puede funcionar en un modo de flujo tanto continuo como semicontinuo, o puede funcionar en modo por lotes. Los contenidos del recipiente 10 pueden mantenerse a una temperatura de reacción específica utilizando medios de calentamiento y/o enfriamiento (por ejemplo bobinas de refrigeración) e instrumentación para medir la temperatura. La presión en el recipiente puede controlarse utilizando instrumentación adecuada para medir la presión, y el nivel de reactivos en el recipiente puede controlarse utilizando un regulador de nivel (no mostrado), empleando técnicas conocidas por aquellos expertos en la técnica. Los contenidos pueden mezclarse de manera continua o semicontinua con un aparato de mezcla mecánica, por ejemplo. El recipiente 10 puede funcionar a temperatura ambiente y presión atmosférica. Como se menciona arriba, el hidróxido sódico u otro álcali pueden introducirse mediante la entrada de la línea 14 para aumentar el pH cuando el pH del agua de alimentación en la línea 25 está por debajo del valor deseado.

El gas producto y el gas de cloro no consumido pueden salir del recipiente 10 a través de la línea de gas 17. El gas de tratamiento no reaccionado puede extraerse de la línea 17 y reciclarse en el HSD 40 o en el recipiente 10, si se desea. La temperatura y la presión del sistema 1 de alta velocidad de cizallamiento varían dependiendo del agua de alimentación, el tipo de oxidante empleado, y la mezcla realizada en el dispositivo de alta velocidad de cizallamiento 40. El reactor 10 puede utilizarse bajo presión. Pueden emplearse condiciones de temperatura, presión, velocidad de espacio y proporción de gas de cloro similares a aquellas utilizadas en el tratamiento convencional de agua. A modo de ejemplo, la oxidación química puede utilizarse con una presión en el intervalo entre 200 kPa (30 psig) y 310 kPa (45 psig) aproximadamente. En los modos de realización, la oxidación química se produce con una presión de 240 kPa (35 psig) aproximadamente. En los modos de realización, la oxidación se lleva a cabo a temperatura ambiente o a una temperatura próxima a temperatura ambiente.

En el modo de realización de la figura 1 el producto sale del recipiente 10 a través de la línea 16. En los modos de realización, la agua de producto en la línea 16 comprende agua y sólidos. El producto en la línea 16 puede introducirse en el separador 30. El agua tratada se separa de los sólidos en el separador 30. En los modos de realización los sólidos flocculan y flotan como una capa de lodo sobre el agua y el agua tratada se extrae de la parte inferior del separador 30. En dichos modos de realización, la línea 35 puede introducir un agente flocculante en la línea 16 para mejorar la flotación del sólido sobre el agua tratada y la separación en el separador 30. En otro modo de realización, el producto en la línea 16 se introduce en el separador 30, se permite a los sólidos establecerse al fondo del separador 30, y el agua tratada se extrae a través de la línea 33 desde la parte superior del separador 30. En los modos de realización, el agua tratada se procesa aún más, por ejemplo se puede ajustar el pH del agua tratada. Una parte del agua tratada puede reciclarse en el HSD 40 a través de, por ejemplo, la línea 45. Dicho reciclaje del agua tratada puede utilizarse para ajustar el pH del agua en la línea 21. Los sólidos separados del agua tratada como lodo en el separador 30 pueden extraerse para eliminarse.

La materia residual sólida tratada resultante separada del agua tratada en el separador 30 puede estar al menos un 99 % desinfectada, alternativamente un 99,9 %. La producción de olores desagradables puede minimizarse y/o el lodo separado del agua tratada puede estar lo suficientemente desinfectado o estabilizado que pueda utilizarse como materia fertilizante o pueda aplicarse como cubierta vegetal. El sistema y método de alta velocidad de cizallamiento para el tratamiento de agua puede producir un sedimento que sea equivalente al llamado "proceso para reducir más los patógenos" (denominado también PFRP) en el que se destruyen sustancialmente todas las bacterias y patógenos dentro de la materia.

**Operación de Pasos Múltiples.** En el modo de realización mostrado en la figura 1, el sistema se configura para un funcionamiento de paso único, en el que la salida 16 del recipiente 10 se utiliza directamente para un mayor procesado del agua tratada recuperada. En algunos modos de realización puede ser deseable pasar los contenidos por el recipiente 10, o una fracción líquida del mismo, a través del HSD 40 durante un segundo paso. En este caso, la línea 16, la línea 33, o la línea 36 pueden estar conectadas a la línea 21 por ejemplo a través de la línea 45, con lo que al menos una parte de los contenidos de la línea se reciclan a partir del recipiente 10 o separador 30 y se bombean mediante la bomba 5 hacia la línea 13 y por lo tanto hacia el HSD 40. Un gas de tratamiento adicional puede inyectarse a través de la línea 22 en el interior de la línea 13 o puede añadirse directamente al dispositivo de alta velocidad de cizallamiento (no mostrado).

**Dispositivos Múltiples de Alta Velocidad de Cizallamiento.** En algunos modos de realización, dos o más dispositivos de alta velocidad de cizallamiento como el HSD 40, o configurados de manera diferente, se alinean en serie, y se utilizan para mejorar más el tratamiento de agua. La utilización de múltiples HSDs puede ser tanto en modo por lotes como continuo. En algunos casos en los que se desea un proceso de paso único o "paso de una vez", el uso de múltiples dispositivos de alta velocidad de cizallamiento en serie puede también resultar ventajoso. En algunos modos de realización donde se utilizan múltiples dispositivos de alta velocidad de cizallamiento en serie, puede omitirse el recipiente 10. Por ejemplo, en modos de realización, la dispersión que sale de la línea 18 puede introducirse en un segundo dispositivo de alta velocidad de cizallamiento y posteriormente en cualquier número de dispositivos de alta velocidad de cizallamiento adicionales o en el separador 30 o en un estanque o laguna de aireación. Cuando los múltiples dispositivos de alta velocidad de cizallamiento 40 se utilizan en serie, un gas de tratamiento adicional puede inyectarse en la entrada del agua de alimentación de cada dispositivo. En algunos modos de realización, los múltiples dispositivos de alta velocidad de cizallamiento 40 funcionan en paralelo, y las dispersiones que salen del mismo se introducen en uno o más recipientes 10. En otros modos de realización, los múltiples dispositivos de alta velocidad de cizallamiento 40 funcionan en paralelo, y las dispersiones que salen del mismo se introducen en uno o más separadores 30, estanques o lagunas de aireación.

**Características.** Sin pretender quedar ligado a teoría particular alguna, se cree que el nivel o grado de mezcla de alta velocidad de cizallamiento es suficiente para aumentar las velocidades de transferencia de masa y también produce unas condiciones localizadas no ideales que permiten que ocurra una reacción/interacción que no cabría esperar de otra modo, basándose en las predicciones de energía libre de Gibbs. Se considera que las condiciones localizadas no ideales ocurren dentro del dispositivo de alta velocidad de cizallamiento dando como resultado unas temperaturas y presiones mayores, considerando que el aumento más significativo es en las presiones localizadas. El aumento de presiones y temperaturas dentro del dispositivo de alta velocidad de cizallamiento es instantáneo y localizado y vuelve rápidamente a las condiciones medias una vez fuera del dispositivo de alta velocidad de cizallamiento. En algunos casos, el dispositivo de mezcla de alta velocidad de cizallamiento induce una cavitación con la suficiente intensidad para disociar uno o más de los reactivos en radicales libres, lo que puede intensificar una reacción/interacción química o permitir que se produzca una reacción en condiciones menos estrictas de las que se requerirían de otra manera. La cavitación también puede aumentar la velocidad de los procesos de transporte al producir una turbulencia local y microcirculación líquida (corriente acústica). Una visión general de la aplicación del fenómeno de cavitación en las aplicaciones de procesamiento químico/físico la proporciona Gogate et al., "Cavitation: A technology on the horizon," *Current Science* 91 (No. 1): 35-46 (2006). El dispositivo de mezcla de alta velocidad de cizallamiento de algunos modos de realización y métodos del presente sistema inducen la cavitación por la que el coadyuvante de tratamiento y el contaminante se disocian en radicales libres, que entonces interactúan.

Los métodos y sistemas presentes para el tratamiento de agua incorporan un dispositivo mecánico externo de alta velocidad de cizallamiento para proporcionar un contacto y mezcla rápidos de los ingredientes químicos en un ambiente controlado en el reactor/dispositivo de alta velocidad de cizallamiento. El dispositivo de alta velocidad de cizallamiento reduce las limitaciones de transferencia de masa en la reacción/interacción y por lo tanto aumenta la velocidad de reacción/interacción total, y puede permitir una reacción sustancial bajo las condiciones de funcionamiento globales en las cuales no cabe esperar que tenga lugar la reacción sustancial.

En los modos de realización, el uso del proceso publicado que comprende la mezcla a través del dispositivo de alta velocidad de cizallamiento 40 permite una mayor producción (mayor rendimiento) que la del proceso que opera sin el dispositivo de alta velocidad de cizallamiento 40. En los modos de realización, el consumo de gas de cloro de tratamiento, y/o el líquido floculante se reducen en comparación con el tratamiento de agua sin un dispositivo 40 de alta velocidad de cizallamiento.

En los modos de realización, el método y el sistema de esta publicación permiten el diseño de un proceso más pequeño y/o de menor coste de inversión que permite la selección de un reactor 10 (y/o un tanque 30) con un volumen más reducido que el que resultaba anteriormente sin la incorporación de un dispositivo externo de alta velocidad de cizallamiento 40. En los modos de realización, el método publicado reduce los costes de funcionamiento/aumenta la producción de un proceso existente. De manera alternativa, el método publicado puede reducir los costes de inversión para el diseño de nuevos procesos.

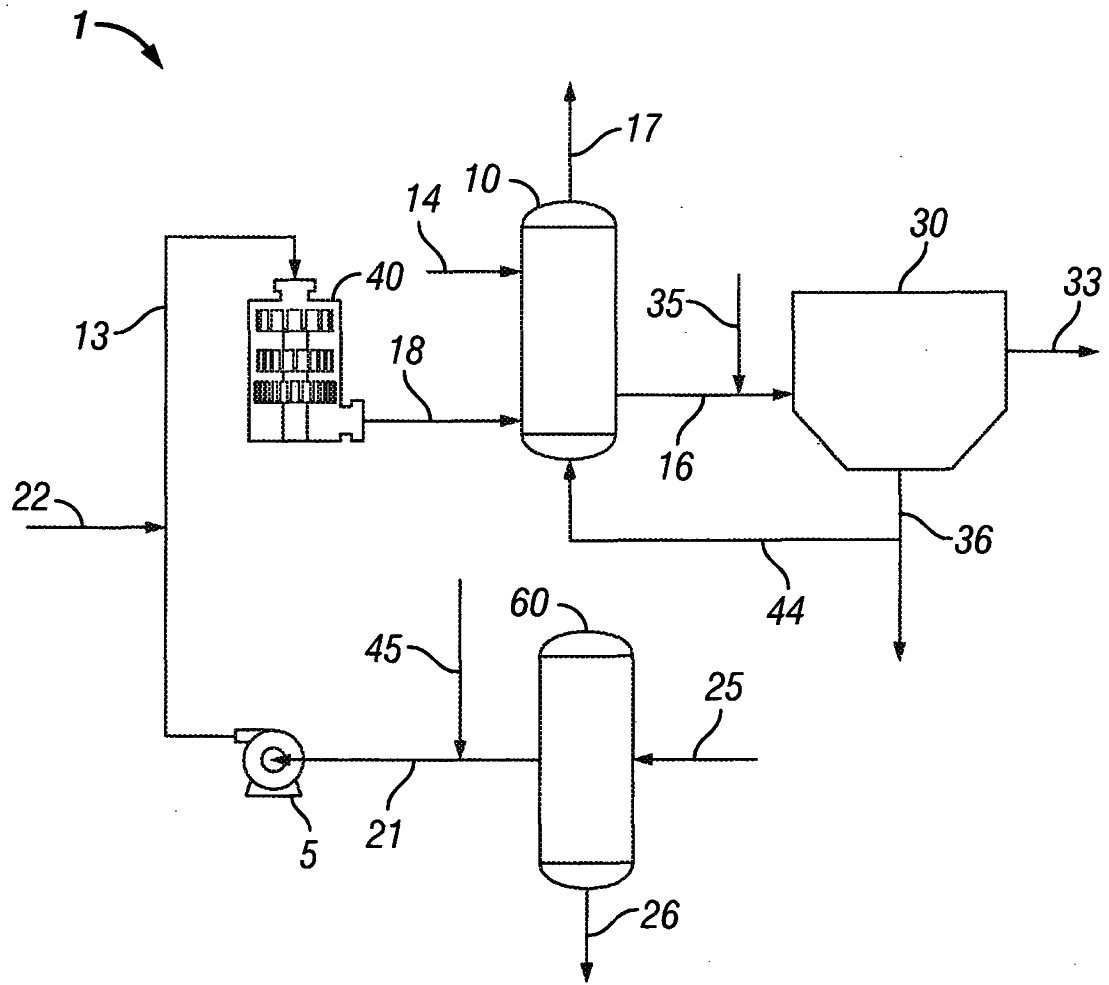
Los beneficios potenciales del sistema de alta velocidad de cizallamiento incluyen, pero sin limitarse a, ciclos temporales más rápidos, mejoras del rendimiento, reducción de costes de funcionamiento y/o reducción del coste de inversión debido a la posibilidad de diseñar recipientes más pequeños. En los modos de realización, el proceso de la presente publicación proporciona un mayor nivel de eliminación de contaminante durante el tratamiento de agua en comparación con los procesos convencionales de tratamiento de agua que no comprenden un mezclador externo de alta velocidad de cizallamiento. En los modos de realización, el grado de mezcla en el dispositivo externo de alta velocidad de cizallamiento 40 se varía para conseguir el nivel deseado de eliminación de un contaminante específico. En los modos de realización, el proceso de alta velocidad de cizallamiento de tratamiento de agua de la presente publicación reduce el uso del gas de tratamiento (por ejemplo, cloro, oxígeno, aire). En los modos de realización, el uso del presente método y sistema para el tratamiento de agua hacen económicamente viable el uso de cantidades reducidas de cloro, al aumentar la velocidad de la oxidación del contaminante, etc.

Los modos de realización descritos aquí son únicamente ejemplares, y no se pretende que sean limitantes. Cuando se comentan expresamente intervalos numéricos o limitaciones, debería entenderse que dichos intervalos o limitaciones expresos incluyen intervalos iterativos o limitaciones de magnitudes similares que se encuentran dentro de los intervalos comentados de forma expresa o limitaciones (por ejemplo, de aproximadamente 1 a aproximadamente 10 incluyen 2, 3, 4, etc.; más de 0,10 incluye 0,11, 0,12, 0,13 y similares). Se pretende que el uso del término "opcionalmente" con respecto a cualquier elemento de la reivindicación signifique que el elemento en cuestión se requiere, o alternativamente, no se requiere. Se pretende que ambas alternativas se encuentren dentro del alcance de la reivindicación. El uso de términos más amplios tales como comprende, incluye, tener, etc., debería entenderse como proporcionar soporte para expresiones menos amplias tales como consistir en, consistir esencialmente en, formado sustancialmente por, y similares.

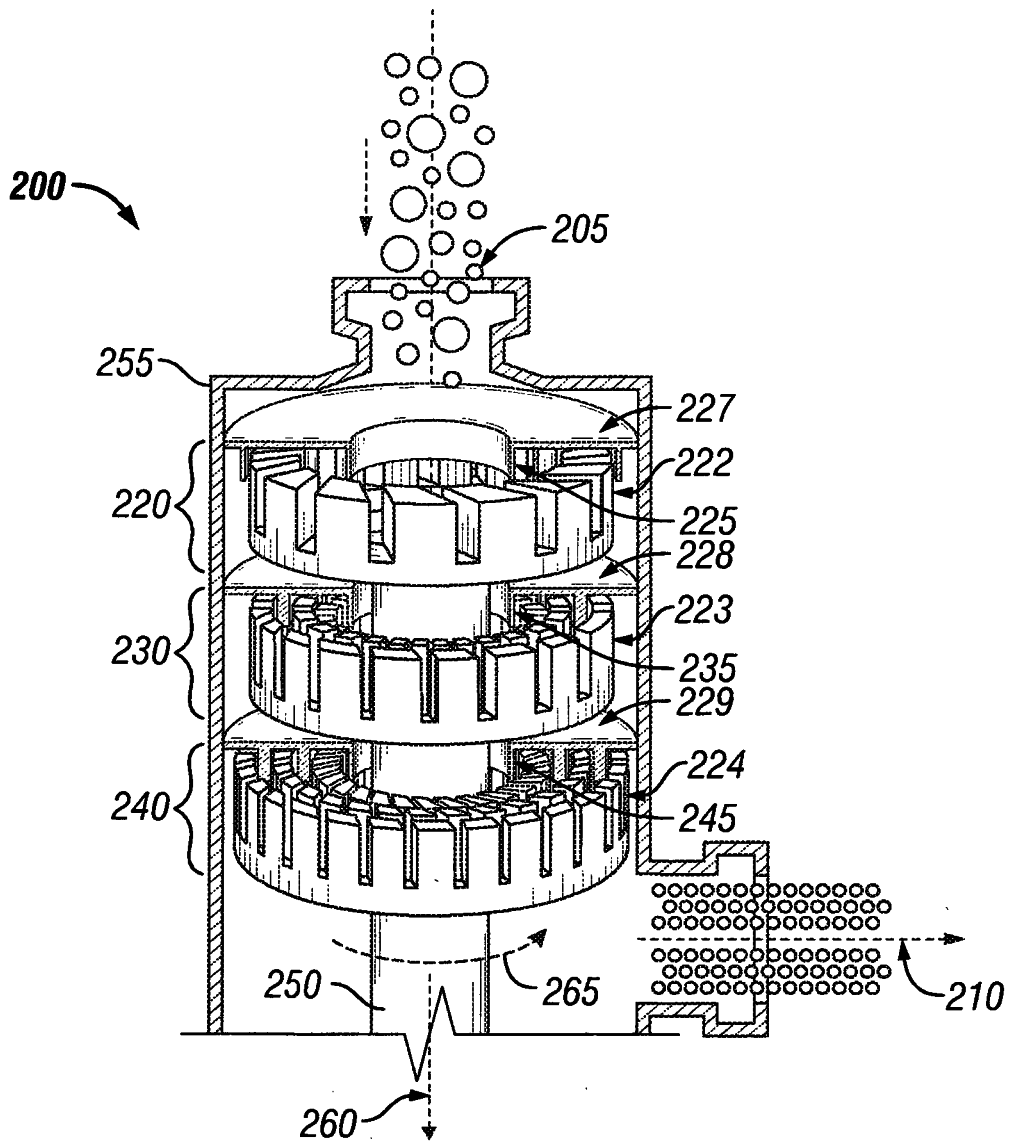
**REIVINDICACIONES**

1. Un método para retirar contaminantes de agua de alimentación, que comprende:
- 5 formar una dispersión que comprende burbujas de un gas de tratamiento en una fase continua que comprende agua de alimentación por medio del contacto del gas de tratamiento y la fase continua en un dispositivo de alta velocidad de cizallamiento (40, 220) que comprende al menos una combinación de rotor-estátor (200, 230, 240), en el que las burbujas tienen un diámetro medio de menos de 5  $\mu\text{m}$ , y
- 10 en el que el gas de tratamiento es un gas seleccionado entre aire, oxígeno y cloro.
2. El método de la reivindicación 1, en el que el agua de alimentación comprende agua residual, agua superficial, agua subterránea o una de sus combinaciones; y/o el contaminante está seleccionado entre ácido sulfhídrico, hidrocarburos, materia particulada, bacterias y componentes volátiles; y/o las burbujas de gas tienen un diámetro medio de menos de 1  $\mu\text{m}$ .
- 15 3. El método de la reivindicación 1, en el que se hacer rotar al menos un rotor (222, 223, 224) de al menos una combinación de rotor-estátor (220, 230, 240) a una velocidad periférica de al menos 22,9 m/s (4.500 pies/min) durante la formación de la dispersión.
- 20 4. El método de la reivindicación 1, en el que el dispositivo de alta velocidad de cizallamiento (40, 200) produce una presión local de al menos 1034,2 MPa (150.000 psi) en la punta de al menos un rotor (222, 223, 224) de al menos una combinación de rotor-estátor (220, 230, 240) durante la formación de la dispersión.
- 25 5. El método de la reivindicación 1, en el que la formación de la dispersión comprende someter una mezcla del gas de tratamiento y la fase continua a una velocidad de cizallamiento mayor de 20.000  $\text{s}^{-1}$ .
6. El método de la reivindicación 5, en el que el gasto energético del dispositivo de alta velocidad de cizallamiento (40, 200) durante la formación de la dispersión es mayor de 1000  $\text{W}/\text{m}^3$  de fluido.
- 30 7. El método de la reivindicación 1 que además comprende
- introducir la dispersión en un recipiente (10); y someter a extracción el agua que contiene partículas a partir del recipiente (10).
- 35 8. El método de la reivindicación 7, que además comprende introducir en un separador (30) al menos una parte del agua que contiene partículas.
9. El método de la reivindicación 1, en el que existen al menos dos dispositivos de alta velocidad de cizallamiento (40, 200).
- 40 10. El método de la reivindicación 9, en el que al menos uno de los dispositivos de alta velocidad de cizallamiento (40, 200) comprende al menos dos combinaciones de rotor-estátor (220, 230, 240).
- 45 11. El método de la reivindicación 10 en el que la velocidad de cizallamiento proporcionada por una combinación de rotor-estátor (220, 230, 240) es mayor que la velocidad de cizallamiento proporcionada por otra combinación de rotor-estátor (220, 230, 240).





**FIG. 1**



**FIG. 2**