

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 992 500**

51 Int. Cl.:

C02F 1/461 (2013.01)

C02F 5/02 (2013.01)

C02F 1/38 (2013.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **31.05.2019** **PCT/JP2019/021704**

87 Fecha y número de publicación internacional: **05.03.2020** **WO20044695**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **31.05.2019** **E 19855765 (4)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **03.07.2024** **EP 3845500**

54 Título: **Sistema de eliminación de iones**

30 Prioridad:

27.08.2018 JP 2018158716

27.03.2019 JP 2019061685

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
13.12.2024

73 Titular/es:

**PANASONIC INTELLECTUAL
PROPERTYMANAGEMENT CO., LTD. (100.0%)
1-61, Shiromi 2-chomeChuo-ku
Osaka-shi, Osaka 540-6207, JP**

72 Inventor/es:

**TAKEHISA, AYANE;
MAEDA, YASUNARI y
AKITA, TOMOHIRO**

74 Agente/Representante:

GONZÁLEZ PECES, Gustavo Adolfo

ES 2 992 500 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 de eliminación de iones

Campo técnico

La presente divulgación se refiere a un sistema de eliminación de iones.

5 Antecedentes de la técnica

Hasta ahora se ha descrito un sistema de eliminación de iones que elimina iones metálicos en agua dura (véase, por ejemplo, el Documento de Patente 1).

El sistema de eliminación de iones del Documento de Patente 1 elimina iones metálicos (iones de calcio e iones de magnesio) en agua dura con una resina de intercambio iónico. Específicamente, al permitir que el agua dura fluya hacia un tanque de tratamiento que incluye una resina de intercambio iónico que tiene iones de sodio unidos a una superficie, los iones metálicos en el agua dura se reemplazan con iones de sodio para eliminar los iones metálicos del agua dura. Como resultado, la dureza del agua dura se reduce para generar agua blanda. Los iones metálicos presentes en el agua dura son capturados en la superficie de la resina de intercambio iónico. Además, el Documento de Patente 2 describe un tratamiento de agua utilizando una membrana bipolar. Además, el Documento de Patente 3 divulga un método para ablandar un líquido o una dispersión.

Documento de la técnica anterior**Documento de patente**

Documento de Patente 1: JP 2000-140840 A

20 Documento de Patente 2: US 2012/160769 A1

Documento de Patente 3: DE 10 2007 022608 A1

Sumario de la invención**Temas a resolver por la invención**

Sin embargo, el sistema de eliminación de iones del Documento de Patente 1 requiere una gran cantidad de agua salada para regenerar la resina de intercambio iónico que ha capturado los iones metálicos y tiene un problema de mantenimiento problemático. Además, un tratamiento de regeneración genera aguas residuales que contienen una gran cantidad de agua salada, lo que provoca problemas de contaminación del suelo y una mayor carga para el tratamiento de aguas residuales. Además, el agua tratada ablandada por un aparato de eliminación de iones tiene una alta concentración de iones de sodio y puede no recomendarse como agua potable en algunas regiones.

Como se describió anteriormente, el sistema de eliminación de iones que utiliza una resina de intercambio iónico tiene margen de mejora desde los puntos de vista de mantenibilidad y propiedades ambientales.

Por lo tanto, un objeto de la presente divulgación es resolver los problemas y proporcionar un sistema de eliminación de iones con excelentes propiedades ambientales y de mantenimiento.

35 Medios para la resolución de los temas

Para lograr el objetivo, un sistema de eliminación de iones según la presente invención comprende:

un aparato de electrólisis que electroliza agua dura para generar agua ácida y agua alcalina;

40 un aparato de eliminación de iones que incluye una parte de almacenamiento de agua dura que almacena el agua alcalina generada por el aparato de electrólisis y una parte generadora de burbujas finas que genera y suministrando burbujas finas a la parte de almacenamiento de agua dura y eso hace que las burbujas finas adsorban iones metálicos en el agua alcalina en la parte de almacenamiento de agua dura para eliminar los iones metálicos del agua alcalina;

una trayectoria de flujo del lado primario conectada al aparato de eliminación de iones para suministrar agua dura al aparato de electrólisis;

45 un aparato de separación conectado al aparato de eliminación de iones y que separa cristales de un componente metálico depositado cristalizando los iones metálicos eliminados del agua alcalina por el aparato de eliminación de iones;

una trayectoria de flujo del lado secundario conectada al aparato de separación para sacar, del aparato de separación, el agua tratada obtenida separando los cristales; y

una trayectoria de flujo de retorno conectada al aparato de separación para devolver una porción del agua tratada que contiene los cristales a la trayectoria de flujo del lado primario,

5 en el que el aparato de separación es un aparato de separación centrífugo de tipo ciclón que tiene una superficie circunferencial interior cónica con un diámetro que disminuye hacia abajo y hace que el agua alcalina fluya en espiral hacia abajo a lo largo de la superficie circunferencial interior de modo que los cristales se separen, y

10 en el que una porción extrema de la trayectoria de flujo de retorno está abierta en el lado de la superficie circunferencial interior del aparato de separación.

Efecto de la invención

La presente divulgación puede proporcionar un sistema de eliminación de iones que tiene excelentes propiedades ambientales y de mantenimiento.

Breve descripción de los dibujos

15 La figura 1 es un diagrama esquemático de un sistema de eliminación de iones según una primera realización.

La figura 2 es un esquema para explicar un principio hipotético de adsorción de iones metálicos por el sistema de eliminación de iones según la primera realización.

20 La figura 3 es un esquema para explicar un principio hipotético de cristalización de iones metálicos mediante el sistema de eliminación de iones según la primera realización.

La figura 4 es un esquema para explicar un principio hipotético de un tratamiento de regeneración mediante el sistema de eliminación de iones según la primera realización.

25 La figura 5A es un diagrama que muestra una configuración esquemática de un aparato utilizado en el ejemplo experimental 1, que muestra un estado después de que ha transcurrido un tiempo predeterminado desde la generación de burbujas finas.

La figura 5B es un diagrama que muestra la configuración esquemática del aparato utilizado en el ejemplo experimental 1, que muestra un estado después de que ha transcurrido un tiempo predeterminado desde el estado mostrado en la figura 5A.

La figura 6 es un diagrama que muestra el resultado del ejemplo experimental 1.

30 La figura 7 es un esquema para explicar un principio hipotético de adsorción de iones metálicos mediante un sistema de eliminación de iones según una segunda realización.

La figura 8 es un esquema para explicar un principio hipotético de cristalización de iones metálicos mediante el sistema de eliminación de iones según la segunda realización.

35 La figura 9 es un esquema para explicar un principio hipotético de adsorción de iones metálicos mediante un sistema de eliminación de iones según una tercera realización.

La figura 10 es un esquema para explicar un principio hipotético de adsorción y cristalización de iones metálicos mediante el sistema de eliminación de iones según la tercera realización.

La figura 11 es un diagrama que muestra una configuración esquemática de un aparato utilizado en los ejemplos experimentales 2 a 4.

40 La figura 12 es un diagrama que muestra el estado de un componente metálico cristalizado en agua dura.

La figura 13A es un gráfico que muestra un resultado del ejemplo experimental 2, que muestra una relación entre un porcentaje de mezcla de amoníaco y una tasa de cristalización de la muestra de agua.

45 La figura 13B es un gráfico que muestra un resultado del ejemplo experimental 2, que muestra una relación entre el pH de la muestra de agua y la tasa de cristalización de la muestra de agua.

La figura 14A es un gráfico que muestra un resultado del ejemplo experimental 3, que muestra una relación entre el tiempo de funcionamiento de una bomba y la tasa de cristalización del agua de muestra.

5 La figura 14B es un gráfico que muestra un resultado del ejemplo experimental 3, que muestra una relación entre el tiempo de funcionamiento de la bomba y la dureza Ca del agua de muestra.

La figura 14C es un gráfico que muestra un resultado del ejemplo experimental 3, que muestra una relación entre el tiempo de funcionamiento de la bomba y el pH del agua de muestra.

La figura 15A es un gráfico que muestra un resultado del ejemplo experimental 4, que muestra una relación entre el tiempo de funcionamiento de la bomba y la tasa de cristalización del agua de muestra.

10 La figura 15B es un gráfico que muestra un resultado del ejemplo experimental 4, que muestra una relación entre el tiempo de funcionamiento de la bomba y la dureza Ca del agua de muestra.

La figura 15C es un gráfico que muestra un resultado del ejemplo experimental 4, que muestra una relación entre el tiempo de funcionamiento de la bomba y el pH del agua de muestra.

15 La figura 15D es un gráfico que muestra un resultado del ejemplo experimental 4, que muestra una relación entre el tiempo de funcionamiento de la bomba y cada una de la dureza Ca y la concentración total de ácido carbónico del agua de muestra.

La figura 16 es un gráfico que muestra un resultado del ejemplo experimental 5, que muestra una relación entre un tipo de agua y una altura de burbujas que se extienden desde una superficie de agua del agua de evaluación.

20 La figura 17A es un gráfico que muestra un resultado del ejemplo experimental 6, que muestra una relación entre el tiempo y la tasa de cristalización de la dureza Ca.

La figura 17B es un diagrama que muestra un resultado del ejemplo experimental 6, que es un gráfico que muestra una relación entre el tiempo y la tasa de cristalización de la dureza total.

25 La figura 18 es un diagrama que muestra una configuración esquemática de un aparato utilizado en el ejemplo experimental 7.

La figura 19 es un diagrama esquemático de un sistema de eliminación de iones según una cuarta realización.

La figura 20 es un diagrama esquemático que muestra una modificación del sistema de eliminación de iones según la primera realización.

30 **Modos de llevar a cabo la invención**

Como resultado de estudios intensivos, los presentes inventores encontraron nuevos conocimientos de que la eliminación de iones metálicos se puede promover mediante el uso de "burbujas finas" no utilizadas convencionalmente en una técnica de eliminación de iones (técnica de ablandamiento) para eliminar iones metálicos del agua dura, completando así la siguiente invención.

35 Un sistema de eliminación de iones según la presente invención comprende:

un aparato de electrólisis que electroliza agua dura para generar agua ácida y agua alcalina;

40 un aparato de eliminación de iones que incluye una parte de almacenamiento de agua dura que almacena el agua alcalina generada por el aparato de electrólisis y una parte generadora de burbujas finas que genera y suministra burbujas finas a la parte de almacenamiento de agua dura y que hace que las burbujas finas adsorban iones metálicos en el agua alcalina en la parte de almacenamiento de agua dura para eliminar los iones metálicos del agua alcalina;

una trayectoria de flujo del lado primario conectada al aparato de eliminación de iones para suministrar agua dura al aparato de electrólisis;

45 un aparato de separación conectado al aparato de eliminación de iones y que separa cristales de un componente metálico depositado cristalizando los iones metálicos eliminados del agua alcalina por el aparato de eliminación de iones;

una trayectoria de flujo del lado secundario conectada al aparato de separación para sacar, del aparato de separación, el agua tratada obtenida separando los cristales; y

una trayectoria de flujo de retorno conectada al aparato de separación para devolver una porción del agua tratada que contiene los cristales a la trayectoria de flujo del lado primario,

5 en el que el aparato de separación es un aparato de separación centrífugo de tipo ciclón que tiene una superficie circunferencial interior cónica con un diámetro que disminuye hacia abajo y hace que el agua alcalina fluya en espiral hacia abajo a lo largo de la superficie circunferencial interior de modo que los cristales se separen, y

en el que una porción extrema de la trayectoria de flujo de retorno está abierta en el lado de la superficie circunferencial interior del aparato de separación.

10 Según esta configuración, dado que los iones metálicos se eliminan del agua dura mediante el uso de burbujas finas, se puede eliminar la necesidad de una gran cantidad de agua salada para regenerar la resina de intercambio iónico. Esto puede simplificar un tratamiento de regeneración para facilitar el mantenimiento. Además, dado que no se generan aguas residuales de regeneración que contienen agua salada, se puede suprimir la contaminación del suelo y la carga del tratamiento de aguas residuales para mejorar las propiedades medioambientales. Además, la concentración de iones de sodio no aumenta en el agua tratada, por lo que el

15 agua tratada generada puede usarse como agua potable. Además, dado que el agua dura se electroliza para generar agua alcalina de modo que se suministran burbujas finas al agua alcalina, se puede aumentar el pH del agua dura. Como resultado, las cargas negativas presentes en las superficies de las burbujas finas aumentan para aumentar el poder de adsorción de los iones metálicos por las burbujas finas, de modo que se puede mejorar la eficiencia de eliminación de iones metálicos.

20 El sistema de eliminación de iones puede incluir además una parte de almacenamiento de agua ácida que almacena el agua ácida generada por el aparato de electrólisis, una trayectoria de flujo de agua ácida que permite que el agua ácida almacenada en la parte de almacenamiento de agua ácida fluya hacia el aparato de eliminación de iones y una válvula de apertura/cierre abra/cierre la trayectoria de flujo de agua ácida. Según esta configuración, por ejemplo, cuando se lava la parte de almacenamiento de agua dura, se puede permitir

25 que el agua ácida almacenada en la parte de almacenamiento de agua ácida fluya como agua de lavado a la parte de almacenamiento de agua dura a través de la trayectoria de flujo de agua ácida, de modo que el agua ácida se puede utilizar eficazmente.

El sistema de eliminación de iones incluye además: una trayectoria de flujo del lado primario conectada al aparato de eliminación de iones para suministrar agua dura al aparato de electrólisis; un aparato de separación

30 conectado al aparato de eliminación de iones y que separa cristales de un componente metálico depositado cristalizando los iones metálicos eliminados del agua alcalina por el aparato de eliminación de iones; y una trayectoria de flujo del lado secundario conectada al aparato de separación para sacar, del aparato de separación, el agua tratada obtenida separando los cristales; y una trayectoria de flujo de retorno conectada al aparato de separación para devolver una porción del agua tratada que contiene los cristales a la trayectoria de

35 flujo del lado primario. Según esta configuración, los cristales del componente metálico se pueden introducir en el aparato de electrólisis a través de la trayectoria de flujo de retorno, y los iones metálicos utilizan las superficies de los cristales como puntos de partida para la unión para hacer crecer los cristales, de modo que se pueden promover la cristalización del iones metálicos. Se puede evitar que los cristales se disuelvan en el agua tratada. Según esta configuración, una trayectoria de flujo de circulación puede estar constituida por la

40 trayectoria de flujo del lado primario, el aparato de eliminación de iones, el aparato de separación y la trayectoria de flujo de retorno. Esta trayectoria de flujo de circulación puede estabilizar aún más las fluctuaciones en el caudal del líquido que fluye desde la trayectoria de flujo del lado primario a la trayectoria de flujo del lado secundario para suprimir una reducción en la eficiencia de eliminación de iones metálicos. Además, al hacer circular los cristales del componente metálico en la trayectoria del flujo de circulación, se puede promover aún

45 más la cristalización de los iones metálicos.

El sistema de eliminación de iones puede incluir además una bomba que hace que el agua dura que fluye a través de la trayectoria de flujo del lado primario fluya a través del aparato de electrólisis y el aparato de eliminación de iones hasta el aparato de separación. Según esta configuración, accionando la bomba para hacer circular forzosamente el líquido en la trayectoria del flujo de circulación, las fluctuaciones en el caudal

50 del líquido se pueden estabilizar aún más para suprimir una reducción en la eficiencia de eliminación de iones metálicos. Además, al hacer circular forzosamente los cristales del componente metálico en la trayectoria del flujo de circulación, se puede promover aún más la cristalización de los iones metálicos.

Además, una trayectoria de flujo de circulación de sistema cerrado puede estar formada por la trayectoria de flujo del lado primario, el aparato de electrólisis, el aparato de eliminación de iones, el aparato de separación y

55 la trayectoria de flujo de retorno. Según esta configuración, se puede evitar que el aire quede atrapado en la trayectoria del flujo de circulación para estabilizar aún más las fluctuaciones en el caudal del líquido.

Según la presente invención, el aparato de separación es un aparato de separación centrífugo de tipo ciclón que tiene una superficie circunferencial interior cónica con un diámetro que disminuye hacia abajo y hace que el agua alcalina fluya en espiral hacia abajo a lo largo de la superficie circunferencial interior de modo que los

cristales se separen. Según esta configuración, dado que los iones metálicos que tienen una gran gravedad específica eliminados del agua dura se mueven hacia la superficie circunferencial interior debido a la separación centrífuga, los cristales del componente metálico pueden concentrarse en las proximidades de la superficie circunferencial interior. Por lo tanto, por ejemplo, al disponer una entrada de la trayectoria de flujo del lado secundario en una posición distante de la superficie circunferencial interior, se puede evitar que los cristales del componente metálico entren en la trayectoria de flujo del lado secundario.

Según la presente invención, una porción extrema de la trayectoria de flujo de retorno está abierta en el lado de la superficie circunferencial interior del aparato de separación. Según esta configuración, los cristales del componente metálico depositados en las proximidades de la superficie circunferencial interior del aparato de separación pueden ser llevados de forma más fiable a la trayectoria de flujo de retorno.

El aparato de eliminación de iones puede incluir una trayectoria de flujo de conexión conectada al aparato de separación por encima de una porción extrema de la trayectoria de flujo de retorno. Según esta configuración, los cristales del componente metálico depositados en las proximidades de la superficie circunferencial interior del aparato de separación se mueven hacia abajo, de modo que los cristales pueden ser llevados de forma más fiable a la trayectoria de flujo de retorno.

A continuación se describirán en detalle las realizaciones primera a tercera según la presente divulgación con referencia a los dibujos.

(Primera realización)

La figura 1 es un diagrama que muestra una configuración esquemática de un sistema 1 de eliminación de iones según una primera realización.

<Configuración general>

El sistema 1 de eliminación de iones según la primera realización incluye una trayectoria 2 de flujo del lado primario, un aparato 3 de eliminación de iones, un aparato 4 de separación y una trayectoria 5 de flujo del lado secundario.

La trayectoria 2 de flujo del lado primario está conectada al aparato 3 de eliminación de iones. La trayectoria 2 de flujo del lado primario es una trayectoria de flujo para suministrar agua dura al aparato 3 de eliminación de iones. En la primera realización, una bomba P está dispuesta en una porción de conexión entre la trayectoria 2 de flujo del lado primario y el aparato 3 de eliminación de iones. La bomba P funciona para hacer que el agua dura que fluye a través de la trayectoria 2 de flujo del lado primario fluya a través del aparato 3 de eliminación de iones hasta el aparato 4 de separación. El accionamiento de la bomba P está controlado por un controlador 6.

La trayectoria 2 de flujo primaria está provista de un aparato 16 de electrólisis que electroliza agua dura para generar agua ácida y agua alcalina. El aparato 16 de electrólisis incluye una trayectoria 16a de flujo de descarga para descargar el agua ácida electrolizada del agua dura. Dado que el aparato 16 de electrólisis separa el agua ácida del agua dura dejando el agua alcalina, el pH del agua dura se puede aumentar sustancialmente. Por ejemplo, el pH del agua dura se puede aumentar a 9 o más. El aparato 16 de electrólisis puede ser, por ejemplo, un purificador de agua de iones alcalinos que tiene una estructura conocida.

La trayectoria 16a de flujo de descarga está provista de una válvula 17 de apertura/cierre capaz de abrir y cerrar la trayectoria 16a de flujo de descarga. La operación de apertura/cierre de la válvula 17 de apertura/cierre es controlada por el controlador 6. Un mecanismo 18 de prevención de contraflujo del lado de descarga está dispuesto en la trayectoria 16a de flujo de descarga aguas abajo de la válvula 17 de apertura/cierre en la dirección de descarga.

El mecanismo 18 de prevención de contraflujo del lado de descarga es un mecanismo que evita que el agua ácida regrese al aparato 16 de electrólisis. El mecanismo 18 de prevención de contraflujo del lado de descarga puede evitar que el agua ácida se mezcle nuevamente con el agua alcalina separada del agua dura. El mecanismo 18 de prevención de reflujo del lado de descarga está formado por una o más válvulas de retención, por ejemplo. Alternativamente, el mecanismo 18 de prevención de reflujo del lado de descarga puede estar formado por un interruptor de vacío, por ejemplo. Además, el mecanismo 18 de prevención de reflujo del lado de descarga puede configurarse para evitar el reflujo mediante un espacio de pico dispuesto en una salida de la trayectoria 16a de flujo de descarga.

El aparato 3 de eliminación de iones incluye una parte 3A de almacenamiento de agua dura que almacena agua dura, y una parte 3B generadora de burbujas finas que genera y suministra burbujas finas a la parte 3A de almacenamiento de agua dura. El aparato 3 de eliminación de iones es un aparato que hace que burbujas finas adsorban iones metálicos en agua dura en la parte 3A de almacenamiento de agua dura y eliminan así los iones metálicos del agua dura. En la primera realización, la parte 3A de almacenamiento de agua dura almacena el agua alcalina generada por el aparato 16 de electrólisis. El dispositivo 3 de eliminación de iones

hace que las burbujas finas adsorban iones metálicos en el agua alcalina en la parte 3A de almacenamiento de agua dura para eliminar los iones metálicos del agua alcalina. La parte 3B generadora de burbujas finas está dispuesta aguas abajo de la bomba P en la dirección del flujo del agua dura para evitar que entre gas en la bomba P.

- 5 En la primera realización, los iones metálicos son iones de calcio (Ca^{2+}) o iones de magnesio (Mg^{2+}). En la primera realización, las burbujas finas son burbujas que tienen un diámetro de 100 μm o menos. Las burbujas finas incluyen microburbujas (por ejemplo, que tienen un diámetro de 1 μm a 100 μm) y nanoburbujas (por ejemplo, que tienen un diámetro de menos de 1 μm). Las microburbujas pueden ser burbujas reconocibles como aquellas que tienen un diámetro de burbuja del orden de micrómetros por aquellos expertos en el campo
- 10 del tratamiento del agua. Las nanoburbujas pueden ser burbujas reconocibles como aquellas que tienen un diámetro de burbuja del orden de nanómetros por aquellos expertos en el campo del tratamiento del agua. Las burbujas finas tienen propiedades diferentes de las burbujas ordinarias, tales como un largo tiempo de retención en agua, cada una de las burbujas apenas aumenta de diámetro y es menos probable que se combine con otras burbujas, y una gran área de contacto que facilita una reacción química.
- 15 Las burbujas finas pueden incluir burbujas que tienen un diámetro de 100 μm o más (tales como miliburbujas) en una pequeña proporción. Por ejemplo, las burbujas que tienen un diámetro de 100 μm o menos en una proporción del 90 % o más pueden definirse como burbujas finas. Además, se podrán agregar condiciones tales como tener un diámetro de 60 μm o menos en una proporción del 50 % o más y tener un diámetro de 20 μm o menos en una proporción del 5 % o más. Cuando se mide el diámetro de las burbujas (diámetro de la burbuja), por ejemplo, el agua dura que contiene burbujas finas puede fotografiarse directamente con una
- 20 cámara de alta velocidad, y el diámetro de la burbuja puede calcularse mediante un método de tres puntos mediante procesamiento de imágenes o puede calcularse medido por cualquier otro método. El momento para medir el diámetro de la burbuja puede ser cualquier momento siempre que se retengan las burbujas finas en ese momento. A continuación se muestran ejemplos de condiciones del método de medición que utiliza una
- 25 cámara de alta velocidad descrito anteriormente.

Cámara de alta velocidad: FASTCAM 1024 PCI (Photron)

Sistema de lentes: Z16 APO (Leica)

Lente objetivo: Planapo 2.0x (Leica)

Velocidad de disparo: 1000 fps

- 30 Velocidad de obturación: 1/505000 s

Área de imagen: 1024 x 1024 píxeles (área de disparo con microburbujas: 1,42 mm x 1,42 mm, área de disparo con miliburbujas: 5,69 mm x 5,69 mm)

Software de procesamiento de imágenes: Image-Pro Plus (Media Cybermatics)

- 35 En la primera realización, una parte 7 de suministro de gas de eliminación de iones y una parte 8 de suministro de solubizador están conectadas a través de un mecanismo 9 de conmutación de gas a la parte 3B generadora de burbujas finas.

- 40 La parte 7 de suministro de gas de eliminación de iones está configurada para suministrar un gas de eliminación de iones para eliminar iones metálicos en agua dura a la parte 3B generadora de burbujas finas. En la primera realización, la parte 7 de suministro de gas de eliminación de iones está configurada para suministrar "aire" como gas de eliminación de iones a la parte 3B generadora de burbujas finas. La parte 7 de suministro de gas de eliminación de iones puede incluir un tanque lleno con el gas de eliminación de iones, por ejemplo. La parte 7 de suministro de gas de eliminación de iones puede ser un aparato que genera el gas de eliminación de iones. Además, la parte 7 de suministro de gas de eliminación de iones puede ser un aparato conectado a una fuente de suministro de gas de eliminación de iones.

- 45 La parte 8 de suministro de solubizador está configurada para suministrar un gas de disolución, que es un ejemplo de un solubizador que disuelve cristales de un componente metálico depositado cristalizando los iones metálicos eliminados del agua dura, a la parte 3B generadora de burbujas finas. En la primera realización, la parte 8 de suministro de solubizador está configurada para suministrar "dióxido de carbono (CO_2)" como gas de disolución a la parte 3B generadora de burbujas finas. La parte 8 de suministro de solubizador está dispuesta
- 50 aguas arriba del aparato 4 de separación en la dirección de flujo del agua dura de modo que el solubizador pueda suministrarse al aparato 4 de separación. La parte 8 de suministro de solubizador puede incluir un tanque lleno con el solubizador, por ejemplo. La parte 8 de suministro de solubizador puede ser un aparato que genera el solubizador. Además, la parte 8 de suministro de solubizador puede ser un aparato conectado a una fuente de suministro de solubizador.

El mecanismo 9 de conmutación de gas es un mecanismo conmutado para suministrar el gas de eliminación de iones o el gas de disolución a la parte 3B generadora de burbujas finas. Al cambiar el mecanismo 9 de conmutación de gas, se puede realizar selectivamente un tratamiento de ablandamiento con el gas de eliminación de iones y un tratamiento de regeneración con el gas de disolución. El mecanismo 9 de conmutación de gas se compone, por ejemplo, de una o más válvulas. La operación de conmutación del mecanismo 9 de conmutación de gas está controlada por el controlador 6.

Cuando el mecanismo 9 de conmutación de gas se conmuta para suministrar el gas de eliminación de iones, la parte 3B generadora de burbujas finas genera las burbujas finas que contienen el gas de eliminación de iones. Las burbujas finas eliminan los iones metálicos del agua dura y separan los cristales del componente metálico, y de ese modo el agua dura se somete al tratamiento de ablandamiento. El principio del tratamiento de ablandamiento se describirá en detalle más adelante.

Por otro lado, cuando el mecanismo 9 de conmutación de gas se conmuta para suministrar el gas de disolución, la parte 3B generadora de burbujas finas genera las burbujas finas que contienen el gas de disolución. Las burbujas finas pueden disolver los cristales del componente metálico adherido al aparato 4 de separación para realizar el tratamiento de regeneración como se describe más adelante. El principio del tratamiento de regeneración se describirá en detalle más adelante.

El aparato 4 de separación está conectado al aparato 3 de eliminación de iones a través de una trayectoria 3C de flujo de conexión dispuesta en una porción circunferencial exterior superior de la parte 3A de almacenamiento de agua dura. El aparato 4 de separación es un aparato que separa los cristales del componente metálico depositado cristalizando los iones metálicos eliminados del agua dura por el aparato 3 de eliminación de iones. El aparato 3 de eliminación de iones y el aparato 4 de separación pueden reducir la concentración (dureza) de los iones metálicos en el agua dura a una concentración predeterminada o menos para producir agua blanda. Para la definición de agua dura y agua blanda, por ejemplo, se puede utilizar la definición de la WHO. Específicamente, el agua blanda puede definirse como agua que tiene una dureza de menos de 120 mg/L, y el agua dura puede definirse como agua que tiene una dureza de 120 mg/L o más.

En la primera realización, el aparato 4 de separación es un aparato de separación centrífugo de tipo ciclón que tiene una superficie 4Aa circunferencial interior cónica con un diámetro que disminuye hacia abajo y hace que el agua dura fluya en espiral hacia abajo a lo largo de la superficie 4Aa circunferencial interior de modo que los cristales del componente metálico se separen. En la primera realización, el aparato 4 de separación incluye una parte 4A de separación que tiene la superficie 4Aa circunferencial interior y una parte 4B de almacenamiento de cristales que almacena cristales de un componente metálico.

La trayectoria 3C de flujo de conexión está conectada a la parte 4A de separación de manera que el agua que ha pasado a través del aparato 3 de eliminación de iones se descarga en una dirección excéntrica desde un eje central de la parte 4A de separación. Dicha disposición excéntrica permite que el agua descargada en la parte 4A de separación fluya en espiral hacia abajo a lo largo de la superficie 4Aa circunferencial interior. Los iones metálicos que tienen una gravedad específica elevada eliminados del agua dura se mueven hacia la superficie 4Aa circunferencial interior debido a la separación centrífuga y se depositan como cristales del componente metálico en las proximidades de la superficie 4Aa circunferencial interior. Una porción de los cristales se adhiere a la superficie 4Aa circunferencial interior.

La parte 4B de almacenamiento de cristal está dispuesta debajo de la parte 4A de separación. La parte 4B de almacenamiento de cristales incluye una trayectoria 4Ba de flujo de descarga para descargar agua que contiene los cristales del componente metálico. La trayectoria 4Ba de flujo de descarga está provista de una válvula 10 de apertura/cierre capaz de abrir y cerrar la trayectoria 4Ba de flujo de descarga. La operación de apertura/cierre de la válvula 10 de apertura/cierre es controlada por el controlador 6. Un mecanismo 11 de prevención de contraflujo del lado de descarga está dispuesto en la trayectoria 4Ba de flujo de descarga aguas abajo de la válvula 10 de apertura/cierre en una dirección de descarga.

El mecanismo 11 de prevención de reflujo del lado de descarga es un mecanismo que evita que los cristales del componente metálico fluyan de regreso al aparato 4 de separación. El mecanismo 11 de prevención de reflujo del lado de descarga puede evitar que los cristales del componente metálico se mezclen nuevamente en agua tratada (agua blanda) obtenida separando los cristales del componente metálico del agua dura. El mecanismo 11 de prevención de reflujo del lado de descarga está compuesto por una o más válvulas de retención, por ejemplo. Alternativamente, el mecanismo 11 de prevención de reflujo del lado de descarga puede estar compuesto por un interruptor de vacío, por ejemplo. Además, el mecanismo 11 de prevención de contraflujo del lado de descarga puede configurarse para evitar el contraflujo mediante un espacio de pico dispuesto en una salida de la trayectoria 4Ba de flujo de descarga.

La trayectoria 5 de flujo del lado secundario está conectada al aparato 4 de separación. La trayectoria 5 de flujo del lado secundario es una trayectoria de flujo para sacar del aparato 4 de separación el agua tratada obtenida separando los cristales del componente metálico. En la primera realización, dado que el aparato 4 de separación es un aparato de separación centrífugo de tipo ciclón, los cristales del componente metálico pueden

concentrarse en las proximidades de la superficie 4Aa circunferencial interior. Para evitar que los cristales del componente metálico entren en la trayectoria 5 de flujo del lado secundario, la trayectoria 5 de flujo del lado secundario está conectada a una porción central superior de la parte 4A de separación en una posición distante de la superficie 4Aa circunferencial interior.

- 5 El agua tratada que fluye a través de la trayectoria 5 de flujo del lado secundario se suministra a una cocina, un cuarto de baño, un inodoro o un lavabo, por ejemplo. Si el caudal de líquido que fluye desde la trayectoria 2 de flujo del lado primario a la trayectoria 5 de flujo del lado secundario se reduce drásticamente debido al uso del agua tratada, la velocidad de centrifugación de los iones metálicos del agua dura puede disminuir, y la eficacia de eliminación de los iones metálicos puede verse reducida. Además, los cristales del componente metálico pueden mezclarse en el agua tratada.

- 10 Por lo tanto, en la primera realización, una trayectoria 12 de flujo de retorno está conectada al aparato 4 de separación y la trayectoria 2 de flujo del lado primario para devolver a la trayectoria 2 de flujo del lado primario una porción del agua tratada obtenida por separar los cristales del componente metálico del agua dura mediante el aparato 4 de separación. Específicamente, la trayectoria 2 de flujo del lado primario, el aparato 3 de eliminación de iones, el aparato 4 de separación y la trayectoria 12 de flujo de retorno constituyen una trayectoria de flujo de circulación. Esta trayectoria de flujo de circulación puede estabilizar aún más las fluctuaciones en el caudal del líquido que fluye desde la trayectoria 2 de flujo del lado primario a la trayectoria 15 5 de flujo del lado secundario para suprimir una reducción en la eficiencia de eliminación de iones metálicos. Al accionar la bomba P para hacer circular forzosamente el líquido en la trayectoria del flujo de circulación, las fluctuaciones en el caudal del líquido se pueden estabilizar aún más para suprimir una reducción en la eficiencia de eliminación de iones metálicos. Se puede evitar que los cristales del componente metálico se mezclen con el agua tratada.

- 20 El caudal del líquido que fluye a través de la trayectoria de flujo de circulación es preferiblemente igual o mayor que el caudal del agua blanda utilizada (por ejemplo, 2 litros/minuto). Cuando el caudal del líquido que fluye a través de la trayectoria de flujo de circulación es mayor que el caudal del agua blanda utilizada, las fluctuaciones en el caudal del líquido pueden hacerse más estables y el agua blanda puede producirse de manera estable. La trayectoria del flujo de circulación es preferiblemente un sistema cerrado. Como resultado, se puede evitar que quede atrapado aire en el trayectoria de flujo de circulación para estabilizar aún más las fluctuaciones en el caudal del líquido.

- 30 En la primera realización, una porción 12a extrema de la trayectoria 12 de flujo de retorno está abierta en el lado del eje central de la parte 4A de separación. Esto evita que los cristales del componente metálico depositados en las proximidades de la superficie 4Aa circunferencial interior entren en la trayectoria 12 de flujo de retorno. La trayectoria 3C de flujo de conexión del aparato 3 de eliminación de iones está conectada a la parte 4A de separación debajo de una porción 12a extrema de la trayectoria 12 de flujo de retorno. Por lo tanto, la una parte 12a extrema de la trayectoria 12 de flujo de retorno está ubicada encima de una salida de la trayectoria 3C de flujo de conexión desde donde el agua dura después de la eliminación de los iones metálicos se descarga en espiral hacia abajo. Como resultado, se evita además que los cristales del componente metálico depositados en las proximidades de la superficie 4Aa circunferencial interior entren en el camino de flujo de retorno 12.

- 40 La trayectoria 2 de flujo del lado primario está provista de un mecanismo 13 de prevención de contraflujo del lado de suministro. El mecanismo 13 de prevención de contraflujo del lado de suministro es un mecanismo que evita que las burbujas finas y el agua tratada fluyan de regreso al lado de suministro de agua dura. El mecanismo 13 de prevención de contraflujo del lado de suministro está compuesto por una o más válvulas de retención, por ejemplo. En la primera realización, el mecanismo 13 de prevención de contraflujo del lado de suministro está dispuesto en la trayectoria 2 de flujo del lado primario aguas arriba de la trayectoria 12 de flujo de retorno en la dirección de flujo del agua dura. Como resultado, se puede evitar de forma más fiable que las burbujas finas, el agua tratada, etc., regresen al lado de suministro de agua dura.

- 50 Por ejemplo, cuando se requiere mantenimiento debido a un fallo del aparato 3 de eliminación de iones, no se puede utilizar agua durante el mantenimiento. Por lo tanto, en la primera realización, la trayectoria 2 de flujo del lado primario y la trayectoria 5 de flujo del lado secundario están conectadas por una trayectoria 14 de flujo de derivación. El sistema 1 de eliminación de iones incluye un mecanismo de conmutación de flujo que cambia la dirección del flujo del agua dura que fluye. a través de la trayectoria 2 de flujo del lado primario hasta ya sea el aparato 3 de eliminación de iones o la trayectoria 14 de flujo de derivación. Dado que el mecanismo de conmutación de flujo se puede cambiar para provocar que el agua dura que fluye a través de la trayectoria 2 de flujo del lado primario fluya a través de la trayectoria 14 de flujo de derivación a la trayectoria 5 de flujo del lado secundario, el agua dura se puede utilizar incluso durante el mantenimiento. Incluso no durante el mantenimiento, el mecanismo de conmutación de flujo se puede cambiar para utilizar selectivamente el agua dura y el agua tratada (agua blanda).

- 60 En la primera realización, el mecanismo de conmutación de flujo incluye una primera válvula 15A capaz de abrir y cerrar la trayectoria 2 de flujo del lado primario, una segunda válvula 15B capaz de abrir y cerrar la

trayectoria 5 de flujo del lado secundario, y una tercera válvula 15C capaz de abrir y cerrar la trayectoria 14 de flujo de derivación. Las operaciones de apertura/cierre de la primera válvula 15A, la segunda válvula 15B y la tercera válvula 15C están controladas por el controlador 6.

El controlador 6 está configurado para proporcionar selectivamente un primer control de abrir la primera válvula 15A y la segunda válvula 15B y cerrar la tercera válvula 15C, y un segundo control de cerrar la primera válvula 15A y la segunda válvula 15B y abrir la tercera válvula 15C. Cuando el controlador 6 proporciona el primer control, el agua dura que fluye a través de la trayectoria 2 de flujo del lado primario fluye hacia el aparato 3 de eliminación de iones y se somete al tratamiento de ablandamiento antes de fluir hacia la trayectoria 5 de flujo del lado secundario. Como resultado, el agua tratada (agua blanda) se descarga a una salida de la trayectoria 5 de flujo del lado secundario. Cuando el controlador 6 proporciona el segundo control, el agua dura que fluye a través de la trayectoria 2 de flujo del lado primario fluye a través de la trayectoria 14 de flujo de derivación hacia la trayectoria 5 de flujo del lado secundario. Como resultado, el agua dura se descarga a la salida de la trayectoria 5 de flujo del lado secundario. Por lo tanto, el controlador 6 puede proporcionar el primer control o el segundo control para descargar selectivamente el agua dura o el agua tratada (agua blanda) de la salida de la trayectoria 5 de flujo del lado secundario.

<Tratamiento de ablandamiento>

Se describirá con más detalle el principio del tratamiento de ablandamiento utilizando burbujas finas.

Se supone que el suministro de burbujas finas que contienen aire al agua dura provoca las acciones descritas en las siguientes secciones (1) y (2) sobre los iones metálicos en el agua dura. Específicamente, se supone que los iones metálicos del agua dura pueden adsorberse en las burbujas finas y que los iones metálicos adsorbidos pueden cristalizarse para eliminar cristales de un componente metálico del agua dura. Más específicamente, el principio se describirá de la siguiente manera. Cabe señalar que la presente divulgación no está sujeta a los principios específicos descritos en las siguientes secciones (1) y (2).

Adsorción de iones metálicos

Como se muestra en la figura 2, cuando las burbujas finas que contienen aire se suministran al agua dura, H^+ (iones de hidrógeno) y OH^- (iones de hidróxido) se mezclan en las superficies de las burbujas finas, y H^+ se carga positivamente, mientras que OH^- tiene carga negativa (solo OH^- se muestra en la figura 2). Por otro lado, el agua dura tiene Ca^{2+} y Mg^{2+} presentes como iones metálicos cargados positivamente.

El Ca^{2+} que tiene una carga positiva es absorbido por el OH^- presente en las superficies de las burbujas finas debido a la acción de una fuerza intermolecular (interacción interiónica). De esta manera el Ca^{2+} puede ser absorbido por las burbujas finas. Aunque en las superficies de las burbujas finas hay H^+ que repelen al Ca^{2+} , es probable que el OH^- actúe con preferencia al H^+ y adsorba Ca^{2+} . Esta "adsorción de iones metálicos" se realiza principalmente en el aparato 3 de eliminación de iones.

En la primera realización, el aparato 16 de electrólisis separa el agua ácida del agua dura dejando el agua alcalina, de modo que aumenta el pH del agua dura. A medida que aumenta el pH del agua dura, el OH^- cargado negativamente presente en las superficies de las burbujas finas aumenta y el Ca^{2+} se absorbe más fácilmente en las burbujas finas. Como resultado, se puede promover la cristalización de iones metálicos como se describe más adelante.

(2) Cristalización de iones metálicos

Además de la reacción mostrada en la figura 2, se promueve una reacción mostrada en la figura 3 suministrando burbujas finas que contienen aire al agua dura. Específicamente, a diferencia de las burbujas ordinarias, las burbujas finas suministradas en el agua dura apenas flotan hacia la superficie, se disuelven en el agua dura y, por lo tanto, se contraen gradualmente como se muestra en la figura 3 debido a un aumento en la tensión superficial. Como se describió anteriormente, el Ca^{2+} se adsorbe en las superficies de las burbujas finas. Más específicamente, el Ca^{2+} está presente como iones calcio de $Ca(HCO_3)_2$ (hidrogenocarbonato de calcio) soluble. A medida que las burbujas finas se contraen gradualmente, aumenta la concentración disuelta de Ca^{2+} en las superficies de las burbujas finas. El aumento de la concentración disuelta da como resultado un estado de sobresaturación en un cierto punto, y el Ca^{2+} cristaliza y se deposita. Esto está representado por una fórmula química específica como en la fórmula 1 a continuación.



El $CaCO_3$ (carbonato de calcio) es insoluble (insoluble en agua) y, por lo tanto, se deposita como cristales de un componente metálico. Como resultado, los disueltos como Ca^{2+} de $Ca(HCO_3)_2$ se depositan como cristales del componente metálico. Al promover esta reacción, los $CaCO_3$ depositados mediante la cristalización de los iones metálicos Ca^{2+} pueden separarse del agua dura. Esta "cristalización de iones metálicos" se realiza principalmente en la parte 4A de separación del aparato 4 de separación.

Aunque puede ocurrir una reacción en la dirección inversa de la fórmula 1 en la misma agua, se supone que la reacción en la dirección de la fórmula 1 se realiza preferentemente en la relación de equilibrio suministrando continuamente burbujas finas.

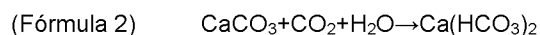
En la primera realización, dado que el aparato 4 de separación es un aparato de separación centrífugo de tipo ciclón, los cristales del componente metálico se depositan en las proximidades de la superficie 4Aa circunferencial interior de la parte 4A de separación y se almacenan en la parte 4B de almacenamiento de cristales. Los cristales del componente metálico almacenados en la parte 4B de almacenamiento de cristales se descargan a través de la trayectoria 4Ba de flujo de descarga abriendo la válvula 10 de apertura/cierre. Separando de esta manera los cristales del componente metálico del interior del agua dura, el agua dura se puede ablandar.

<Tratamiento de regeneración>

Se describirá con más detalle el principio del tratamiento de regeneración que utiliza burbujas finas.

Al realizar el tratamiento de ablandamiento, una porción de los CaCO_3 depositados mediante la cristalización de los iones metálicos se adhiere a la superficie 4Aa circunferencial interna de la parte 4A de separación. El tratamiento de regeneración se realiza como un tratamiento para devolver CaCO_3 a $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$. Específicamente, la parte 3B generadora de burbujas finas genera burbujas finas que contienen dióxido de carbono, que es un gas diferente del utilizado durante el tratamiento de ablandamiento.

Como se muestra en la figura 4, suministrando burbujas finas de dióxido de carbono a CaCO_3 adheridos a la superficie 4Aa circunferencial interior de la parte 4A de separación, se promueve la siguiente reacción.



La reacción genera $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ soluble (soluble en agua) a partir de CaCO_3 insoluble. $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ se disuelve en agua y pasa a la parte 4B de almacenamiento de cristales. El $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ que se ha movido a la parte 4B de almacenamiento de cristales se descarga a través de la trayectoria 4Ba de flujo de descarga abriendo la válvula 10 de apertura/cierre. Como resultado, los CaCO_3 insolubles que se adhieren a la superficie 4Aa circunferencial interna de la parte 4A de separación se puede descargar al exterior para restaurar el estado original. Posteriormente se puede volver a realizar el tratamiento de ablandamiento descrito anteriormente.

Aunque Ca^{2+} se describe como un ejemplo de iones metálicos en la descripción anterior, se supone que ocurre la misma reacción con Mg^{2+} .

Como se describió anteriormente, cuando los iones metálicos se eliminan del agua dura usando una resina de intercambio iónico, se requiere una gran cantidad de agua salada para regenerar la resina de intercambio iónico. A este respecto, el sistema 1 de eliminación de iones de la primera realización elimina los iones metálicos del agua dura mediante el uso de burbujas finas y, por lo tanto, puede eliminar la necesidad de una gran cantidad de agua salada necesaria para regenerar la resina de intercambio iónico. Esto puede simplificar el tratamiento de regeneración para facilitar el mantenimiento. Además, dado que no se generan aguas residuales de regeneración que contienen agua salada, se puede suprimir la contaminación del suelo y la carga del tratamiento de aguas residuales para mejorar las propiedades medioambientales. Además, la concentración de iones de sodio no aumenta en el agua tratada, por lo que el agua tratada generada puede usarse como agua potable. Además, dado que el agua dura se electroliza para generar agua alcalina y las burbujas finas se suministran al agua alcalina en esta configuración, se puede aumentar el pH del agua dura. Como resultado, las cargas negativas presentes en las superficies de las burbujas finas aumentan para aumentar el poder de adsorción de los iones metálicos por las burbujas finas, de modo que se puede mejorar la eficiencia de eliminación de iones metálicos.

Además, el sistema 1 de eliminación de iones de la primera realización utiliza aire como gas de eliminación de iones y, por lo tanto, puede suprimir el coste requerido para generar las burbujas finas a un nivel extremadamente bajo.

Además, el sistema 1 de eliminación de iones de la primera realización realiza el tratamiento de regeneración suministrando burbujas finas de dióxido de carbono como gas de disolución después de la eliminación de los iones metálicos. Esto puede promover la reacción de generar $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ soluble a partir de CaCO_3 insolubles para promover el tratamiento de regeneración.

(Ejemplo experimental 1)

Se describirá el ejemplo experimental 1 realizado para confirmar el principio del tratamiento de ablandamiento utilizando burbujas finas. Los experimentos se llevaron a cabo utilizando un aparato 20 mostrado en las figuras 5A y 5B.

Las figuras 5A y 5B son diagramas que muestran una configuración esquemática del aparato 20 utilizado en el ejemplo experimental 1. La figura 5A muestra un estado después de que ha transcurrido un tiempo predeterminado (específicamente, después de que han transcurrido 15 segundos) desde la generación de burbujas finas, y la figura 5B muestra un estado después de que haya transcurrido un tiempo predeterminado (específicamente, después de que hayan transcurrido 45 segundos) del estado mostrado en la figura 5A. El estado de la figura 5A corresponde a un estado en el que el tiempo transcurrido desde la generación de burbujas finas es de 15 segundos en la figura 6, y el estado de la figura 5B corresponde a un estado en el que el tiempo transcurrido desde la generación de burbujas finas es 60 segundos en la figura 6.

El aparato 20 mostrado en las figuras 5A y 5B es un aparato experimental capaz de suministrar burbujas 23 finas desde el lado de la superficie inferior en un tanque 22 de agua (parte de almacenamiento de agua dura) que almacena agua 21 dura. En el aparato 20, la concentración de iones metálicos en el agua 21 dura se puede medir en dos posiciones en el lado de la superficie inferior y en el lado de la superficie del agua. Cuando se utilizó el aparato 20 descrito anteriormente para suministrar las burbujas 23 finas al tanque 22 de agua y se detectaron transiciones de concentración de iones metálicos en el lado de la superficie inferior y en el lado de la superficie del agua, se obtuvieron los resultados mostrados en la figura 6.

A partir de los resultados mostrados en la figura 6, se demostró el efecto de "adsorción de iones metálicos mediante burbujas finas" descrito anteriormente. Los resultados específicos se describirán más adelante.

Como se muestra en las figuras 5A y 5B, el aparato 20 incluye el tanque 22 de agua, una parte 24 de suministro de gas, una primera tubería 25, una parte 26 generadora de burbujas finas, una segunda tubería 27, una bomba 28, una primera parte 30 de entrada de agua, una segunda parte 32 de entrada de agua, y un detector 34 de concentración de iones metálicos.

El tanque 22 de agua es un tanque de agua que almacena agua 21 dura. En el ejemplo mostrado en las figuras 5A y 5B, el tanque 22 de agua está configurado como un tanque alargado en dirección vertical. La parte 24 de suministro de gas es un miembro que suministra gas a la parte 26 generadora de burbujas finas a través de la primera tubería 25. La parte 26 generadora de burbujas finas es un aparato que genera las burbujas 23 finas a partir del gas suministrado desde la parte 24 de suministro de gas. La parte 26 generadora de burbujas finas corresponde a la parte 3B generadora de burbujas finas descrita anteriormente. El gas se suministra desde la parte 24 de suministro de gas a la parte 26 generadora de burbujas finas debido a una acción de presión negativa desde la bomba 28 a través de la segunda tubería 27.

La primera parte 30 de entrada de agua es un miembro que toma muestra de agua del agua 21 dura cerca de una superficie 22a inferior del tanque 22 de agua. La segunda parte 32 de entrada de agua es un miembro que toma muestra de agua cerca de una superficie 22b de agua del tanque 22 de agua. Las posiciones de altura de la primera parte 30 de entrada de agua y la segunda parte 32 de entrada de agua se pueden establecer en cualquier posición, y se puede establecer una distancia D1 desde la primera parte 30 de entrada de agua a la segunda parte 32 de entrada de agua ajustada al valor deseado.

En el ejemplo mostrado en las figuras 5A y 5B, la posición de altura de la primera parte 30 de entrada de agua se ajusta sustancialmente a la misma posición que la posición de altura donde la parte 26 generadora de burbujas finas genera las burbujas 23 finas.

El detector 34 de concentración de iones metálicos es un miembro que detecta la concentración de iones metálicos en la muestra de agua tomada de la primera parte 30 de entrada de agua y la segunda parte 32 de entrada de agua.

Cuando la parte 26 generadora de burbujas finas y la bomba 28 se operan en la configuración, el gas se envía desde la parte 24 de suministro de gas a través de la primera tubería 25 a la parte 26 generadora de burbujas finas debido a la acción de la presión negativa desde la bomba 28 a través de la segunda tubería 27. La parte 26 generadora de burbujas finas utiliza este gas como materia prima para generar y suministrar las burbujas 23 finas al tanque 22 de agua (flecha A1 de la figura 5A).

La parte 26 generadora de burbujas finas y la bomba 28 se hacen funcionar durante un período predeterminado (15 segundos en el ejemplo experimental 1) para generar continuamente la burbuja 23 fina.

Posteriormente, se detiene el funcionamiento de la parte 26 generadora de burbujas finas y de la bomba 28. La parada del funcionamiento va seguida de un período de descanso predeterminado (45 segundos en el ejemplo experimental 1).

Como se muestra en la figura 5A, al final del período operativo (después de 15 segundos desde la generación de las burbujas finas), se confirmó visualmente que las burbujas 23 finas suministradas al tanque 22 de agua se movieron hacia arriba en el agua 21 dura (flecha A2) y fueron retenidas en una porción inferior del tanque 22 de agua.

Como se muestra en la figura 5B, al final del período de reposo (después de 60 segundos desde la generación de burbujas finas), se confirmó visualmente que las burbujas 23 finas suministradas al agua 21 dura se movieron aún más hacia arriba para alcanzar la superficie 22b de agua (flecha A3) y fueron retenidas en una porción superior del tanque 22 de agua.

- 5 La muestra de agua se extrajo de la primera parte 30 de entrada de agua y de la segunda parte 32 de entrada de agua en un momento predeterminado durante el funcionamiento para medir la concentración de iones metálicos con el detector 34 de concentración de iones metálicos, y los resultados se muestran en la figura 6.

Las condiciones experimentales específicas relacionadas con los resultados de la figura 6 se enumeran a continuación.

- 10 (Condiciones experimentales)

Tipo de gas suministrado por la parte 24 de suministro de gas: aire

Dureza del agua 21 dura: aproximadamente 300 mg/L

Temperatura del agua 21 dura: 25 °C

- 15 Distancia D1 desde la primera parte 30 de entrada de agua hasta la segunda parte 32 de entrada de agua: aproximadamente 1 m

Período de funcionamiento de la parte 26 generadora de burbujas finas y la bomba 28: 15 segundos

Período de reposo de la parte 26 generadora de burbujas finas y la bomba 28: 45 segundos

Detector 34 de concentración de iones metálicos: LAQUA F-70 fabricado por HORIBA, Ltd.

Ión metálico que se va a medir: Ca^{2+}

- 20 Tiempo de extracción de la muestra de agua: después de 0 segundos, 15 segundos, 30 segundos, 60 segundos desde el inicio del funcionamiento

- 25 En la figura 6, el eje horizontal representa un tiempo transcurrido (segundos) desde la generación de burbujas finas, y el eje vertical representa una transición de concentración (%) de iones metálicos (Ca^{2+}) detectados por el detector 34 de concentración de iones metálicos. La transición de concentración de los iones metálicos representa la transición de la concentración de iones metálicos cuando la concentración de iones metálicos medida al inicio del funcionamiento es del 100 %.

- 30 Como se muestra en la figura 6, la concentración en la muestra de agua extraída de la primera parte 30 de entrada de agua cerca de la superficie 22a inferior del tanque 22 de agua aumenta a aproximadamente 108 % cuando han transcurrido 15 segundos. Durante el siguiente período de descanso, la concentración disminuye gradualmente y finalmente disminuye hasta aproximadamente el 97 %.

Por otro lado, la concentración en el agua de muestra extraída de la segunda parte 32 de entrada de agua cerca de la superficie 22b de agua del tanque 22 de agua se mantiene en casi el 100 % hasta que han transcurrido 15 segundos, luego aumenta gradualmente durante el reposo, y finalmente aumenta hasta alrededor del 115 %.

- 35 Los resultados de las transiciones de concentración de los iones metálicos y el comportamiento de las burbujas 23 finas están asociados entre sí de la siguiente manera.

- 40 Cuando han transcurrido 15 segundos como se muestra en la figura 5A, la concentración de iones metálicos aumenta en la muestra de agua de la primera parte 30 de entrada de agua en la que se retienen las burbujas 23 finas. Por otra parte, la concentración de iones metálicos casi no cambia en el agua de muestra de la segunda parte 32 de entrada de agua en la que no se retienen las burbujas 23 finas.

- 45 Cuando han transcurrido 60 segundos como se muestra en la figura 5B, la concentración de iones metálicos se reduce a un poco menos del 100 % en la muestra de agua de la primera parte 30 de entrada de agua en la que no se retienen las burbujas 23 finas. Por otra parte, la concentración de iones metálicos aumenta significativamente en el agua de muestra de la segunda parte 32 de entrada de agua en la que se retienen las burbujas 23 finas.

A partir de los resultados descritos anteriormente, se supone que los iones metálicos Ca^{2+} en el agua 21 dura son adsorbidos en las burbujas 23 finas y se mueven hacia arriba junto con las burbujas 23 finas subiendo.

Basándose en la presunción, se demostró el efecto de "adsorción de iones metálicos mediante burbujas finas" descrito anteriormente.

(Segunda realización)

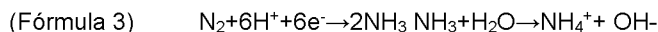
Se describirá un sistema de eliminación de iones según una segunda realización de la presente divulgación. En la segunda realización, se describirán principalmente las diferencias con respecto a la primera realización. En la segunda realización, los elementos constituyentes iguales o equivalentes que en la primera realización se indican con los mismos números de referencia. En la segunda realización, la descripción no se superpondrá a la primera realización.

La segunda realización es diferente de la primera realización en que se utiliza nitrógeno en lugar de aire como gas de las burbujas finas en el tratamiento de ablandamiento.

Se supone que al generar y suministrar las burbujas finas de nitrógeno desde la parte 3B generadora de burbujas finas al agua dura, se promueven las acciones descritas en las siguientes secciones (3), (4) además de "(1) Adsorción de iones metálicos" y "(2) Cristalización de iones metálicos" descritos anteriormente. Cabe señalar que la presente divulgación no está sujeta a los principios específicos descritos en las siguientes secciones (3), (4).

(3) Promoción de la adsorción de iones metálicos

Como se muestra en la figura 7(a), H^+ y OH^- están cargados alrededor de las burbujas finas. Como se describió anteriormente, el Ca^{2+} cargado positivamente se adsorbe en OH^- cargado negativamente. Cuando se utiliza nitrógeno como burbujas finas en tales circunstancias, se promueve una reacción de fórmula 3.



Como se muestra en la figura 7(b), el número de iones H^+ se reduce en relación con el número de iones OH^- promoviendo la reacción de fórmula 3. Como resultado, una carga negativa se vuelve fuerte en términos de las burbujas finas, de modo que el Ca^{2+} que tiene carga positiva se adsorbe fácilmente.

Cuando se utiliza nitrógeno como en la segunda realización, se puede promover la reacción de fórmula 3 en comparación con cuando se utiliza aire como en la primera realización, de modo que se promueve aún más la adsorción de los iones metálicos. Como resultado, los iones metálicos pueden separarse y eliminarse en mayor cantidad del agua dura.

Se supone que el principio es aplicable no sólo al nitrógeno sino también a cualquier gas que pueda reaccionar con iones H^+ para reducir el número de iones H^+ en relación con el número de iones OH^- .

(4) Promoción de la cristalización de iones metálicos.

Dado que el nitrógeno es un gas inerte diferente del aire, cuando se suministra nitrógeno al agua dura, se pierde el equilibrio de presión parcial en el gas contenido en el agua dura. Esto promueve una reacción como se muestra en la figura 8.

Como se muestra en la figura 8, otro componente gaseoso disuelto en agua dura actúa sobre las burbujas finas compuestas de nitrógeno para reemplazar el nitrógeno. En el ejemplo que se muestra en la figura 8, el CO_2 está contenido en $Ca(HCO_3)_2$ presente alrededor de las burbujas finas, y este CO_2 se extrae y actúa reemplazando al nitrógeno. Específicamente, se promueve la siguiente reacción.



Como se describió anteriormente, se produce una reacción tal que se genera $CaCO_3$ insoluble a partir de $Ca(HCO_3)_2$ soluble. En este caso se genera CO_2 y H_2O . El $CaCO_3$ es insoluble y por lo tanto se deposita como cristales de un componente metálico.

Los primeros iones metálicos contenidos como Ca^{2+} de $Ca(HCO_3)_2$ en el agua dura pueden cristalizarse y depositarse mediante la reacción. De este modo se pueden eliminar los cristales del componente metálico del agua dura.

Se supone que el principio es aplicable no sólo al nitrógeno sino también a cualquier gas distinto del aire que pueda romper el equilibrio de presión parcial del gas disuelto en agua dura.

Dado que las burbujas finas se generan al tomar nitrógeno y se suministran al agua dura en la segunda realización como se describe anteriormente, las reacciones descritas en las secciones de "(3) Promoción de la adsorción de iones metálicos" y "(4) Promoción de la cristalización de iones metálicos" se puede promover en comparación con cuando se utiliza aire. Esto puede mejorar la precisión de la eliminación de iones metálicos del agua dura.

(Tercera realización)

Se describirá un método para eliminar iones metálicos mediante un sistema de eliminación de iones según una tercera realización de la presente divulgación. En la tercera realización, se describirán principalmente las diferencias con respecto a las realizaciones primera y segunda, y no se superpondrá la descripción con la primera y segunda realizaciones.

- 5 Mientras que la parte 3B generadora de burbujas finas genera burbujas finas que contienen aire en las realizaciones primera y segunda, la tercera realización es diferente de las realizaciones primera y segunda en que se generan burbujas finas que contienen un gas mixto obtenido mezclando múltiples tipos de gases.

El gas mixto utilizado para generar las burbujas finas en la tercera realización es un gas obtenido mezclando dos tipos de gases, es decir, un primer gas que es un gas básico y un segundo gas que es un gas que tiene una propiedad de tasa de disolución más lenta que el primer gas. Por lo tanto, la parte 7 de suministro de gas de eliminación de iones mostrada en la figura 1 suministra el gas mezclado obtenido mezclando el primer gas y el segundo gas, como gas de eliminación de iones a la parte 3B generadora de burbujas finas.

Se supone que al generar las burbujas finas con el gas mixto que contiene el primer gas y el segundo gas, se promueven las acciones descritas en las siguientes secciones (5), (6) además de "(1) Adsorción de Metal Iones" y "(2) Cristalización de iones metálicos" descritos anteriormente. Cabe señalar que la presente divulgación no está sujeta a los principios específicos descritos en las siguientes secciones (5), (6).

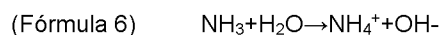
(5) Cambio potencial en las superficies de las burbujas finas debido al primer gas

El primer gas contenido en el gas mixto es un gas básico que recibe H^+ en una reacción ácido-base. El primer gas se disuelve en agua para generar OH^- . Específicamente, ocurre la reacción de fórmula 5-1.



En la fórmula 5-1, el primer gas está representado por la fórmula Química X. Cuando ocurre la reacción de la fórmula 5-1, como se muestra en la figura 9, la proporción de OH^- presente alrededor de las burbujas 40 finas aumenta en comparación con la proporción de H^+ (H^+ no se muestra en la figura 9). El potencial de una interfaz sólido-líquido depende en gran medida del pH en la calidad del agua, ya que H^+ y OH^- en el agua son iones que determinan el potencial, y una carga positiva se vuelve más fuerte a medida que aumenta H^+ , mientras que una carga negativa se vuelve más fuerte a medida que aumenta OH^- . Como resultado, una carga negativa se vuelve fuerte en términos de las burbujas 40 finas, de modo que el Ca^{2+} que tiene una carga positiva se adsorbe fácilmente. De esta manera, se puede mejorar el efecto de adsorción de iones metálicos de las burbujas 40 finas.

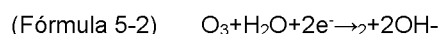
30 Además, en la tercera realización, se utiliza el gas básico de amoníaco como primer gas. Cuando se utiliza amoníaco, la fórmula 5-1 se describe específicamente como en la fórmula 5.



Al generar las burbujas 40 finas usando amoníaco, que es un gas versátil que tiene alta solubilidad en agua, se puede reducir el coste de generación de las burbujas 40 finas mientras se mejora el efecto de adsorción de iones metálicos descrito anteriormente.

Se supone que el principio es aplicable no sólo al amoníaco sino también a cualquier gas básico. Ejemplos de dicho gas básico incluyen metilamina, etilamina, propilamina, isopropilamina, butilamina, hexilamina, ciclohexilamina, dimetilamina, dietilamina, diisopropilamina, dipropilamina, di-n-butilamina, etanolamina, dietiletanolamina, dimetiletanolamina, etilendiamina, dimetilaminopropilamina, N,N-dimetiletilamina, trimetilamina, trietilamina, tetrametilendiamina, dietilentriamina, propilenimina, pentametilendiamina, hexametilendiamina, morfolina, N-metilmorfolina y N-etilmorfolina.

Como se muestra en la fórmula 5-1, X no se limita a un gas básico, y es probable que se produzca el mismo efecto siempre que X sea un "gas donador de iones hidroxilo" que reacciona con agua (H_2O) para donar un ion hidroxilo (OH^-). Ejemplos de gas donador de iones hidroxilo incluyen un gas ozono soluble (O_3). Cuando el gas ozono se suministra al agua, probablemente ocurra la reacción representada por la fórmula 5-2 similar a la fórmula 5-1.



Según la fórmula 5-2, es probable que el gas donador de iones hidroxilo "X" que provoca la reacción representada por la fórmula 5-3 produzca el mismo efecto.



El ozono se describirá en el ejemplo experimental 6.

(6) Mantenimiento de burbujas finas con segundo gas

Como se describe en la sección de "(5) Cambio potencial en superficies de burbujas finas debido al primer gas", el primer gas es el gas básico contenido en el gas mezclado y se disuelve en agua para aumentar la proporción de OH^- en las superficies de las burbujas 40 finas. Dicho primer gas se mezcla con el segundo gas, que es un gas que tiene la propiedad de una tasa de disolución más lenta que el primer gas. Al mezclar con dicho segundo gas, se evita que las burbujas 40 finas se disuelvan completamente en agua incluso cuando el primer gas se disuelve en agua, de modo que se puede mantener el estado de las burbujas 40 finas. Manteniendo el estado de las burbujas 40 finas, se puede mantener el efecto de adsorción sobre iones Ca^{2+} atribuible a las burbujas finas descritas en la primera y segunda realizaciones.

En la tercera realización, se utiliza nitrógeno como segundo gas. Al generar las burbujas 40 finas usando nitrógeno, que es un gas versátil e inofensivo para el cuerpo humano, se puede reducir el coste de generación de las burbujas 40 finas mientras se garantiza la seguridad. Además, dado que el nitrógeno es un gas no soluble en agua (gas no soluble), el efecto de mantener el estado de las burbujas 40 finas se puede ejercer de forma más eficaz.

Se supone que el principio es aplicable no sólo al nitrógeno sino también a cualquier gas que tenga la propiedad de una tasa de disolución más lenta que el primer gas, que es un gas básico. Cuando se selecciona el segundo gas, un gas a seleccionar puede ser un gas que tenga una tasa de disolución (solubilidad) en agua más lenta (menor) que el primer gas en las mismas condiciones, incluidas las condiciones de temperatura y presión. Ejemplos de dicho segundo gas incluyen nitrógeno, hidrógeno, monóxido de carbono, butano, oxígeno, metano, propano, etano, óxido nítrico, etileno, propeno, acetileno y dióxido de carbono en orden ascendente de solubilidad. Entre ellos, cuando se utiliza un gas no soluble en agua tal como óxido nítrico, oxígeno o hidrógeno, se puede ejercer más eficazmente el efecto de mantener el estado de las burbujas 40 finas.

Se ha descrito en las secciones de "(3) Promoción de la adsorción de iones metálicos" y "(4) Promoción de la cristalización de iones metálicos" que el nitrógeno se disuelve en agua dura con referencia a las figuras 7 y 8, y esta reacción probablemente ocurre al mismo tiempo. El nitrógeno es insoluble en agua y por lo tanto difícil de disolver en agua de modo que se ejerce un fuerte efecto de mantener el estado de las burbujas 40 finas; sin embargo, una cantidad no pequeña de nitrógeno se disuelve en agua. Por lo tanto, el fenómeno de disolución de nitrógeno en agua descrito en las secciones "(3) Promoción de la adsorción de iones metálicos" y "(4) Promoción de la cristalización de iones metálicos" ocurre en gran medida simultáneamente con el fenómeno de mantenimiento de las burbujas finas con nitrógeno descritas en la sección de "(6) Mantenimiento de burbujas finas con segundo gas".

Como se describió anteriormente, la parte generadora de burbujas finas de la tercera realización genera las burbujas 40 finas a partir de un gas mixto obtenido mezclando el primer gas que reacciona con agua para donar iones hidroxilo y el segundo gas que tiene una propiedad de tasa de disolución más lenta que el primer gas. El primer gas es un gas donador de iones hidroxilo y reacciona con agua para aumentar la proporción de OH^- en las superficies de las burbujas 40 finas. Esto puede aumentar el efecto de adsorción de iones metálicos tales como Ca^{2+} en las burbujas 40 finas. Además, al mezclar el segundo gas que tiene una propiedad de tasa de disolución más lenta que el primer gas, se puede evitar que las burbujas 40 finas se disuelvan completamente en agua para mantener el estado de las burbujas 40 finas.

En la tercera realización, el primer gas es un gas básico soluble (amoníaco). Dado que el primer gas es un gas básico y primero se disuelve en agua, y el segundo gas tiene la propiedad de una tasa de disolución más lenta que la del gas básico y está cargado negativamente, el efecto se puede lograr utilizando una diferencia en la tasa de disolución entre los dos gases.

Las proporciones de mezcla de amoníaco y nitrógeno en las burbujas 40 finas se pueden establecer en cualquier valor o se pueden establecer, por ejemplo, de modo que la proporción de mezcla de nitrógeno a amoníaco sea mayor (por ejemplo, amoníaco:nitrógeno es 1:99 en una cantidad de sustancia (proporción de volumen)). Con dicha configuración, el aumento de OH^- debido a la disolución de amoníaco está limitado sólo en una región cercana a las superficies de las burbujas 40 finas, y la proporción de OH^- apenas cambia en una posición distante de las burbujas 40 finas. Esto puede mantener inalterada la calidad del agua de toda el agua provocando al mismo tiempo un cambio sólo en las proximidades de las superficies de las burbujas 40 finas. Por otro lado, aumentando la proporción de nitrógeno, el estado de las burbujas 40 finas puede mantenerse durante más tiempo. De esta manera, se puede producir el efecto descrito anteriormente ajustando la cantidad de sustancia del segundo gas, que tiene una tasa de disolución más lenta que el gas básico, mayor que la cantidad de sustancia del primer gas, que es el gas básico, en la mezcla de gases. Dado que la cantidad de sustancia y el volumen son proporcionales entre sí en las condiciones de la misma temperatura y la misma presión, las proporciones de mezcla del primer gas y el segundo gas se pueden establecer utilizando la cantidad de sustancia o el volumen.

Alternativamente, las proporciones de mezcla se pueden establecer de manera que la proporción de mezcla de amoníaco a nitrógeno sea mayor. Con dicha configuración se pueden cristalizar y eliminar aún más los iones metálicos contenidos en el agua dura. El principio de promoción de la cristalización como se describió anteriormente se describirá en los ejemplos experimentales 2 a 4.

En la tercera realización, a diferencia de una forma de suministro en la que el amoníaco y el nitrógeno se forman por separado en burbujas finas y las burbujas finas se suministran por separado al agua dura sin mezclarse, las burbujas 40 finas del gas mezclado se obtienen mezclando amoníaco y El nitrógeno se suministra al agua dura. Dicha forma de suministro puede evitar que el amoníaco se disuelva solo en una posición distante de las burbujas 40 finas, de modo que la función de aumentar el OH^- sólo en las proximidades de las superficies de las burbujas 40 finas pueda ejercerse suficientemente.

Se describirá un principio hipotético en términos del efecto de adsorción de iones metálicos de las burbujas 40 finas usando el gas mixto obtenido mezclando el primer gas, que es amoníaco, y el segundo gas, que es nitrógeno, descrito anteriormente, en particular, hasta que los iones metálicos finalmente cristalicen, con referencia a un esquema de la figura 10.

Como se muestra en la figura 10, cuando las burbujas 40 finas se suministran en agua dura, el amoníaco es soluble en agua y se disuelve en el agua circundante entre el amoníaco y el nitrógeno que constituyen las burbujas 40 finas (disolución de gas amoníaco). Por lo tanto, como se describe en la sección de "(5) Cambio potencial en superficies de burbujas finas debido al primer gas", se genera NH_4^+ en las superficies de las burbujas 40 finas y la proporción de OH^- aumenta (condensación superficial). En este caso, aumenta el efecto de adsorción de iones Ca^{2+} .

Cuando la concentración superficial continúa, se maximiza la concentración de OH^- en las superficies de las burbujas 40 finas. Específicamente, se maximiza el pH en las superficies de las burbujas 40 finas, y se maximiza el potencial zeta de las burbujas 40 finas (pH local elevado, potencial zeta elevado).

En los estados de "disolución de gas amoníaco", "condensación superficial" y "pH local elevado, potencial zeta elevado", el Ca^{2+} se adsorbe en las burbujas 40 finas. En este caso, si las burbujas 40 finas con Ca^{2+} adsorbidas se separan del agua dura, los iones metálicos se pueden eliminar del agua dura.

Si no se realiza la separación o si los iones metálicos permanecen como burbujas 40 finas incluso aunque se realiza la separación, comienza la cristalización del Ca^{2+} adsorbido en las superficies de las burbujas 40 finas. Específicamente, Ca^{2+} cristaliza y se deposita como cristales 42. Además, a medida que se depositan los cristales 42, las burbujas 40 finas comienzan a desaparecer (desaparición).

A medida que avanza la cristalización de Ca^{2+} y la desaparición de las burbujas 40 finas, el nitrógeno insoluble en agua que mantiene el estado de las burbujas 40 finas se difunde en agua como un gas disuelto (difusión de gas disuelto).

En los estados de "desaparición" y "difusión de gas disuelto" descritos anteriormente, los contenidos como iones metálicos en el agua dura se depositan como cristales 42. Separando los cristales 42 depositados de esta manera del agua dura, los iones metálicos del agua dura se pueden cristalizar y eliminar.

(Ejemplos experimentales 2 a 4)

Se describirán los ejemplos experimentales 2 a 4 realizados para confirmar la influencia de las proporciones de mezcla de amoníaco y nitrógeno en las burbujas 40 finas sobre la cristalización del componente metálico. Los experimentos se realizaron utilizando un aparato 50 mostrado en la figura 11.

La figura 11 es un diagrama que muestra una configuración esquemática del aparato 50 utilizado en los ejemplos experimentales 2 a 4. El aparato 50 mostrado en la figura 11 incluye una parte 52 de suministro de gas mezclado, un tanque 54 de tratamiento, una primera tubería 56, una segunda tubería 58, una válvula 60 de muestreo de agua, un muestreador 62 de agua, un tanque 64 de almacenamiento de agua, una bomba 66, una válvula 68 de ajuste del caudal y un medidor 70 de caudal.

La parte 52 de suministro de gas mezclado es un miembro que suministra el gas mezclado al tanque 54 de tratamiento. La parte 52 de suministro de gas mezclado incluye una fuente 72 de suministro de amoníaco, una fuente 74 de suministro de nitrógeno, una válvula 76 de ajuste de proporción de mezcla, una tubería 78 de suministro, y una parte 80 generadora de burbujas finas.

La parte 52 de suministro de gas mixto utiliza la fuente 72 de suministro de amoníaco y la fuente 74 de suministro de nitrógeno para generar el gas mezclado obtenido mezclando amoníaco (el primer gas) y nitrógeno (el segundo gas). Las proporciones de mezcla de amoníaco y nitrógeno se pueden establecer en cualquier proporción mediante la válvula 76 de ajuste de proporción de mezcla. El gas mezclado se suministra a través de la tubería 78 de suministro a la parte 80 generadora de burbujas finas dispuesta en una porción inferior del tanque 54 de tratamiento. La parte 80 generadora de burbujas finas es un miembro que forma burbujas finas del gas mezclado.

El tanque 54 de tratamiento es un tanque (parte de almacenamiento de agua dura) que almacena agua dura como agua tratada que se va a tratar. Al suministrar las burbujas finas del gas mezclado al agua dura en el tanque 54 de tratamiento, el componente metálico se elimina, o particularmente se cristaliza, del agua dura, de

acuerdo con el principio descrito en la tercera realización. El agua tratada después del tratamiento se envía a la primera tubería 56. La válvula 60 de muestreo de agua está dispuesta en el medio de la primera tubería 56. Al abrir y cerrar la válvula 60 de muestreo de agua, se muestrea el agua tratada que pasa a través de la primera tubería 56. El agua tratada muestreada se coloca en el muestreador 62 de agua.

- 5 La primera tubería 56 está conectada al tanque 64 de almacenamiento de agua. El tanque 64 de almacenamiento de agua es un tanque que almacena el agua tratada. El agua tratada almacenada en el tanque 64 de almacenamiento de agua se devuelve a través de la segunda tubería 58 al tanque 54 de tratamiento. Como resultado, el agua tratada circula.

- 10 La bomba 66, la válvula 68 de ajuste del caudal y el medidor 70 de caudal están unidos a la segunda tubería 58. La bomba 66 es un miembro que genera una fuerza de propulsión que hace que el agua tratada en el tanque 64 de almacenamiento de agua fluya a través de la segunda tubería 58. La válvula 68 de ajuste del caudal es una válvula que ajusta el caudal del agua tratada que pasa a través de la segunda tubería 58. El medidor 70 de caudal es un dispositivo que mide el caudal del agua tratada que fluye a través de la segunda tubería 58.

- 15 El aparato 50 como se describió anteriormente se utilizó para realizar un tratamiento para eliminar el componente metálico en el agua dura en el tanque 54 de tratamiento mientras se operaba continuamente la bomba 66 y para recolectar el agua tratada después del tratamiento del muestreador 62 de agua para medir diversos parámetros. En los ejemplos experimentales 2 a 4, se examinó la tasa de cristalización del componente metálico contenido en el agua tratada (tasa de cristalización). La tasa de cristalización en esta memoria
- 20 descriptiva no se limita a una sustancia compuesta de átomos y moléculas dispuestas periódicamente con regularidad y significa una tasa de una sustancia simplemente depositada como un sólido. La tasa de cristalización puede denominarse "tasa de deposición".

- La figura 12 muestra un ejemplo de un resultado cuando el agua tratada realmente tratada en los ejemplos experimentales 2 a 4 se observa con un microscopio electrónico de barrido (SEM). Como se muestra en la
- 25 figura 12, se deposita una multiplicidad de cristales 84 en el agua 82 tratada.

En los ejemplos experimentales 2 y 3, se utilizó agua 1 dura como agua tratada que se va a tratar. El agua 1 dura es Evian (marca registrada) y tiene una dureza de aproximadamente 300 mg/L. En el ejemplo experimental 4, se usaron dos tipos de aguas duras 1 y 2. El agua 2 dura es Contrex (marca registrada) que tiene una dureza de aproximadamente 1400 mg/L.

30 (Ejemplo experimental 2)

- En el ejemplo experimental 2, el aparato 50 descrito anteriormente se utilizó para recolectar el agua tratada después de transcurrir un tiempo predeterminado como agua de muestra con el muestreador 62 de agua mientras se operaba la bomba 66 para hacer que el agua dura fluya hacia el tanque 54 de tratamiento. En el
- 35 ejemplo experimental 2, las proporciones de mezcla de amoníaco y nitrógeno en el gas mezclado se cambiaron para examinar las diferencias en la tasa de cristalización en las respectivas proporciones de mezcla. Las condiciones experimentales específicas del ejemplo experimental 2 se enumeran a continuación. En el ejemplo experimental 2, el agua tratada suministrada desde el tanque 54 de tratamiento a la primera tubería 56 se descartó excepto el agua recolectada con el muestreador 62 de agua y no se suministró al tanque 64 de almacenamiento de agua.

40 (Condiciones experimentales)

Tipo de agua tratada: agua 1 dura

Porcentaje de mezcla de amoníaco en gas mezclado: 0 % (solo nitrógeno), 30 %, 40 %, 50 %, 60 %, 70 %, 80 %, 90 %, 100 % (solo amoníaco)

Caudal de agua tratada: 2,6 L/min

- 45 Caudal de gas mezclado: 0,03 L/min

Tiempo desde el inicio del funcionamiento de la bomba hasta la recogida: 3 minutos

Elementos de medición del agua de muestra: pH, dureza Ca (mg/L), concentración total de ácido carbónico (mg/L)

- 50 Para los elementos de medición del agua de muestra, el agua de muestra recolectada se filtró para eliminar los cristales del componente metálico depositado en el agua de muestra antes de realizar la medición. La dureza Ca es un valor que se obtiene convirtiendo el contenido de Ca^{2+} contenido en el agua tratada por unidad de volumen en carbonato cálcico (CaCO_3). Para medir el pH, la dureza Ca y la concentración total de ácido carbónico se utilizaron los respectivos dispositivos de medición disponibles comercialmente.

Los resultados experimentales del ejemplo experimental 2 se muestran en las figuras 13A y 13B.

En la figura 13A, el eje horizontal representa el porcentaje de mezcla (%) de amoníaco en el gas mezclado, y el eje vertical representa la tasa de cristalización (%) de la muestra de agua. En la figura 13B, el eje horizontal representa el pH del agua de muestra y el eje vertical representa la tasa de cristalización (%) del agua de muestra.

La "tasa de cristalización" se calculó mediante (la dureza Ca del agua de muestra antes del funcionamiento - la dureza Ca del agua de muestra después del funcionamiento)/la dureza Ca del agua de muestra antes del funcionamiento. La tasa de cristalización calculada de esta manera representa cuántos iones metálicos se cristalizan en la muestra de agua por unidad de volumen. Una tasa de cristalización más alta indica que se cristalizan más iones metálicos en la muestra de agua.

Como se muestra en las figuras 13A y 13B, la tasa de cristalización aumenta a medida que aumenta el porcentaje de mezcla de amoníaco. En particular, cuando el porcentaje de mezcla de amoníaco es del 70 % o más, la tasa de cristalización aumenta dramáticamente.

Como se muestra en las figuras 13A y 13B, se puede observar que cuando el porcentaje de mezcla de amoníaco es mayor, el pH aumenta. Se observa que aunque se aumenta el pH, el valor máximo está entre 8,5 y 9. El valor de referencia del pH para el agua del grifo definido por el Ministerio de Salud, Trabajo y Bienestar está en el intervalo de 5,8 a 8,6, y se puede observar que incluso si el porcentaje de mezcla de amoníaco es alto, el pH varía a un valor cercano al intervalo. Además, el intervalo potable deseable de agua con iones alcalinos prescrito en la Ley de Asuntos Farmacéuticos es un pH de 9 a 10. Dado que el valor del pH puede mantenerse por debajo de este intervalo, se puede ver que el agua es adecuada como agua potable.

El factor que impide que el pH aumente excesivamente incluso con un alto porcentaje de mezcla de amoníaco es probablemente que el pH aumenta principalmente localmente alrededor de las burbujas 40 finas como se describió anteriormente con referencia a la figura 10, en lugar de aumentar el pH de toda el agua tratada.

(Ejemplo experimental 3)

En el ejemplo experimental 3, como en el ejemplo experimental 2, el aparato 50 descrito anteriormente se utilizó para recolectar el agua tratada después del transcurso de un tiempo predeterminado como agua de muestra con el muestreador 62 de agua mientras se operaba la bomba 66 para hacer que el agua dura fluyera hacia el tanque 54 de tratamiento. En el ejemplo experimental 3, sólo se usaron dos patrones de 70 % y 100 % para el porcentaje de mezcla de amoníaco en el gas mezclado. A diferencia del ejemplo experimental 2, la muestra de agua se recogió a intervalos predeterminados desde el inicio del funcionamiento de la bomba 66 para medir diversos parámetros. Además, a diferencia del ejemplo experimental 2, el agua tratada suministrada desde el tanque 54 de tratamiento a la primera tubería 56 se devolvió al tanque 64 de almacenamiento de agua para hacer circular el agua tratada excepto el agua recolectada con el muestreador 62 de agua. Las condiciones experimentales específicas del ejemplo experimental 3 se enumeran a continuación.

(Condiciones experimentales)

Tipo de agua tratada: agua 1 dura

Porcentaje de mezcla de amoníaco en gas mezclado: 70 %, 100 % (solo amoníaco)

Caudal de agua tratada: 2,6 L/min

Caudal de gas mezclado: 0,03 L/min

Elementos de medición del agua de muestra: pH, dureza Ca (mg/L), concentración total de ácido carbónico (mg/L)

Los resultados experimentales del ejemplo experimental 3 se muestran en las figuras 14A, 14B y 14C.

En la figura 14A, el eje horizontal representa el tiempo de funcionamiento (minutos) de la bomba 66, y el eje vertical representa la tasa de cristalización (%) del agua de muestra. En la figura 14B, el eje horizontal representa el tiempo de funcionamiento (minutos) de la bomba 66, y el eje vertical representa la dureza Ca (mg/L) del agua de muestra. En la figura 14C, el eje horizontal representa el tiempo de funcionamiento (minutos) de la bomba 66 y el eje vertical representa el pH del agua de muestra.

Como se muestra en la figura 14A, la tasa de cristalización aumenta a medida que transcurre el tiempo de funcionamiento, independientemente de si el porcentaje de mezcla de amoníaco es del 70 % o del 100 %. Como se muestra en la figura 14B, la dureza Ca disminuye a medida que transcurre el tiempo de operación. Esto revela que el componente metálico Ca^{2+} disuelto en el agua dura cristaliza como CaCO_3 debido a la introducción de burbujas finas utilizando el gas mezclado.

Por otro lado, la velocidad de aumento de la tasa de cristalización y la velocidad de disminución de la dureza Ca son más rápidas cuando el porcentaje de mezcla de amoníaco es del 100 % que cuando el porcentaje de mezcla es del 70 %. Esto revela que el amoníaco contribuye significativamente a la cristalización de Ca^{2+} en CaCO_3 .

- 5 Como se muestra en la figura 14C, el pH aumenta gradualmente a medida que transcurre el tiempo de funcionamiento, independientemente de si el porcentaje de mezcla de amoníaco es del 70 % o del 100 %. No se observa ninguna diferencia significativa en el valor del pH entre cuando el porcentaje de mezcla de amoníaco es del 70 % y cuando el porcentaje de mezcla es del 100 %. Incluso cuando ha transcurrido el tiempo de funcionamiento de 50 minutos, el pH está entre 9 y 10 y no aumenta excesivamente. El factor que modera la
- 10 velocidad de aumento del pH de esta manera es probablemente que el pH aumenta principalmente localmente alrededor de las burbujas 40 finas como se describió anteriormente con referencia a la figura 10, en lugar de aumentar el pH de toda el agua tratada.

(Ejemplo experimental 4)

- 15 En el ejemplo experimental 4, como en los ejemplos experimentales 2 y 4, el aparato 50 descrito anteriormente se utilizó para recolectar el agua tratada después del transcurso de un tiempo predeterminado como agua de muestra con el muestreador 62 de agua mientras se operaba la bomba 66 para hacer que el agua dura fluyera hacia el tanque 54 de tratamiento. Como en el ejemplo experimental 3, la muestra de agua se recogió a intervalos predeterminados desde el inicio del funcionamiento de la bomba 66 para medir varios parámetros. Como en el ejemplo experimental 3, el agua tratada suministrada desde el tanque 54 de tratamiento a la primera
- 20 tubería 56 se devolvió toda al tanque 64 de almacenamiento de agua para hacer circular el agua tratada excepto el agua recolectada con el muestreador 62 de agua. Por otro lado, en el ejemplo experimental 4, solo se utilizó un patrón del 70 % para el porcentaje de mezcla de amoníaco en el gas mezclado. A diferencia de los ejemplos experimentales 2 y 3, se usaron como agua tratada dos tipos de aguas duras, es decir, el agua 1 dura (dureza: aproximadamente 300 mg/L) y el agua 2 dura (dureza: aproximadamente 1400 mg/L). Las condiciones
- 25 experimentales específicas del ejemplo experimental 4 se enumeran a continuación.

(Condiciones experimentales)

Tipos de agua tratada: agua 1 dura, agua 2 dura

Porcentaje de mezcla de amoníaco en gas mezclado: 70 %

Caudal de agua tratada: 2,6 L/min

- 30 Caudal de gas mezclado: 0,03 L/min

Elementos de medición del agua de muestra: pH, dureza Ca (mg/L), concentración total de ácido carbónico (mg/L)

Los resultados experimentales del ejemplo experimental 4 se muestran en las figuras 15A, 15B, 15C y 15D.

- 35 En la figura 15A, el eje horizontal representa el tiempo de funcionamiento (minutos) de la bomba 66, y el eje vertical representa la tasa de cristalización (%) del agua de muestra. En la figura 15B, el eje horizontal representa el tiempo de funcionamiento (minutos) de la bomba 66, y el eje vertical representa la dureza Ca (mg/L) del agua de muestra. En la figura 15C, el eje horizontal representa el tiempo de funcionamiento (minutos) de la bomba 66 y el eje vertical representa el pH del agua de muestra. La figura 15D es una gráfica de la figura 15B en la que la concentración total de ácido carbónico (mg/L) se agrega al eje vertical.

- 40 Como se muestra en las figuras 15A y 15B, tanto en el agua 1 dura como en el agua 2 dura, la tasa de cristalización aumenta y la dureza Ca disminuye a medida que transcurre el tiempo de funcionamiento. Esto revela que el componente metálico Ca^{2+} disuelto en el agua dura cristaliza como CaCO_3 debido a la introducción de burbujas finas utilizando el gas mezclado.

- 45 Como se muestra en las figuras 15A y 15C, se puede ver que el aumento de la tasa de cristalización y el aumento de la velocidad del pH son significativamente diferentes entre el agua 1 dura y el agua 2 dura. Específicamente, se puede ver que la velocidad de aumento de la tasa de cristalización y la velocidad de aumento del pH son mayores en el agua 1 dura que en el agua 2 dura. A este respecto, los presentes inventores centraron su atención en la "concentración total de ácido carbónico" y realizaron un estudio basado en los datos mostrados en la figura 15D.

- 50 Como se muestra en la figura 15D, la concentración total de ácido carbónico del agua 1 dura tiene un valor de 150 a 200 mg/L cuando el tiempo de funcionamiento es de 50 minutos. Por lo tanto, el agua 1 dura contiene grandes cantidades de HCO_3^- y CO_3^{2-} . Cuando el tiempo de funcionamiento es de 50 minutos, la tasa de cristalización del agua 1 dura ha alcanzado del 70 al 80 % como se muestra en la figura 15A. Por otra parte, la concentración total de ácido carbónico del agua 2 dura tiene un valor de aproximadamente 20 mg/L cuando el

tiempo de funcionamiento es de 70 minutos. En comparación con el agua 1 dura, se puede ver que los contenidos de HCO_3^- y CO_3^{2-} son significativamente menores en el agua 2 dura. Según los datos mostrados en la figura 15A, la tasa de cristalización del agua 2 dura se espera que sea aproximadamente del 40 % cuando el tiempo de funcionamiento sea de 70 minutos.

- 5 Como se describe en los principios de la primera a la tercera realizaciones, HCO_3^- y CO_3^{2-} funcionan como componentes para cristalizar Ca^{2+} como CaCO_3 . Es probable que la velocidad de aumento de la tasa de cristalización sea mayor en el agua 1 dura que en el agua 2 dura, ya que HCO_3^- y CO_3^{2-} están contenidos en cantidades mayores.

- 10 La tabla 1 muestra el contenido de componentes metálicos contenidos en las aguas duras 1, 2 y la concentración total de ácido carbónico.

[Tabla 1]

	contenido (mg/L)			Cantidad de CO_3^{2-} necesaria para la disolución (mg/L)			cantidad excedente (mg/L)
	Ca	Mg	CO_3^{2-}	Ca	Mg	total	
Peso molecular	40	24,3	60	60			
Contrex	468	74,8	372	702	184,691358	886,691358	-514,691
Evian	80	26	357	120	64,19753086	184,1975309	172,8025

- 15 Como se muestra en la Tabla 1, los contenidos de Ca, Mg y CO_3^{2-} por unidad de volumen contenidos en el agua 1 dura, es decir, Evian (marca registrada), son 80, 26 y 357 mg/L, respectivamente. Los contenidos de Ca, Mg y CO_3^{2-} por unidad de volumen contenidos en el agua 2 dura, es decir, Contrex (marca registrada), son 468, 74,8 y 372 mg/L. Por lo tanto, los contenidos de CO_3^{2-} por unidad de volumen contenidos en el agua 1 dura y el agua 2 dura son 357 mg/L y 372 mg/L, que son sustancialmente los mismos. Por otro lado, la cantidad de CO_3^{2-} requerida para la disolución de Ca y Mg en relación con los contenidos de Ca y Mg contenidos en el agua dura es aproximadamente 184 mg/L para el agua 1 dura y aproximadamente 887 mg/L para el agua 2 dura. Por lo tanto, el agua 1 dura tiene un excedente de aproximadamente 173 mg/L de la cantidad realmente contenida de CO_3^{2-} con respecto a la cantidad de CO_3^{2-} requerida para la disolución de Ca y Mg. Esto significa que el CO_3^{2-} para la cristalización de Ca^{2+} está presente en abundancia cuando se introducen las burbujas finas del gas mezclado. Por otro lado, el agua 2 dura está aproximadamente 515 mg/L por debajo de la cantidad realmente contenida de CO_3^{2-} con respecto a la cantidad de CO_3^{2-} necesaria para la disolución de Ca y Mg. Como resultado, cuando se introducen las burbujas finas del gas mezclado, probablemente no se promueve la cristalización debido a la escasez de CO_3^{2-} para cristalizar Ca^{2+} .

- 30 A partir de los resultados descritos anteriormente, es probable que si el agua dura a tratar contiene abundantemente ácido carbónico tal como HCO_3^- y CO_3^{2-} , se pueda mejorar el aumento de la velocidad de cristalización. Basándose en este hecho, para aumentar el contenido total de dióxido de carbono del agua dura, se puede introducir un gas de ácido carbónico en el agua dura antes de introducir las burbujas finas. Específicamente, puede incluirse además una parte generadora de gas de ácido carbónico que genere un gas de ácido carbónico. Antes de suministrar las burbujas finas generadas por la parte generadora de burbujas finas al agua dura, la parte generadora de gas de ácido carbónico puede generar un gas de ácido carbónico y suministrarlo al agua dura. Probablemente esto pueda favorecer la cristalización del componente metálico en el agua dura.

- 35 Como se describió anteriormente, según los ejemplos experimentales 2 a 4, la cristalización del componente metálico se puede promover estableciendo la cantidad de sustancia de amoníaco mayor que la cantidad de sustancia de nitrógeno en el gas mixto. Además, ajustando el porcentaje de mezcla de amoníaco en el gas mezclado al 70 % o más, se puede promover significativamente la cristalización del componente metálico.

40 (Ejemplo experimental 5)

- 45 El ejemplo experimental 5 es un experimento de evaluación sensorial para evaluar la "formación de espuma" para la muestra de agua (agua blanda) tratada usando el aparato 50 descrito anteriormente. La formación de espuma está relacionada con el poder de formación de espuma según la altura y el tamaño de la espuma generada a partir de una superficie de agua. Generalmente se considera que cuando la cantidad de componentes de dureza es menor, la formación de espuma es mayor, lo cual es ventajoso porque el efecto de lavado aumenta cuando el agua se utiliza con fines de lavado, por ejemplo.

En el ejemplo experimental 5, a diferencia de los ejemplos experimentales 2 a 4, se generaron burbujas finas a partir de un único gas de amoníaco en lugar del gas mixto. Específicamente, en el aparato 50 mostrado en la figura 16, se generaron burbujas finas usando solo la fuente 72 de suministro de amoníaco sin usar la fuente 74 de suministro de nitrógeno. El método de uso del aparato 50 es el mismo que en los ejemplos experimentales 2 a 4 y por lo tanto no se describirá.

El método experimental del ejemplo experimental 5 se basa en el estándar de "formación de espuma": SHASE-S 218 de la Society of Heating, Air-Conditioning and Sanitary Engineers of Japan. Específicamente, se preparó agua diluida diluyendo 1,5 g de jabón puro con 200 ml de agua, y se mezclaron 1 ml de agua diluida y 9 ml de agua tratada de interés y se pusieron en una probeta medidora como 10 ml de agua de evaluación. Se utilizó COW BRAND Soap Red Box a1 (Cow Brand Soap Kyoshinsha Co., Ltd.) para el jabón puro, y se utilizó agua destilada de Autostill WG221 (Yamato Scientific Co., Ltd.) para 200 ml de agua. La probeta se agitó 50 veces y después de 1 minuto se midió la altura de la espuma desde la superficie del agua.

En el ejemplo experimental 5, se realizó el mismo experimento con tres tipos de agua, es decir, agua dura, agua del grifo y agua pura, además del agua de muestra tratada por el aparato 50. Las durezas de estas aguas y de la muestra agua son los siguientes.

Dureza del agua dura: dureza total 300 mg/L, dureza Ca 200 mg/L, dureza Mg 100 mg/L

Dureza del agua del grifo: dureza total 72 mg/L, dureza Ca 49 mg/L, dureza Mg 23 mg/L

Dureza del agua pura: dureza total 0 mg/L, dureza Ca 0 mg/L, dureza Mg 0 mg/L

Dureza del agua de muestra: dureza total 118 mg/L, dureza Ca 21 mg/L, dureza Mg 97 mg/L

Los resultados experimentales del ejemplo experimental 5 se muestran en la figura 16. En la figura 16, el eje horizontal representa el tipo de agua, y el eje vertical representa la altura (mm) de la espuma que se extiende desde la superficie del agua de evaluación. El eje vertical representa la formación de espuma y el poder espumante.

Como se muestra en la figura 16, mientras que el "agua dura" fue más alta tanto en las durezas Ca como en las durezas Mg y mostró poca formación de espuma cerca de 0, el "agua del grifo", el "agua de muestra" y el "agua pura" mostró aproximadamente los mismos altos niveles de formación de espuma. Por lo tanto, la "muestra de agua" tratada usando el aparato 50 mejora en términos de formación de espuma en comparación con el agua dura antes del tratamiento y consigue una formación de espuma cercana a la del "agua del grifo" y al "agua pura". Esto demuestra que la formación de espuma se puede mejorar eliminando los iones metálicos del agua dura con el método de las realizaciones y que la formación de espuma se puede lograr al mismo nivel que el agua del grifo y el agua pura, que son agua blanda.

Comparando los resultados mostrados en la figura 16 con los valores específicos de la dureza, cuando la dureza Ca es menor, la formación de espuma se vuelve mayor. Esto revela que el valor de la dureza Ca más que el de la dureza de Mg es un parámetro dominante que tiene una influencia directa sobre la formación de espuma.

(Ejemplo experimental 6)

En el ejemplo experimental 6, el agua tratada (agua dura) se trata usando el mismo aparato 50 (Figura 11) que en los ejemplos experimentales 2 a 4 para comparar la tasa de cristalización de la muestra de agua tratada.

En el ejemplo experimental 6, se compararon las diferencias en la tasa de cristalización entre el caso de usar microburbujas, que son burbujas finas, y el caso de usar miliburbujas, que no son burbujas finas. Específicamente, en el aparato 50 mostrado en la figura 11, se realizó un experimento en dos patrones usando la parte 80 generadora de burbujas finas tal como está para generar microburbujas, y usando otra parte generadora de burbujas (no mostrada) en lugar de la parte 80 generadora de burbujas finas para generar miliburbujas.

En el ejemplo experimental 6, a diferencia de los ejemplos experimentales 2 a 4, las burbujas se generaron a partir de un único gas de ozono en lugar del gas mixto. Específicamente, en el aparato 50 mostrado en la figura 11, se utilizó una fuente de suministro de ozono (no mostrada) en lugar de la fuente 72 de suministro de amoníaco y la fuente 74 de suministro de nitrógeno. Como se describe en el ejemplo experimental 3, el gas ozono es un gas donador de iones hidroxilo.

Las condiciones experimentales del ejemplo experimental 6 son las siguientes.

Tipo de agua tratada (común): agua 1 dura

Caudal de agua tratada (común): 12 L/min

Volumen de agua almacenada en el tanque 54 de tratamiento (común): 9 L

Caudal de gas ozono (común): 0,12 L/min

Diámetro promedio de burbuja de microburbujas: 56 μm

Diámetro promedio de burbuja de miliburbujas: 1021 μm

- 5 Elementos de medición del agua de muestra (común): dureza Ca (mg/L), dureza total (mg/L)

Los resultados experimentales del ejemplo experimental 6 se muestran en las figuras 17A y 17B.

En la figura 17A, el eje horizontal representa el tiempo (minutos) y el eje vertical representa la tasa de cristalización (%) de la dureza Ca. En la figura 17B, el eje horizontal representa el tiempo (minutos) y el eje vertical representa la tasa de cristalización (%) de la dureza total.

- 10 Como se muestra en las figuras 17A y 17B, se puede ver que las microburbujas alcanzan tasas de cristalización más altas que las miliburbujas tanto para la dureza Ca como para la dureza total. Por lo tanto, la tasa de cristalización es mayor en el caso de usar microburbujas, que son burbujas finas, en comparación con el caso de usar miliburbujas, que no son burbujas finas, y esto demuestra el efecto de cristalización de iones metálicos de las burbujas finas.

15 **(Ejemplo experimental 7)**

Se describirá el ejemplo experimental 7 realizado para verificar la acción de las burbujas finas que promueven la cristalización de iones metálicos. Los experimentos se realizaron utilizando un aparato 90 mostrado en la figura 18.

- 20 La figura 18 es un diagrama que muestra una configuración esquemática de un aparato 90 utilizado en el ejemplo experimental 7. El aparato 90 mostrado en la figura 18 incluye un aparato 91 de electrólisis, una primera tubería 92, un tanque 93 de tratamiento, una segunda tubería 94, una bomba 95 y una parte 96 generadora de burbujas finas.

- 25 El aparato 91 de electrólisis es un aparato que electroliza agua dura en agua ácida y agua alcalina. Dado que el aparato 91 de electrólisis puede aumentar sustancialmente el pH del agua dura separando el agua ácida del agua dura dejando el agua alcalina. El agua ácida se descarga al exterior del aparato 91 de electrólisis. Por otro lado, el agua alcalina se suministra al tanque 93 de tratamiento a través de la primera tubería 92.

El agua alcalina suministrada al tanque 93 de tratamiento se suministra a través de la segunda tubería 94 a la parte 96 generadora de burbujas finas accionando la bomba 95. La parte 96 generadora de burbujas finas es un aparato que suministra burbujas finas al agua alcalina.

- 30 Al usar el aparato 90 como se describió anteriormente, el pH del agua alcalina suministrada al tanque 93 de tratamiento se incrementó a 8,5 o más, y la bomba 95 se hizo funcionar continuamente durante aproximadamente 15 minutos para realizar un tratamiento de eliminación de un componente metálico en el agua alcalina en el tanque 93 de tratamiento. Como resultado, se confirmó que la cristalización del componente metálico en el agua dura prosiguió hasta que el pH del agua dura llegó a 8,3 o menos, en el que la proporción de abundancia de iones carbonato es 1 % o menos. También se confirmó que cuando el pH del agua alcalina en el tanque 93 de tratamiento es superior a 8,5, se promueve la cristalización del componente metálico (un tiempo más corto y una tasa de cristalización más alta).

- 35 Se confirmó que cuando el pH del agua alcalina suministrada al tanque 93 de tratamiento se aumentó a 8,5 o más y luego se dejó sin accionar la bomba 95 y la parte 96 generadora de burbujas finas, el componente metálico casi no cristalizó.

(Cuarta Realización)

- 40 Se describirá un sistema de eliminación de iones según una cuarta realización de la presente divulgación. En la cuarta realización, se describirán principalmente las diferencias con respecto a la primera realización. En la cuarta realización, los mismos elementos constituyentes o equivalentes que en la primera realización se indican con los mismos números de referencia. En la cuarta realización, la descripción no se superpondrá a la primera realización.

- 50 La figura 19 es un diagrama esquemático de un sistema de eliminación de iones según la cuarta realización. La cuarta realización es diferente de la primera realización en que la trayectoria 12 de flujo de retorno está configurada para devolver una porción del agua tratada que contiene cristales del componente metálico depositados en las proximidades de la superficie 4Aa circunferencial interior del aparato 4 de separación a la trayectoria 2 de flujo primaria.

Específicamente, una porción 12a extrema de la trayectoria 12 de flujo de retorno está abierta en el lado de la superficie 4Aa circunferencial interior de la parte 4A de separación. Por lo tanto, los cristales del componente metálico depositados en las proximidades de la superficie 4Aa circunferencial interna son llevados de manera más confiable a trayectoria 12 de flujo de retorno. La trayectoria 3C de flujo de conexión del aparato 3 de eliminación de iones está conectado a la parte 4A de separación por encima de la porción 12a extrema de la trayectoria 12 de flujo de retorno. Por lo tanto, la una porción 12a extrema de la trayectoria 12 de flujo de retorno está ubicada debajo de una salida de la trayectoria 3C de flujo de conexión desde la cual el agua dura después de la eliminación de los iones metálicos se descarga en espiral hacia abajo. Como resultado, los cristales del componente metálico depositados en las proximidades de la superficie 4Aa circunferencial interior son llevados de forma más fiable a la trayectoria 12 de flujo de retorno.

Una entrada de la trayectoria 5 de flujo del lado secundario está abierta por encima de una porción extrema 12a de la trayectoria 12 de flujo de retorno. La entrada de la trayectoria 5 de flujo del lado secundario está dispuesta en una posición distante de la superficie 4Aa circunferencial interior. Como resultado, se evita que los cristales del componente metálico depositados en las proximidades de la superficie 4Aa circunferencial interior entren en la trayectoria 5 de flujo del lado secundario.

Según el sistema de eliminación de iones de la cuarta realización, los cristales del componente metálico se pueden introducir en el aparato 16 de electrólisis a través de la trayectoria 12 de flujo de retorno. Como resultado, los iones metálicos utilizan las superficies de los cristales como punto de partida para unirse para hacer crecer los cristales, de modo que se pueda promover la cristalización de los iones metálicos.

Los cristales finos del componente metálico depositados por el aparato 4 de separación tienen la propiedad de disolverse fácilmente en el agua tratada. Por otro lado, según el sistema de eliminación de iones de la cuarta realización, los cristales del componente metálico se introducen a través de la trayectoria 12 de flujo de retorno en el aparato 16 de electrólisis para hacer crecer los cristales del componente metálico, de modo que se puede suprimir la disolución de los cristales del componente metálico.

Según el sistema de eliminación de iones de la cuarta realización, el sistema incluye la bomba P que hace que el agua dura que fluye a través de la trayectoria 2 de flujo del lado primario fluya a través del aparato 16 de electrólisis y el aparato 3 de eliminación de iones hasta el aparato 4 de separación. Por lo tanto, accionando la bomba P para hacer circular líquido a la fuerza en la trayectoria del flujo de circulación, se pueden estabilizar aún más las fluctuaciones en el caudal del líquido para suprimir una reducción en la eficiencia de eliminación de iones metálicos. Además, al hacer circular forzosamente los cristales del componente metálico en la trayectoria del flujo de circulación, se puede promover aún más la cristalización de los iones metálicos.

Según el sistema de eliminación de iones de la cuarta realización, la trayectoria de flujo de circulación del sistema cerrado está formada por la trayectoria 2 de flujo del lado primario, el aparato 16 de electrólisis, el aparato 3 de eliminación de iones, el aparato 4 de separación y la trayectoria 12 de flujo de retorno. Como resultado, se puede evitar que el aire quede atrapado en la trayectoria de flujo de circulación para estabilizar aún más las fluctuaciones en el caudal del líquido.

Cuando los iones metálicos en agua dura son Ca^{2+} y Mg^{2+} , Ca^{2+} tiene una carga positiva y una mayor tendencia a la ionización que el Mg^{2+} y por lo tanto es adsorbido con preferencia al Mg^{2+} por el OH^- presente en las superficies de las burbujas finas debido a una acción de una fuerza intermolecular (interacción interiónica). Por lo tanto, la cristalización de Mg^{2+} comienza en el momento en que la cristalización de Ca^{2+} se completa o casi se completa. A medida que el Ca^{2+} cristaliza y se elimina del agua dura, las cargas negativas presentes en las superficies de las burbujas finas disminuyen y el pH del agua dura se reduce. Como resultado, el poder de adsorción de Mg^{2+} por las burbujas finas disminuye, lo que dificulta la cristalización y eliminación del Mg^{2+} .

Por otro lado, según el sistema de eliminación de iones de la cuarta realización, el aparato 16 de electrólisis está ubicado en la trayectoria de flujo de circulación, de modo que incluso si el pH del agua dura disminuye debido a la cristalización de Ca^{2+} , se puede aumentar el pH del agua dura. Como resultado, se puede aumentar el poder de adsorción de Mg^{2+} por las burbujas finas para mejorar la eficiencia de eliminación de Mg^{2+} .

La presente divulgación no se limita a las realizaciones descritas anteriormente y se puede implementar de diversas otras formas. Por ejemplo, en la descripción anterior, se utiliza aire o nitrógeno como gas de eliminación de iones en el tratamiento de ablandamiento; sin embargo, la presente divulgación no se limita a esto. Se puede utilizar un gas distinto del aire o nitrógeno como gas de eliminación de iones.

En la descripción anterior, se utiliza dióxido de carbono como gas de disolución para el tratamiento de regeneración; sin embargo, la presente divulgación no se limita a esto. Por ejemplo, el gas de disolución puede ser sulfuro de hidrógeno ($\text{H}_2\text{S} \rightarrow \text{H}^+ + \text{HS}^-$) o cloruro de hidrógeno ($\text{HCl} \rightarrow \text{H}^+ + \text{Cl}^-$), que es un gas que produce iones de hidrógeno cuando se disuelve en agua.

En la descripción anterior, el gas de disolución se utiliza como ejemplo de solubizador para el tratamiento de regeneración; sin embargo, la presente divulgación no se limita a esto. Por ejemplo, se puede utilizar como

solubizador un líquido (líquido de disolución) que disuelva los cristales del componente metálico. Ejemplos de dicho líquido incluyen ácido clorhídrico, ácido sulfúrico, ácido cítrico y ácido ascórbico. Utilizando dicho líquido, se puede reducir el tamaño de la parte 8 de suministro de solubizador. Además, se puede reducir la frecuencia de sustitución del solubizador. Cuando se utiliza un líquido como solubizador, esto puede evitar que un gas entre en la bomba P y por lo tanto puede eliminar la necesidad de disponer la parte 8 de suministro de solubizador aguas abajo de la bomba P en la dirección de flujo del agua dura. Por lo tanto, la parte 8 de suministro de solubizador puede estar dispuesta en una trayectoria de flujo de circulación formada por la trayectoria 2 de flujo del lado primario, el aparato 3 de eliminación de iones, el aparato 4 de separación y la trayectoria 12 de flujo de retorno. Incluso con esta configuración, se puede suministrar el solubizador al aparato 4 de separación para disolver los cristales unidos al aparato 4 de separación para realizar el tratamiento de regeneración.

En la descripción anterior, sólo las burbujas finas que contienen el gas de eliminación de iones se suministran al agua dura; sin embargo, la presente divulgación no se limita a esto. Por ejemplo, se puede suministrar otro gas además de las burbujas finas que contienen el gas de eliminación de iones al agua dura. En este caso, el otro gas puede suministrarse como burbujas finas al agua dura o puede suministrarse como burbujas ordinarias al agua dura.

En la descripción anterior, el aparato 16 de electrólisis está configurado para descargar el agua ácida separada del agua dura hacia el exterior a través de la trayectoria 16a de flujo de descarga; la presente divulgación no se limita a ello. Por ejemplo, como se muestra en la figura 20, una parte 101 de almacenamiento de agua ácida que almacena el agua ácida generada por el aparato 16 de electrólisis puede conectarse a la salida de la trayectoria 16a de flujo de descarga. Se puede incluir además una trayectoria 102 de flujo de agua ácida que permite que el agua ácida almacenada en la parte 101 de almacenamiento de agua ácida fluya hacia el aparato 3 de eliminación de iones y una válvula 103 de apertura/cierre que abre/cierra la trayectoria 102 de flujo de agua ácida. En el ejemplo de configuración mostrado en la figura 18, la trayectoria 102 de flujo de agua ácida está conectada a una porción aguas abajo del aparato 16 de electrólisis en la dirección de flujo del agua dura y aguas arriba del aparato 3 de eliminación de iones en la dirección de flujo del agua dura en la trayectoria 2 de flujo primaria. La operación de apertura/cierre de la válvula 103 de apertura/cierre está controlada por el controlador 6. Según esta configuración, por ejemplo, cuando se lava la parte 3A de almacenamiento de agua dura, se puede permitir que el agua ácida almacenada en la parte 101 de almacenamiento de agua ácida fluya como agua de lavado a la parte 3A de almacenamiento de agua dura a través de la trayectoria 102 de flujo de agua ácida, de modo que el agua ácida pueda usarse eficazmente.

En la descripción anterior, las operaciones de apertura/cierre de la primera válvula 15A, la segunda válvula 15B y la tercera válvula 15C son controladas automáticamente por el controlador 6; sin embargo, la presente divulgación no se limita a esto. Las operaciones de apertura/cierre de la primera válvula 15A, la segunda válvula 15B y la tercera válvula 15C se pueden realizar manualmente.

En el caso descrito anteriormente, las burbujas finas utilizadas se obtienen mezclando los dos tipos de gases, es decir, el primer gas que es un gas básico y el segundo gas que es un gas que tiene una propiedad de tasa de disolución más lenta que el primer gas; sin embargo, se puede mezclar otro gas además de estos dos tipos de gases. Por lo tanto, se pueden utilizar las burbujas finas de un gas mixto obtenidas mezclando dos o más tipos de gases, incluidos el primer gas y el segundo gas.

Se observa que cualquiera de las diversas realizaciones y modificaciones descritas anteriormente se pueden combinar apropiadamente para producir los efectos de las respectivas realizaciones.

Aplicabilidad industrial

El sistema de eliminación de iones según la presente invención es excelente en cuanto a mantenibilidad y propiedades ambientales y, por lo tanto, es útil tanto para un sistema de eliminación de iones doméstico como para un sistema de eliminación de iones industrial.

Lista de signos de referencia

- 1 sistema de eliminación de iones
- 2 trayectoria de flujo del lado primario
- 3 aparato de eliminación de iones
- 3A parte de almacenamiento de agua dura
- 3B parte de generación de burbujas finas
- 3C trayectoria de flujo de conexión
- 4 aparato de separación
- 4A parte de separación
- 4Aa superficie circunferencial interna
- 4B parte de almacenamiento de cristales
- 4Ba trayectoria de flujo de descarga

	5 trayectoria de flujo del lado secundario
	6 controlador
	7 parte de suministro de gas de eliminación de iones
	8 parte de suministro de solubizador
5	9 mecanismo de conmutación de gas
	10 válvula de apertura/cierre
	11 mecanismo de prevención de reflujo del lado de descarga
	12 trayectoria de flujo de retorno
	13 mecanismo de prevención de reflujo del lado de suministro
10	14 trayectoria de flujo de derivación
	15A primera válvula
	15B segunda válvula
	15C tercera válvula
	16 aparato de electrólisis
15	16a trayectoria de flujo de descarga
	17 válvula de apertura/cierre
	18 mecanismo de prevención de reflujo del lado de descarga
	20 aparato
	21 agua dura
20	22 tanque de agua
	22a superficie inferior
	22b superficie del agua
	24 parte de suministro de gas
	25 primera tubería
25	26 parte generadora de burbuja fina
	27 segunda tubería
	28 bomba
	30 primera parte de entrada de agua
	32 segunda parte de entrada de agua
30	34 detector de concentración de iones metálicos
	40 burbuja fina
	42 cristal
	D1 distancia desde la primera parte de entrada de agua a la segunda parte de entrada de agua
	50 aparato
35	52 parte de suministro de gas mixto
	54 tanque de tratamiento
	56 primera tubería
	58 segunda tubería
	60 válvula de muestreo de agua
40	62 muestreador de agua
	64 tanque de almacenamiento de agua
	66 bomba
	68 válvula de ajuste de caudal
	70 medidor de caudal
45	72 fuente de suministro de amoníaco
	74 fuente de suministro de nitrógeno
	76 válvula de ajuste de proporción de mezcla
	78 tubería de suministro
	80 parte generadora de burbujas finas
50	82 agua tratada
	84 cristal
	90 aparato
	91 aparato de electrólisis
	92 primera tubería
55	93 tanque de tratamiento
	94 segunda tubería
	95 bomba
	96 parte generadora de burbujas finas
60	101 parte de almacenamiento de agua ácida
	102 trayectoria de flujo de agua ácida
	103 válvula de apertura/cierre

REIVINDICACIONES

1. Un sistema (1) de eliminación de iones que comprende:

un aparato (16) de electrólisis que electroliza agua dura para generar agua ácida y agua alcalina;

5 un aparato (3) de eliminación de iones que comprende una parte (3A) de almacenamiento de agua dura que almacena el agua alcalina generada por el aparato (16) de electrólisis y una parte (3B) generadora de burbujas finas que genera y suministra burbujas finas a la parte (3A) de almacenamiento de agua dura y que hace que las burbujas finas adsorban iones metálicos en el agua alcalina en la parte (3A) de almacenamiento de agua dura para eliminar los iones metálicos del agua alcalina;

10 una trayectoria (2) de flujo del lado primario conectada al aparato (3) de eliminación de iones para suministrar agua dura al aparato (16) de electrólisis;

un aparato (4) de separación conectado al aparato (3) de eliminación de iones y de separación de cristales de un componente metálico depositado cristalizando los iones metálicos eliminados del agua alcalina por el aparato (3) de eliminación de iones;

15 una trayectoria (5) de flujo del lado secundario conectada al aparato (4) de separación para sacar, del aparato (4) de separación, agua tratada obtenida separando los cristales; y

una trayectoria (12) de flujo de retorno conectada al aparato (4) de separación para devolver una porción del agua tratada que contiene los cristales a la trayectoria (2) de flujo del lado primario,

20 en el que el aparato (4) de separación es un aparato de separación centrífugo de tipo ciclón que tiene una superficie (4Aa) circunferencial interior cónica con un diámetro que disminuye hacia abajo y hace que el agua alcalina fluya en espiral hacia abajo a lo largo de la superficie (4Aa) circunferencial interior de modo que los cristales están separados, y

en el que una porción (12a) extrema de la trayectoria (12) de flujo de retorno está abierta en el lado de la superficie (4Aa) circunferencial interior del aparato (4) de separación.

25 2. El sistema (1) de eliminación de iones según la reivindicación 1, que comprende además:

una parte (101) de almacenamiento de agua ácida que almacena el agua ácida generada por el aparato (16) de electrólisis,

una trayectoria (102) de flujo de agua ácida que permite que el agua ácida almacenada en la parte (101) de almacenamiento de agua ácida fluya hacia el aparato (3) de eliminación de iones, y

30 una válvula (103) de apertura/cierre que abre/cierra la trayectoria (102) de flujo de agua ácida.

3. El sistema (1) de eliminación de iones según la reivindicación 1 o 2, que comprende además una bomba (P) que hace que el agua dura que fluye a través de la trayectoria (2) de flujo del lado primario fluya a través del aparato (16) de electrólisis y el aparato (3) de eliminación al aparato (4) de separación.

35 4. El sistema (1) de eliminación de iones según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3, en el que una trayectoria de flujo de circulación de sistema cerrado está formada por la trayectoria (2) de flujo del lado primario, el aparato (16) de electrólisis, el aparato (3) de eliminación de iones, el aparato (4) de separación y la trayectoria (12) de flujo de retorno.

40 5. El sistema (1) de eliminación de iones según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4, en el que el aparato (3) de eliminación de iones comprende una trayectoria (3C) de flujo de conexión conectada al aparato (4) de separación por encima de una porción (12a) extrema de la trayectoria (12) de flujo de retorno.

Fig.1

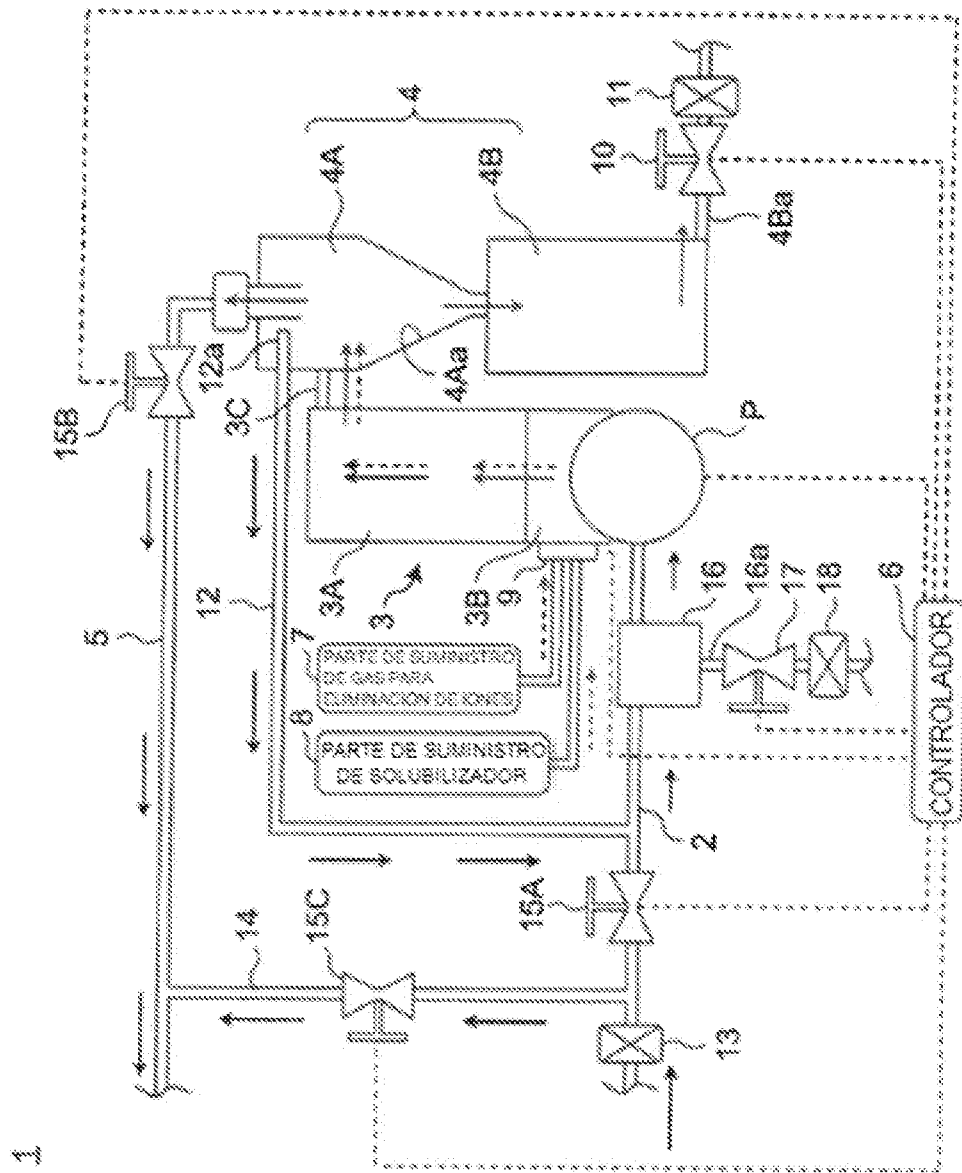


Fig.2

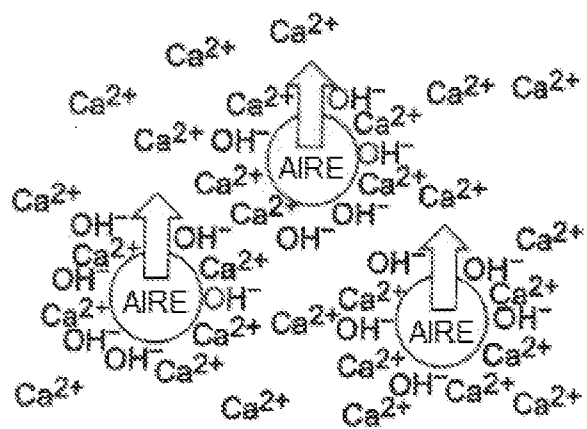


Fig.3

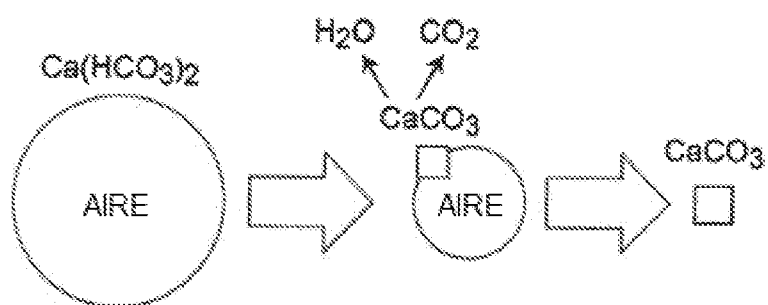


Fig.4

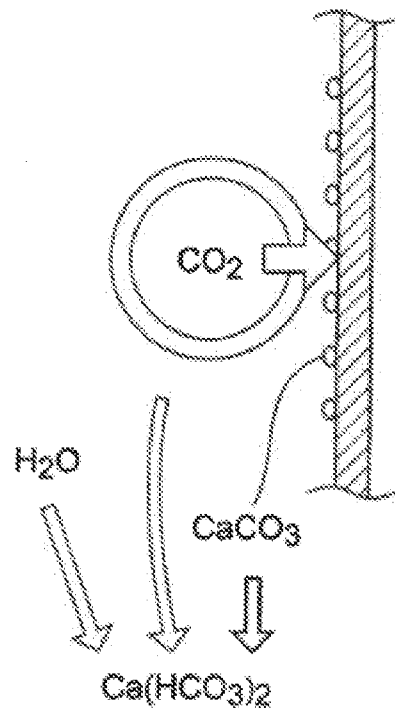


Fig. 5A

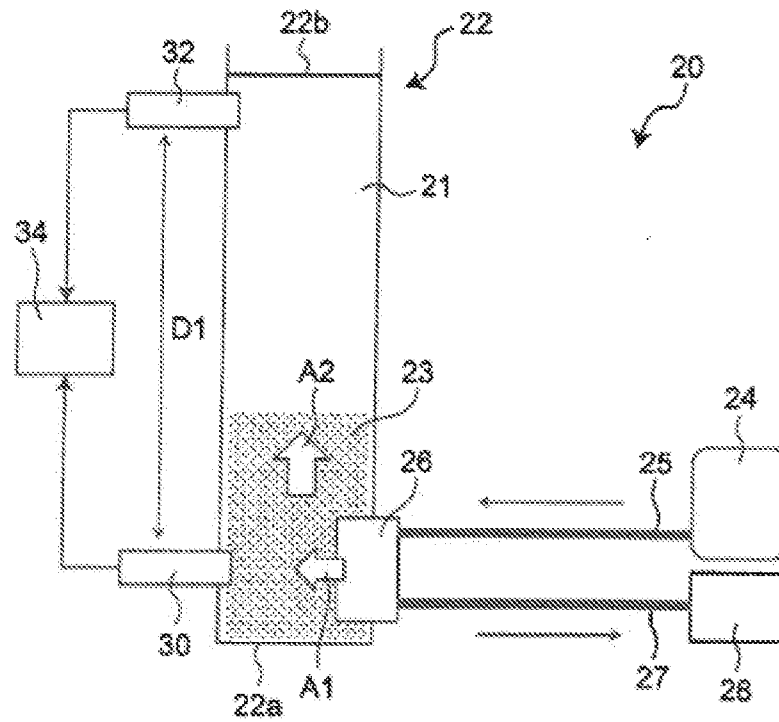


Fig. 5B

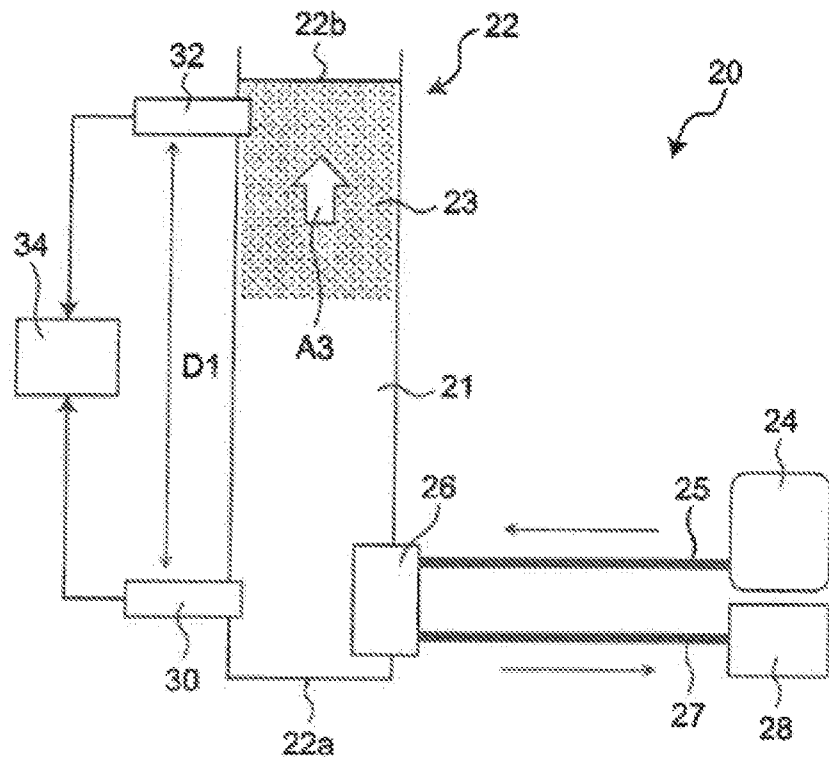


Fig.6

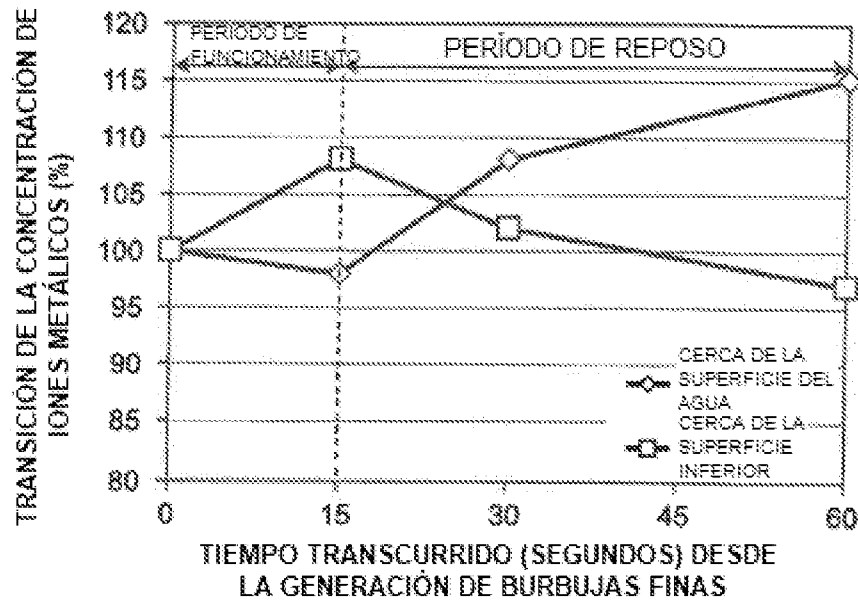


Fig.7

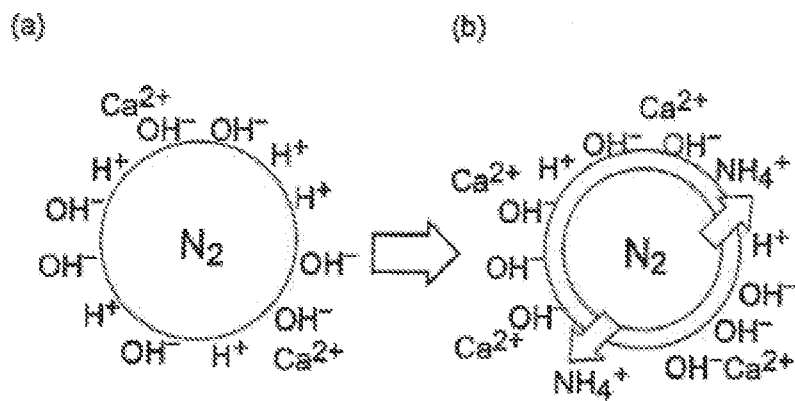


Fig. 8

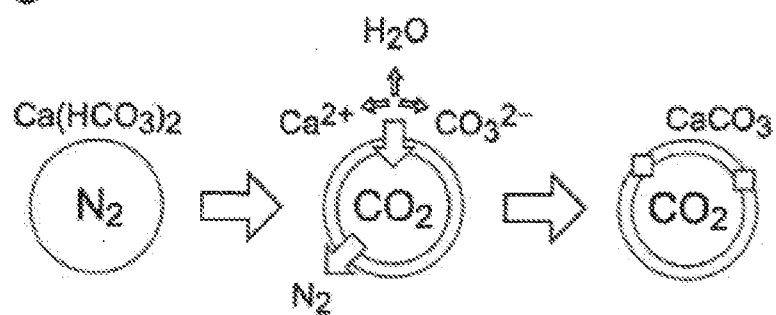


Fig. 9

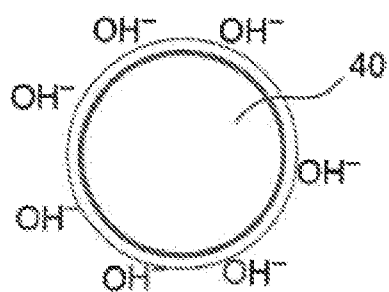


Fig.10

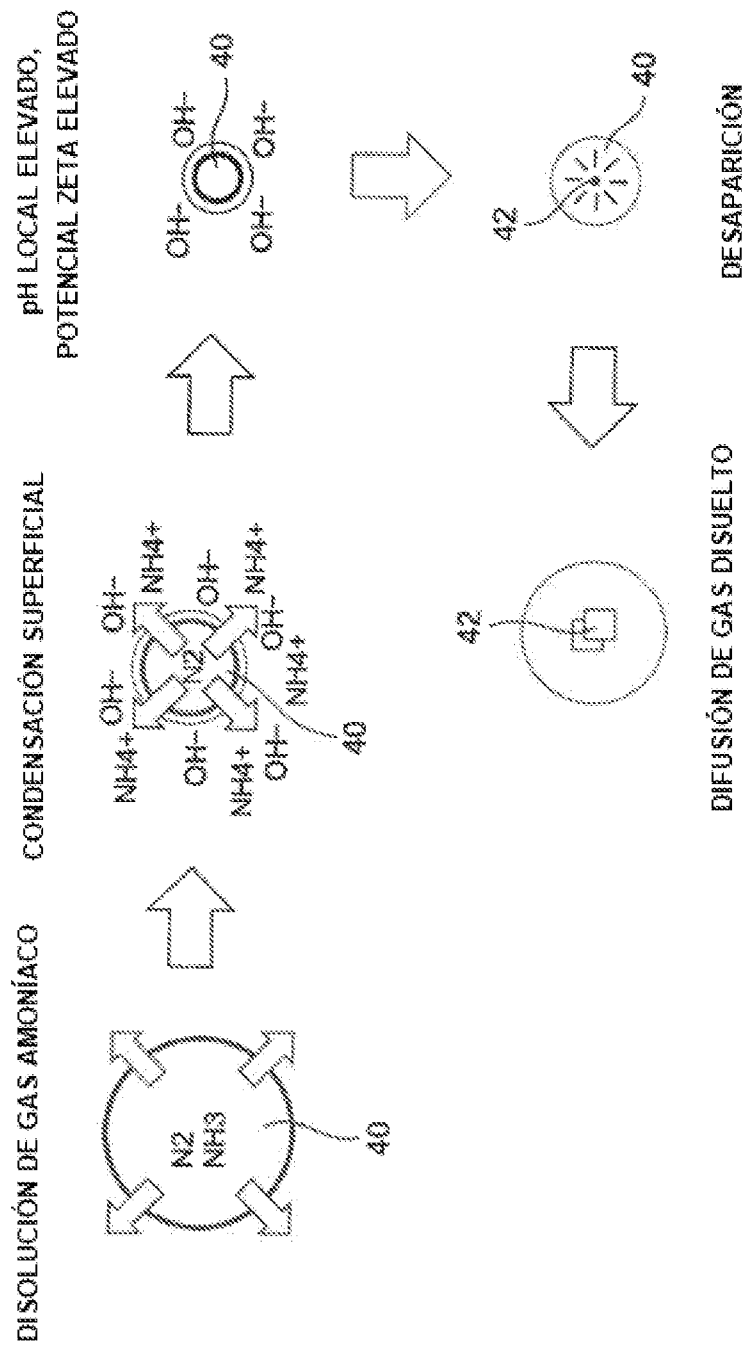


Fig. 11

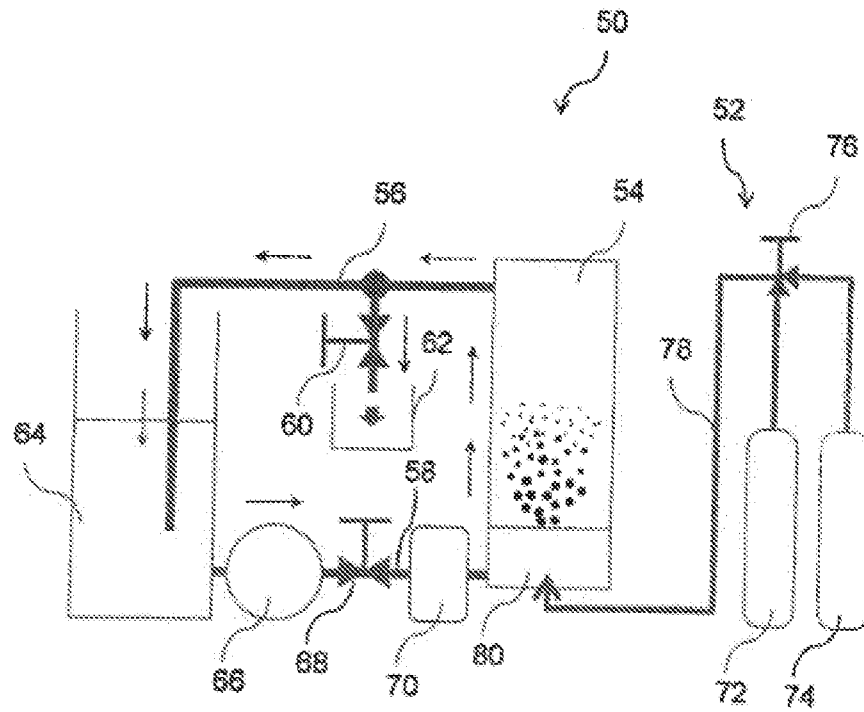


Fig. 12

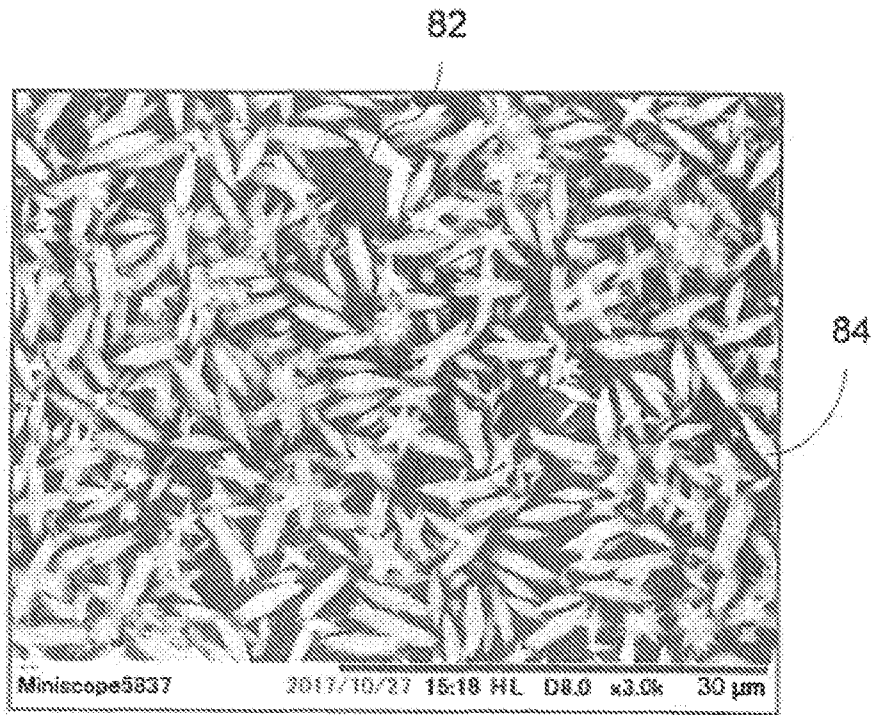


Fig.13A

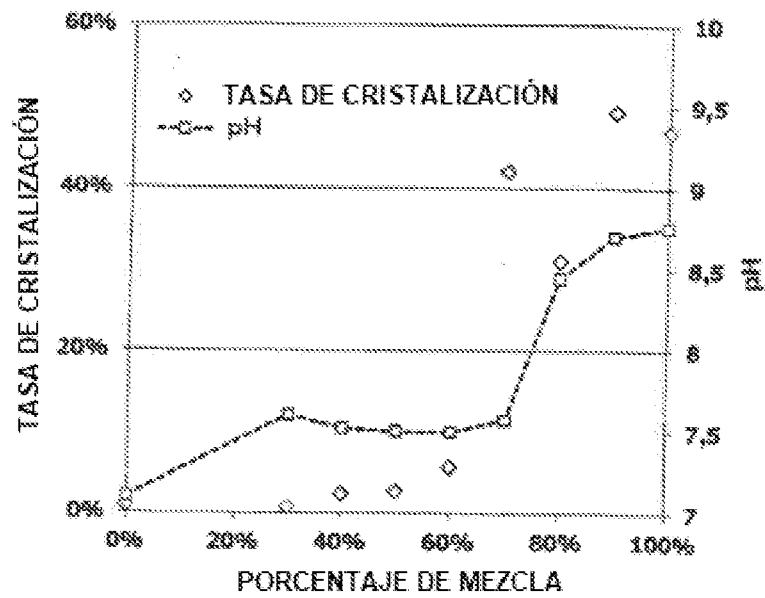


Fig.13B

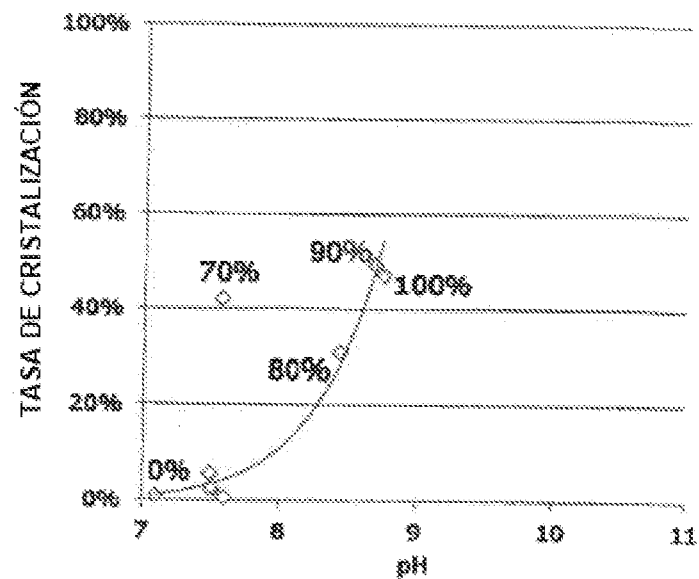


Fig. 14A

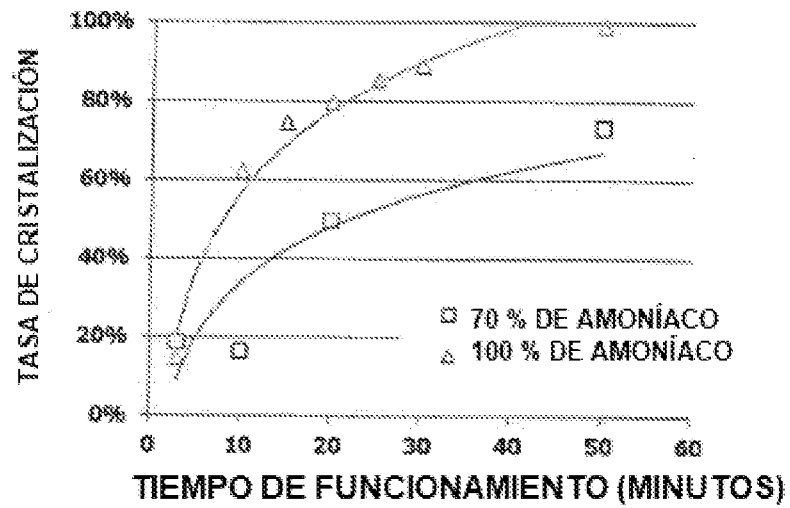


Fig. 14B

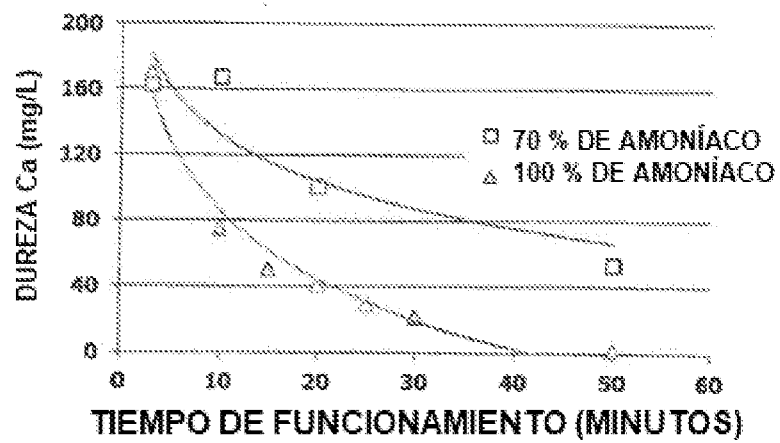


Fig. 14C

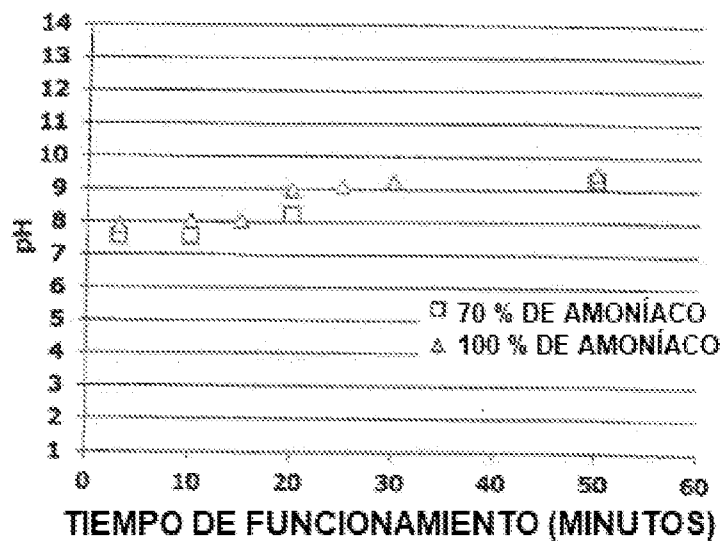


Fig. 15A

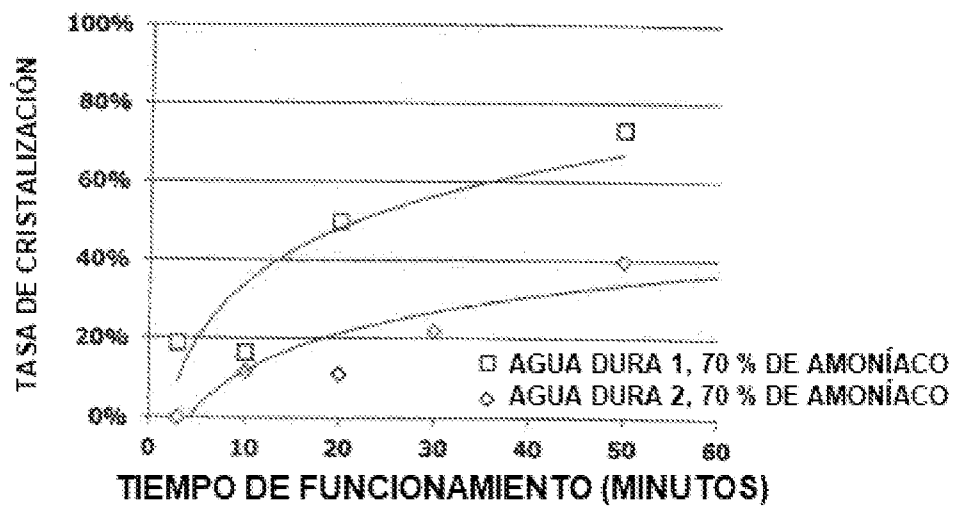


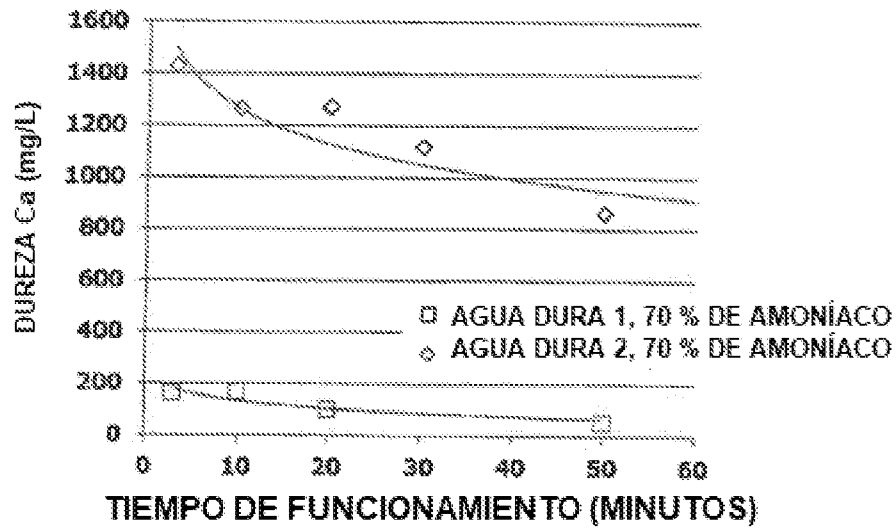
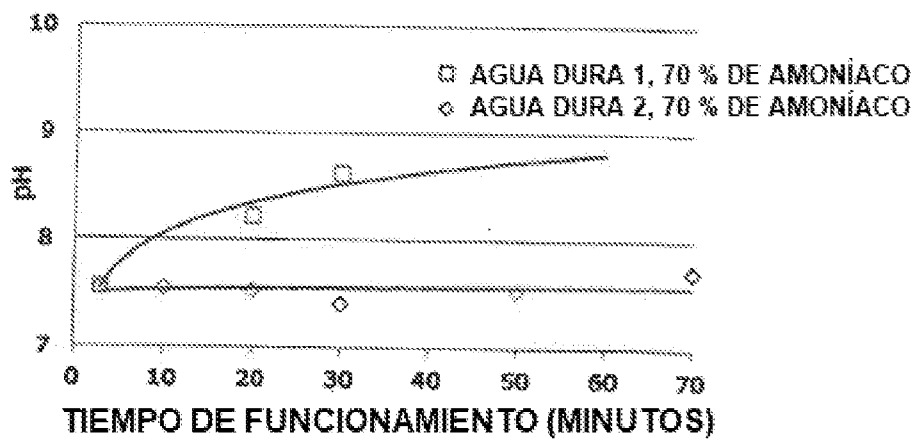
Fig. 15B*Fig. 15C*

Fig. 15D

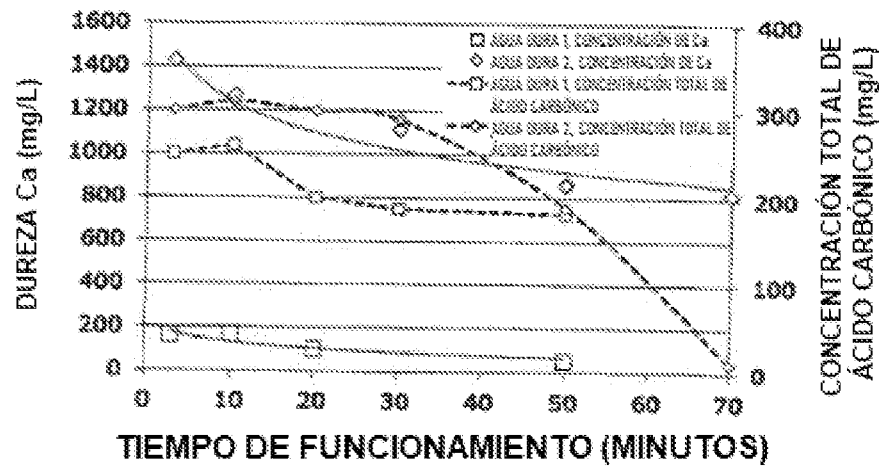


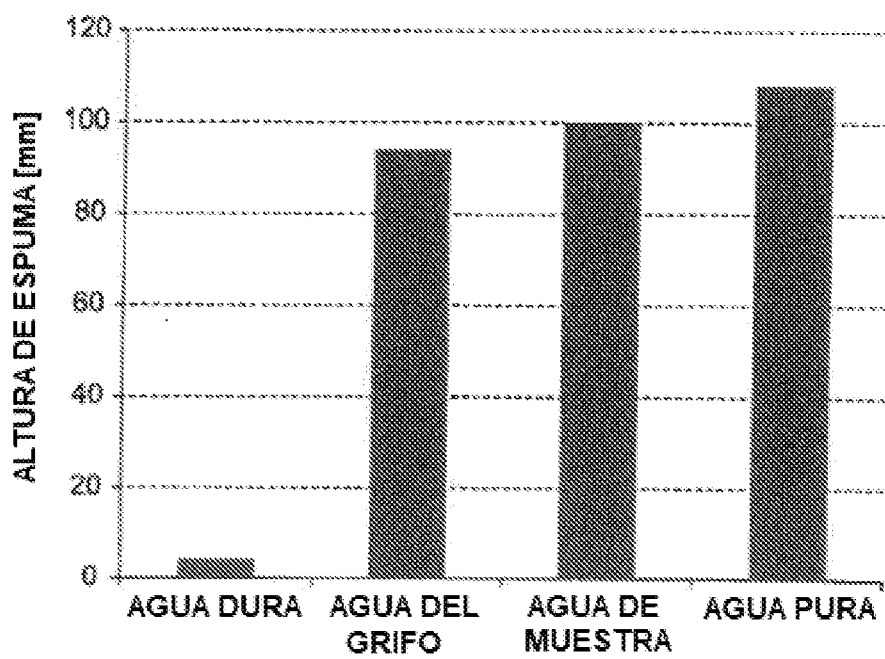
Fig.16

Fig. 17A

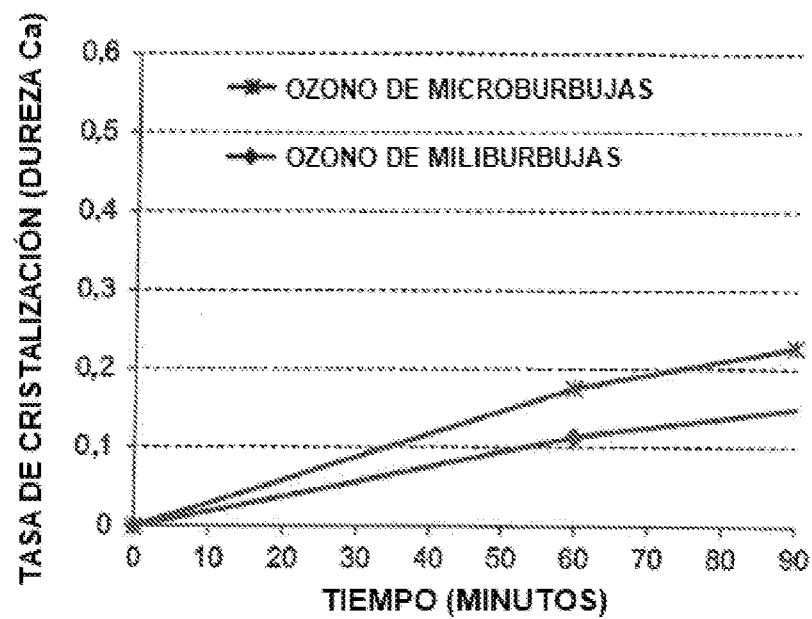


Fig. 17B

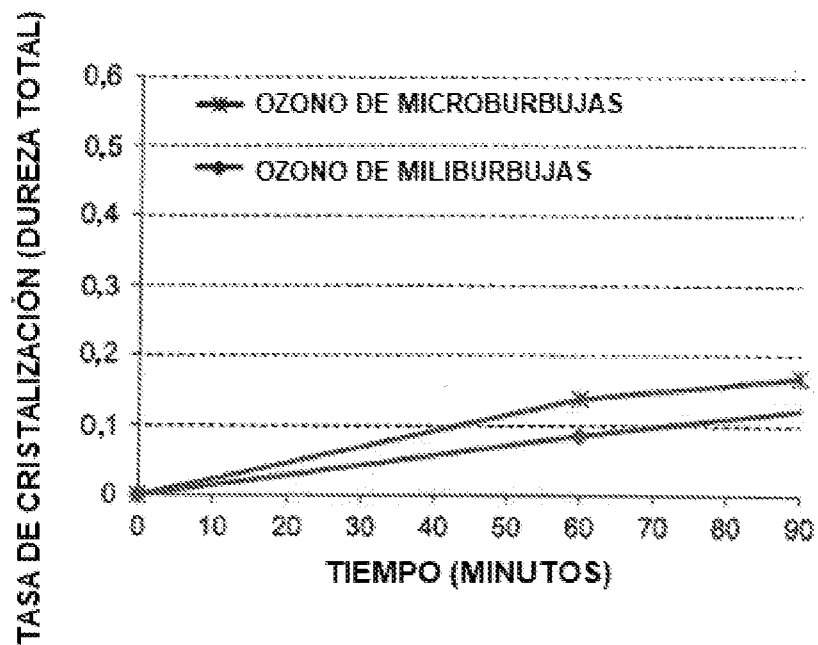


Fig. 18

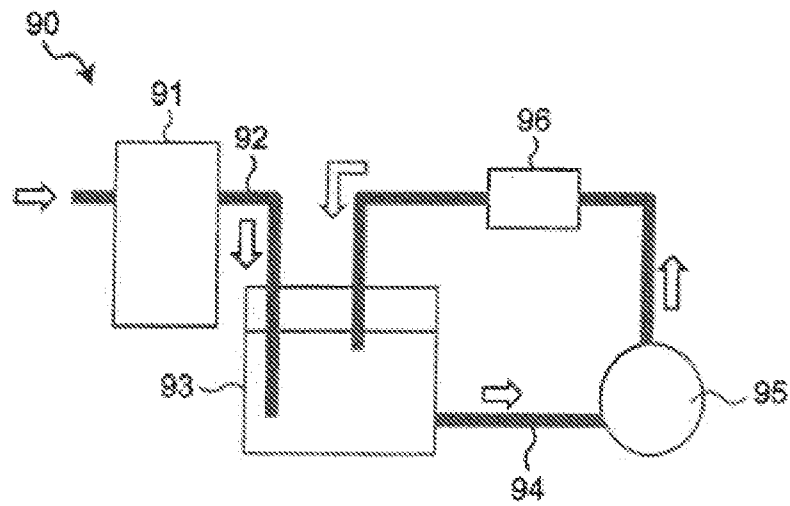


Fig. 19

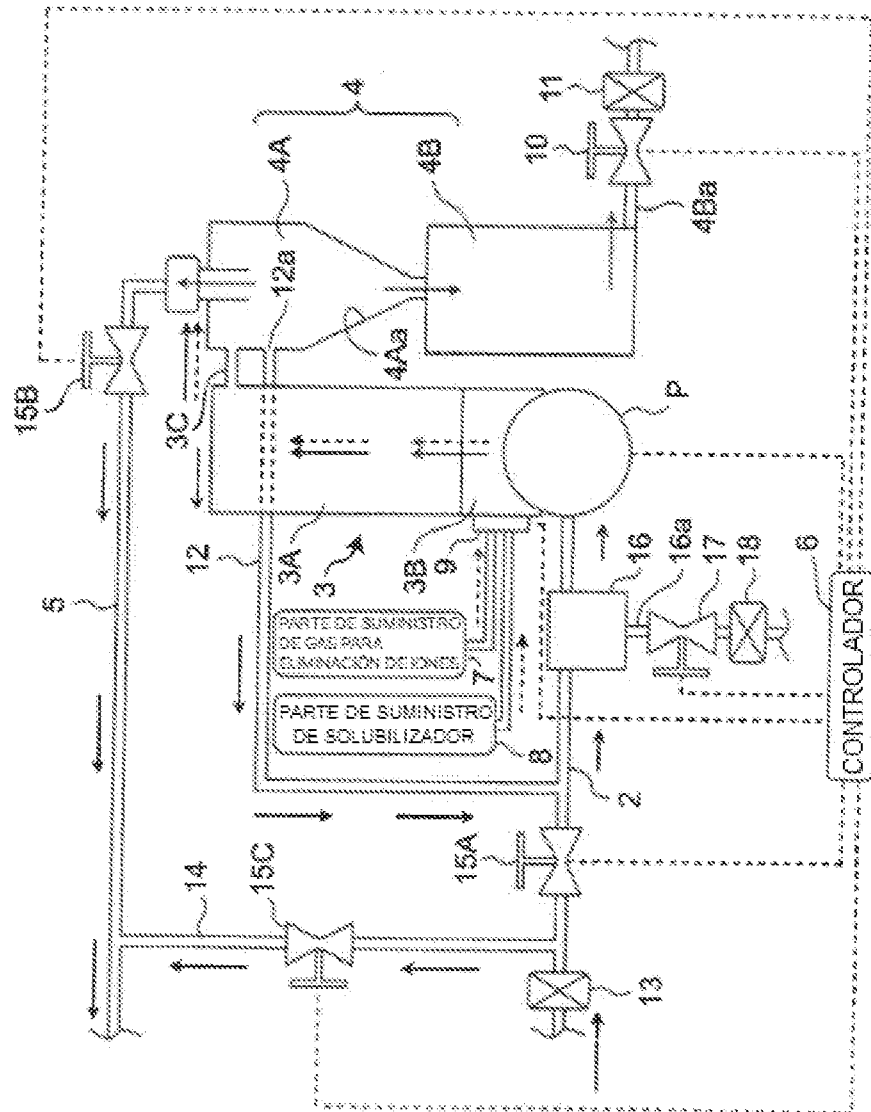


Fig.20

