

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **3 013 167**

51 Int. Cl.:

C02F 1/58 (2013.01)

C02F 1/20 (2013.01)

C02F 1/461 (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/JP2019/021700**

87 Fecha y número de publicación internacional: **05.03.2020** **WO20044694**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **31.05.2019** **E 19853836 (5)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **22.01.2025** **EP 3845499**

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

30 Prioridad:

27.08.2018 JP 2018158749

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
11.04.2025

73 Titular/es:

**PANASONIC INTELLECTUAL PROPERTY
MANAGEMENT CO., LTD. (100.00%)
1-61, Shiromi 2-chome Chuo-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 3 013 167 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 invención**

El sistema de eliminación de iones del Documento de Patente 1 (ver la lista a continuación) elimina los iones metálicos (iones de calcio y 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 adheridos 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 quedan capturados en la superficie de la resina de intercambio iónico. El Documento de Patente 2 describe un procedimiento y un aparato para separar un metal catiónico o un compuesto catiónico. El Documento no Patente 1 describe los procedimientos naturales de ablandamiento del agua por efecto de las cascadas en zonas kársticas.

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

Documento de Patente 1: JP 2000-140840 A

Documento de Patente 2: JP 2011/161407 A

Documento no patente

20 Documento no Patente 1: Zhang D D et al., DESALINATION, 2000, vol. 129, p. 247 a 259

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

25 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 complicado. Además, un tratamiento de regeneración genera aguas residuales que contienen gran cantidad de agua salada, lo que provoca problemas de contaminación del suelo y una mayor carga en el tratamiento de aguas residuales. Además, el agua tratada y ablandada mediante un aparato de eliminación de iones tiene una alta concentración de iones de sodio y puede no recomendarse como agua potable en algunas regiones.

30 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 la capacidad de mantenimiento y las propiedades ambientales.

Por lo tanto, un objeto de la presente divulgación es resolver los problemas y proporcionar un sistema de eliminación de iones excelente en mantenibilidad y propiedades ambientales.

Medios para resolver los temas

35 Para lograr el objetivo, el sistema de eliminación de iones de acuerdo con la presente divulgación comprende:

40 un aparato de eliminación de iones del lado primario que incluye una parte de almacenamiento de agua dura del lado primario que almacena agua dura y una parte de generación de burbujas finas del lado primario que genera y suministra burbujas finas a la parte de almacenamiento de agua dura del lado primario y que hace que las burbujas finas adsorban los primeros iones metálicos en el agua dura en la parte de almacenamiento de agua dura del lado primario para eliminar los primeros iones metálicos del agua dura;

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

un aparato de ajuste de pH del lado secundario que aumenta el pH del agua dura del cual se eliminan los primeros iones metálicos mediante el aparato de eliminación de iones del lado primario;

45 un aparato de separación del lado primario situado entre el aparato de eliminación de iones del lado primario y el aparato de ajuste de pH del lado secundario y que separa cristales de un primer componente metálico depositados mediante la cristalización de los primeros iones metálicos eliminados del agua dura por el aparato de eliminación de iones del lado primario, incluyendo el aparato de separación del lado primario una parte de

separación y una parte de almacenamiento de cristales que almacena cristales de un componente metálico, estando dispuesta la parte de almacenamiento de cristales debajo de la parte de separación e incluyendo una trayectoria de flujo de descarga para descargar agua que contiene los cristales del componente metálico, estando provista la trayectoria de flujo de descarga de una válvula de apertura/cierre capaz de abrir y cerrar la trayectoria de flujo de descarga;

un aparato de eliminación de iones del lado secundario que incluye una parte de almacenamiento de agua dura del lado secundario que almacena agua dura cuyo pH se ha incrementado mediante el aparato de ajuste de pH del lado secundario y una parte de generación de burbujas finas del lado secundario que genera y suministra burbujas finas a la parte de almacenamiento de agua dura del lado secundario y que hace que las burbujas finas adsorban segundos iones metálicos en el agua dura en la parte de almacenamiento de agua dura del lado secundario para eliminar los segundos iones metálicos del agua dura,

un aparato de separación del lado secundario ubicado aguas abajo del aparato de eliminación de iones del lado secundario y que separa cristales de un segundo componente metálico depositados mediante la cristalización de los segundos iones metálicos eliminados del agua dura por el aparato de eliminación de iones del lado secundario, incluyendo el aparato de separación del lado secundario una parte de separación y una parte de almacenamiento de cristales que almacena cristales de un componente metálico, estando dispuesta la parte de almacenamiento de cristales debajo de la parte de separación e incluyendo una trayectoria de flujo de descarga para descargar agua que contiene los cristales del componente metálico, estando provista la trayectoria de flujo de descarga de una válvula de apertura/cierre capaz de abrir y cerrar la trayectoria de flujo de descarga;

una trayectoria de flujo del lado secundario conectada al aparato de separación del lado secundario y que es una trayectoria de flujo para extraer del aparato de separación del lado secundario el agua tratada obtenida al separar los cristales del componente metálico;

una trayectoria de flujo de derivación que conecta la trayectoria de flujo del lado primario y la trayectoria de flujo del lado secundario;

un mecanismo de conmutación de flujo que incluye una primera válvula capaz de abrir y cerrar la trayectoria de flujo del lado primario, una segunda válvula capaz de abrir y cerrar la trayectoria de flujo del lado secundario y una tercera válvula capaz de abrir y cerrar la trayectoria de flujo de derivación; y

un controlador que controla el accionamiento del aparato de ajuste de pH del lado secundario y controla las operaciones de apertura/cierre de las válvulas de apertura/cierre, la primera válvula, la segunda válvula y la tercera válvula, en donde

las burbujas finas generadas por la parte de generación de burbujas finas del lado primario y la parte de generación de burbujas finas del lado secundario tienen un diámetro de 100 µm o menos en una proporción del 90 % o más,

el aparato de eliminación de iones del lado primario y el aparato de eliminación de iones del lado secundario están en diferentes sitios del sistema de eliminación de iones, y

el aparato de eliminación de iones del lado primario, el aparato de ajuste de pH del lado secundario y el aparato de eliminación de iones del lado secundario están dispuestos en serie.

Efecto de la invención

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

Breve descripción de los dibujos

La Fig. 1 es un diagrama esquemático de un sistema de eliminación de iones de acuerdo con una primera realización.

La Fig. 2 es un esquema para explicar un principio hipotético de eliminación de dióxido de carbono mediante el sistema de eliminación de iones de acuerdo con la primera realización.

La Fig. 3 es un esquema para explicar un principio hipotético de adsorción de iones metálicos por el sistema de eliminación de iones de acuerdo con la primera realización.

La Fig. 4 es un esquema para explicar un principio hipotético de cristalización de iones metálicos mediante el sistema de eliminación de iones de acuerdo con la primera realización.

La Fig. 5 es un esquema para explicar un principio hipotético de un tratamiento de regeneración mediante el sistema de eliminación de iones de acuerdo con la primera realización.

La Fig. 6 es un gráfico que muestra esquemáticamente los cambios en el pH y la dureza del agua dura que fluye a través del sistema de eliminación de iones de acuerdo con la primera realización.

La Fig. 7 es un diagrama que muestra una configuración esquemática de un aparato utilizado en el Ejemplo Experimental 1.

5 La Fig. 8 es un gráfico que muestra los resultados del Ejemplo Experimental 1.

La Fig. 9A es un diagrama que muestra una configuración esquemática de un aparato utilizado en el Ejemplo Experimental 2, que muestra un estado después de que ha transcurrido un tiempo predeterminado desde la generación de burbujas finas.

10 La Fig. 9B es un diagrama que muestra la configuración esquemática del aparato utilizado en el Ejemplo Experimental 2, mostrando un estado después de que haya transcurrido un tiempo predeterminado desde el estado mostrado en la Fig. 9A.

La Fig. 10 es un diagrama que muestra un resultado del Ejemplo Experimental 2.

La Fig. 11 es un esquema para explicar un principio hipotético de adsorción de iones metálicos por un sistema de eliminación de iones de acuerdo con una segunda realización.

15 La Fig. 12 es un esquema para explicar un principio hipotético de cristalización de iones metálicos mediante el sistema de eliminación de iones de acuerdo con la segunda realización.

La Fig. 13 es un esquema para explicar un principio hipotético de eliminación de dióxido de carbono mediante burbujeo.

20 La Fig. 14 es un esquema para explicar un principio hipotético de adsorción de iones metálicos por un sistema de eliminación de iones de acuerdo con una tercera realización.

La Fig. 15 es un esquema para explicar un principio hipotético de adsorción y cristalización de iones metálicos por el sistema de eliminación de iones de acuerdo con la tercera realización.

La Fig. 16 es un diagrama que muestra una configuración esquemática de un aparato utilizado en los Ejemplos Experimentales 3 a 5.

25 La Fig. 17 es un diagrama que muestra el estado de un componente metálico cristalizado en agua dura.

La Fig. 18A es un gráfico que muestra un resultado del Ejemplo Experimental 3, que muestra una relación entre un porcentaje de mezcla de amoníaco y una tasa de cristalización de una muestra de agua.

La Fig. 18B es un gráfico que muestra un resultado del Ejemplo Experimental 3, que muestra una relación entre el pH del agua de muestra y la tasa de cristalización del agua de muestra.

30 La Fig. 19A es un gráfico que muestra un resultado del Ejemplo Experimental 4, que muestra una relación entre el tiempo de funcionamiento de una bomba y la tasa de cristalización de la muestra de agua.

La Fig. 19B 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 de Ca del agua de muestra.

35 La Fig. 19C 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.

La Fig. 20A es un gráfico que muestra un resultado del Ejemplo Experimental 5, que muestra una relación entre el tiempo de funcionamiento de la bomba y la tasa de cristalización de la muestra de agua.

La Fig. 20B es un gráfico que muestra un resultado del Ejemplo Experimental 5, que muestra una relación entre el tiempo de funcionamiento de la bomba y la dureza de Ca del agua de muestra.

40 La Fig. 20C es un gráfico que muestra un resultado del Ejemplo Experimental 5, que muestra una relación entre el tiempo de funcionamiento de la bomba y el pH del agua de muestra.

La Fig. 20D es un gráfico que muestra un resultado del Ejemplo Experimental 5, que muestra una relación entre el tiempo de funcionamiento de la bomba y cada una de las concentraciones de dureza de Ca y ácido carbónico total del agua de muestra.

45 La Fig. 21 es un gráfico que muestra un resultado del Ejemplo Experimental 6, que muestra una relación entre un tipo de agua y una altura de burbujas que se extienden desde una superficie de agua de evaluación.

La Fig. 22A es un gráfico que muestra un resultado del Ejemplo Experimental 7, que muestra una relación entre el tiempo y una tasa de cristalización de dureza Ca.

La Fig. 22B es un diagrama que muestra un resultado del Ejemplo Experimental 7, que es un gráfico que muestra una relación entre el tiempo y una tasa de cristalización de dureza total.

5 La Fig. 23 es un diagrama esquemático de un aparato de eliminación de iones de acuerdo con una cuarta realización.

La Fig. 24 es un gráfico que muestra esquemáticamente los cambios en el pH y la dureza del agua dura que fluye a través del sistema de eliminación de iones de acuerdo con la cuarta realización.

10 La Fig. 25 es un diagrama esquemático de un aparato de eliminación de iones de acuerdo con una quinta realización.

La Fig. 26 es un gráfico que muestra esquemáticamente los cambios en el pH y la dureza del agua dura que fluye a través del sistema de eliminación de iones de acuerdo con la quinta realización.

La Fig. 27 es un diagrama esquemático de un aparato de eliminación de iones de acuerdo con una sexta realización.

15 La Fig. 28 es un gráfico que muestra esquemáticamente los cambios en el pH y la dureza del agua dura que fluye a través del sistema de eliminación de iones de acuerdo con la sexta realización.

Modos de realizar la invención

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

Un sistema de eliminación de iones de acuerdo con un aspecto de la presente divulgación comprende:

25 un aparato de eliminación de iones del lado primario que incluye una parte de almacenamiento de agua dura del lado primario que almacena agua dura y una parte de generación de burbujas finas del lado primario que genera y suministra burbujas finas a la parte de almacenamiento de agua dura del lado primario y que hace que las burbujas finas adsorban los primeros iones metálicos en el agua dura en la parte de almacenamiento de agua dura del lado primario para eliminar los primeros iones metálicos del agua dura;

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

30 un aparato de ajuste de pH del lado secundario que aumenta el pH del agua dura del cual se eliminan los primeros iones metálicos mediante el aparato de eliminación de iones del lado primario;

35 un aparato de separación del lado primario situado entre el aparato de eliminación de iones del lado primario y el aparato de ajuste de pH del lado secundario y que separa cristales de un primer componente metálico depositados mediante la cristalización de los primeros iones metálicos eliminados del agua dura por el aparato de eliminación de iones del lado primario, incluyendo el aparato de separación del lado primario una parte de separación y una parte de almacenamiento de cristales que almacena cristales de un componente metálico, estando dispuesta la parte de almacenamiento de cristales debajo de la parte de separación e incluyendo una trayectoria de flujo de descarga para descargar agua que contiene los cristales del componente metálico, estando provista la trayectoria de flujo de descarga de una válvula de apertura/cierre capaz de abrir y cerrar la trayectoria de flujo de descarga;

40 un aparato de eliminación de iones del lado secundario que incluye una parte de almacenamiento de agua dura del lado secundario que almacena agua dura cuyo pH se ha incrementado mediante el aparato de ajuste de pH del lado secundario y una parte de generación de burbujas finas del lado secundario que genera y suministra burbujas finas a la parte de almacenamiento de agua dura del lado secundario y que hace que las burbujas finas adsorban segundos iones metálicos en el agua dura en la parte de almacenamiento de agua dura del lado secundario para eliminar los segundos iones metálicos del agua dura,

45 un aparato de separación del lado secundario ubicado aguas abajo del aparato de eliminación de iones del lado secundario y que separa cristales de un segundo componente metálico depositados mediante la cristalización de los segundos iones metálicos eliminados del agua dura por el aparato de eliminación de iones del lado secundario, incluyendo el aparato de separación del lado secundario una parte de separación y una parte de almacenamiento de cristales que almacena cristales de un componente metálico, estando dispuesta la parte de almacenamiento de cristales debajo de la parte de separación e incluyendo una trayectoria de flujo de descarga para descargar agua que contiene los cristales del componente metálico, estando provista la

- trayectoria de flujo de descarga de una válvula de apertura/cierre capaz de abrir y cerrar la trayectoria de flujo de descarga;
- 5 una trayectoria de flujo del lado secundario conectada al aparato de separación del lado secundario y que es una trayectoria de flujo para extraer del aparato de separación del lado secundario el agua tratada obtenida al separar los cristales del componente metálico;
- una trayectoria de flujo de derivación que conecta la trayectoria de flujo del lado primario y la trayectoria de flujo del lado secundario;
- 10 un mecanismo de conmutación de flujo que incluye una primera válvula capaz de abrir y cerrar la trayectoria de flujo del lado primario, una segunda válvula capaz de abrir y cerrar la trayectoria de flujo del lado secundario y una tercera válvula capaz de abrir y cerrar la trayectoria de flujo de derivación; y
- un controlador que controla el accionamiento del aparato de ajuste de pH del lado secundario y controla las operaciones de apertura/cierre de las válvulas de apertura/cierre, la primera válvula, la segunda válvula y la tercera válvula, en donde
- 15 las burbujas finas generadas por la parte de generación de burbujas finas del lado primario y la parte de generación de burbujas finas del lado secundario tienen un diámetro de 100 µm o menos en una proporción del 90 % o más,
- el aparato de eliminación de iones del lado primario y el aparato de eliminación de iones del lado secundario están en diferentes sitios del sistema de eliminación de iones, y
- 20 el aparato de eliminación de iones del lado primario, el aparato de ajuste de pH del lado secundario y el aparato de eliminación de iones del lado secundario están dispuestos en serie.
- De acuerdo con esta configuración, dado que los iones metálicos primero y segundo se eliminan del agua dura mediante el uso de burbujas finas, se puede eliminar la necesidad de una gran cantidad de agua salada necesaria para regenerar la resina de intercambio iónico. Esto puede simplificar un tratamiento de regeneración para que el mantenimiento sea más fácil. Además, como no se generan aguas residuales de regeneración que contienen agua salada, se puede suprimir la contaminación del suelo y la carga sobre el tratamiento de aguas residuales, mejorando así las propiedades ambientales. Además, la concentración de iones de sodio no aumenta en el agua tratada, por lo que el agua tratada generada puede utilizarse como agua potable.
- 25 A medida que se eliminan los primeros iones metálicos (por ejemplo, los iones de calcio) del agua dura, las cargas negativas presentes en las superficies de las burbujas finas disminuyen y se reduce el pH del agua dura. Como resultado, el poder de adsorción de los segundos iones metálicos por las burbujas finas disminuye, lo que dificulta la eliminación de los segundos iones metálicos. En este sentido, de acuerdo con la configuración, el pH del agua dura con los primeros iones metálicos eliminados se incrementa mediante el aparato de ajuste de pH del lado secundario para aumentar el poder de adsorción de los segundos iones metálicos (por ejemplo, iones de magnesio) por las burbujas finas, de modo que se puede mejorar la eficiencia de eliminación de los segundos iones metálicos.
- 30 El aparato de ajuste de pH del lado secundario puede incluir un aparato desgasificador del lado secundario que elimina el dióxido de carbono contenido en el agua dura del cual se eliminan los primeros iones metálicos mediante el aparato de eliminación de iones del lado primario. De acuerdo con la configuración, el pH del agua dura se puede aumentar eliminando el dióxido de carbono contenido en el agua dura.
- El aparato de ajuste de pH del lado secundario puede incluir un aparato de electrólisis del lado secundario que electroliza el agua dura de la cual los primeros iones metálicos son eliminados por el aparato de eliminación de iones del lado primario, para generar agua ácida y agua alcalina, y puede estar configurado para suministrar el agua alcalina como agua dura que tiene el pH aumentado a la parte de almacenamiento de agua dura del lado secundario. De acuerdo con esta configuración, se puede aumentar el pH del agua dura separando el agua ácida del agua dura y dejando el agua alcalina.
- 40 Se puede incluir además un aparato de ajuste de pH del lado primario que aumenta el pH del agua dura contenida en la parte de almacenamiento de agua dura del lado primario. De acuerdo con esta configuración, las cargas negativas presentes en las superficies de las burbujas finas se incrementan para aumentar el poder de adsorción de los primeros iones metálicos por las burbujas finas, de modo que se puede mejorar la eficiencia de eliminación de los primeros iones metálicos.
- 45 El aparato de ajuste de pH del lado primario puede incluir un aparato desgasificador del lado primario que elimina el dióxido de carbono contenido en el agua dura. De acuerdo con la configuración, el pH del agua dura se puede aumentar eliminando el dióxido de carbono contenido en el agua dura.
- El aparato de ajuste de pH del lado primario puede incluir un aparato de electrólisis del lado primario que electroliza el agua dura para generar agua ácida y agua alcalina y puede estar configurado para suministrar el agua alcalina

como agua dura a la parte de almacenamiento de agua dura del lado primario. De acuerdo con esta configuración, se puede aumentar el pH del agua dura separando el agua ácida del agua dura y dejando el agua alcalina.

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

5 (Primera realización)

La Fig. 1 es un diagrama que muestra una configuración esquemática de un sistema 1 de eliminación de iones de acuerdo con una primera realización.

<Configuración general>

10 El sistema 1 de eliminación de iones de acuerdo con la primera realización incluye una trayectoria 2 de flujo de lado primario, un aparato 3 de eliminación de iones de lado primario, un aparato 4 de separación de lado primario, un aparato 5 de eliminación de iones de lado secundario, y un aparato 6 de separación de lado secundario, y una trayectoria 7 de flujo de lado secundario.

15 La trayectoria 2 de flujo de lado primario está conectada al aparato 3 de eliminación de iones de lado primario. La trayectoria 2 de flujo de lado primario es una trayectoria de flujo para suministrar agua dura al aparato 3 de eliminación de iones de lado primario. En la primera realización, una bomba P1 está dispuesta en una porción de conexión entre la trayectoria 2 de flujo de lado primario y el aparato 3 de eliminación de iones de lado primario. La bomba P funciona para hacer que el agua dura que fluye a través de la trayectoria 2 de flujo de lado primario fluya a través del aparato 3 de eliminación de iones de lado primario hacia el aparato 4 de separación de lado primario. El accionamiento de la bomba P1 está controlado por un controlador 8.

20 El aparato 3 de eliminación de iones de lado primario incluye una parte 3A de almacenamiento de agua dura de lado primario que almacena agua dura, y una parte 3B de generación de burbujas finas de lado primario que genera y suministra burbujas finas a la parte 3A de almacenamiento de agua dura de lado primario. El aparato 3 de eliminación de iones de lado primario es un aparato que hace que burbujas finas adsorban los primeros iones metálicos en agua dura en la parte 3A de almacenamiento de agua dura de lado primario y, de ese modo, elimina
25 los primeros iones metálicos del agua dura. La parte 3B de generación de burbujas finas del lado primario está dispuesta aguas abajo de la bomba P1 en la dirección del flujo del agua dura para evitar que el gas ingrese a la bomba P1.

En la primera realización, los iones metálicos son iones de calcio (Ca^{2+}). En la primera realización, las burbujas finas son burbujas que tienen un diámetro de 100 μm o menos en una proporción del 90 % o más. 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 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
35 propiedades diferentes a las burbujas ordinarias, como un largo tiempo de retención en agua, cada una de las burbujas apenas aumenta de diámetro y es menos probable que se combinen con otras burbujas, y una gran área de contacto que facilita una reacción química.

Las burbujas finas pueden incluir burbujas que tengan un diámetro de 100 μm o más (tal como miliburbujas) en una pequeña proporción. Las burbujas que tienen un diámetro de 100 μm o menos en una proporción del 90 % o más se definen como burbujas finas. Además, se pueden añadir condiciones tales como tener un diámetro de 60 μm o menos en una proporción de 50 % o más y tener un diámetro de 20 μm o menos en una proporción de 5 % o más. Cuando se mide el diámetro de las burbujas (diámetro de la burbuja), por ejemplo, el agua dura que contiene burbujas finas se puede fotografiar directamente con una cámara de alta velocidad, y el diámetro de la burbuja se puede calcular mediante un procedimiento de tres puntos a través del procesamiento de imágenes o se puede
40 medir mediante cualquier otro procedimiento. El momento de medir el diámetro de la burbuja puede ser cualquier momento siempre que se conserven las burbujas finas en ese momento. A continuación, se muestran ejemplos de condiciones del procedimiento de medición que utiliza una cámara de alta velocidad descrita anteriormente.

Cámara de alta velocidad: FASTCAM 1024 PCI (Fotrón)

Sistema de lentes: Z16 APO (Leica)

50 Lente objetivo: Planapo 2,0× (Leica)

Velocidad de disparo: 1000 fps

Velocidad de obturación: 1/505000 seg.

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

Software de procesamiento de imágenes: Image-Pro Plus (Cibermática de medios)

En la primera realización, una primera parte 9A de suministro de gas de eliminación de iones metálicos y una primera parte 10A de suministro de solubilizador de metales están conectadas a través de un mecanismo 11A de conmutación de gas de lado primario a la parte 3B de generación de burbujas finas de lado primario.

- 5 La primera parte 9A de suministro de gas de eliminación de iones metálicos está configurada para suministrar un primer gas de eliminación de iones metálicos para eliminar los primeros iones metálicos en agua dura a la parte 3B de generación de burbujas finas de lado primario. En la primera realización, la primera parte 9A de suministro de gas de eliminación de iones metálicos está configurada para suministrar "aire" como el primer gas de eliminación de iones metálicos a la parte 3B de generación de burbujas finas de lado primario. La primera parte 9A de suministro de gas de eliminación de iones metálicos puede incluir un tanque lleno con el primer gas de eliminación de iones metálicos, por ejemplo. La primera parte 9A de suministro de gas de eliminación de iones metálicos puede ser un aparato que genera el primer gas de eliminación de iones metálicos. Además, la primera parte 9A de suministro de gas de eliminación de iones metálicos puede ser un aparato conectado a una primera fuente de suministro de gas de eliminación de iones metálicos.
- 10
- 15 La primera parte 10A de suministro de solubilizador de metales está configurada para suministrar un primer gas de disolución de metal, que es un ejemplo de un primer solubilizador de metal que disuelve cristales de un componente metálico depositado mediante la cristalización de los primeros iones metálicos eliminados del agua dura, a la parte 3B de generación de burbujas finas de lado primario. En la primera realización, la primera parte 10A de suministro de solubilizador de metales está configurada para suministrar "dióxido de carbono (CO₂)" como el primer gas de disolución de metal a la parte 3B de generación de burbujas finas de lado primario. La primera parte 10A de suministro de solubilizador de metales está dispuesta aguas arriba del aparato 4 de separación de lado primario en la dirección de flujo del agua dura de modo que el primer solubilizador de metal se pueda suministrar al aparato 4 de separación de lado primario. La primera parte 10A de suministro de solubilizador de metales puede incluir un tanque lleno con el primer solubilizador de metal, por ejemplo. La primera parte 10A de suministro de solubilizador de metales puede ser un aparato que genere el primer solubilizador de metal. Además, la primera parte 10A de suministro de solubilizador de metales puede ser un aparato conectado a una primera fuente de suministro de solubilizador de metal.
- 20
- 25

El mecanismo 11A de conmutación de gas de lado primario es un mecanismo conmutado para suministrar el primer gas de eliminación de iones metálicos o el primer gas de disolución de metales a la parte 3B de generación de burbujas finas de lado primario. Al conmutar el mecanismo 11A de conmutación de gas de lado primario, se puede realizar de forma selectiva un tratamiento de ablandamiento con el primer gas de eliminación de iones metálicos y un tratamiento de regeneración con el primer gas de disolución de metales. El mecanismo 11A de conmutación de gas de lado primario está compuesto por una o más válvulas, por ejemplo. La operación de conmutación del mecanismo 11A de conmutación de gas de lado primario está controlada por el controlador 8.

30

35 Cuando el mecanismo 11A de conmutación de gas de lado primario se conmuta para suministrar el primer gas de eliminación de iones metálicos, la parte 3B de generación de burbujas finas del lado primario genera las burbujas finas que contienen el primer gas de eliminación de iones metálicos. Las burbujas finas eliminan los primeros iones metálicos del agua dura y separan los cristales del componente metálico, sometiendo así el agua dura al tratamiento de ablandamiento. El principio del tratamiento de ablandamiento se describirá en detalle más adelante.

40 Por otra parte, cuando el mecanismo 11A de conmutación de gas de lado primario se conmuta para suministrar el primer gas de disolución de metal, la parte 3B de generación de burbujas finas del lado primario genera las burbujas finas que contienen el primer gas de disolución de metal. Las burbujas finas pueden disolver los cristales del componente metálico adheridos al aparato 4 de separación de lado primario para realizar el tratamiento de regeneración como se describe más adelante. El principio del tratamiento de regeneración se describirá en detalle más adelante.

45

El aparato 4 de separación de lado primario está conectado al aparato 3 de eliminación de iones de lado primario 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 de lado primario. El aparato 4 separador de lado primario es un aparato que separa los cristales del componente metálico depositado cristalizando los primeros iones metálicos eliminados del agua dura mediante el aparato 3 de eliminación de iones de lado primario. El aparato 3 de eliminación de iones de lado primario y el aparato 4 de separación de lado primario pueden reducir la concentración (dureza) de los primeros iones metálicos en el agua dura a una concentración predeterminada o menos.

50

En la primera realización, el aparato 4 de separación de lado primario es un aparato de separación centrífugo de tipo ciclón que tiene una superficie 4Aa circunferencial interna 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 interna de modo que los cristales del componente metálico se separan. En la primera realización, el aparato 4 de separación de lado primario incluye una parte 4A de separación que tiene la superficie 4Aa circunferencial interna y una parte 4B de almacenamiento de cristales que almacena cristales de un componente metálico.

55

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 de lado primario se descarga en una dirección excéntrica desde un eje central de la parte 4A de separación. Esta 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 interna. Los primeros iones metálicos que tienen una gran gravedad específica eliminados del agua dura se mueven hacia la superficie 4Aa circunferencial interna debido a la separación centrífuga y se depositan como cristales del componente metálico en la proximidad de la superficie 4Aa circunferencial interna. Una porción de los cristales se adhiere a la superficie 4Aa circunferencial interna.

La parte 4B de almacenamiento de cristales 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 12A de apertura/cierre capaz de abrir y cerrar la trayectoria 4Ba de flujo de descarga. La operación de apertura/cierre de la válvula 12A de apertura/cierre está controlada por el controlador 8. Un mecanismo 13A de prevención de reflujo del lado de descarga está dispuesto en la trayectoria 4Ba de flujo de descarga aguas abajo de la válvula 12A de apertura/cierre en una dirección de descarga.

El mecanismo 13A de prevención de reflujo del lado de descarga es un mecanismo que evita que los cristales del componente metálico fluyan nuevamente hacia el aparato 4 de separación. El mecanismo 13A de prevención de reflujo del lado de descarga puede evitar que los cristales del componente metálico se mezclen nuevamente con el agua tratada (agua blanda) obtenida al separar el cristal del componente metálico del agua dura. El mecanismo 13A de prevención de reflujo del lado de descarga está compuesto por una o más válvulas de retención, por ejemplo. Alternativamente, el mecanismo 13A de prevención de reflujo del lado de descarga puede estar compuesto por un disyuntor de vacío, por ejemplo. Además, el mecanismo 13A de prevención de reflujo del lado de descarga puede estar configurado para evitar el reflujo mediante un espacio de salida dispuesto en una salida de la trayectoria 4Ba de flujo de descarga.

La parte 4A de separación del aparato 4 separador de lado primario está conectada al aparato 5 de eliminación de iones de lado secundario a través de una trayectoria 14 de flujo de conexión. La trayectoria 14 de flujo de conexión es una trayectoria de flujo para extraer del aparato 4 de separación de lado primario el agua tratada obtenida al separar los cristales del componente metálico. En la primera realización, dado que el aparato 4 de separación de lado primario es un aparato de separación centrífuga de tipo ciclón, los cristales del componente metálico se pueden concentrar en la proximidad de la superficie 4Aa circunferencial interna. Para evitar que los cristales del componente metálico entren en la trayectoria 14 de flujo de conexión, la trayectoria 14 de flujo de conexión está conectada a una porción central superior de la parte 4A de separación en una posición distante de la superficie 4Aa circunferencial interna.

La trayectoria 14 de flujo de conexión está provista de un aparato 15B de ajuste de pH de lado secundario que aumenta el pH del agua dura de la cual se eliminan los primeros iones metálicos mediante el aparato 3 de eliminación de iones de lado primario. En la primera realización, el aparato 15B de ajuste de pH de lado secundario incluye un aparato desgasificador del lado secundario que elimina el dióxido de carbono contenido en el agua dura de la que se eliminan los primeros iones metálicos mediante el aparato 3 de eliminación de iones de lado primario. En la primera realización, el aparato 15B de ajuste de pH de lado secundario está configurado para eliminar el dióxido de carbono contenido en el agua dura pulverizando el agua dura en forma de niebla en el aire. El principio del aumento del pH del agua dura debido a la eliminación del dióxido de carbono se describirá más adelante en detalle. El accionamiento del aparato 15B de ajuste de pH de lado secundario está controlado por el controlador 8.

La trayectoria 14 de flujo de conexión está conectada al aparato 5 de eliminación de iones de lado secundario. La trayectoria 14 de flujo de conexión es una trayectoria de flujo para suministrar al aparato 5 de eliminación de iones de lado secundario el agua dura de la cual se eliminan los primeros iones metálicos. En la primera realización, una bomba P2 está dispuesta en una porción de conexión entre la trayectoria 14 de flujo de conexión y el aparato 5 de eliminación de iones de lado secundario. La bomba P2 funciona para hacer que el agua dura que fluye a través de la trayectoria 14 de flujo de conexión fluya a través del aparato 5 de eliminación de iones de lado secundario hacia el aparato 6 de separación de lado secundario. El accionamiento de la bomba P2 está controlado por el controlador 8.

El aparato 5 de eliminación de iones de lado secundario incluye una parte 5A de almacenamiento de agua dura de lado secundario que almacena el agua dura cuyo pH aumenta mediante el aparato 15B de ajuste de pH de lado secundario y una parte 5B de generación de burbujas finas de lado secundario que genera y suministra burbujas finas a la parte 5A de almacenamiento de agua dura de lado secundario. El aparato 5 de eliminación de iones de lado secundario es un aparato que hace que burbujas finas adsorban segundos iones metálicos en el agua dura en la parte 5A de almacenamiento de agua dura de lado secundario y, de ese modo, elimina los segundos iones metálicos del agua dura. La parte 5B de generación de burbujas finas de lado secundario está dispuesta aguas abajo de la bomba P2 en la dirección del flujo del agua dura para evitar que el gas ingrese a la bomba P2.

En la primera realización, los segundos iones metálicos son iones de magnesio (Mg^{2+}). Una segunda parte 9B de suministro de gas de eliminación de iones metálicos y una segunda parte 10B de suministro de solubilizador de

metales están conectadas a través de un mecanismo 11B de conmutación de gas de lado secundario a la parte 5B de generación de burbujas finas de lado secundario.

La segunda parte 9B de suministro de gas de eliminación de iones metálicos está configurada para suministrar un segundo gas de eliminación de iones metálicos para eliminar los segundos iones metálicos en el agua dura a la parte 5B de generación de burbujas finas de lado secundario. En la primera realización, la segunda parte 9B de suministro de gas de eliminación de iones metálicos está configurada para suministrar "aire" como el segundo gas de eliminación de iones metálicos a la parte 5B de generación de burbujas finas de lado secundario. La segunda parte 9B de suministro de gas de eliminación de iones metálicos puede incluir un tanque lleno con el segundo gas de eliminación de iones metálicos, por ejemplo. La segunda parte 9B de suministro de gas de eliminación de iones metálicos puede ser un aparato que genera el segundo gas de eliminación de iones metálicos. Además, la segunda parte 9B de suministro de gas de eliminación de iones metálicos puede ser un aparato conectado a una segunda fuente de suministro de gas de eliminación de iones metálicos.

La segunda parte 10B de suministro de solubilizador de metal está configurada para suministrar un segundo gas de disolución de metal, que es un ejemplo de un segundo solubilizador de metal que disuelve cristales de un componente metálico depositado mediante la cristalización de los segundos iones metálicos eliminados del agua dura, a la parte 5B de generación de burbujas finas de lado secundario. En la primera realización, la segunda parte 10B de suministro de solubilizador de metal está configurada para suministrar "dióxido de carbono (CO₂)" como el segundo gas de disolución de metal a la parte 5B de generación de burbujas finas de lado secundario. La segunda parte 10B de suministro de solubilizador de metal está dispuesta aguas arriba del aparato 6 de separación de lado secundario en la dirección de flujo del agua dura de modo que el segundo solubilizador de metal pueda suministrarse al aparato 6 de separación de lado secundario. La segunda parte 10B de suministro de solubilizador de metal puede incluir un tanque lleno con el segundo solubilizador de metal, por ejemplo. La segunda parte 10B de suministro de solubilizador de metal puede ser un aparato que genera el segundo solubilizador de metal. Además, la segunda parte 10B de suministro de solubilizador de metal puede ser un aparato conectado a una segunda fuente de suministro de solubilizador de metal.

El mecanismo 11B de conmutación de gas de lado secundario es un mecanismo conmutado para suministrar el segundo gas de eliminación de iones metálicos o el segundo gas de disolución de metales a la parte 5B de generación de burbujas finas de lado secundario. Al conmutar el mecanismo 11B de conmutación de gas de lado secundario, se puede realizar de forma selectiva un tratamiento de ablandamiento con el segundo gas de eliminación de iones metálicos y un tratamiento de regeneración con el segundo gas de disolución de metales. El mecanismo 11B de conmutación de gas de lado secundario está compuesto por una o más válvulas, por ejemplo. La operación de conmutación del mecanismo 11B de conmutación de gas de lado secundario está controlada por el controlador 8.

Cuando el mecanismo 11B de conmutación de gas de lado secundario se conmuta para suministrar el segundo gas de eliminación de iones metálicos, la parte 5B de generación de burbujas finas de lado secundario genera las burbujas finas que contienen el segundo gas de eliminación de iones metálicos. Las burbujas finas eliminan los segundos iones metálicos del agua dura y separan los cristales del componente metálico, sometiendo así el agua dura al tratamiento de ablandamiento.

Por otra parte, cuando el mecanismo 11B de conmutación de gas de lado secundario se conmuta para suministrar el segundo gas de disolución de metal, la parte 5B de generación de burbujas finas de lado secundario genera las burbujas finas que contienen el segundo gas de disolución de metal. Las burbujas finas pueden disolver los cristales del componente metálico adheridos al aparato 6 de separación de lado secundario para realizar el tratamiento de regeneración como se describe más adelante.

El aparato 6 de separación de lado secundario está conectado al aparato 5 de eliminación de iones de lado secundario a través de una trayectoria 5C de flujo de conexión dispuesta en una porción circunferencial exterior superior de la parte 5A de almacenamiento de agua dura de lado secundario. El aparato 6 de separación de lado secundario es un aparato que separa los cristales del componente metálico depositado cristalizando los segundos iones metálicos eliminados del agua dura mediante el aparato 5 de eliminación de iones de lado secundario. El aparato 5 de eliminación de iones de lado secundario y el aparato 6 de separación de lado secundario pueden reducir la concentración (dureza) de los segundos 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. En concreto, el agua blanda puede definirse como agua que tiene una dureza inferior a 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 6 de separación de lado secundario es un aparato de separación centrífugo de tipo ciclón que tiene una superficie 6Aa circunferencial interna 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 6Aa circunferencial interna de modo que los cristales del componente metálico se separan. En la primera realización, el aparato 6 de separación de lado secundario incluye una parte 6A de separación que tiene la superficie 6Aa circunferencial interna y una parte 6B de almacenamiento de cristales que almacena cristales de un componente metálico.

La trayectoria 5C de flujo de conexión está conectada a la parte 6A de separación de manera que el agua que ha pasado a través del aparato 5 de eliminación de iones de lado secundario se descarga en una dirección excéntrica desde un eje central de la parte 6A de separación. Esta disposición excéntrica permite que el agua descargada en la parte 6A de separación fluya en espiral hacia abajo a lo largo de la superficie 6Aa circunferencial interna. Los segundos iones metálicos que tienen una gran gravedad específica eliminados del agua dura se mueven hacia la superficie 6Aa circunferencial interna debido a la separación centrífuga y se depositan como cristales del componente metálico en la proximidad de la superficie 6Aa circunferencial interna. Una parte de los cristales se adhiere a la superficie 6Aa circunferencial interna.

La parte 6B de almacenamiento de cristales está dispuesta debajo de la parte 6A de separación. La parte 6B de almacenamiento de cristales incluye una trayectoria 6Ba de flujo de descarga para descargar agua que contiene los cristales del componente metálico. La trayectoria 6Ba de flujo de descarga está provista de una válvula 12B de apertura/cierre capaz de abrir y cerrar la trayectoria 6Ba de flujo de descarga. La operación de apertura/cierre de la válvula 12B de apertura/cierre está controlada por el controlador 8. Un mecanismo 13B de prevención de reflujo de lado de descarga está dispuesto en la trayectoria 6Ba de flujo de descarga aguas abajo de la válvula 12B de apertura/cierre en una dirección de descarga.

El mecanismo 13B de prevención de reflujo de lado de descarga es un mecanismo que evita que los cristales del componente metálico fluyan nuevamente hacia el aparato 6 de separación de lado secundario. El mecanismo 13B de prevención de reflujo de lado de descarga puede evitar que los cristales del componente metálico se mezclen nuevamente con el agua tratada (agua blanda) obtenida al separar el cristal del componente metálico del agua dura. El mecanismo 13B de prevención de reflujo de lado de descarga está compuesto por una o más válvulas de retención, por ejemplo. Alternativamente, el mecanismo 13B de prevención de reflujo de lado de descarga puede estar compuesto por un disyuntor de vacío, por ejemplo. Además, el mecanismo 13B de prevención de reflujo de lado de descarga puede estar configurado para evitar el reflujo por un espacio de salida dispuesto en una salida de la trayectoria 6Ba de flujo de descarga.

La trayectoria 7 de flujo de lado secundario está conectada al aparato 6 de separación de lado secundario. La trayectoria 7 de flujo de lado secundario es una trayectoria de flujo para extraer del aparato 6 de separación de lado secundario el agua tratada obtenida al separar los cristales del componente metálico. En la primera realización, dado que el aparato 6 de separación de lado secundario es un aparato de separación centrífuga de tipo ciclón, los cristales del componente metálico se pueden concentrar en la proximidad de la superficie 6Aa circunferencial interna. Para evitar que los cristales del componente metálico entren en la trayectoria 7 de flujo de conexión de lado secundario, la trayectoria 7 de flujo de conexión de lado secundario está conectada a una porción central superior de la parte 6A de separación en una posición distante de la superficie 6Aa circunferencial interna.

La trayectoria 2 de flujo de lado primario está provista de un mecanismo 16 de prevención de reflujo de lado de suministro. El mecanismo 16 de prevención de reflujo de lado de suministro es un mecanismo que evita que las burbujas finas y el agua tratada fluyan nuevamente al lado de suministro de agua dura. El mecanismo 16 de prevención de reflujo de lado de suministro está compuesto por una o más válvulas de retención, por ejemplo.

Por ejemplo, cuando se requiere mantenimiento debido a una falla del aparato 3 de eliminación de iones de lado primario o del aparato 5 de eliminación de iones de lado secundario, no se puede utilizar agua durante el mantenimiento. Por lo tanto, en la primera realización, la trayectoria 2 de flujo de lado primario y la trayectoria 7 de flujo de lado secundario están conectadas por una trayectoria 17 de flujo de derivación. El sistema 1 de eliminación de iones incluye un mecanismo de conmutación de flujo que conmuta la dirección del flujo del agua dura que fluye a través de la trayectoria 2 de flujo de lado primario hacia el aparato 3 de eliminación de iones de lado primario o hacia la trayectoria 17 de flujo de derivación. Dado que el mecanismo de conmutación de flujo se puede conmutar para hacer que el agua dura que fluye a través de la trayectoria 2 de flujo de lado primario fluya a través de la trayectoria 17 de flujo de derivación hacia la trayectoria 7 de flujo de lado secundario, el agua dura se puede usar incluso durante el mantenimiento. Incluso sin necesidad de mantenimiento, el mecanismo de conmutación de flujo se puede conmutar para utilizar selectivamente el agua dura y el agua tratada (agua blanda).

En la primera realización, el mecanismo de conmutación de flujo incluye una primera válvula 18A capaz de abrir y cerrar la trayectoria 2 de flujo de lado primario, una segunda válvula 18B capaz de abrir y cerrar la trayectoria 7 de flujo de lado secundario, y una tercera válvula 18C capaz de abrir y cerrar la trayectoria 17 de flujo de derivación. Las operaciones de apertura/cierre de la primera válvula 18A, la segunda válvula 18B y la tercera válvula 18C están controladas por el controlador 8.

El controlador 8 está configurado para proporcionar selectivamente un primer control de apertura de la primera válvula 18A y la segunda válvula 18B y cierre de la tercera válvula 18C, y un segundo control de cierre de la primera válvula 18A y la segunda válvula 18B y apertura de la tercera válvula 18C. Cuando el controlador 8 proporciona el primer control, el agua dura que fluye a través de la trayectoria 2 de flujo de lado primario fluye hacia el aparato 3 de eliminación de iones de lado primario, la trayectoria 14 de flujo de conexión y el aparato 5 de eliminación de iones de lado secundario y se somete al tratamiento de ablandamiento antes de fluir hacia la trayectoria 7 de flujo de lado secundario. Como resultado, el agua tratada (agua blanda) se descarga a una salida de la trayectoria 7 de flujo de lado secundario. Cuando el controlador 8 proporciona el segundo control, el agua dura que fluye a través

de la trayectoria 2 de flujo de lado primario fluye a través de la trayectoria 17 de flujo de derivación hacia la trayectoria 7 de flujo de lado secundario. De esta manera, el agua dura se descarga a la salida de la trayectoria 7 de flujo de lado secundario. Por lo tanto, el controlador 8 puede proporcionar el primer control o el segundo control para descargar selectivamente el agua dura o el agua tratada (agua blanda) desde la salida de la trayectoria 7 de flujo de lado secundario.

<Aumento del pH debido a la desgasificación>

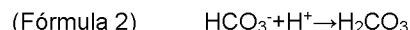
Se describirá con más detalle el principio del aumento del pH del agua dura debido a la eliminación del dióxido de carbono del agua dura.

Como se muestra en la Fig. 2, el agua dura contiene al menos H^+ (iones de hidrógeno), OH^- (iones hidróxido), CO_2 (dióxido de carbono), H_2CO_3 (carbonato de hidrógeno), HCO_3^- (iones de carbonato de hidrógeno) y H_2O (agua). Cuando se pulveriza agua dura en forma de niebla, aumenta la superficie del agua dura que entra en contacto con el aire, de modo que se libera CO_2 contenido en el agua dura se libera al aire. Como resultado, CO_2 en el agua dura se reduce.

Para compensar la reducción de CO_2 , H_2CO_3 en el agua dura se transforma en CO_2 y H_2O debido a una acción de amortiguación. Como resultado, H_2CO_3 en el agua dura se reduce. Esto está representado por una fórmula química específica como en la Fórmula 1 a continuación.



Para compensar la reducción de H_2CO_3 , HCO_3^- en el agua dura se une al H^+ debido a una acción de amortiguación y cambios en H_2CO_3 . Esto está representado por una fórmula química específica como en la Fórmula 2 a continuación.



En este punto, el pH del agua dura aumenta debido al consumo de H^+ . La acción de amortiguación descrita anteriormente se repite hasta que se alcanza un estado de equilibrio. Este tratamiento de desgasificación puede aumentar el pH del agua dura a aproximadamente 8,5, por ejemplo.

<Tratamiento de ablandamiento>

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

Se presume que el suministro de burbujas finas que contienen aire al agua dura provoca las acciones descritas en las siguientes secciones (1), (2), (3) y (4) sobre el primer y segundo ion metálico en el agua dura. En concreto, se presume que los iones metálicos primero y segundo del agua dura pueden adsorberse en las burbujas finas y que los iones metálicos primero y segundo adsorbidos pueden cristalizarse para eliminar los cristales de los componentes metálicos del agua dura. Más específicamente, el principio se describirá de la siguiente manera. Se advierte que la presente divulgación no está vinculada a los principios específicos descritos en las siguientes secciones (1), (2), (3) y (4).

(1) Adsorción de los primeros iones metálicos

Como se muestra en la Fig. 3, cuando las burbujas finas que contienen aire se suministran al agua dura, H^+ (iones de hidrógeno) y OH^- (iones hidróxido) se mezclan en las superficies de las burbujas finas y H^+ tiene carga positiva, mientras que OH^- tiene carga negativa (solo OH^- se muestra en la Fig. 3). Por otro lado, el agua dura tiene Ca^{2+} y Mg^{2+} presentes como los iones metálicos primero y segundo cargados positivamente.

Ca^{2+} tiene una carga positiva y una tendencia a la ionización mayor que Mg^{2+} y por lo tanto se adsorbe con preferencia al Mg^{2+} por 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 finas burbujas. Aunque H^+ repeliendo Ca^{2+} está presente en las superficies de las burbujas finas, es probable que OH^- actúa con preferencia a H^+ y adsorbe Ca^{2+} . La adsorción de Ca^{2+} se realiza principalmente en el aparato 3 de eliminación de iones de lado primario.

(2) Cristalización de los primeros iones metálicos

Además de la reacción mostrada en la Fig. 3, se promueve una reacción mostrada en la Fig. 4 al suministrar burbujas finas que contienen aire al agua dura. En concreto, a diferencia de las burbujas ordinarias, las burbujas finas suministradas al agua dura apenas flotan en la superficie, se disuelven en el agua dura y, por lo tanto, se encogen gradualmente como se muestra en la Fig. 4 debido a un aumento en la tensión superficial. Como se describió anteriormente, Ca^{2+} se adsorbe en las superficies de las burbujas finas. Más específicamente, Ca^{2+} está presente como iones de calcio solubles en $Ca(HCO_3)_2$ (hidrogenocarbonato de calcio). A medida que las burbujas finas se reducen gradualmente, la concentración disuelta de Ca^{2+} en las superficies de las burbujas finas aumenta. El aumento de la concentración disuelta da como resultado un estado de sobresaturación en un punto determinado

y Ca^{2+} se cristaliza y se deposita. Esto está representado por una fórmula química específica como en la Fórmula 3 a continuación.



5 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 $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ se depositan como cristales del componente metálico. Al promover dicha reacción, CaCO_3 depositado por cristalización de Ca^{2+} se puede separar del agua dura. La cristalización de Ca^{2+} se realiza principalmente en la parte 4A de separación del aparato 4 separador de lado primario.

10 Aunque puede ocurrir una reacción en la dirección inversa de la Fórmula 3 en la misma agua, se presume que la reacción en la dirección de la Fórmula 3 se realiza preferiblemente en la relación de equilibrio al suministrar continuamente las burbujas finas.

15 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 la proximidad de la superficie 4Aa circunferencial interna 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 12A de apertura/cierre. Al separar de esta manera los cristales del componente metálico del interior del agua dura, se puede ablandar el agua dura.

(3) Adsorción de iones metálicos secundarios

20 Como Ca^{2+} se elimina del agua dura, las cargas negativas presentes en las superficies de las burbujas finas disminuyen y se reduce el pH del agua dura. A este respecto, en la primera realización, el aparato 15B de ajuste de pH de lado secundario aumenta el pH del agua dura con Ca^{2+} eliminado. El Mg^{2+} cargado positivamente está presente en el agua dura sin Ca^{2+} . A medida que aumenta el pH del agua dura, los OH^- cargados negativamente presentes en las superficies de las burbujas finas aumenta. Como resultado, el Mg^{2+} cargado positivamente se absorbe más fácilmente en las burbujas finas. En consecuencia, se puede aumentar la cantidad de Mg^{2+} adsorbido en las burbujas finas y se puede promover la cristalización de los iones metálicos como se describe más adelante. Aunque H^+ repeliendo Mg^{2+} está presente en las superficies de las burbujas finas, es probable que OH^- actúa con preferencia a H^+ y adsorbe Mg^{2+} . La adsorción de Mg^{2+} se realiza principalmente en el aparato 5 de eliminación de iones de lado secundario.

(4) Cristalización de iones de segundo metal

30 Como se describió anteriormente, a diferencia de las burbujas comunes, las burbujas finas suministradas al agua dura apenas flotan en la superficie, se disuelven en el agua dura y, por lo tanto, se encogen gradualmente debido a un aumento en la tensión superficial. Como se describió anteriormente, Mg^{2+} se adsorbe en las superficies de las burbujas finas. Más específicamente, Mg^{2+} está presente como iones de magnesio de $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$ soluble (carbonato ácido de magnesio). A medida que las burbujas finas se reducen gradualmente, la concentración disuelta de Mg^{2+} en las superficies de las burbujas finas aumenta. El aumento de la concentración disuelta da como resultado un estado de sobresaturación en un punto determinado y Mg^{2+} se cristaliza y se deposita. Esto está representado por una fórmula química específica como en la Fórmula 4 a continuación.



40 MgCO_3 (carbonato de magnesio) es insoluble (insoluble en agua) y, por lo tanto, se deposita como cristales de un componente metálico. Como resultado, los disueltos como Mg^{2+} de $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$ se depositan como cristales del componente metálico. Al promover dicha reacción, el MgCO_3 depositado mediante la cristalización de los segundos iones metálicos Mg^{2+} puede separarse del agua dura. La cristalización de Mg^{2+} se realiza principalmente en la parte 6A de separación del aparato 6 de separación de lado secundario.

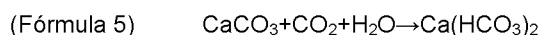
45 Aunque puede ocurrir una reacción en la dirección inversa de la Fórmula 4 en la misma agua, se presume que la reacción en la dirección de la Fórmula 4 se realiza preferiblemente en la relación de equilibrio al suministrar continuamente las burbujas finas.

<Tratamiento de Regeneración>

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

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

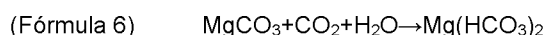
Como se muestra en la Fig. 5, al suministrar las finas burbujas de dióxido de carbono a CaCO_3 al adherirse a la superficie 4Aa circunferencial interna de la parte 4A de separación, se promueve la siguiente reacción.



5 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 se traslada a la parte 4B de almacenamiento de cristales. El $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ habiéndose movido a la parte 4B de almacenamiento de cristales se descarga a través de la trayectoria 4Ba de flujo de descarga abriendo la válvula 12A de apertura/cierre. Como resultado, el CaCO_3 insoluble adherido a la superficie 4Aa circunferencial interna de la parte 4A de separación se puede descargar hacia el exterior para restaurar el estado original. Posteriormente se puede volver a realizar el tratamiento de ablandamiento descrito anteriormente.

10 Al realizar el tratamiento de ablandamiento, una porción de MgCO_3 depositado mediante cristalización de los segundos iones metálicos se adhiere a la superficie 6Aa circunferencial interna de la parte 6A de separación. El tratamiento de regeneración se realiza como tratamiento para devolver MgCO_3 a $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$. En concreto, la parte 5B de generación de burbujas finas de lado secundario genera burbujas finas que contienen dióxido de carbono, que es un gas diferente del utilizado durante el tratamiento de ablandamiento.

15 Al suministrar las finas burbujas de dióxido de carbono a MgCO_3 al adherirse a la superficie 6Aa circunferencial interna de la parte 6A de separación, se promueve la siguiente reacción.



20 La reacción genera $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$ soluble (soluble en agua) a partir de MgCO_3 insoluble. $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$ se disuelve en agua y se mueve a la parte 6B de almacenamiento de cristales. El $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$ habiéndose movido a la parte 6B de almacenamiento de cristales se descarga a través de la trayectoria 6Ba de flujo de descarga abriendo la válvula 12B de apertura/cierre. Como resultado, el MgCO_3 insoluble adherido a la superficie 6Aa circunferencial interna de la parte 6A de separación se puede descargar hacia el exterior para restaurar el estado original. Posteriormente se puede volver a realizar el tratamiento de suavizado descrito anteriormente.

25 Como se describió anteriormente, cuando se eliminan los iones metálicos primero y segundo del agua dura mediante el uso de una resina de intercambio iónico, se requiere una gran cantidad de agua salada para regenerar la resina de intercambio iónico. En este sentido, el sistema 1 de eliminación de iones de la primera realización elimina los iones metálicos primero y segundo del agua dura mediante el uso de burbujas finas y, por lo tanto, puede eliminar la necesidad de una gran cantidad de agua salada requerida para regenerar la resina de intercambio iónico. Esto puede simplificar el tratamiento de regeneración para que el mantenimiento sea más fácil. Además, como no se generan aguas residuales de regeneración que contienen agua salada, se puede suprimir la contaminación del suelo y la carga sobre el tratamiento de aguas residuales, mejorando así las propiedades ambientales. Además, la concentración de iones de sodio no aumenta en el agua tratada, por lo que el agua tratada generada puede utilizarse como agua potable.

35 La Fig. 6 es un gráfico que muestra esquemáticamente los cambios en el pH y la dureza del agua dura que fluye a través del sistema 1 de eliminación de iones de acuerdo con la primera realización. Como se muestra en la Fig. 6, a medida que el aparato 3 de eliminación de iones de lado primario elimina los primeros iones metálicos del agua dura, la dureza del agua dura disminuye y el pH también disminuye. Posteriormente, el pH del agua dura se incrementa (se somete a un tratamiento de pH) mediante el aparato 15B de ajuste de pH de lado secundario. Como resultado, la dureza del agua dura disminuye ligeramente debido a un aumento en el pH del agua dura. Posteriormente, a medida que el aparato 5 de eliminación de iones de lado secundario elimina los segundos iones metálicos del agua dura que tiene el pH aumentado, la dureza del agua dura disminuye aún más y el pH del agua dura también disminuye.

45 De acuerdo con el sistema 1 de eliminación de iones de la primera realización, el pH del agua dura con los primeros iones metálicos eliminados se incrementa mediante el aparato 15B de ajuste de pH de lado secundario para aumentar el poder de adsorción de los segundos iones metálicos (por ejemplo, iones de magnesio) por las burbujas finas, de modo que se puede mejorar la eficiencia de eliminación de los segundos iones metálicos. Además, dado que los segundos iones metálicos se eliminan del agua dura de la que se eliminan los primeros iones metálicos, no es necesario aumentar el pH a un nivel requerido para eliminar tanto los primeros iones metálicos como los segundos iones metálicos, y el pH se puede aumentar a un nivel requerido para eliminar los segundos iones metálicos. Esto puede evitar que el pH del agua dura tenga un valor no adecuado para el agua potable.

55 En la descripción anterior, para facilitar la descripción, los segundos iones metálicos se eliminan después de que los primeros iones metálicos se eliminan por completo; sin embargo, en realidad, cuando se eliminan los primeros iones metálicos, también se pueden eliminar los segundos iones metálicos. Además, los primeros iones metálicos pueden permanecer cuando se eliminan los segundos iones metálicos, de modo que tanto los primeros iones metálicos como los segundos iones metálicos pueden eliminarse. Tal como se utiliza en el presente documento, "eliminar los primeros iones metálicos" significa "eliminar principalmente los primeros iones metálicos", y "eliminar los segundos iones metálicos" significa "eliminar principalmente los segundos iones metálicos".

(Ejemplo Experimental 1)

Se describirá el Ejemplo Experimental 1 realizado para confirmar el principio del aumento del pH debido a la desgasificación. Los experimentos se llevaron a cabo utilizando un aparato que se muestra en la Fig. 7.

La Fig. 7 es un diagrama que muestra una configuración esquemática de un aparato 90 utilizado en el Ejemplo experimental 1.

Como se muestra en la Fig. 7, el aparato 90 incluye un tanque 91 de agua, una primera tubería 92, una bomba 93, una segunda tubería 94 y una boquilla 95 de niebla.

El tanque 91 de agua es un tanque de agua que almacena agua 96 dura. El tanque 91 de agua está conectado a la bomba 93 a través de la primera tubería 92. La bomba 93 está conectada a la boquilla 95 de niebla a través de la segunda tubería 94. La boquilla 95 de niebla está dispuesta en una posición separada hacia arriba de una muestra 97 por una distancia H1 de niebla. La bomba 93 es una bomba que bombea el agua 96 dura a la boquilla 95 de niebla. La boquilla 95 de niebla es una boquilla que pulveriza el agua dura suministrada a través de la segunda tubería 94 hacia la muestra 97 en forma de niebla. El agua restante que queda en el tanque 91 de agua se drena hacia el exterior abriendo una válvula 98 de apertura/cierre dispuesta en la primera tubería 92.

La Fig. 8 es un gráfico que muestra los resultados del Ejemplo Experimental 1. En este ejemplo se utilizaron tres boquillas 1, 2, 3 con diferentes diámetros de niebla pulverizada (diámetro exterior promedio de las gotas de niebla) como la boquilla 95 de niebla. En concreto, la boquilla 1 es una boquilla que pulveriza una niebla que tiene un diámetro de niebla de 290 μm a un caudal instantáneo de 1,3 L/min. La boquilla 2 es una boquilla que pulveriza una niebla que tiene un diámetro de niebla de 760 μm a un caudal instantáneo de 4,2 L/min. La boquilla 3 es una boquilla que pulveriza una niebla con un diámetro de niebla de 2500 μm a un caudal instantáneo de 0,2 L/min.

En la Fig. 8, el eje horizontal representa la distancia H1 de niebla (mm), y el eje vertical representa el pH del agua 96 dura. Como se muestra en la Fig. 7, se confirmó que a medida que el diámetro de la niebla se hace más pequeño, es decir, a medida que el área de superficie específica se hace más grande, el pH del agua 96 dura aumenta más. También se confirmó que a medida que la distancia H1 de niebla se hace más larga, el pH del agua 96 dura aumenta básicamente ya que el tiempo de contacto del agua 96 dura con el aire se hace más largo.

(Ejemplo Experimental 2)

Se describirá el Ejemplo Experimental 2 realizado para confirmar el principio del tratamiento de ablandamiento utilizando burbujas finas. Los experimentos se llevaron a cabo utilizando un aparato 20 que se muestra en las Figs. 9A y 9B.

Las Figs. 9A y 9B son diagramas que muestran una configuración esquemática del aparato 20 utilizado en el Ejemplo Experimental 2. La Fig. 9A muestra un estado después de que haya transcurrido un tiempo predeterminado (específicamente, después de que hayan transcurrido 15 segundos) desde la generación de burbujas finas, y la Fig. 9B muestra un estado después de que haya transcurrido un tiempo predeterminado adicional (específicamente, después de que hayan transcurrido 45 segundos) desde el estado mostrado en la Fig. 9A. El estado de la Fig. 9A corresponde a un estado cuando el tiempo transcurrido desde la generación de burbujas finas es de 15 segundos en la Fig. 10, y el estado de la Fig. 9B corresponde a un estado cuando el tiempo transcurrido desde la generación de burbujas finas es de 60 segundos en la Fig. 10.

El aparato 20 mostrado en las Figs. 9A y 9B 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 como se describió 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 que se muestran en la Fig. 10.

A partir de los resultados mostrados en la Fig. 10, se demostró el efecto de "adsorción de iones metálicos por burbujas finas" descrito anteriormente. Los resultados específicos se describirán más adelante.

Como se muestra en las Figs. 9A y 9B, el aparato 20 incluye el tanque 22 de agua, una parte 24 de suministro de gas, una primera tubería 25, una parte 26 de generación 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 el agua 21 dura. En el ejemplo mostrado en las Figs. 9A y 9B, el tanque 22 de agua está configurado como un tanque alargado en dirección vertical. La parte 24 de suministro de gas es un elemento que suministra un gas a la parte 26 de generación de burbujas finas a través de la primera tubería 25. La parte 26 de generación 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 de generación de burbujas finas

corresponde a la parte 3B de generación de burbujas finas del lado primario y a la parte 5B de generación de burbujas finas de lado secundario descritas anteriormente. El gas se suministra desde la parte 24 de suministro de gas a la parte 26 de generación de burbujas finas debido a una acción de presión negativa de la bomba 28 a través de la segunda tubería 27.

- 5 La primera parte de entrada 30 de agua es un elemento que toma una muestra de agua del agua 21 dura desde cerca de una superficie 22a inferior del tanque 22 de agua. La segunda parte 32 de entrada de agua es un miembro que toma agua de muestra 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 una distancia D1 desde la primera parte 30 de entrada de agua hasta la segunda parte 32 de entrada de agua se puede ajustar a un valor deseado.

En el ejemplo mostrado en las Figs. 9A y 9B, la posición de altura de la primera parte 30 de entrada de agua se establece sustancialmente en la misma posición que la posición de altura donde la parte 26 de generación de burbujas finas genera las burbujas 23 finas.

- 15 El detector 34 de concentración de iones metálicos es un elemento 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.

- 20 Cuando la parte 26 de generación de burbujas finas y la bomba 28 funcionan 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 de generación de burbujas finas debido a la acción de la presión negativa de la bomba 28 a través de la segunda tubería 27. La parte 26 de generación 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 Fig. 9A).

La parte 26 de generación de burbujas finas y la bomba 28 se hacen funcionar durante un período predeterminado (15 segundos en el Ejemplo Experimental 2) para generar continuamente la burbuja 23 fina.

- 25 Posteriormente se detiene el funcionamiento de la parte 26 de generación de burbujas finas y de la bomba 28. La parada de la operación va seguida de un periodo de descanso predeterminado (45 segundos en el Ejemplo Experimental 2).

- 30 Como se muestra en la Fig. 9A, al final del período de funcionamiento (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 quedaron retenidas en una porción inferior del tanque 22 de agua.

Como se muestra en la Fig. 9B, 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 quedaron retenidas en una porción superior del tanque 22 de agua.

- 35 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 la operación para medir la concentración de iones metálicos con el detector 34 de concentración de iones metálicos, y los resultados se muestran en la Fig. 6.

A continuación se enumeran las condiciones experimentales específicas relacionadas con los resultados de la Fig. 10.

- 40 (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

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

Periodo de funcionamiento de la parte 26 de generación de burbujas finas y de la bomba 28: 15 segundos

Periodo de reposo de la parte 26 de generación de burbujas finas y de la bomba 28: 45 segundos

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

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

Tiempo de extracción de muestra de agua: después de 0 segundos, 15 segundos, 30 segundos, 60 segundos desde el inicio de la operación

En la Fig. 10, el eje horizontal representa el tiempo transcurrido (segundos) desde la generación de burbujas finas, y el eje vertical representa una transición de concentración (%) de iones metálicos (Ca^{2+}) detectado 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 de la operación es del 100 %.

Como se muestra en la Fig. 10, la concentración en el agua de muestra extraída de la primera parte 30 de entrada de agua cerca de la superficie inferior 22a del tanque 22 de agua aumenta a aproximadamente 108 % cuando han transcurrido 15 segundos. Durante el siguiente período de reposo, la concentración disminuye gradualmente y finalmente llega al 97 % aproximadamente.

Por otra parte, 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 a casi el 100 % hasta que transcurren 15 segundos, luego aumenta gradualmente durante el período de reposo y finalmente aumenta a aproximadamente el 115 %.

Los resultados de las transiciones de concentración de los iones metálicos y el comportamiento de las burbujas 23 finas se relacionan entre sí de la siguiente manera.

Cuando hayan transcurrido 15 segundos como se muestra en la Fig. 9A, se aumenta la concentración de iones metálicos en el agua de muestra de la primera parte 30 de entrada de agua en donde se retienen las burbujas 23 finas. Por otra parte, en el agua de muestra de la segunda parte 32 de entrada de agua, en donde no quedan retenidas las burbujas 23 finas, la concentración de iones metálicos prácticamente no se modifica.

Cuando han transcurrido 60 segundos como se muestra en la Fig. 9B, la concentración de iones metálicos se reduce a un poco menos del 100 % en el agua de muestra de la primera parte 30 de entrada de agua en donde 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 donde se retienen las burbujas 23 finas.

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

Partiendo de esta presunción, se demostró el efecto de "adsorción de iones metálicos por burbujas finas" descrito anteriormente.

(Segunda Realización)

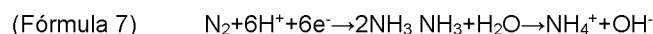
A continuación se describirá un sistema de eliminación de iones de acuerdo con una segunda realización de la presente divulgación. En la segunda realización se describirán principalmente las diferencias con la primera realización. En la segunda realización, los mismos elementos constituyentes o equivalentes que en la primera realización se indican mediante los mismos números de referencia. En la segunda realización no se realizará la descripción superpuesta con 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 presume que al generar y suministrar las burbujas finas de nitrógeno desde la parte 3B de generación de burbujas finas del lado primario y la parte 5B de generación de burbujas finas de lado secundario al agua dura, se promueven las acciones descritas en las siguientes secciones (5), (6) además de las secciones (1), (2), (3) y (4) descritas anteriormente. Se advierte que la presente divulgación no está vinculada a los principios específicos descritos en las siguientes secciones (5), (6).

(5) Promoción de la adsorción de iones metálicos primero y segundo

Como se muestra en la Fig. 11(a), H^+ y OH^- se cargan alrededor de las burbujas finas. Como se describió anteriormente, el Ca^{2+} y el Mg^{2+} con carga positiva se adsorben en OH^- con carga negativa. Cuando se utiliza nitrógeno como burbujas finas en tales circunstancias, se promueve una reacción de Fórmula 7.



Como se muestra en la Fig. 11(b), la cantidad de iones H^+ se reduce en relación con la cantidad de iones OH^- al promover la reacción de Fórmula 7. Como resultado, una carga negativa se hace fuerte en términos de burbujas finas, de modo que Ca^{2+} o Mg^{2+} que tienen una carga positiva se absorben fácilmente.

Cuando se utiliza nitrógeno como en la segunda realización, se puede promover la reacción de Fórmula 7 en comparación con cuando se utiliza aire como en la primera realización, de modo que se promueve aún más la

adsorción de iones metálicos primero y segundo. Como resultado, los iones metálicos primero y segundo se pueden separar y eliminar en mayor cantidad del agua dura.

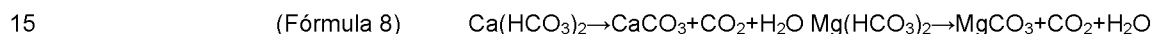
Se supone que el principio es aplicable no solo al nitrógeno sino también a cualquier gas que pueda reaccionar con iones H^+ para reducir el número de iones H^+ en relación con el número de iones OH^- .

5 (6) Promoción de la cristalización de los iones metálicos primero y segundo

Dado que el nitrógeno es un gas inerte diferente del aire, cuando se suministra nitrógeno al agua dura, se pierde el equilibrio de la presión parcial en el gas contenido en el agua dura. Esto promueve una reacción como la que se muestra en la Fig. 12.

10 Como se muestra en la Fig. 12, otro componente gaseoso disuelto en agua dura actúa sobre las burbujas finas compuestas de nitrógeno para reemplazar al nitrógeno. En el ejemplo que se muestra en la Fig. 12, el CO_2 está contenido en $Ca(HCO_3)_2$ presente alrededor de las burbujas finas, y este CO_2 se extrae y actúa para reemplazar el nitrógeno.

Además, el CO_2 está contenido en $Mg(HCO_3)_2$ presente alrededor de las finas burbujas, y este CO_2 se extrae y actúa reemplazando al nitrógeno. En concreto, 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. También ocurre una reacción tal que se genera $MgCO_3$ insoluble a partir de $Mg(HCO_3)_2$ soluble. En este caso, CO_2 y H_2O se generan. $CaCO_3$ y $MgCO_3$ son insolubles y se depositan en forma de cristales de componentes metálicos.

20 Los primeros iones metálicos contenidos como Ca^{2+} de $Ca(HCO_3)_2$ y los segundos iones metálicos contenidos como Mg^{2+} de $Mg(HCO_3)_2$ en el agua dura se pueden cristalizar y depositar por las reacciones. De esta manera se pueden eliminar los cristales de los componentes metálicos 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.

25 Dado que las burbujas finas se generan absorbiendo nitrógeno y suministrándolo al agua dura en la segunda realización como se describió anteriormente, las reacciones descritas en las secciones (5) y (6) se pueden promover en comparación con cuando se utiliza aire. Esto puede mejorar la precisión de la eliminación del primer y segundo ion metálico del agua dura.

30 En la primera realización, el aparato 15B de ajuste de pH de lado secundario está configurado para eliminar el dióxido de carbono contenido en el agua dura pulverizando el agua dura en forma de niebla en el aire; sin embargo, la presente divulgación no se limita a esto. Por ejemplo, el aparato 15B de ajuste de pH de lado secundario puede configurarse para eliminar el dióxido de carbono contenido en el agua dura pulverizando el agua dura en forma de niebla en una atmósfera de nitrógeno. De acuerdo con esta estructura, el dióxido de carbono en el agua dura actúa para reemplazar el nitrógeno, de modo que el dióxido de carbono se libera fácilmente del agua dura. Esto puede mejorar la eficiencia de eliminación de dióxido de carbono.

35 El aparato 15B de ajuste de pH de lado secundario puede estar configurado para eliminar el dióxido de carbono contenido en el agua dura, por ejemplo, suministrando un gas al agua dura para burbujear. En este caso, es preferible utilizar un gas que tenga una baja concentración de dióxido de carbono, por ejemplo, aire. Es más preferible utilizar un gas que no contenga dióxido de carbono, por ejemplo nitrógeno. De acuerdo con esta configuración, como se muestra en la Fig. 13, el nitrógeno en las burbujas generadas al burbujear en el agua dura actúa para reemplazar al nitrógeno, de modo que el dióxido de carbono se libera fácilmente del agua dura. Esto puede mejorar la eficiencia de eliminación de dióxido de carbono.

40 Las burbujas generadas en el agua dura mediante el burbujeo pueden tener un diámetro exterior promedio mayor que las burbujas finas generadas por la parte 3B de generación de burbujas finas del lado primario y la parte 5B de generación de burbujas finas de lado secundario. Por ejemplo, las burbujas generadas en el agua dura al burbujear pueden ser miliburbujas (que tienen un diámetro de 1 mm o más y 10 mm o menos). Las miliburbujas pueden ser burbujas reconocibles como aquellas que tienen un diámetro de burbuja del orden de milímetros por aquellos expertos en el campo del tratamiento del agua. De acuerdo con esta configuración, se puede aumentar la relación de burbujas en agua dura (proporción gas-líquido) (por ejemplo, de varios % a 50 %) para aumentar la superficie específica de las burbujas y se puede mejorar el efecto de eliminación del dióxido de carbono contenido en el agua dura.

Los ejemplos de un procedimiento para eliminar el dióxido de carbono contenido en agua dura incluyen un procedimiento de desgasificación por membrana, un procedimiento de desgasificación al vacío y un procedimiento de desgasificación por calentamiento, además del procedimiento de extracción mediante pulverización de una

niebla y el procedimiento de burbujeo descritos anteriormente. El dióxido de carbono contenido en el agua dura se puede eliminar utilizando un aparato que utilice estos procedimientos de desgasificación. El aparato que utiliza el procedimiento de extracción o burbujeo descrito anteriormente puede eliminar el dióxido de carbono contenido en agua dura con una estructura relativamente simple.

5 (Tercera Realización)

Se describirá un procedimiento para eliminar iones metálicos mediante un sistema de eliminación de iones de acuerdo con una tercera realización de la presente divulgación. En la tercera realización se describirán principalmente las diferencias con respecto a la primera y la segunda realización, y no se realizará ninguna descripción que se superponga con la primera y la segunda realización.

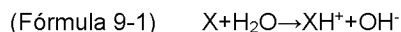
10 Mientras que la parte 3B de generación de burbujas finas del lado primario y la parte 5B de generación de burbujas finas de lado secundario generan burbujas finas que contienen aire en la primera y segunda realizaciones, la tercera realización es diferente de la primera y segunda realizaciones en que se generan burbujas finas que contienen un gas mixto obtenido al mezclar múltiples tipos de gases.

15 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 primera parte 9A de suministro de gas de eliminación de iones metálicos que se muestra en la Fig. 1 suministra el gas mixto obtenido al mezclar el primer gas y el segundo gas, como el primer gas de eliminación de iones metálicos a la parte 3B de generación de burbujas finas de lado primario. La segunda parte 9B de suministro de gas de eliminación de iones metálicos que se muestra en la Fig. 1 suministra el gas mixto obtenido al mezclar el primer gas y el segundo gas, como el segundo gas de eliminación de iones metálicos a la parte 5B de generación de burbujas finas de lado secundario.

20 Se presume que al generar las burbujas finas con el gas mezclado que contiene el primer gas y el segundo gas, se promueven las acciones descritas en las siguientes secciones (7), (8) además de las secciones (1), (2), (3) y (4) descritas anteriormente. Se advierte que la presente divulgación no está vinculada a los principios específicos descritos en las siguientes secciones (7), (8).

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

El primer gas contenido en el gas mezclado es un gas básico que recibe H^+ en una reacción ácido-base. El primer gas se disuelve en agua para generar OH^- . En concreto se produce la reacción de la Fórmula 9-1.



30 En la Fórmula 9-1, el primer gas está representado por la Fórmula Química X. Cuando ocurre la reacción de la Fórmula 9-1, como se muestra en la Fig. 14, la proporción de OH^- presente alrededor de burbujas 40 finas aumenta en comparación con la proporción de H^+ (H^+ no se muestra en la Fig. 14). 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 determinantes del potencial, y una carga positiva se hace más fuerte a medida que H^+ aumenta mientras que una carga negativa se hace más fuerte a medida que OH^- aumenta. Como resultado, una carga negativa se hace fuerte en términos de las burbujas 40 finas, de modo que Ca^{2+} o Mg^{2+} que tienen una carga positiva se adsorben fácilmente. De esta manera, se puede mejorar el efecto de adsorción de iones metálicos primero y segundo de las burbujas 40 finas.

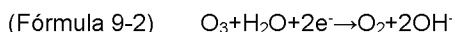
Además, en la tercera realización, el gas básico amoníaco se utiliza como primer gas. Cuando se utiliza amoníaco, la Fórmula 9-1 se describe específicamente como en la Fórmula 10.



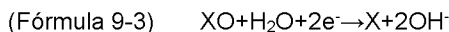
Al generar las burbujas 40 finas utilizando amoníaco, que es un gas versátil que tiene una alta solubilidad en agua, se puede reducir el coste de generación de las burbujas 40 finas mientras que se mejora el primer y segundo efecto de adsorción de iones metálicos descritos anteriormente.

45 Se supone que el principio es aplicable no sólo al amoníaco, sino también a cualquier gas básico. Los 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.

50 Como se muestra en la Fórmula 9-1, X no está limitado a un gas básico, y es probable que se produzca el mismo efecto siempre que X sea un "gas donador de iones hidroxilo" que reaccione con agua (H_2O) para donar un ion hidroxilo (OH^-). Los ejemplos de gases donadores de iones hidroxilo incluyen un gas ozono soluble (O_3). Cuando se suministra gas ozono al agua, probablemente ocurre la reacción representada por la Fórmula 9-2 similar a la Fórmula 9-1.



De acuerdo con la Fórmula 9-2, es probable que el gas donador de iones hidroxilo "X" que causa la reacción representada por la Fórmula 9-3 produzca el mismo efecto.



- 5 El ozono se describirá en el Ejemplo Experimental 7.

(8) Mantenimiento de burbujas finas con segundo gas

Como se describe en la sección "(7) Cambio de potencial en las superficies de las 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. Este primer gas se mezcla con el segundo gas, que es un gas que tiene la propiedad de disolverse a una tasa 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 Ca²⁺ o Mg²⁺ atribuible a las burbujas finas descritas en la primera y segunda realizaciones.

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

20 Se supone que el principio es aplicable no sólo al nitrógeno, sino también a cualquier gas que tenga una propiedad de tasa de disolución más lenta que el primer gas, que es un gas básico. Cuando se selecciona el segundo gas, el gas que se va 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, incluyendo las condiciones de temperatura y presión. Los 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, como óxido nítrico, oxígeno o hidrógeno, el efecto de mantener el estado de las burbujas 40 finas se puede ejercer de manera más efectiva.

Se ha descrito en las secciones "(5) Promoción de la adsorción de los iones metálicos primer y segundo" y "(6) Promoción de la cristalización de los iones metálicos primer y segundo" que el nitrógeno se disuelve en agua dura con referencia a las Figs. 11 y 12, y esta reacción probablemente ocurre al mismo tiempo. El nitrógeno es insoluble en agua y, por lo tanto, es difícil de disolver en agua, de modo que se ejerce un fuerte efecto de mantenimiento del estado de las burbujas 40 finas; sin embargo, una cantidad no pequeña de nitrógeno se disuelve en agua. Por tanto, el fenómeno de disolución del nitrógeno en agua descrito en los apartados (5), (6) se produce en gran medida simultáneamente con el fenómeno de mantenimiento de las burbujas finas con nitrógeno descrito en la sección (8).

35 Como se describió anteriormente, la parte de generación de burbujas finas de la tercera realización genera las burbujas 40 finas a partir de un gas mixto obtenido al mezclar 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 donante de iones hidroxilo y reacciona con agua para aumentar la proporción de OH⁻ sobre las superficies de las burbujas 40 finas. Esto puede aumentar el efecto de adsorción de iones metálicos como Ca²⁺ 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, que tiene la propiedad de una tasa de disolución más lenta que el gas básico, 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 manera que la proporción de mezcla de nitrógeno a amoníaco sea mayor (por ejemplo, amoníaco: nitrógeno es 1:99 en una cantidad de sustancia (relación de volumen)). Con tal configuración, el aumento de OH⁻ debido a que la disolución del amoníaco está limitada sólo en una región cerca de las superficies de las burbujas 40 finas, y la proporción de OH⁻ apenas cambia en una posición alejada de las burbujas 40 finas. Esto puede mantener inalterada la calidad del agua de todo el depósito mientras que provoca un cambio sólo en la proximidad de las superficies de las burbujas 40 finas. Por otra parte, aumentando la proporción de nitrógeno, el estado de las burbujas 40 finas se puede mantener durante más tiempo. De esta manera, se puede producir el efecto descrito con anterioridad al fijar 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 el gas mezclado. 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 del segundo gas se pueden establecer utilizando la cantidad de sustancia o el volumen.

Como alternativa, las proporciones de mezcla se pueden establecer de tal manera que la proporción de mezcla de amoníaco y nitrógeno sea mayor. Con tal configuración, los iones metálicos primero y segundo contenidos en el agua dura se pueden cristalizar y eliminar aún más. El principio de promoción de la cristalización como se describió anteriormente se describirá en los Ejemplos Experimentales 3 a 5.

En la tercera realización, a diferencia de una forma de suministro en donde 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 obtenido al mezclar amoníaco y nitrógeno se suministran al agua dura. Esta forma de suministro puede evitar que el amoníaco se disuelva solo en una posición distante de las burbujas 40 finas, de modo que se cumple la función de aumentar el OH⁻ sólo en las proximidades de las superficies de las burbujas 40 finas se puede ejercer suficientemente.

A continuación se describirá un principio hipotético en términos del primer y segundo efecto de adsorción de iones metálicos de las burbujas 40 finas utilizando 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 se cristalizan finalmente, con referencia a un esquema de la Fig. 15.

Como se muestra en la Fig. 14, cuando las burbujas 40 finas se suministran al 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 del gas amoníaco). Por lo tanto, como se describe en la sección "(7) Cambio de potencial en las superficies de burbujas finas debido al primer gas", NH₄⁺ se genera en las superficies de las burbujas 40 finas y la proporción de OH⁻ aumenta (condensación superficial). En este caso, el efecto de adsorción de iones Ca²⁺ o Mg²⁺ aumenta.

A medida que aumenta la concentración superficial, 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 grande, potencial zeta grande).

En los estados de "disolución de gas amoníaco", "condensación superficial" y "pH local alto, potencial zeta alto", Ca²⁺ o Mg²⁺ se adsorbe en las burbujas 40 finas. En este caso, si las burbujas 40 finas con Ca²⁺ o Mg²⁺ adsorbidos en el mismo se separan del agua dura, el primer y segundo 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 de Ca²⁺ o Mg²⁺ adsorbido en las superficies de las burbujas 40 finas. En concreto, Ca²⁺ o Mg²⁺ se cristaliza y se deposita en forma de cristales 42. Además, a medida que se depositan los cristales 42, las burbujas 40 finas comienzan a desaparecer (desaparición).

A medida que se produce la cristalización de Ca²⁺ o Mg²⁺ y la desaparición de las burbujas 40 finas continúa, el nitrógeno insoluble en agua que mantiene el estado de las burbujas 40 finas se difunde en el agua como un gas disuelto (difusión de gas disuelto).

En los estados de "desaparición" y "difusión de gases disueltos" descritos anteriormente, los iones metálicos contenidos como primer y segundo en el agua dura se depositan en forma de cristales 42. Al separar los cristales 42 depositados de esta manera del agua dura, los iones metálicos primero y segundo presentes en el agua dura se pueden cristalizar y eliminar.

(Ejemplos Experimentales 3 a 5)

Se describirán los Ejemplos Experimentales 3 a 5 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 llevaron a cabo utilizando un aparato 50 que se muestra en la Fig. 16.

La Fig. 16 es un diagrama que muestra una configuración esquemática del aparato 50 utilizado en los Ejemplos Experimentales 3 a 5. El aparato 50 mostrado en la Fig. 16 incluye una parte 52 de suministro de gas mixto, 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 de caudal y un caudalímetro 70.

La parte 52 de suministro de gas mixto es un miembro que suministra el gas mixto al tanque 54 de tratamiento. La parte 52 de suministro de gas mixto incluye una fuente 72 de suministro de amoníaco, una fuente 74 de suministro de nitrógeno, una válvula 76 de ajuste de relación de mezcla, una tubería 78 de suministro y una parte 80 de generación 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 mixto obtenido al mezclar amoníaco (el primer gas) y nitrógeno (el segundo gas).

Las proporciones de mezcla de amoníaco y nitrógeno se pueden ajustar a cualquier relación mediante la válvula 76 de ajuste de relación de mezcla. El gas mezclado se suministra a través de la tubería 78 de suministro a la parte 80 de generación de burbujas finas dispuesta en una porción inferior del tanque 54 de tratamiento. La parte 80 de generación de burbujas finas es un miembro que forma burbujas finas del gas mezclado.

5 El tanque 54 de tratamiento es un tanque (parte de almacenamiento de agua dura) que almacena agua dura como agua tratada para tratarse. 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
10 válvula 60 de muestreo de agua, se toma una muestra del agua tratada que pasa a través de la primera tubería 56. El agua tratada muestreada se introduce en el muestreador 62 de agua.

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. De esta
15 manera se hace circular el agua tratada.

La bomba 66, la válvula 68 de ajuste de caudal y el caudalímetro 70 están conectados a la segunda tubería 58. La bomba 66 es un elemento que genera una fuerza propulsiva 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 de caudal es una válvula que ajusta el caudal del agua tratada que pasa a través de la segunda tubería 58. El caudalímetro 70 es un
20 dispositivo que mide el caudal del agua tratada que fluye a través de la segunda tubería 58.

El aparato 50 como se describió anteriormente se utilizó para realizar un tratamiento de eliminación del componente metálico en el agua dura en el tanque 54 de tratamiento mientras 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 3 a 5, se examinó la tasa de cristalización del componente metálico contenido en
25 el agua tratada (tasa de cristalización). La tasa de cristalización en esta memoria descriptiva no se limita a una sustancia compuesta de átomos y moléculas dispuestos 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 Fig. 17 muestra un ejemplo de un resultado cuando el agua tratada realmente en los Ejemplos Experimentales 3 a 5 se observa con un microscopio electrónico de barrido (SEM). Como se muestra en la Fig. 17, una multiplicidad de cristales 84 se deposita en el agua 82 tratada.

En los Ejemplos Experimentales 3 y 4, se utilizó agua 1 dura como agua tratada. El agua 1 dura es Evian (marca registrada) que tiene una dureza de aproximadamente 300 mg/L. En el Ejemplo Experimental 5, se utilizaron dos tipos de aguas 1 y 2 duras. El agua 2 dura es Contrex (marca registrada) que tiene una dureza de aproximadamente
35 1400 mg/L.

(Ejemplo Experimental 3)

En el Ejemplo Experimental 3, se utilizó el aparato 50 descrito anteriormente para recoger 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
40 Experimental 3, se cambiaron las proporciones de mezcla de amoníaco y nitrógeno en el gas mezclado para examinar las diferencias en la tasa de cristalización en las respectivas proporciones de mezcla. Las condiciones experimentales específicas del Ejemplo experimental 3 se enumeran a continuación. En el Ejemplo Experimental 3, 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.

45 (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

50 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 de Ca (mg/L), concentración total de ácido carbónico (mg/L)

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

Los resultados experimentales del Ejemplo Experimental 3 se muestran en las Figs. 18A y 18B.

En la Fig. 18A, el eje horizontal representa el porcentaje de mezcla (%) de amoníaco en el gas mezclado, y el eje vertical representa la tasa de cristalización (%) del agua de muestra. En la Fig. 18B, el eje horizontal representa el pH de la muestra de agua y el eje vertical representa la tasa de cristalización (%) de la muestra de agua.

La "tasa de cristalización" se calculó mediante (la dureza de Ca del agua de muestra antes de la operación - la dureza de Ca del agua de muestra después de la operación)/la dureza de Ca del agua de muestra antes de la operación. 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 de la muestra de agua.

Como se muestra en las Figs. 18A y 18B, 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 drásticamente.

Como se muestra en las Figs. 18A y 18B, se puede observar que cuando el porcentaje de mezcla de amoníaco es mayor, el pH aumenta. Se observa que aunque el pH aumenta, el valor máximo está entre 8,5 y 9. El valor de referencia de pH para el agua del grifo definido por el Ministry of Health, Labor and Welfare está en el rango 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 rango. Además, el rango de pH deseable para agua potable con iones alcalinos prescrito en la Pharmaceutical Affairs Law es de 9 a 10. Como el valor de pH se puede mantener por debajo de este rango, se puede considerar que el agua es apta para beber.

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 de forma local alrededor de las burbujas 40 finas, como se describió anteriormente con referencia a la Fig. 15, en lugar de aumentar el pH de toda el agua tratada.

(Ejemplo Experimental 4)

En el Ejemplo Experimental 4, como en el Ejemplo Experimental 3, se utilizó el aparato 50 descrito anteriormente para recoger 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 4, solo se utilizaron dos patrones de 70 % y 100 % para el porcentaje de mezcla de amoníaco en el gas mezclado. A diferencia del Ejemplo Experimental 3, 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 3, el agua tratada suministrada desde el tanque 54 de tratamiento a la primera tubería 56 fue devuelta en su totalidad 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 4 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 de Ca (mg/L), concentración total de ácido carbónico (mg/L)

Los resultados experimentales del Ejemplo Experimental 4 se muestran en las Figs. 19A, 19B y 19C.

En la Fig. 19A, 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 Fig. 19B, el eje horizontal representa el tiempo de funcionamiento (minutos) de la bomba 66, y el eje vertical representa la dureza de Ca (mg/L) del agua de muestra. En la Fig. 19C, 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 Fig. 19A, la tasa de cristalización aumenta a medida que transcurre el tiempo de operación, independientemente de si el porcentaje de mezcla de amoníaco es del 70 % o del 100 %. Como se muestra en la Fig. 19B, la dureza del Ca disminuye a medida que transcurre el tiempo de operación. Esto revela que el componente metálico Ca^{2+} disuelto en el agua dura se cristaliza como CaCO_3 debido a la introducción de burbujas finas mediante el gas mezclado.

Por otra parte, la velocidad de aumento de la tasa de cristalización y la velocidad de disminución de la dureza del 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 .

Como se muestra en la Fig. 19C, el pH aumenta gradualmente a medida que transcurre el tiempo de operación, independientemente de si el porcentaje de mezcla de amoníaco es 70 % o 100 %. No se observa ninguna diferencia significativa en el valor de pH entre cuando el porcentaje de mezcla de amoníaco es 70 % y cuando el porcentaje de mezcla es 100 %. Incluso transcurrido el tiempo de funcionamiento de 50 minutos, el pH se sitúa entre 9 y 10 y no aumenta excesivamente. El factor que modera la velocidad de aumento del pH de esta manera es probablemente que el pH aumenta principalmente de forma local alrededor de las burbujas 40 finas como se describió anteriormente con referencia a la Fig. 15, en lugar de aumentar el pH de toda el agua tratada.

(Ejemplo Experimental 5)

En el Ejemplo Experimental 5, como en los Ejemplos Experimentales 3 y 4, el aparato 50 descrito anteriormente se utilizó para recoger 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. Al igual que en el Ejemplo Experimental 4, la muestra de agua se recogió a intervalos predeterminados desde el inicio del funcionamiento de la bomba 66 para medir diversos parámetros. Al igual que en el Ejemplo Experimental 4, el agua tratada suministrada desde el tanque 54 de tratamiento a la primera tubería 56 fue devuelta en su totalidad al tanque 64 de almacenamiento de agua para hacer circular el agua tratada, excepto el agua recolectada con el muestreador 62 de agua. Por otra parte, en el Ejemplo Experimental 5, sólo se utilizó un patrón del 70 % para el porcentaje de mezcla de amoníaco en el gas mezclado. A diferencia de los Ejemplos Experimentales 3 y 4, se utilizaron 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), como agua tratada. Las condiciones experimentales específicas del Ejemplo experimental 5 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

Caudal de gas mezclado: 0,03 L/min

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

Los resultados experimentales del Ejemplo Experimental 5 se muestran en las Figs. 20A, 20B, 20C y 20D.

En la Fig. 20A, 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 Fig. 20B, el eje horizontal representa el tiempo de funcionamiento (minutos) de la bomba 66, y el eje vertical representa la dureza de Ca (mg/L) del agua de muestra. En la Fig. 20C, 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 Fig. 20D es un gráfico de la Fig. 20B en donde se suma la concentración total de ácido carbónico (mg/L) al eje vertical.

Como se muestra en las Figs. 20A y 20B, tanto en el agua 1 dura como en el agua 2 dura, la tasa de cristalización aumenta y la dureza de Ca disminuye a medida que transcurre el tiempo de operación. Esto revela que el componente metálico Ca^{2+} disuelto en el agua dura se cristaliza como CaCO_3 debido a la introducción de burbujas finas mediante el gas mezclado.

Como se muestra en las Figs. 20A y 20C, se puede observar que la velocidad de aumento de la tasa de cristalización y la velocidad de aumento del pH son significativamente diferentes entre el agua 1 dura y el agua 2 dura. En concreto, se puede observar 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. En este sentido, los presentes inventores centraron su atención en la "concentración total de ácido carbónico" y realizaron un estudio basado en los datos que se muestran en la Fig. 20D.

Como se muestra en la Fig. 20D, la concentración total de ácido carbónico del agua 1 dura tiene un valor de 150 a 200 mg/L cuando el tiempo de operación 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 70 a 80 %, como se muestra en la Fig. 20A. 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 observar que el contenido de HCO_3^- y CO_3^{2-} son significativamente más pequeños en el agua 2 dura. De acuerdo con los datos que se muestran en la Fig. 20A, se espera que la tasa de cristalización del agua 2 dura sea de aproximadamente 40 % cuando el tiempo de funcionamiento es de 70 minutos.

Como se describe en los principios de las realizaciones primera a tercera, HCO_3^- y CO_3^{2-} funcionan como componentes para la cristalización de 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 el HCO_3^- y CO_3^{2-} están contenidos en cantidades mayores.

En la Tabla 1 se muestran los contenidos 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-} requerido para 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

Como se muestra en la Tabla 1, los contenidos de Ca, Mg y CO_3^{2-} por unidad de volumen contenido en el agua 1 dura, es decir, Evian (marca registrada), son 80, 26 y 357 mg/L, respectivamente. El contenido de Ca, Mg y CO_3^{2-} por unidad de volumen contenido en el agua 2 dura, es decir, Contrex (marca registrada), son 468, 74,8 y 372 mg/L. Por lo tanto, el contenido de CO_3^{2-} por unidad de volumen contenida en el agua 1 dura y el agua 2 dura son 357 mg/L y 372 mg/L, que son sustancialmente iguales. Por otra parte, la cantidad de CO_3^{2-} requerido para la disolución de Ca y Mg en relación con el contenido de Ca y Mg contenido en agua dura es de aproximadamente 184 mg/L para el agua 1 dura y de 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-} en relación con la cantidad de CO_3^{2-} requerida para la disolución de Ca y Mg. Esto significa que el CO_3^{2-} para cristalizar Ca^{2+} está abundantemente presente cuando se introducen las finas burbujas 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-} en relación con la cantidad de CO_3^{2-} requerida 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 falta de CO_3^{2-} para cristalizar Ca^{2+} .

De los resultados descritos anteriormente, es probable que si el agua dura que se va a tratar contiene abundante ácido carbónico tal como HCO_3^- y CO_3^{2-} , se puede mejorar la velocidad de aumento 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. En concreto, se puede incluir además una parte de generación de gas de ácido carbónico que genere un gas de ácido carbónico. Antes de suministrar las burbujas finas generadas por la parte de generación de burbujas finas al agua dura, la parte de generación de gas de ácido carbónico puede generar un gas de ácido carbónico y suministrarlo al agua dura. Probablemente esto puede promover la cristalización del componente metálico en el agua dura.

Como se describió anteriormente, de acuerdo con los Ejemplos Experimentales 3 a 5, 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 mezclado. Además, al establecer el porcentaje de mezcla de amoníaco en el gas mezclado al 70 % o más, se puede promover significativamente la cristalización del componente metálico.

(Ejemplo Experimental 6)

El Ejemplo Experimental 6 es un experimento de evaluación sensorial para evaluar la "formación de espuma" en la muestra de agua (agua blanda) tratada utilizando el aparato 50 descrito anteriormente. La formación de espuma está relacionada con el poder espumante en de acuerdo con la altura y el tamaño de la espuma generada desde una superficie de agua. En general, se considera que cuando la cantidad de componentes de dureza es menor, la

formación de espuma es mayor, lo que es ventajoso porque se aumenta el efecto de lavado cuando el agua se utiliza para lavar, por ejemplo.

En el Ejemplo Experimental 6, a diferencia de los Ejemplos Experimentales 3 a 5, se generaron burbujas finas a partir de un solo gas de amoníaco en lugar del gas mixto. Específicamente, en el aparato 50 mostrado en la Fig. 16, se generaron burbujas finas utilizando únicamente la fuente 72 de suministro de amoníaco sin utilizar la fuente 74 de suministro de nitrógeno. El procedimiento de utilización del aparato 50 es el mismo que en los Ejemplos Experimentales 3 a 5 y por lo tanto no se describirá.

El procedimiento experimental del Ejemplo Experimental 6 se basa en el estándar de "formación de espuma": SHASE-S 218 de la Society of Heating, Air-Conditioning and Sanitary Engineers de Japón. Específicamente, se preparó agua diluida diluyendo 1,5 g de jabón puro con 200 ml de agua, y se mezclaron 1 mL del agua diluida y 9 mL del agua tratada de interés y se colocaron en una probeta graduada como 10 mL de agua de evaluación. Para el jabón puro se utilizó jabón MARCA COW Red Box a1 (Cow Brand Soap Kyoshinsha Co. Ltd.) y para 200 ml de agua se utilizó agua destilada Autostill WG221 (Yamato Scientific Co., Ltd.). El cilindro de medición 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 6, 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 del agua de muestra son las 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 6 se muestran en la Fig. 21. En la Fig. 21, 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 de formación de espuma.

Como se muestra en la Fig. 21, mientras que el "agua dura" fue la más alta en las durezas Ca y Mg y mostró poca formación de espuma cerca de 0, el "agua del grifo", el "agua de muestra" y el "agua pura" mostraron aproximadamente los mismos niveles altos de formación de espuma. Por lo tanto, el "agua de muestra" tratada mediante el aparato 50 mejora en términos de formación de espuma en comparación con el agua dura antes del tratamiento y logra 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 procedimiento 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 Fig. 21 con los valores específicos de la dureza, cuando la dureza Ca es menor, la formación de espuma se hace mayor. Esto revela que el valor de la dureza Ca, en lugar de la dureza Mg, es un parámetro dominante que tiene una influencia directa en la formación de espuma.

(Ejemplo Experimental 7)

En el Ejemplo Experimental 7, el agua tratada (agua dura) se trata utilizando el mismo aparato 50 (Fig. 16) que en los Ejemplos Experimentales 3 a 5 para comparar la tasa de cristalización del agua de muestra tratada.

En el Ejemplo Experimental 7, se compararon las diferencias en la tasa de cristalización entre el caso de utilizar microburbujas, que son burbujas finas, y el caso de utilizar miliburbujas, que no son burbujas finas. Específicamente, en el aparato 50 mostrado en la Fig. 16, se realizó un experimento en dos patrones utilizando la parte 80 de generación de burbujas finas tal como está para generar microburbujas, y utilizando otra parte de generación de burbujas (no mostrada) en lugar de la parte 80 de generación de burbujas finas para generar miliburbujas.

En el Ejemplo Experimental 7, a diferencia de los Ejemplos Experimentales 3 a 5, las burbujas se generaron a partir de un solo gas de ozono en lugar del gas mixto. Específicamente, en el aparato 50 mostrado en la Fig. 16, 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 donante de iones hidroxilo.

Las condiciones experimentales del Ejemplo Experimental 7 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): 9L

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

Diámetro de burbujas promedio de las microburbujas: 56 µm

5 Diámetro de burbuja promedios de miliburbujas: 1021 µm

Elementos de medición de muestra de agua (comunes): Dureza Ca (mg/L), dureza total (mg/L)

Los resultados experimentales del Ejemplo Experimental 7 se muestran en las Figs. 22A y 22B.

10 En la Fig. 22A, el eje horizontal representa el tiempo (minutos) y el eje vertical representa la tasa de cristalización (%) de la dureza Ca. En la Fig. 22B, el eje horizontal representa el tiempo (minutos) y el eje vertical representa la tasa de cristalización (%) de la dureza total.

15 Como se muestra en las Figs. 22A y 22B, se puede observar que las microburbujas logran 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 utilizar microburbujas, que son burbujas finas, en comparación con el caso de utilizar miliburbujas, que no son burbujas finas, y esto demuestra el efecto de cristalización de iones metálicos de las burbujas finas.

(Cuarta Realización)

20 A continuación se describirá un sistema de eliminación de iones de acuerdo con una cuarta realización de la presente divulgación. En la cuarta realización se describirán principalmente las diferencias con la primera realización. En la cuarta realización, los mismos elementos constituyentes o elementos constituyentes equivalentes que en la primera realización se indican mediante los mismos números de referencia. En la cuarta realización, no se realizará la descripción superpuesta con la primera realización.

La Fig. 23 es un esquema del sistema de eliminación de iones de acuerdo con la cuarta realización. La cuarta realización es diferente de la primera realización en que la trayectoria 2 de flujo de lado primario está provista de un aparato 15A de ajuste de pH de lado primario.

25 El aparato 15A de ajuste de pH de lado primario es un aparato que aumenta el pH del agua dura contenida en la parte 3A de almacenamiento de agua dura de lado primario. En la cuarta realización, el aparato 15A de ajuste de pH de lado primario incluye un aparato desgasificador del lado secundario que elimina el dióxido de carbono contenido en el agua dura. El accionamiento del aparato 15A de ajuste de pH de lado primario está controlado por el controlador 8.

30 La Fig. 24 es un gráfico que muestra esquemáticamente los cambios en el pH y la dureza del agua dura que fluye a través del sistema de eliminación de iones de acuerdo con la cuarta realización.

35 Como se muestra en la Fig. 24, dado que el aparato 15A de ajuste de pH de lado primario elimina el dióxido de carbono del agua dura, el pH del agua dura aumenta. A medida que el pH del agua dura aumenta, la dureza del agua dura disminuye ligeramente. Posteriormente, a medida que el aparato 3 de eliminación de iones de lado primario elimina los primeros iones metálicos del agua dura, la dureza del agua dura disminuye y el pH también disminuye. Posteriormente, el pH del agua dura se incrementa mediante el aparato 15B de ajuste de pH de lado secundario eliminando el dióxido de carbono del agua dura. En este caso, como el pH del agua dura aumenta, la dureza del agua dura disminuye ligeramente. Posteriormente, a medida que el aparato 5 de eliminación de iones de lado secundario elimina los segundos iones metálicos del agua dura que tiene el pH aumentado, la dureza del agua dura disminuye aún más y el pH del agua dura disminuye nuevamente.

40 De acuerdo con el sistema de eliminación de iones de la cuarta realización, el pH del agua dura se incrementa mediante el aparato 15A de ajuste de pH de lado primario para aumentar el poder de adsorción de los primeros iones metálicos por las burbujas finas, de modo que se pueda mejorar la eficiencia de eliminación de los primeros iones metálicos. Además, el pH del agua dura con los primeros iones metálicos eliminados se incrementa mediante el aparato 15B de ajuste de pH de lado secundario para aumentar el poder de adsorción de los segundos iones metálicos por las burbujas finas, de modo que se pueda mejorar la eficiencia de eliminación de los segundos iones metálicos.

(Quinta Realización)

50 A continuación se describirá un sistema de eliminación de iones de acuerdo con una quinta realización de la presente divulgación. En la quinta realización se describirán principalmente las diferencias con la cuarta realización. En la quinta realización, los mismos elementos constituyentes o equivalentes que en la cuarta realización se indican

mediante los mismos números de referencia. En la quinta realización, no se realizará la descripción superpuesta con la cuarta realización.

La Fig. 25 es un esquema del sistema de eliminación de iones de acuerdo con la quinta realización. La quinta realización es diferente de la cuarta realización en que se dispone un aparato 15C de ajuste de pH de lado primario en lugar del aparato 15A de ajuste de pH de lado primario y que se dispone un aparato 15D de ajuste de pH de lado secundario en lugar del aparato 15B de ajuste de pH de lado secundario.

El aparato 15C de ajuste de pH de lado primario es un aparato que aumenta el pH del agua dura contenida en la parte 3A de almacenamiento de agua dura de lado primario. En la quinta realización, el aparato 15C de ajuste de pH de lado primario incluye un aparato de electrólisis del lado primario que electroliza agua dura para generar agua ácida y agua alcalina. El aparato 15C de ajuste de pH de lado primario está configurado para suministrar agua alcalina como agua dura a la parte 3A de almacenamiento de agua dura de lado primario. El aparato 15C de ajuste de pH de lado primario incluye una trayectoria 15Ca de flujo de descarga para descargar el agua ácida electrolizada del agua dura. El aparato 15C de ajuste de pH de lado primario puede aumentar sustancialmente el pH del agua dura separando el agua ácida del agua dura mientras deja el agua alcalina. Por ejemplo, el pH del agua dura se puede aumentar a 9 o más. El aparato 15C de ajuste de pH de lado primario puede ser un purificador de agua de iones alcalinos que tenga una estructura conocida, por ejemplo. El accionamiento del aparato 15C de ajuste de pH de lado primario está controlado por el controlador 8.

La trayectoria 15Ca de flujo de descarga está provista con una válvula 12C de apertura/cierre capaz de abrir y cerrar la trayectoria 15Ca de flujo de descarga. La operación de apertura/cierre de la válvula 12C de apertura/cierre está controlada por el controlador 8. Un mecanismo 13C de prevención de reflujo de lado de descarga está dispuesto en la trayectoria 15Ca de flujo de descarga aguas abajo de la válvula 12C de apertura/cierre en la dirección de descarga.

El mecanismo 13C de prevención de reflujo de lado de descarga es un mecanismo que evita que el agua ácida fluya nuevamente hacia el aparato 15C de ajuste de pH de lado primario. El mecanismo 13C de prevención de reflujo de lado de descarga puede evitar que el agua ácida se mezcle nuevamente con el agua alcalina separada del agua dura. El mecanismo 13C de prevención de reflujo de lado de descarga está compuesto por una o más válvulas de retención, por ejemplo.

El aparato 15D de ajuste de pH de lado secundario es un aparato que aumenta el pH del agua dura de la que se eliminan los primeros iones metálicos mediante el aparato 3 de eliminación de iones de lado primario. En la quinta realización, el aparato 15D de ajuste de pH de lado secundario incluye un aparato de electrólisis del lado secundario que electroliza el agua dura de la que se eliminan los primeros iones metálicos mediante el aparato 3 de eliminación de iones de lado primario, para generar agua ácida y agua alcalina. El aparato 15D de ajuste de pH de lado secundario está configurado para suministrar agua alcalina como agua dura que tiene el pH aumentado a la parte 5A de almacenamiento de agua dura de lado secundario. El aparato 15D de ajuste de pH de lado secundario incluye una trayectoria 15Da de flujo de descarga para descargar el agua ácida electrolizada del agua dura. El aparato 15D de ajuste de pH de lado secundario puede aumentar sustancialmente el pH del agua dura separando el agua ácida del agua dura mientras deja el agua alcalina. Por ejemplo, el pH del agua dura se puede aumentar a 9 o más. El aparato 15D de ajuste de pH de lado secundario puede ser un purificador de agua de iones alcalinos que tiene una estructura conocida, por ejemplo. El accionamiento del aparato 15D de ajuste de pH de lado secundario está controlado por el controlador 8.

La trayectoria 15Da de flujo de descarga está provista con una válvula 12D de apertura/cierre capaz de abrir y cerrar la trayectoria 15Da de flujo de descarga. La operación de apertura/cierre de la válvula 12D de apertura/cierre está controlada por el controlador 8. Un mecanismo 13D de prevención de reflujo de lado de descarga está dispuesto en la trayectoria 15Da de flujo de descarga aguas abajo de la válvula 12D de apertura/cierre en la dirección de descarga.

El mecanismo 13D de prevención de reflujo de lado de descarga es un mecanismo que evita que el agua ácida fluya nuevamente hacia el aparato 15D de ajuste de pH de lado primario. El mecanismo 13D de prevención de reflujo de lado de descarga puede evitar que el agua ácida se mezcle nuevamente con el agua alcalina separada del agua dura. El mecanismo 13D de prevención de reflujo de lado de descarga está compuesto por una o más válvulas de retención, por ejemplo.

La Fig. 26 es un gráfico que muestra esquemáticamente los cambios en el pH y la dureza del agua dura que fluye a través del sistema de eliminación de iones de acuerdo con la quinta realización.

Como se muestra en la Fig. 26, dado que el aparato 15C de ajuste de pH de lado primario separa el agua ácida del agua dura mientras deja el agua alcalina, el pH del agua dura aumenta. A medida que el pH del agua dura aumenta, la dureza del agua dura disminuye ligeramente. Posteriormente, a medida que los primeros iones metálicos se eliminan del agua dura mediante el aparato 3 de eliminación de iones de lado primario, la dureza del agua dura disminuye y el pH también disminuye. Posteriormente, el pH del agua dura se incrementa mediante el aparato 15D de ajuste de pH de lado secundario separando el agua ácida del agua dura mientras deja el agua

alcalina. En este caso, como el pH del agua dura aumenta, la dureza del agua dura disminuye ligeramente. Posteriormente, a medida que el aparato 5 de eliminación de iones de lado secundario elimina los segundos iones metálicos del agua dura que tiene el pH aumentado, la dureza del agua dura disminuye aún más y el pH del agua dura disminuye nuevamente.

- 5 De acuerdo con el sistema de eliminación de iones de la quinta realización, el pH del agua dura se puede aumentar aún más mediante el aparato 15C de ajuste de pH de lado primario que separa el agua ácida del agua dura mientras deja el agua alcalina. Como resultado, el poder de adsorción de los primeros iones metálicos por las burbujas finas se puede aumentar aún más para mejorar aún más la eficiencia de eliminación de los primeros iones metálicos. Además, el aparato 15D de ajuste de pH de lado secundario puede aumentar aún más el pH del agua
- 10 dura separando el agua ácida del agua dura de la que se eliminan los primeros iones metálicos, mientras deja el agua alcalina. Como resultado, el poder de adsorción de los segundos iones metálicos por las burbujas finas se puede aumentar aún más para mejorar aún más la eficiencia de eliminación de los segundos iones metálicos.

(Sexta Realización)

- 15 A continuación se describirá un sistema de eliminación de iones de acuerdo con una sexta realización de la presente divulgación. En la sexta realización se describirán principalmente las diferencias con la quinta realización. En la sexta realización, los mismos elementos constituyentes o elementos constituyentes equivalentes que en la quinta realización se indican mediante los mismos números de referencia. En la sexta realización, no se realizará la descripción superpuesta con la quinta realización.

- 20 La Fig. 27 es un esquema del sistema de eliminación de iones de acuerdo con la sexta realización. La sexta realización es diferente de la quinta realización en que el aparato 15A de ajuste de pH de lado primario descrito anteriormente en la cuarta realización está dispuesto en lugar del aparato 15C de ajuste de pH de lado primario.

La Fig. 28 es un gráfico que muestra esquemáticamente los cambios en el pH y la dureza del agua dura que fluye a través del sistema de eliminación de iones de acuerdo con la sexta realización.

- 25 Como se muestra en la Fig. 28, dado que el aparato 15A de ajuste de pH de lado primario elimina el dióxido de carbono del agua dura, el pH del agua dura aumenta. A medida que el pH del agua dura aumenta, la dureza del agua dura disminuye ligeramente. Posteriormente, a medida que el aparato 3 de eliminación de iones de lado primario elimina los primeros iones metálicos del agua dura, la dureza del agua dura disminuye y el pH también disminuye. Posteriormente, el pH del agua dura se incrementa mediante el aparato 15D de ajuste de pH de lado secundario eliminando la separación del agua ácida del agua dura mientras se deja el agua alcalina. En este caso,
- 30 como el pH del agua dura aumenta, la dureza del agua dura disminuye ligeramente. Posteriormente, a medida que el aparato 5 de eliminación de iones de lado secundario elimina los segundos iones metálicos del agua dura que tiene el pH aumentado, la dureza del agua dura disminuye aún más y el pH del agua dura disminuye nuevamente.

- Los primeros iones metálicos del agua dura se pueden eliminar incluso a un pH más bajo que los segundos iones metálicos. Por lo tanto, al utilizar el aparato 15A de ajuste de pH de lado primario en lugar del aparato 15C de ajuste de pH de lado primario, se puede eliminar la necesidad de disponer de la trayectoria 15Ca de flujo de descarga, la válvula 12C de apertura/cierre y el mecanismo 13C de prevención de reflujo de lado de descarga.
- 35

En la sexta realización, el aparato 15A de ajuste de pH de lado primario está dispuesto en la trayectoria 2 de flujo de lado primario; sin embargo, los aparatos 15A, 15C de ajuste de pH de lado primario pueden no estar dispuestos en la trayectoria 2 de flujo de lado primario.

- 40 La presente divulgación no se limita a las realizaciones descritas anteriormente y puede implementarse en 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 el nitrógeno como gas de eliminación de iones.

- 45 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 del solubilizador para el tratamiento de regeneración; sin embargo, la presente divulgación no se limita a ello. Por ejemplo, se puede utilizar como solubilizador un líquido (líquido de disolución) que disuelva los cristales del componente metálico. Los ejemplos de dicho líquido incluyen ácido clorhídrico, ácido sulfúrico, ácido cítrico y ácido ascórbico.
- 50

- En la descripción anterior, el aparato 4 de separación de lado primario y el aparato 6 de separación de lado secundario son los aparatos de separación centrífuga de tipo ciclón; sin embargo, la presente divulgación no se limita a ellos. Por ejemplo, el aparato 4 separador de lado primario y el aparato 6 de separación de lado secundario pueden ser filtros de purificación de agua tales como una membrana de fibra hueca.
- 55

En la descripción anterior, solo 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, además de las burbujas finas que contienen el gas de eliminación de iones, se puede suministrar otro gas al agua dura. En este caso, el otro gas puede suministrarse en forma de burbujas finas al agua dura o puede suministrarse en forma de burbujas ordinarias al agua dura.

En la descripción anterior, las operaciones de apertura/cierre de la primera válvula 18A, la segunda válvula 18B y la tercera válvula 18C son controladas automáticamente por el controlador 8; sin embargo, la presente divulgación no se limita a ello. Las operaciones de apertura/cierre de la primera válvula 18A, la segunda válvula 18B y la tercera válvula 18C pueden realizarse 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 velocidad de disolución más lenta que el primer gas; sin embargo, puede mezclarse otro gas además de estos dos tipos de gases. Por lo tanto, se pueden utilizar las burbujas finas de un gas mixto obtenido mezclando dos o más tipos de gases, incluido el primer gas y el segundo gas.

En la configuración descrita anteriormente, se eliminan los iones metálicos primero y segundo del agua dura; sin embargo, la presente divulgación no se limita a ello. Por ejemplo, cuando el agua dura contiene tres o más tipos de iones metálicos, se pueden disponer los números correspondientes de aparatos de eliminación de iones, aparatos de separación, etc. para eliminar los tres o más tipos de iones metálicos en el agua dura.

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

Aunque la presente divulgación se ha descrito suficientemente en términos de realizaciones preferibles con referencia a los dibujos adjuntos, diversas modificaciones y correcciones son evidentes para los expertos en la técnica. Se debe entender que dichas modificaciones y correcciones están incluidas en la presente divulgación sin apartarse del alcance de la presente divulgación de acuerdo con las reivindicaciones adjuntas. Se pueden lograr cambios en las combinaciones y órdenes de elementos en las realizaciones sin alejarse del alcance de la presente divulgación.

Aplicación industrial

El sistema de eliminación de iones de acuerdo con la presente divulgación es excelente en términos de facilidad de mantenimiento 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 señales de referencia

- 1 sistema de eliminación de iones
- 2 trayectoria de flujo del lado primario
- 3 aparatos de eliminación de iones del lado primario
- 3A parte de almacenamiento de agua dura de lado primario
- 3B parte de generación de burbujas finas de lado primario
- 3C trayectoria de flujo de conexión
- 4 aparatos de separación de lado primario
- 4A parte de separación
- 4Aa superficie circunferencial interna
- 4B parte de almacenamiento de cristales
- 4Ba trayectoria del flujo de descarga
- 5 aparato de eliminación de iones de lado secundario.
- 5A parte de almacenamiento de agua dura de lado secundario
- 5B parte de generación de burbujas finas de lado secundario
- 5C trayectoria de flujo de conexión

- 6 aparato de separación de lado secundario
 - 6A parte de separación
 - 6Aa superficie circunferencial interna
 - 6B parte de almacenamiento de cristales
- 5 6Ba trayectoria del flujo de descarga
 - 7 trayectoria de flujo de lado secundario
 - 8 controlador
 - 9A primera parte de suministro de gas de eliminación de iones metálicos
 - 9B segunda parte de suministro de gas de eliminación de iones metálicos
- 10 10A primera parte de suministro de solubilizador de metal
 - 10B segunda parte de suministro de solubilizador de metal
 - 11A mecanismo de conmutación de gas de lado primario
 - 11B mecanismo de conmutación de gas de lado secundario
 - 12A, 12B, 12C, 12D válvula de apertura/cierre
- 15 13A, 13B, 13C, 13D mecanismo de prevención de reflujo del lado de descarga
 - 14 trayectoria de flujo de conexión
 - 15A, 15C aparato de ajuste de pH de lado primario
 - 15B, 15D aparato de ajuste de pH de lado secundario
 - 16 mecanismo de prevención de reflujo de lado de suministro
- 20 17 trayectoria de flujo de derivación
 - 18A primera válvula
 - 18B segunda válvula
 - 18C tercera válvula
- 20 aparato
- 25 21 agua dura
 - 22 tanque de agua
 - 22a superficie inferior
 - 22b superficie de agua
 - 24 parte de suministro de gas
- 30 25 primera tubería
 - 26 parte de generación de burbujas finas
 - 27 segunda tubería
 - 28 bomba
 - 30 primera parte de entrada de agua
- 35 32 segunda parte de entrada de agua
 - 34 detector de concentración de iones metálicos
 - 40 burbujas finas

	42 cristal
	D1 distancia desde la primera parte de entrada de agua hasta la segunda parte de entrada de agua
	50 aparato
	52 parte de suministro de gas mixto
5	54 tanque de tratamiento
	56 primera tubería
	58 segunda tubería
	60 válvula de muestreo de agua
	62 muestreador de agua
10	64 tanque de almacenamiento de agua
	66 bomba
	68 válvula de ajuste de caudal
	70 caudalímetro
	72 fuente de suministro de amoníaco
15	74 fuente de suministro de nitrógeno
	76 válvula de ajuste de relación de mezcla
	78 tuberías de suministro
	80 parte de generación de burbujas finas
	82 agua tratada
20	84 cristal
	90 aparato
	91 tanque de agua
	92 primera tubería
	93 bomba
25	94 segunda tubería
	95 boquilla de niebla
	96 agua dura
	97 muestra
	98 válvula de apertura/cierre
30	

REIVINDICACIONES

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

un aparato (3) de eliminación de iones del lado primario que comprende una parte (3A) de almacenamiento de agua dura del lado primario que almacena agua dura y una parte (3B) de generación de burbujas finas de lado primario que genera y suministra burbujas finas a la parte de almacenamiento de agua dura del lado primario y que hace que las burbujas finas adsorban los primeros iones metálicos en el agua dura en la parte de almacenamiento de agua dura del lado primario para eliminar los primeros iones metálicos del agua dura;

una primera parte (10A) solubilizadora de metal conectada a la parte (3B) de generación de burbujas de aire de lado primario; una trayectoria (2) de flujo del lado primario conectada al aparato (3) de eliminación de iones del lado primario y que es una trayectoria de flujo para suministrar agua dura al aparato (3) de eliminación de iones del lado primario;

un aparato (15B, 15D) de ajuste de pH de lado secundario que aumenta el pH del agua dura de la que se eliminan los primeros iones metálicos mediante el aparato de eliminación de iones del lado primario;

un aparato (4) de separación centrífuga de tipo ciclón de lado primario que tiene una superficie (4Aa) circunferencial interna cónica y que está ubicado entre el aparato (3) de eliminación de iones de lado primario y el aparato (15B, 15D) de ajuste de pH de lado secundario y que separa cristales de un primer componente metálico depositados mediante la cristalización de los primeros iones metálicos eliminados del agua dura por el aparato (3) de eliminación de iones de lado primario, incluyendo el aparato de separación de lado primario una parte (4A) de separación y una parte (4B) de almacenamiento de cristales que almacena cristales de un componente metálico, estando dispuesta la parte de almacenamiento de cristales debajo de la parte de separación e incluyendo una trayectoria (4Ba) de flujo de descarga para descargar agua que contiene los cristales del componente metálico, estando provista la trayectoria de flujo de descarga de una válvula (12A) de apertura/cierre capaz de abrir y cerrar la trayectoria de flujo de descarga;

un aparato (5) de eliminación de iones de lado secundario que comprende una parte (5A) de almacenamiento de agua dura de lado secundario que almacena agua dura que tiene un pH aumentado por el aparato (15B, 15D) de ajuste de pH de lado secundario configurado para eliminar dióxido de carbono y una parte (5B) de generación de burbujas finas de lado secundario que genera y suministra burbujas finas a la parte (5A) de almacenamiento de agua dura de lado secundario y que hace que las burbujas finas adsorban segundos iones metálicos en el agua dura en la parte de almacenamiento de agua dura del lado secundario para eliminar los segundos iones metálicos del agua dura;

una segunda parte (10B) de suministro de solubilizador de metal conectada a la parte (5B) de generación de burbujas finas de lado secundario;

un aparato (6) de separación centrífuga de tipo ciclón de lado secundario que tiene una superficie (6Aa) circunferencial interna cónica y que está ubicado aguas abajo del aparato de eliminación de iones de lado secundario y que separa cristales de un segundo componente metálico depositados mediante la cristalización de los segundos iones metálicos eliminados del agua dura por el aparato de eliminación de iones de lado secundario, incluyendo el aparato de separación de lado secundario una parte (6A) de separación y una parte (6B) de almacenamiento de cristales que almacena cristales de un componente metálico, estando dispuesta la parte de almacenamiento de cristales debajo de la parte de separación e incluyendo una trayectoria (6Ba) de flujo de descarga para descargar agua que contiene los cristales del componente metálico, estando provista la trayectoria de flujo de descarga de una válvula (12B) de apertura/cierre capaz de abrir y cerrar la trayectoria de flujo de descarga;

una trayectoria (7) de flujo de lado secundario conectada al aparato de separación (6) de lado secundario y que es una trayectoria de flujo para extraer del aparato (6) de separación de lado secundario el agua tratada obtenida al separar los cristales del componente metálico;

una trayectoria (17) de flujo de derivación que conecta la trayectoria (2) de flujo del lado primario y la trayectoria (7) de flujo de lado secundario;

un mecanismo de conmutación de flujo que incluye una primera válvula (18A) capaz de abrir y cerrar la trayectoria (2) de flujo de lado primario, una segunda válvula (18B) capaz de abrir y cerrar la trayectoria (7) de flujo de lado secundario, y una tercera válvula (18C) capaz de abrir y cerrar la trayectoria (17) de flujo de derivación; y

un controlador (8) que controla el accionamiento del aparato de ajuste de pH del lado secundario y controla las operaciones de apertura y cierre de la primera válvula (18A), la segunda válvula (18B) y la tercera válvula (18C), en donde

las burbujas finas generadas por la parte (3B) de generación de burbujas finas de lado primario y la parte (5B) de generación de burbujas finas de lado secundario tienen un diámetro de 100 µm o menos en una proporción del 90 % o más,

5 el aparato (3) de eliminación de iones del lado primario y el aparato (5) de eliminación de iones de lado secundario están en sitios diferentes del sistema de eliminación de iones, y

el aparato (3) de eliminación de iones del lado primario, el aparato (15B, 15D) de ajuste de pH de lado secundario y el aparato (5) de eliminación de iones de lado secundario están dispuestos en serie.

10 2. El sistema de eliminación de iones de acuerdo con la reivindicación 1, en donde el aparato (15B) de ajuste de pH de lado secundario comprende un aparato de desgasificación del lado secundario que elimina el dióxido de carbono contenido en el agua dura de la que se eliminan los primeros iones metálicos mediante el aparato de eliminación de iones del lado primario.

15 3. El sistema de eliminación de iones de acuerdo con la reivindicación 1, en donde el aparato (15D) de ajuste de pH de lado secundario comprende un aparato de electrólisis del lado secundario que electroliza el agua dura de la que se eliminan los primeros iones metálicos mediante el aparato de eliminación de iones del lado primario, para generar agua ácida y agua alcalina, y el aparato de ajuste de pH del lado secundario está configurado para suministrar el agua alcalina como agua dura que tiene el pH aumentado a la parte de almacenamiento de agua dura del lado secundario.

20 4. El sistema de eliminación de iones de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3, que comprende además un aparato (15A, 15C) de ajuste de pH de lado primario que aumenta el pH del agua dura contenida en la parte de almacenamiento de agua dura del lado primario.

5. El sistema de eliminación de iones de acuerdo con la reivindicación 4, en donde el aparato (15A) de ajuste de pH de lado primario comprende un aparato de desgasificación del lado primario que elimina el dióxido de carbono contenido en el agua dura.

25 6. El sistema de eliminación de iones de acuerdo con la reivindicación 4, en donde el aparato (15C) de ajuste de pH de lado primario comprende un aparato de electrólisis del lado primario que electroliza el agua dura para generar agua ácida y agua alcalina y el aparato de ajuste de pH del lado primario está configurado para suministrar el agua alcalina como agua dura a la parte de almacenamiento de agua dura del lado primario.

Fig.1

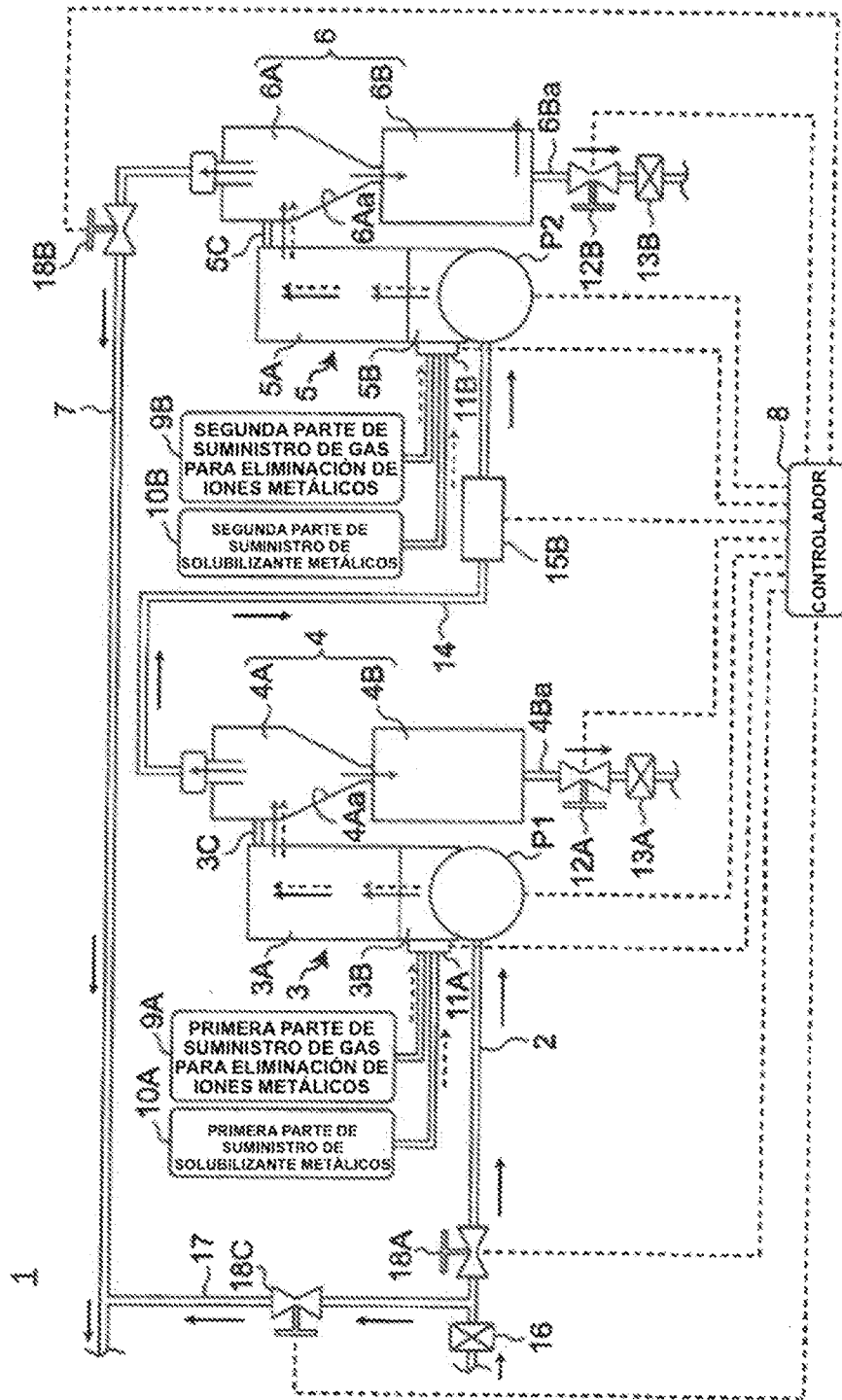


Fig.2

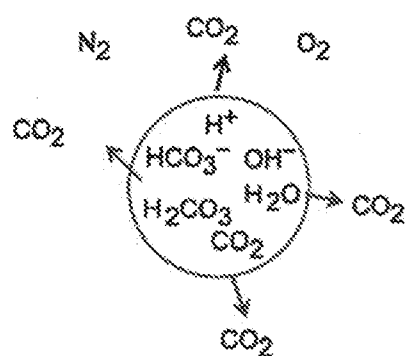


Fig.3

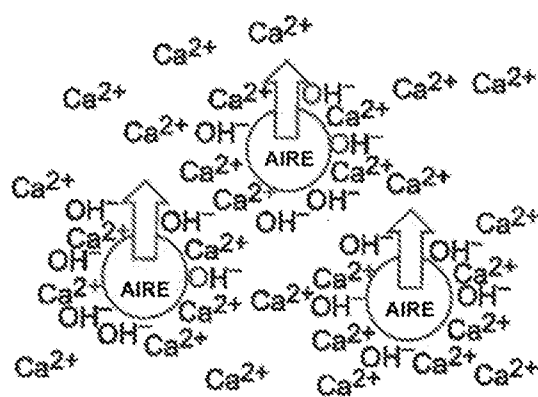


Fig.4

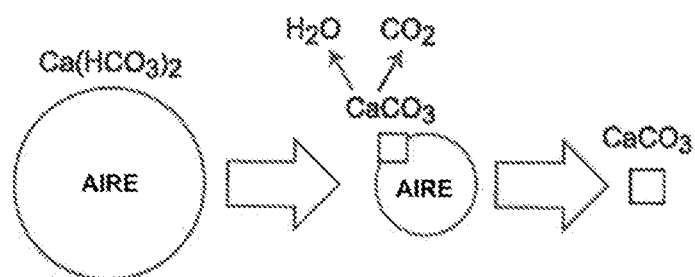


Fig. 5

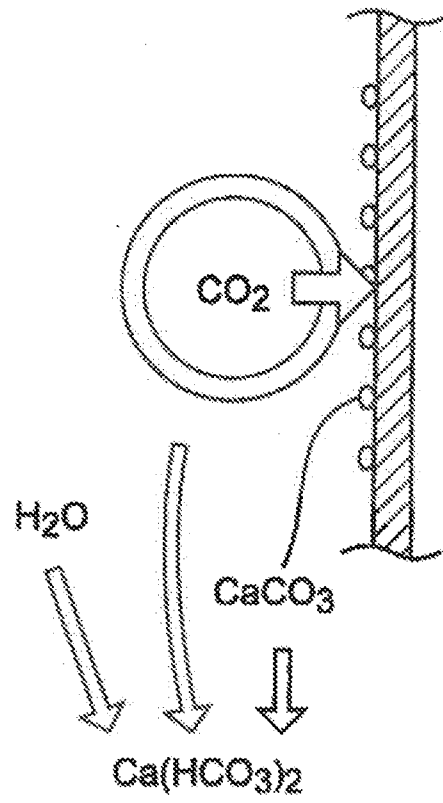


Fig.6

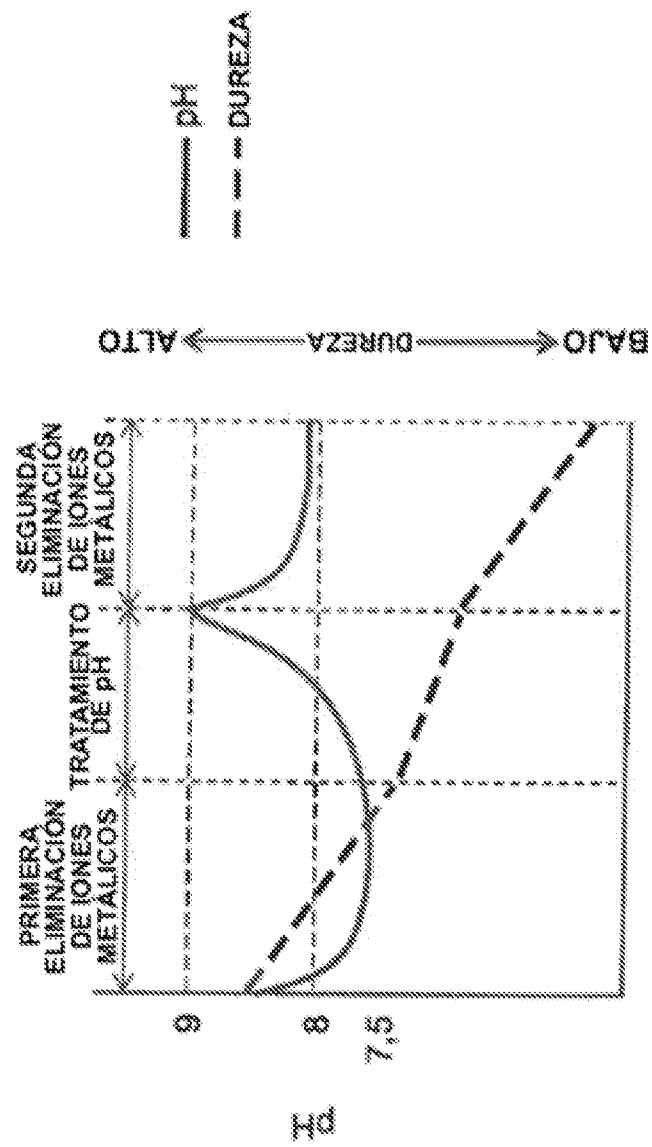


Fig.7

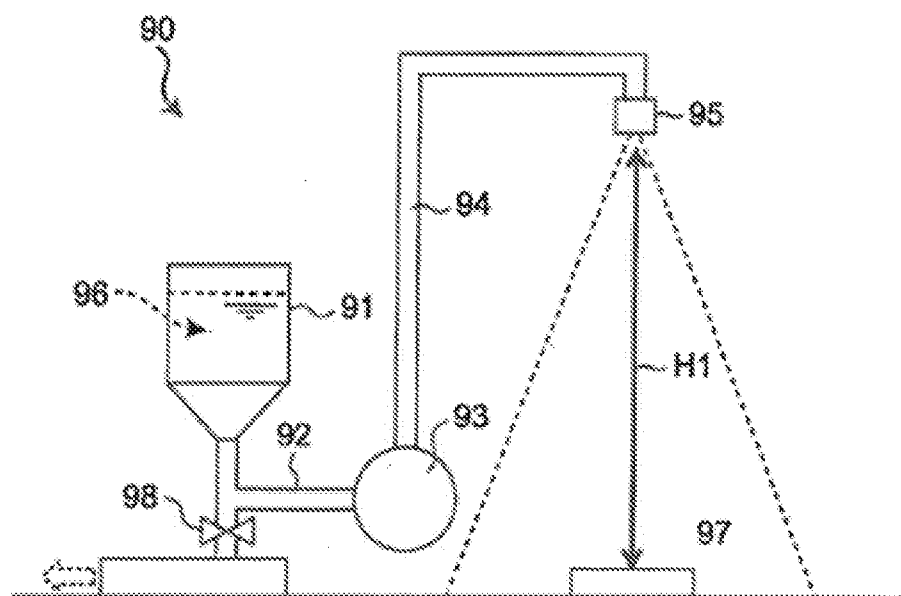


Fig.8

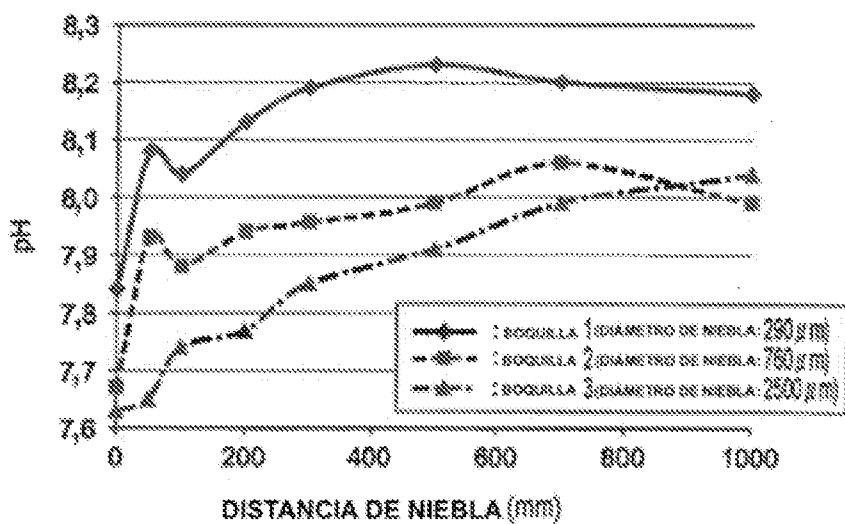


Fig.9A

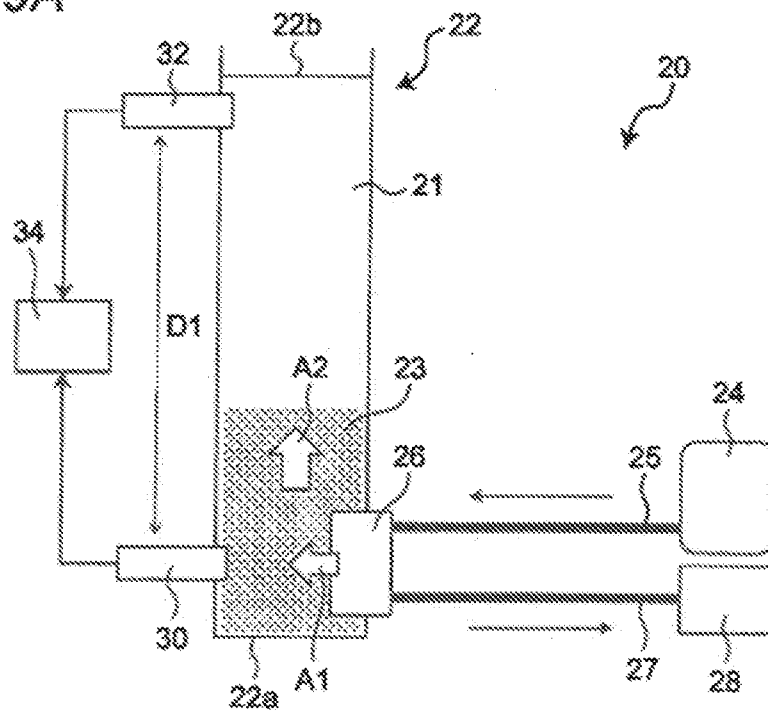


Fig.9B

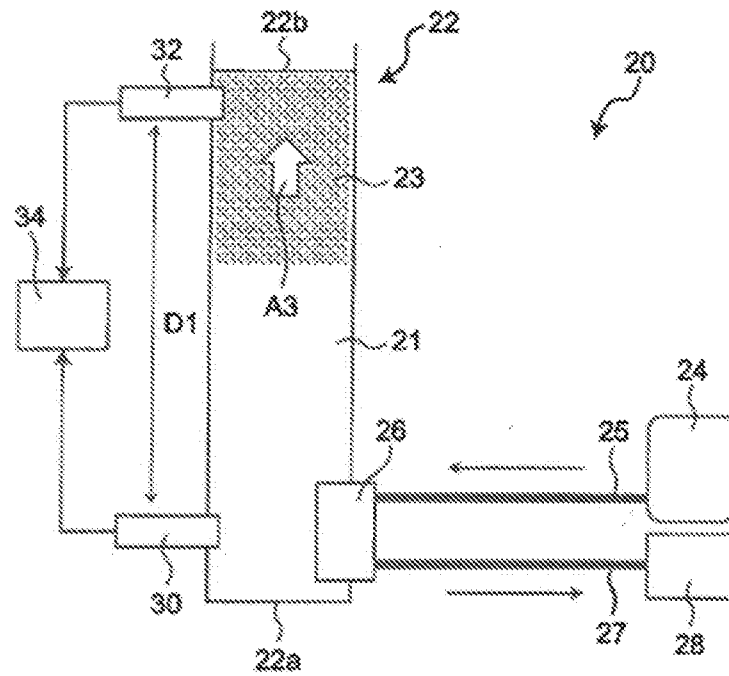


Fig. 10

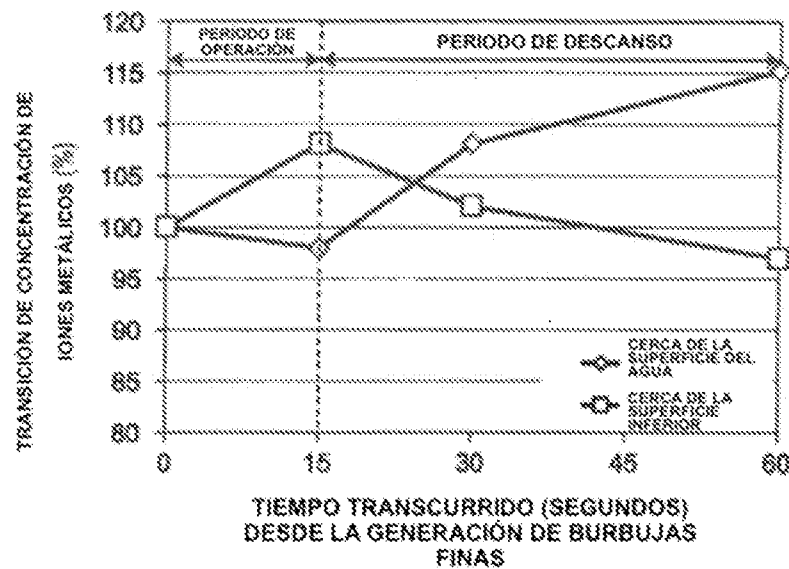


Fig. 11

(a)

(b)

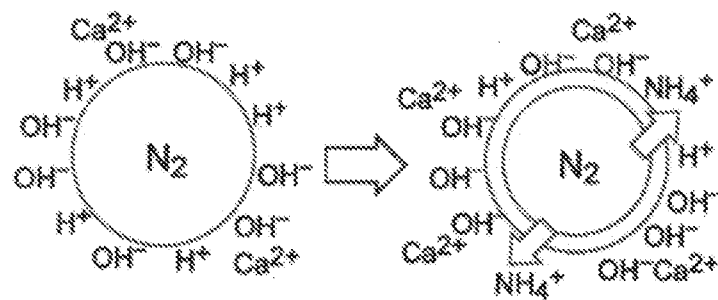


Fig. 12

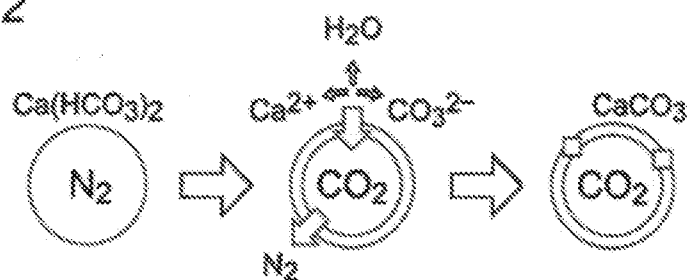


Fig.13

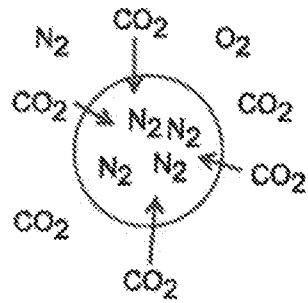


Fig.14

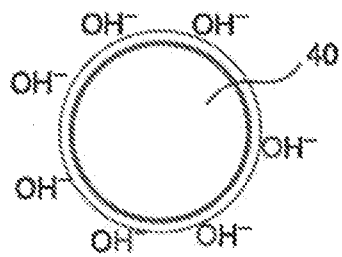


Fig.15

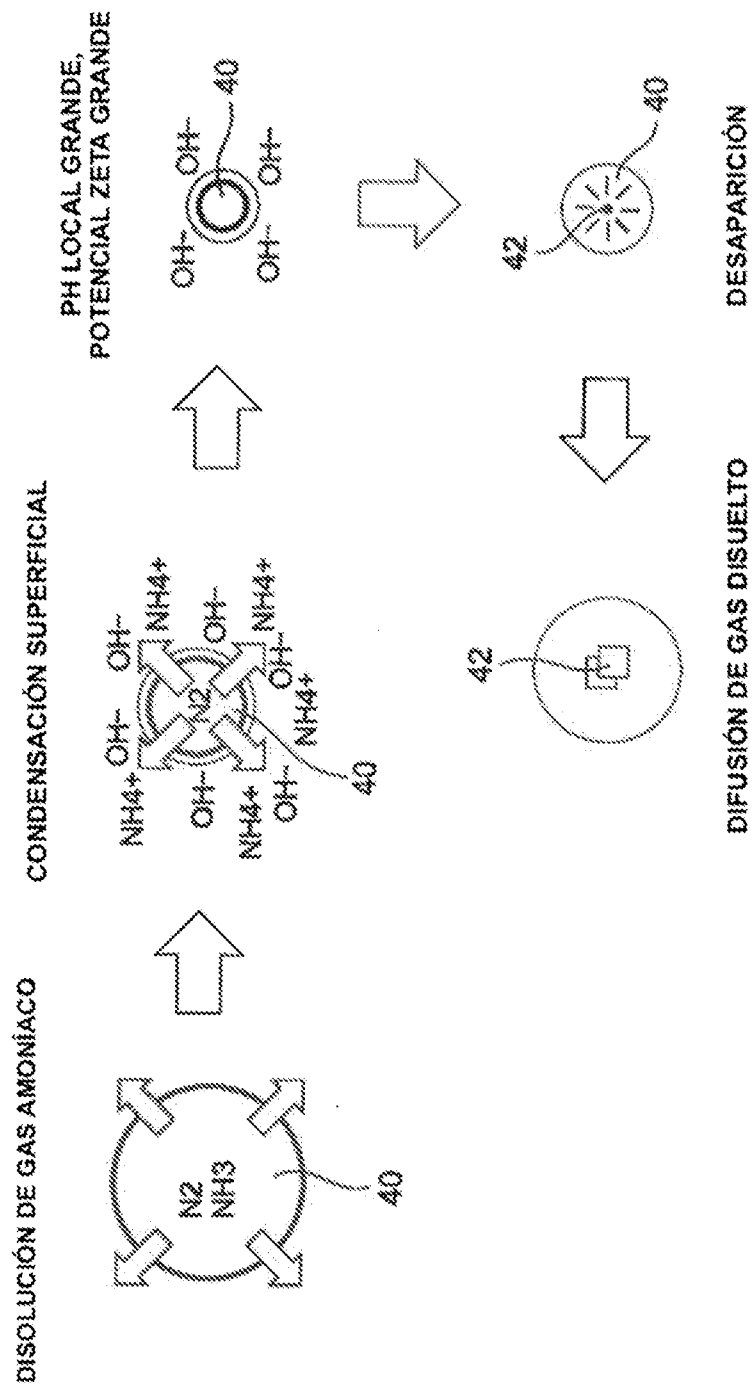


Fig. 16

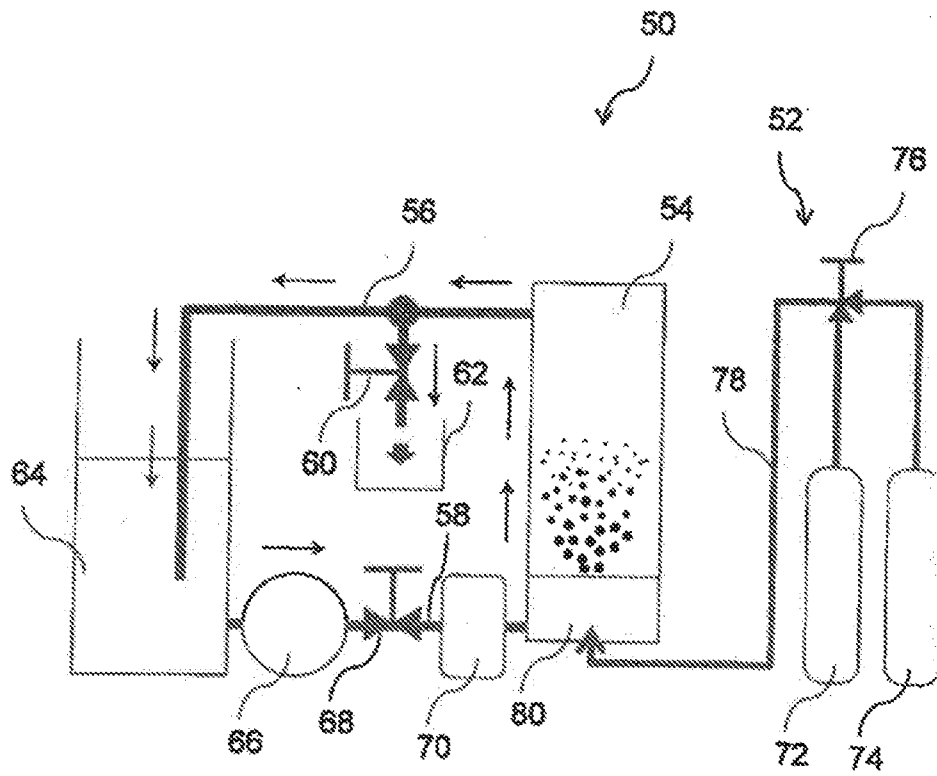


Fig. 17

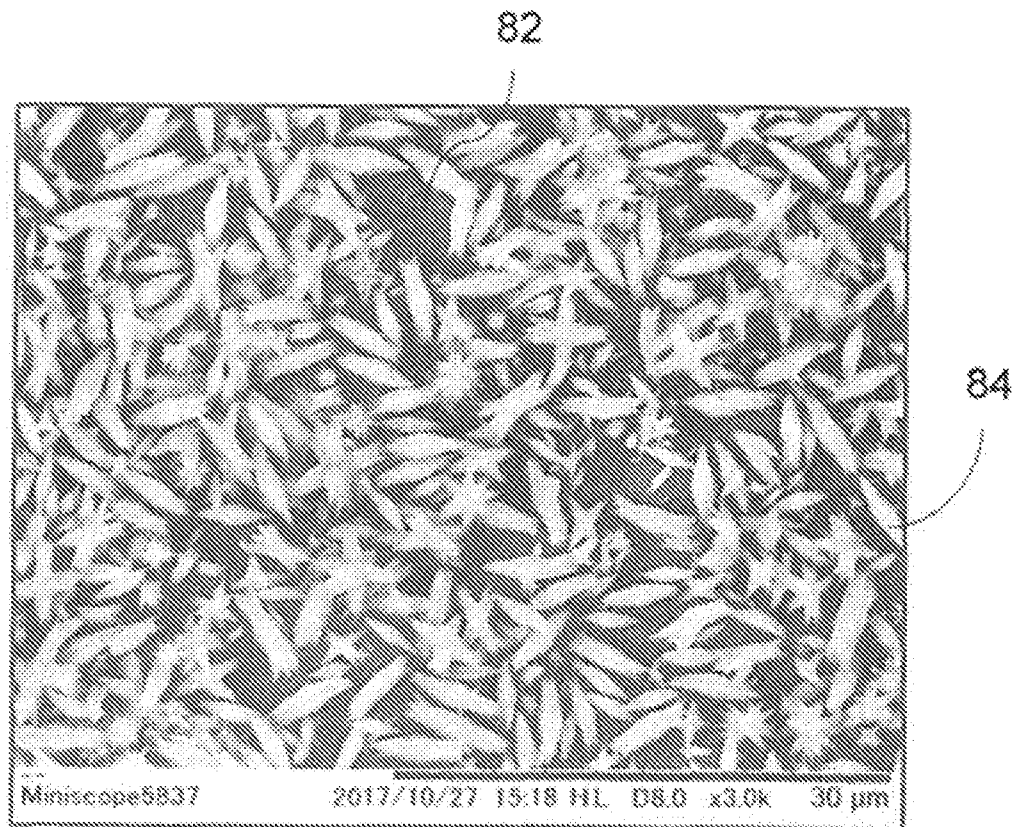


Fig.18A

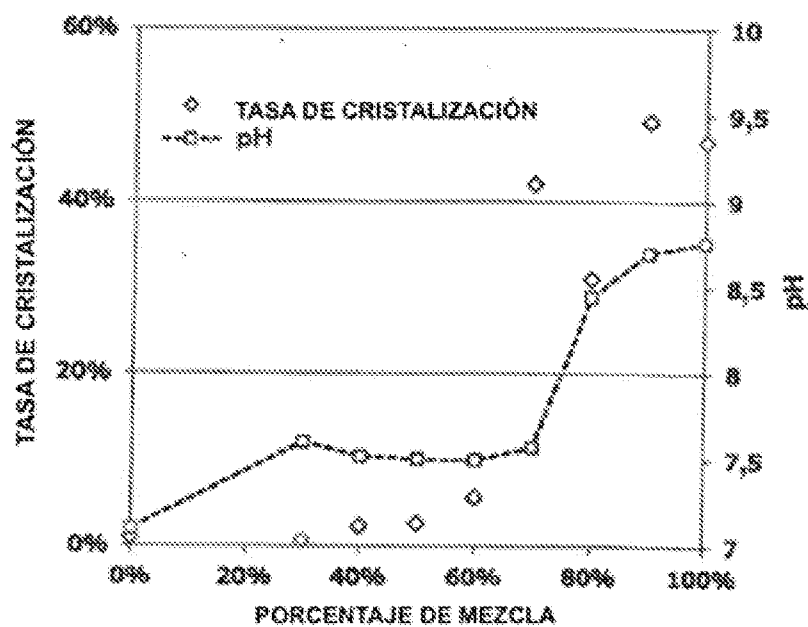


Fig.18B

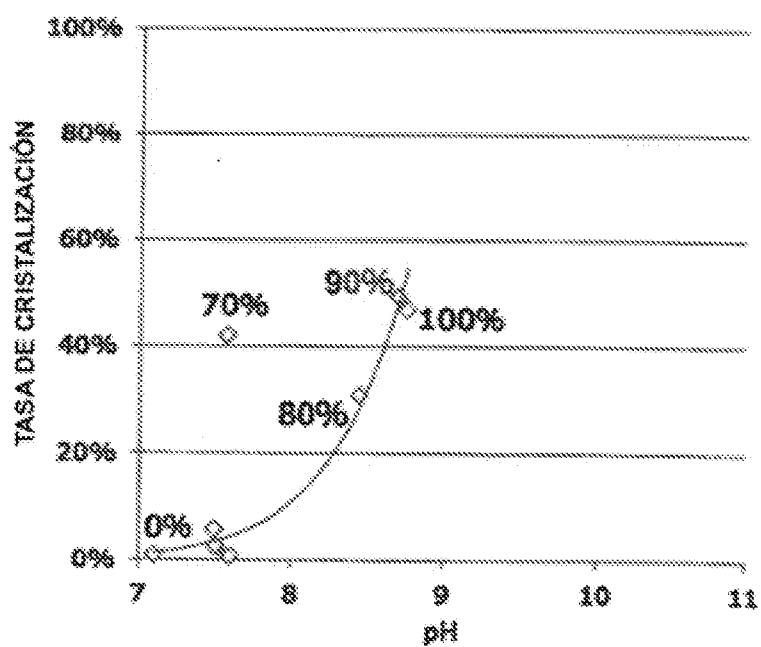


Fig. 19A

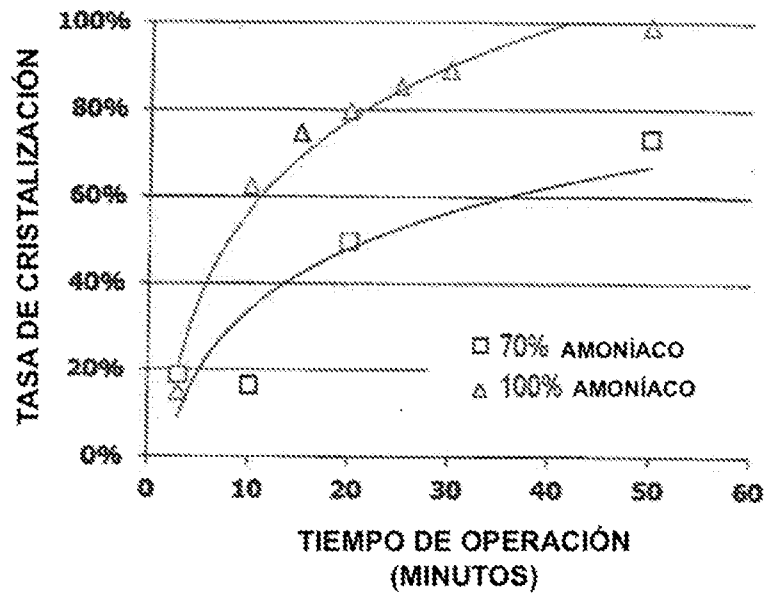


Fig. 19B

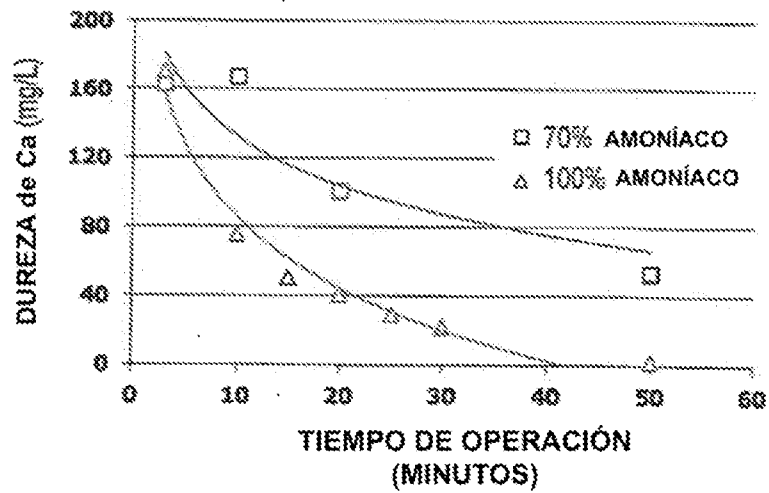


Fig. 19C

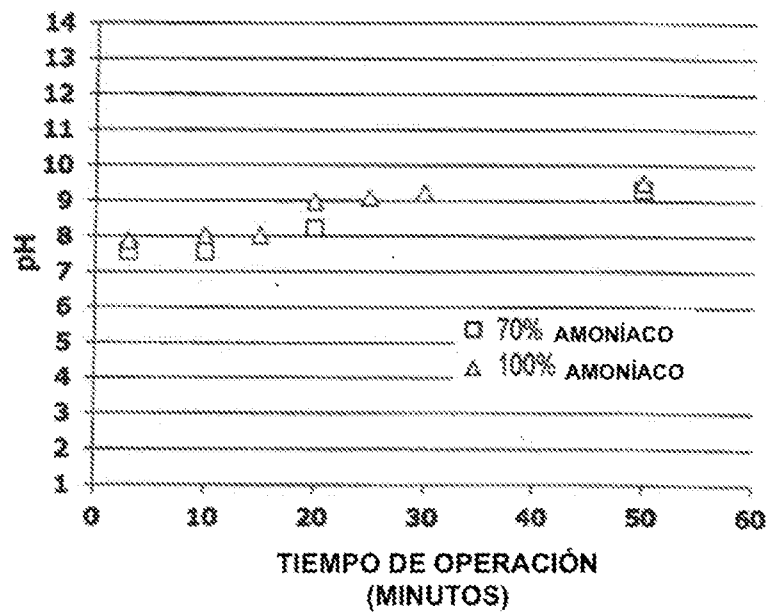


Fig. 20A

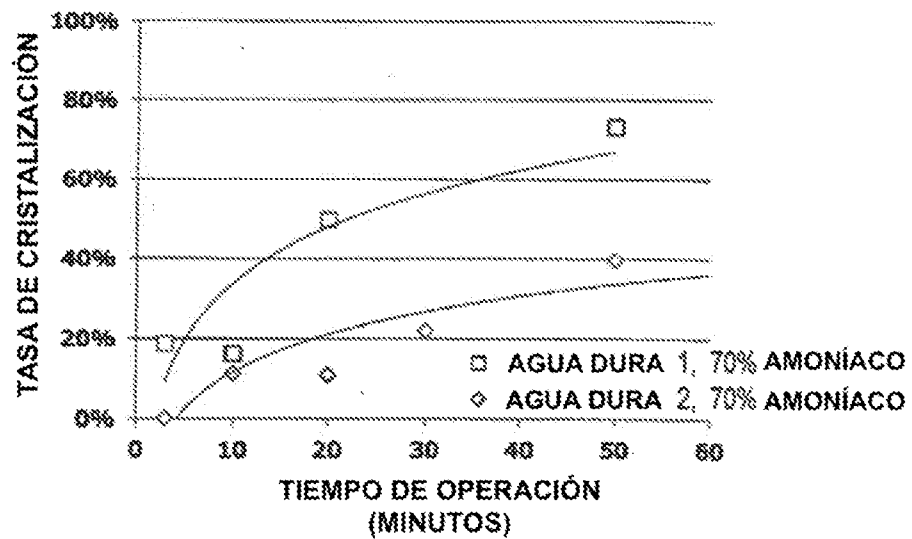


Fig.20B

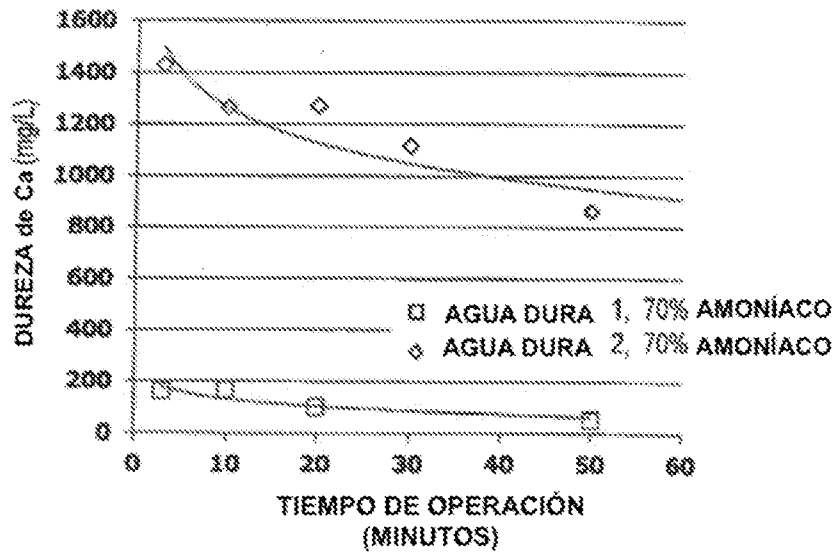


Fig.20C

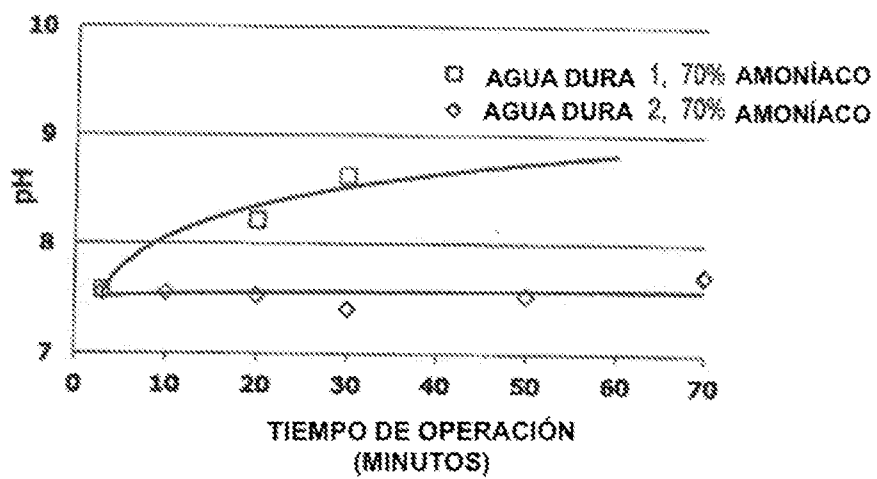


Fig.20D

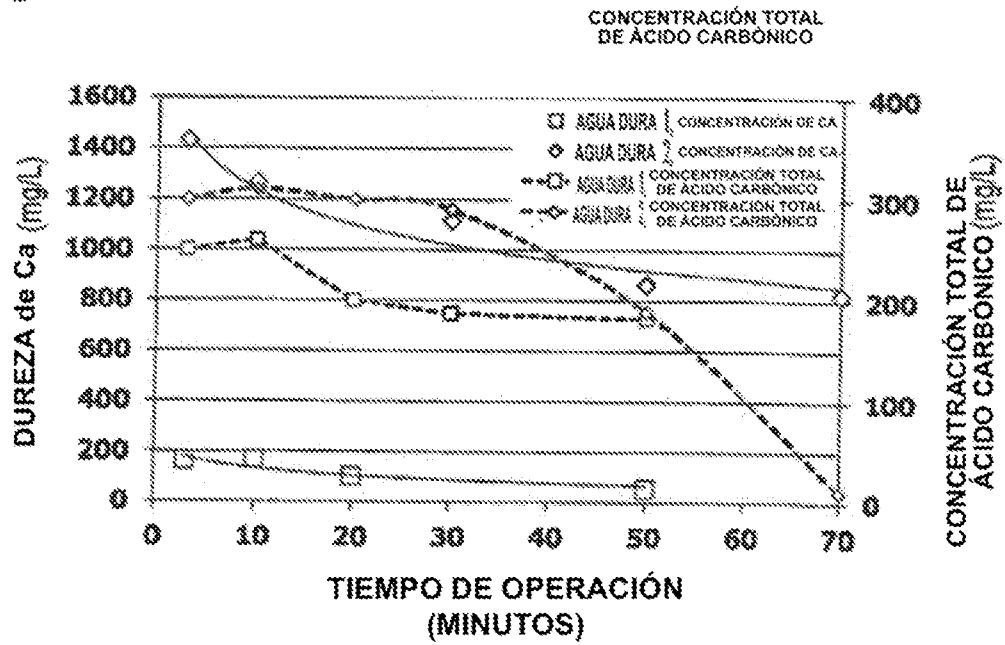


Fig.21

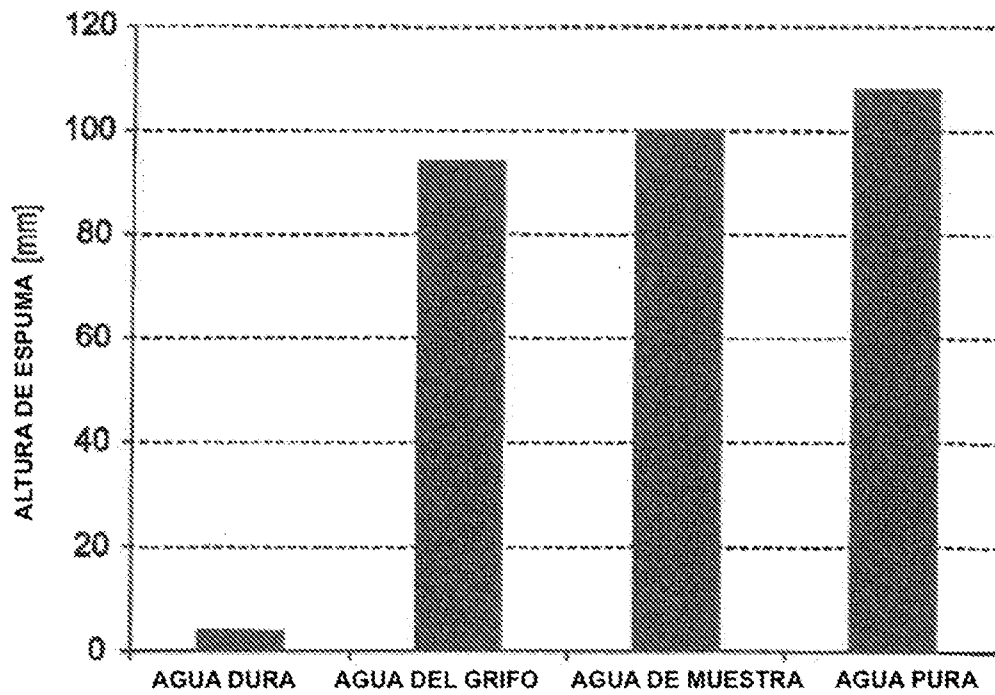


Fig. 22A

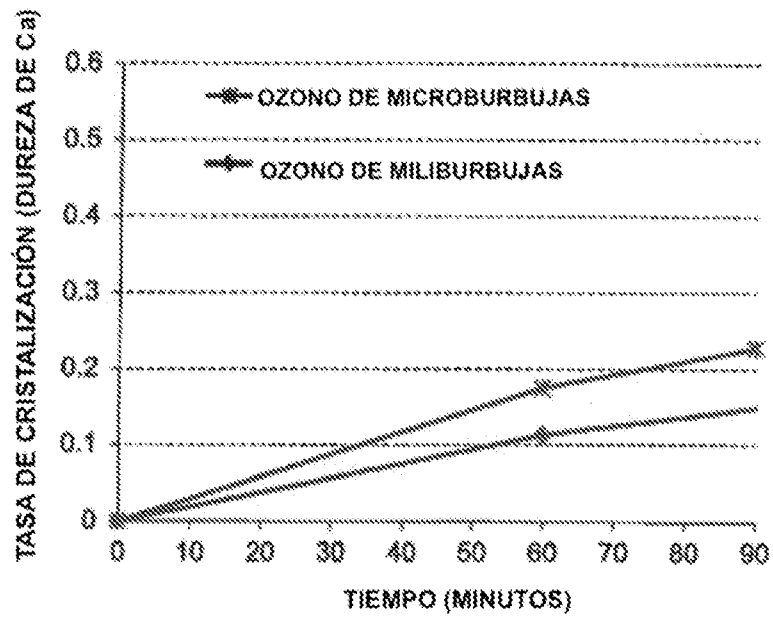


Fig. 22B

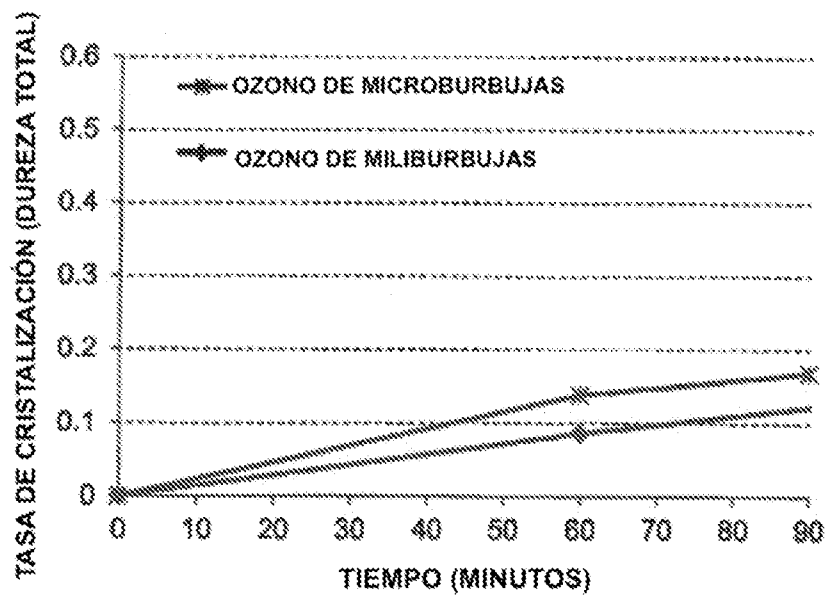


Fig.23

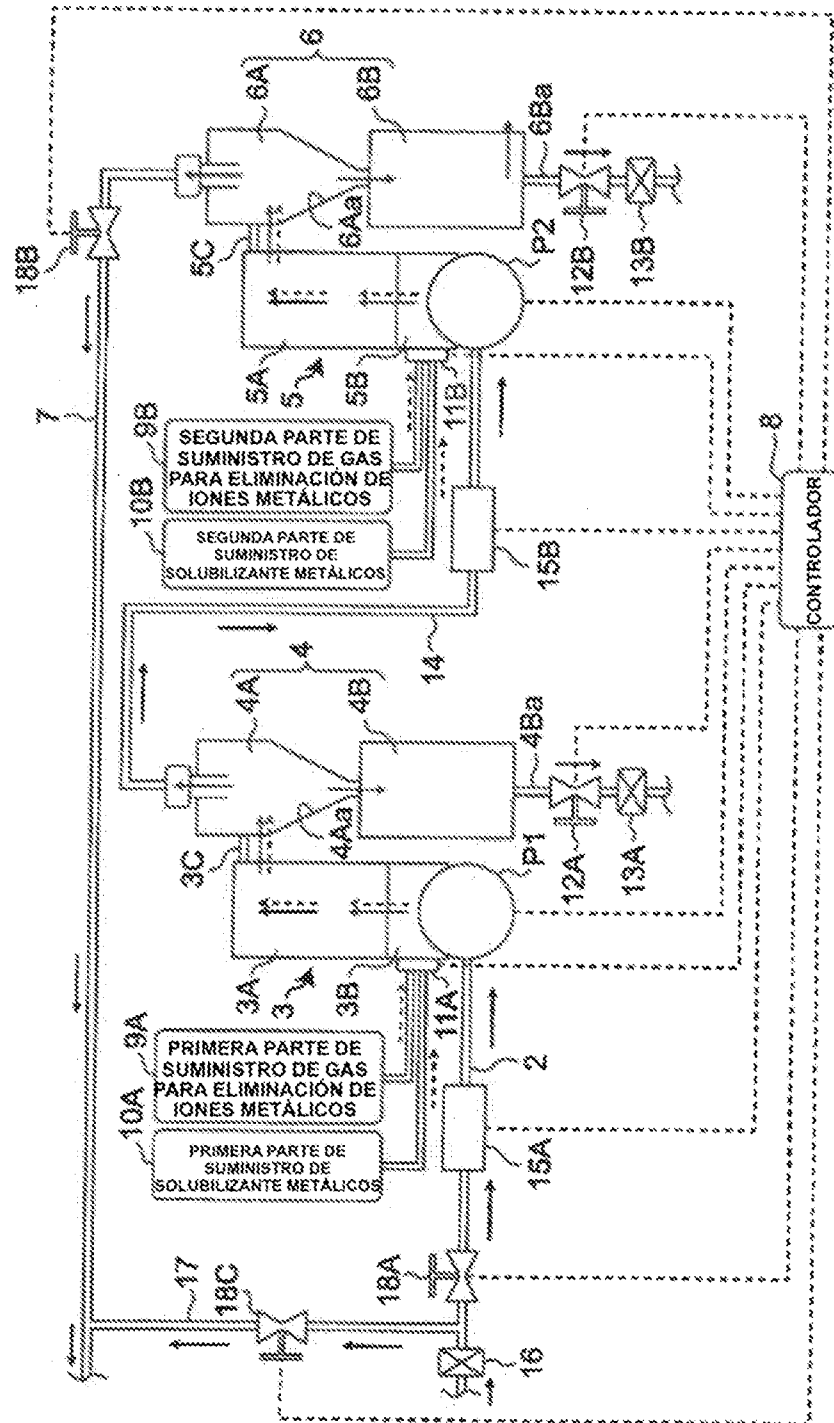


Fig.24

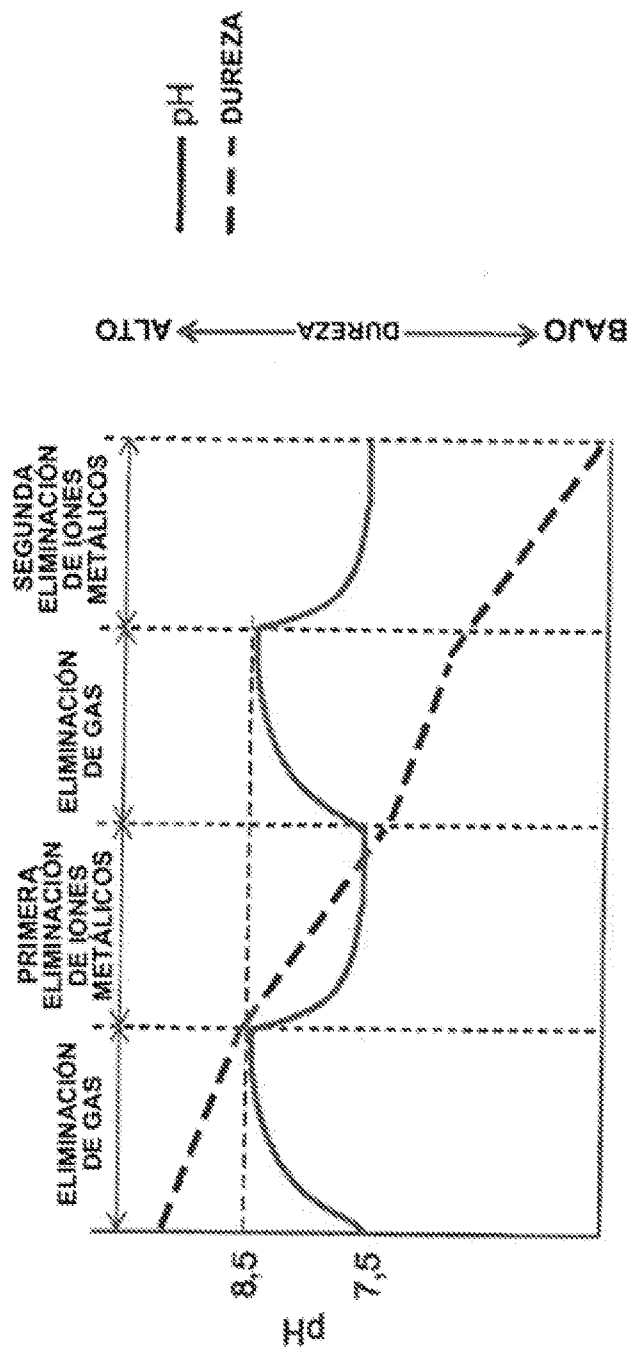


Fig.25

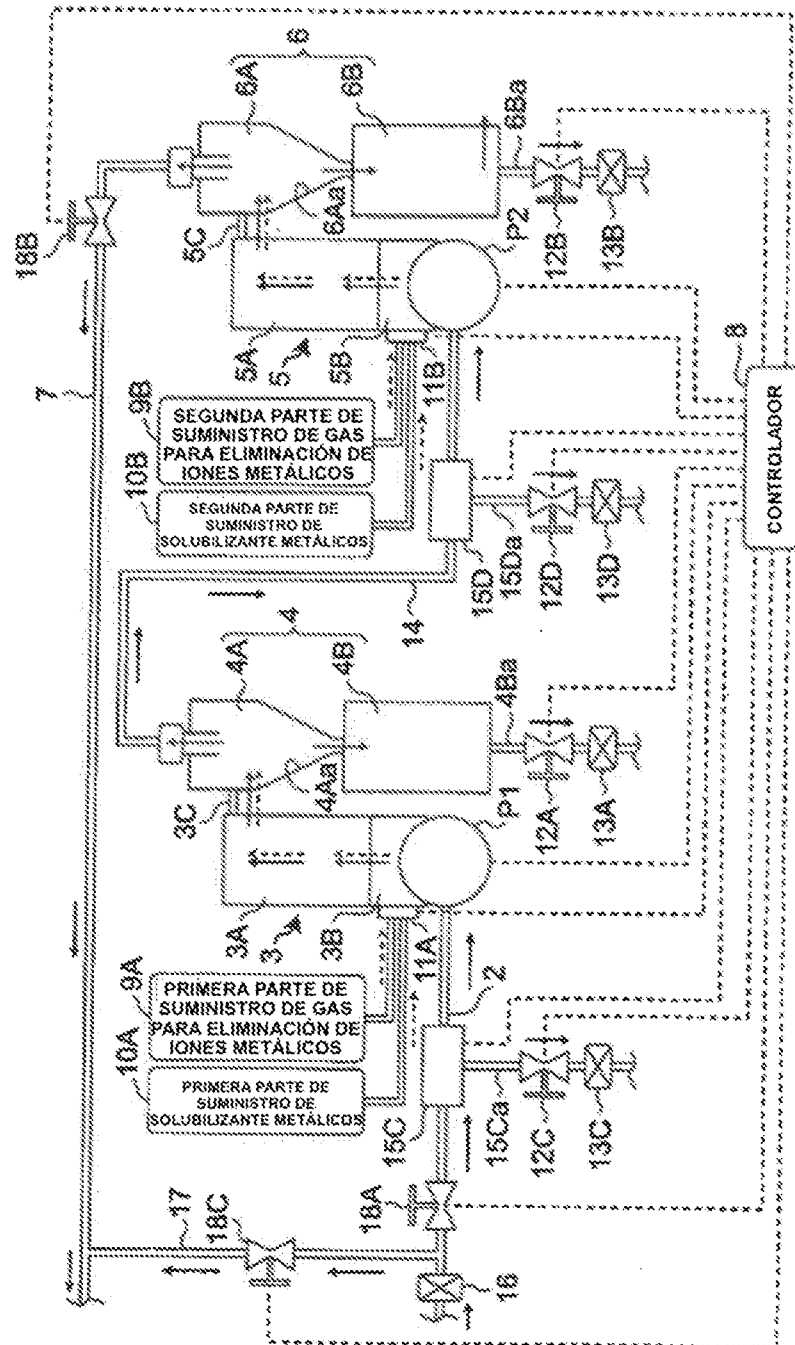


Fig. 26

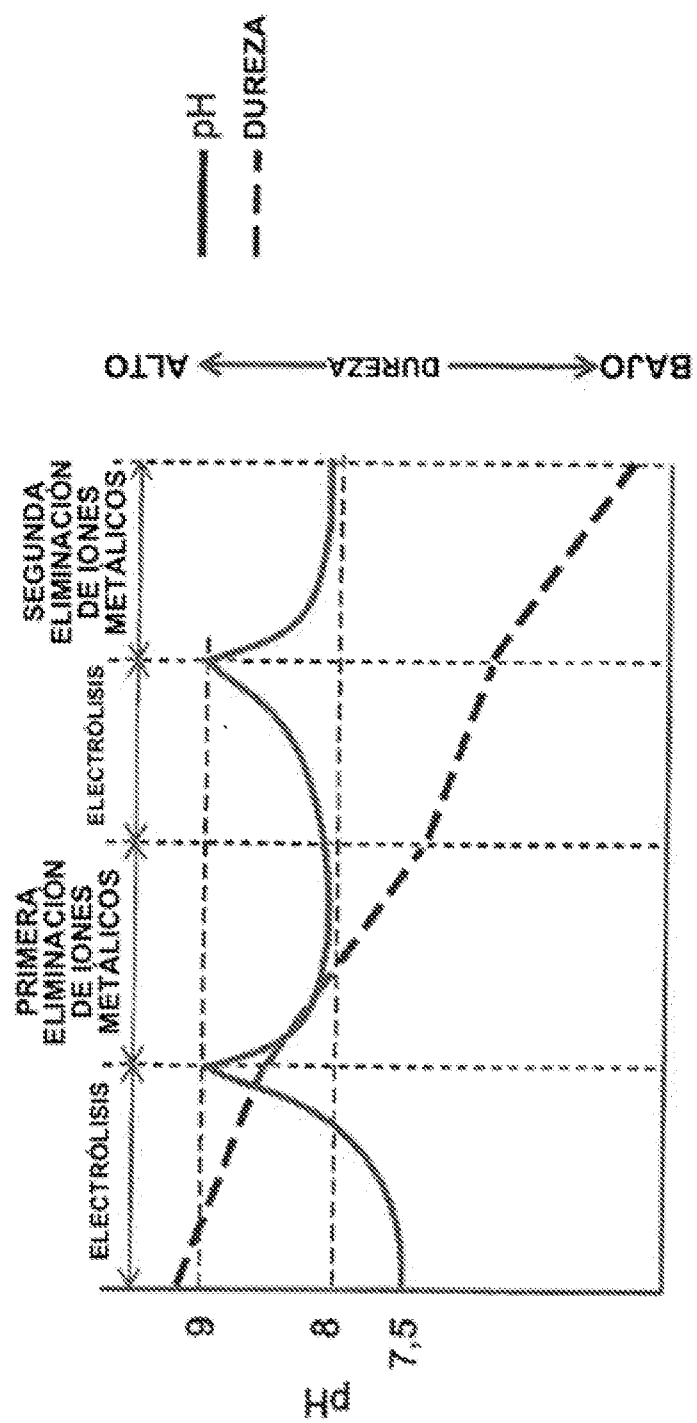


Fig.27

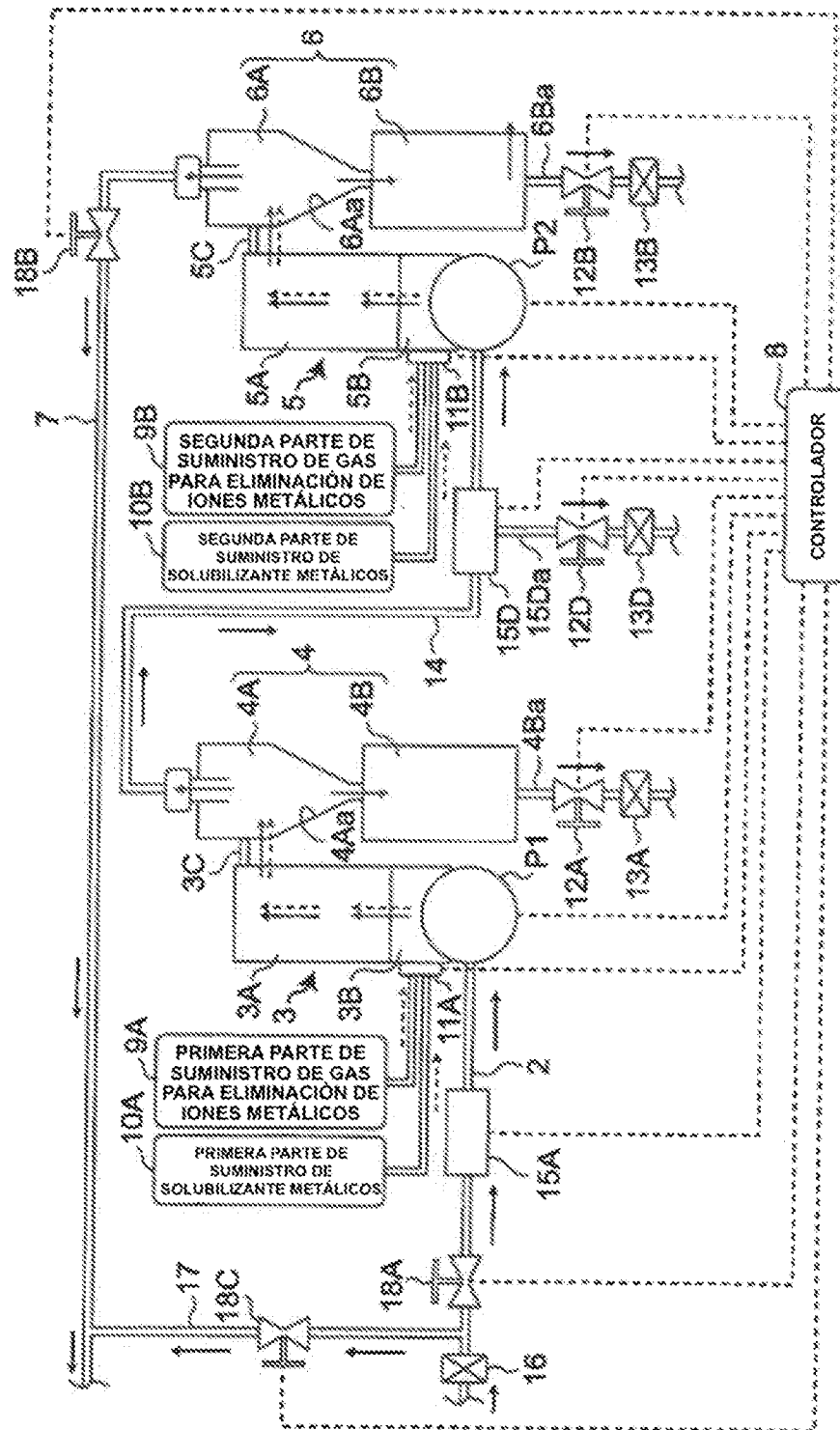


Fig.28

