

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 556 407**

15 Folleto corregido: T3

Texto afectado: Descripción

48 Fecha de publicación de la corrección: 25.05.2016

51 Int. Cl.:

**C02F 1/68** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA CORREGIDA

T9

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **10.08.2011 E 11741467 (2)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **30.09.2015 EP 2611738**

54 Título: **Sistema de inyección de suspensión de CaCO<sub>3</sub> micronizado para la remineralización de agua desalinizada y dulce**

30 Prioridad:

**20.08.2010 US 401854 P**  
**13.08.2010 EP 10172771**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:  
**15.01.2016**

73 Titular/es:

**OMYA INTERNATIONAL AG (100.0%)**  
**Baslerstrasse 42**  
**4665 Oftringen, CH**

72 Inventor/es:

**SKOVBY, MICHAEL;**  
**POFFET, MARTINE;**  
**BURI, MATTHIAS y**  
**BLUM, RENÉ VINZENZ**

74 Agente/Representante:

**CARVAJAL Y URQUIJO, Isabel**

**ES 2 556 407 T9**

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 inyección de suspensión de  $\text{CaCO}_3$  micronizado para la remineralización de agua desalinizada y dulce.

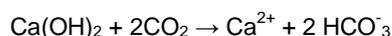
La invención se refiere al campo del tratamiento de agua, y de manera más específica a un procedimiento para la remineralización de agua y al uso de carbonato de calcio en un procedimiento de este tipo.

- 5 El agua potable se ha vuelto escasa. Incluso en países que son ricos en recursos hídricos, no todas las fuentes y los depósitos son adecuados para la producción de agua potable, y muchas fuentes hoy en día están amenazadas por un deterioro drástico de la calidad del agua. Inicialmente, el agua de alimentación usada para propósitos de bebida eran principalmente aguas superficiales y aguas subterráneas. Sin embargo, el tratamiento de agua de mar, salmuera, aguas salobres, aguas residuales y aguas de efluentes contaminados están adquiriendo cada vez más importancia por motivos medioambientales y económicos.

- 10 Con el fin de recuperar agua de agua de mar o agua salobre, para usos potables, se conocen varios procedimientos, que son de importancia considerable para áreas secas, regiones costeras e islas marítimas, y tales procedimientos comprenden procedimientos de destilación, electrolíticos, así como de ósmosis o de ósmosis inversa. El agua obtenida mediante tales procedimientos es muy blanda y tiene un bajo valor de pH porque carece de sales reguladoras del pH, y por tanto, tienden a ser altamente reactivas y, a menos que se traten, pueden crear dificultades de corrosión grave durante su transporte en tuberías convencionales. Además, el agua desalinizada sin tratamiento no puede usarse directamente como fuente de agua potable. Para impedir la disolución de sustancias no deseadas en sistemas de tuberías, para evitar la corrosión de obras hidráulicas tales como tuberías y válvulas y para hacer que el agua sea agradable, es necesario remineralizar el agua.

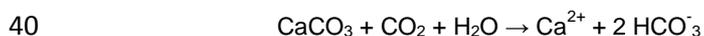
- 15 Procedimientos convencionales que se usan principalmente para la remineralización de agua son disolución de cal mediante filtración en lecho de piedra caliza y dióxido de carbono. Otros procedimientos de remineralización menos comunes comprenden, por ejemplo, la adición de cal hidratada y carbonato de sodio, la adición de sulfato de calcio y bicarbonato de sodio, o la adición de cloruro de calcio y bicarbonato de sodio.

- 20 El procedimiento con cal involucra el tratamiento de una solución de cal con agua acidificada con  $\text{CO}_2$ , en donde está implicada la siguiente reacción:



- 25 Tal como puede deducirse a partir del esquema de reacción anterior, son necesarios dos equivalentes de  $\text{CO}_2$  para convertir un equivalente de  $\text{Ca(OH)}_2$  en  $\text{Ca}^{2+}$  y bicarbonato para remineralización. Este método depende de la adición de dos equivalentes de  $\text{CO}_2$ , con el fin de convertir el hidróxido de anión básico en las especies reguladoras de bicarbonato. Para la remineralización de agua, se prepara una solución saturada de hidróxido de calcio, comúnmente denominada agua de cal, del 0.1-0,2% en peso con base en el peso total, a partir de una lechada de cal (usualmente como máximo del 5% en peso). Por lo tanto, debe usarse un saturador para producir el agua de cal del mismo y son necesarios grandes volúmenes de agua de cal para lograr el nivel de remineralización objetivo. Un inconveniente adicional de este método es que la cal hidratada es corrosiva y requiere un manejo adecuado y equipos específicos. Adicionalmente, una adición escasamente controlada de cal hidratada al agua blanda puede conducir a cambios de pH no deseados debido a la ausencia de las propiedades reguladoras de la cal.

- 30 El procedimiento de filtración en lecho de piedra caliza comprende la etapa de hacer pasar el agua blanda a través de un lecho de piedra caliza granular que disuelve el carbonato de calcio en el flujo de agua. Poniendo en contacto la piedra caliza con agua acidificada con  $\text{CO}_2$  mineraliza el agua según:



A diferencia del procedimiento con cal, solamente un equivalente de  $\text{CO}_2$  es estequiométricamente necesario para convertir un equivalente de  $\text{CaCO}_3$  en  $\text{Ca}^{2+}$  y bicarbonato para remineralización. Además, la piedra caliza no es corrosiva y debido a las propiedades reguladoras del  $\text{CaCO}_3$ , se impiden grandes cambios de pH.

- 45 Una ventaja adicional del uso de carbonato de calcio en lugar de la cal es su muy baja huella de dióxido de carbono. Para producir una tonelada de carbonato de calcio se emiten 75 kg de  $\text{CO}_2$  se emite, mientras que se emiten 750 kg de  $\text{CO}_2$  para la producción de una tonelada de cal. Por lo tanto el uso de carbonato de calcio en lugar de cal presenta algunos beneficios ambientales.

- 50 Sin embargo, la tasa de disolución del carbonato de calcio granular es lenta y se necesitan grandes filtros para el proceso de filtración de la piedra caliza. Eso causa una huella considerable de estos filtros, y se requieren grandes superficies de la planta de sistemas de filtración de la cama como piedra caliza.

En los documentos US 7,374,694 y EP 0 520826 se describen métodos para la remineralización de agua usando lechada de cal o una suspensión de cal. El documento US 5,914,046 describe un método para reducir la acidez en descargas de efluentes usando un lecho de piedra caliza pulsado.

5 Así, considerando los inconvenientes de los procedimientos conocidos para la remineralización de agua, es un objeto de la presente invención proporcionar un procedimiento alternativo o mejorado para la remineralización de agua.

10 Otro objeto de la presente invención es proporcionar un procedimiento para la remineralización de agua que no requiera un compuesto corrosivo, y por tanto, evita el peligro de incrustación, elimina la necesidad de equipos resistentes a la corrosión, y proporciona un entorno seguro para las personas que trabajan en la planta. Sería deseable también proporcionar un procedimiento que sea respetuoso con el medio ambiente y que requiera de bajas cantidades de dióxido de carbono en comparación con la remineralización de agua actual con procedimientos con cal.

15 Otro objeto de la presente invención es proporcionar un procedimiento para la remineralización de agua, en donde la cantidad de minerales puede ajustarse a los valores requeridos. Otro objeto de la presente invención es proporcionar un procedimiento para remineralización usando piedra caliza que permita el uso de unidades de remineralización más pequeñas, o proporcionar un procedimiento de remineralización que permita el uso de volúmenes más pequeños del compuesto de remineralización, por ejemplo, en comparación con el procedimiento con cal. También sería deseable proporcionar un procedimiento que pueda operarse sobre superficies de planta más pequeñas que el procedimiento de filtración en lecho de piedra caliza.

20 Se resuelven los siguientes objetos y otros mediante la provisión de un procedimiento para la remineralización de agua, que comprende las etapas de (a) proporcionar agua de alimentación, y (b) inyectar dióxido de carbono gaseoso y una suspensión en el agua de alimentación, en donde la suspensión comprende carbonato de calcio micronizado.

25 De acuerdo con otro aspecto de la presente invención, se proporciona un uso de un carbonato de calcio micronizado para la remineralización de agua.

Se definen realizaciones ventajosas de la presente invención en las subreivindicaciones correspondientes.

30 De acuerdo con una realización, la concentración de carbonato de calcio en la suspensión es de desde el 0.05 hasta el 40% en peso, desde el 1 hasta el 25% en peso, desde el 2 hasta el 20% en peso, preferiblemente desde el 3 hasta el 15% en peso, y lo más preferiblemente desde el 5 hasta el 10% en peso, con base en el peso total de la suspensión, o la concentración de carbonato de calcio en la suspensión es de desde el 10 hasta el 40% en peso, desde el 15 hasta el 30% en peso, o desde el 20 hasta el 25% en peso, con base en el peso total de la suspensión. De acuerdo con otra realización, el carbonato de calcio tiene un tamaño de partícula de desde 0.1 hasta 100  $\mu\text{m}$ , desde 0.5 hasta 50  $\mu\text{m}$ , desde 1 hasta 15  $\mu\text{m}$ , preferiblemente desde 2 hasta 10  $\mu\text{m}$ , lo más preferiblemente de 3 a 5  $\mu\text{m}$ . De acuerdo con todavía otra realización, el carbonato de calcio tiene un contenido insoluble en HCl de desde el 35 0.02 hasta el 2.5% en peso, del 0.05 al 1.5% en peso, o del 0.1 al 0.6% en peso, con base en el peso total del carbonato de calcio micronizado. De acuerdo con todavía otra realización, el carbonato de calcio es un carbonato de calcio molido, carbonato de calcio modificado o carbonato de calcio precipitado, o mezclas de los mismos. Se hace notar que el carbonato de calcio es el principal constituyente de mármol, piedra caliza y creta. La calcita es un mineral de carbonato y el polimorfo más estable de carbonato de calcio. Los otros polimorfos de carbonato de calcio son los minerales de aragonita y vaterita. La aragonita cambiará a calcita a 380-470°C y la vaterita es aún menos estable. De acuerdo con una realización, la suspensión comprende minerales adicionales que contienen magnesio, potasio o sodio, preferiblemente carbonato de magnesio, carbonato de calcio y magnesio, por ejemplo, piedra caliza dolomítica, dolomita calcarea, dolomita o dolomita a medio quemar; óxido de magnesio tales como dolomita quemada, sulfato de magnesio, hidrógeno carbonato de potasio, o hidrógeno carbonato de sodio. De acuerdo con 40 otra realización, la suspensión se prepara de manera reciente mezclando agua y el carbonato de calcio. De acuerdo con todavía otra realización, el periodo de tiempo entre la preparación de la suspensión y la inyección de la suspensión es de menos de 48 horas, menos de 24 horas, menos de 12 horas, menos de 5 horas, menos de 2 horas o menos de 1 hora. De acuerdo con todavía otra realización, la suspensión inyectada cumple con requisitos de calidad microbiológica, especificados por las directrices nacionales para agua potable.

45 De acuerdo con una realización, el agua remineralizada obtenida tiene una concentración de calcio como carbonato de calcio de desde 15 hasta 200 mg/l, preferiblemente desde 50 hasta 150 mg/l, y lo más preferiblemente desde 100 hasta 125 mg/l, o desde 15 hasta 100 mg/l, preferiblemente desde 20 hasta 80 mg/l, y más preferiblemente desde 40 hasta 60 mg/l. De acuerdo con otra realización, el agua remineralizada obtenida tiene una concentración de magnesio de desde 5 hasta 25 mg/l, preferiblemente desde 5 hasta 15 mg/l y lo más preferido desde 8 hasta 12 mg/l. De acuerdo con todavía otra realización, el agua remineralizada tiene un valor de turbidez de menos de 5.0 UNT, menos de 1.0 UNT, menos de 0.5 UNT, o menos de 0.3 UNT. De acuerdo con todavía otra realización, el agua remineralizada tiene un índice de saturación de Langelier de desde -1 hasta 2, preferiblemente desde -0.5 hasta 0.5, lo más preferido desde -0.2 hasta 0.2. De acuerdo con todavía otra realización, el agua remineralizada tiene un

Índice de Densidad de Sedimentación  $IDS_{15}$  inferior a 5, preferiblemente inferior a 4, y lo más preferido inferior a 3. De acuerdo con todavía otra realización, el agua remineralizada tiene un Índice de Incrustación de Membrana  $IIM_{0,45}$  inferior a 4, preferiblemente inferior a 2.5, lo más preferido inferior a 2.

5 De acuerdo con una realización, el agua de alimentación es agua de mar desalinizada, agua salobre o salmuera, aguas residuales tratadas o agua natural tal como agua subterránea, agua superficial o agua de lluvia.

10 De acuerdo con una realización, el dióxido de carbono se inyecta en una primera etapa, y la suspensión se inyecta subsecuentemente en una segunda etapa, o la suspensión se inyecta en una primera etapa y el dióxido de carbono se inyecta subsecuentemente en una segunda etapa, o el dióxido de carbono y la suspensión se inyectan simultáneamente. De acuerdo con otra realización, el dióxido de carbono se inyecta en el agua usada para la preparación de la suspensión.

De acuerdo con una realización, el agua remineralizada se mezcla con agua de alimentación. De acuerdo con otra realización, el procedimiento comprende además una etapa de eliminación de partículas.

15 De acuerdo con una realización, el procedimiento comprende además las etapas de (c) medir el valor de un parámetro del agua remineralizada, en donde el parámetro se selecciona del grupo que comprende alcalinidad, conductividad, dureza total, concentración de calcio, pH, concentración de  $CO_2$ , sólidos disueltos totales y turbidez del agua remineralizada, (d) comparar el valor del parámetro medido con un valor del parámetro predeterminado, y (e) proporcionar la cantidad de dióxido de carbono y/o suspensión inyectada basándose en la diferencia entre el valor del parámetro medido y el predeterminado. De acuerdo con otra realización, el valor de parámetro predeterminado es un valor de pH, en donde el valor de pH es de desde 5.5 hasta 9, preferiblemente desde 7 hasta 8.5.

20

De acuerdo con una realización, el carbonato de calcio micronizado se usa para la remineralización de agua, en donde el agua remineralizada se selecciona de agua potable, agua para fines recreativos tal como agua para piscinas, agua industrial para aplicaciones de procedimiento, agua de irrigación o agua para la recarga de acuíferos o pozos.

25 El término "alcalinidad (TAC)" tal como se usa en la presente invención es una medida de la capacidad de una solución para neutralizar ácidos hasta el punto de equivalencia de carbonato o bicarbonato. La alcalinidad es igual a la suma estequiométrica de las bases en solución y se especifica en mg/l como  $CaCO_3$ . La alcalinidad puede medirse con un titulador.

30 Para el propósito de la presente invención, el término "concentración de calcio" se refiere al contenido total de calcio en la solución y se especifica en mg/l como  $Ca^{2+}$  o como  $CaCO_3$ . La concentración puede medirse con un titulador.

"Conductividad" dentro del significado de la presente invención se usa como indicador de cómo se encuentra el agua medida de libre de sales, libre de iones o libre de impurezas; cuanto más pura es el agua, menor es la conductividad. La conductividad puede medirse con un medidor de conductividad y se especifica en  $\mu S/cm$ .

35 "Carbonato de calcio molido (GCC, por sus siglas en inglés)" dentro del significado de la presente invención es un carbonato de calcio obtenido de fuentes naturales incluyendo mármol, creta o piedra caliza, y procesado a través de un tratamiento tal como molienda, tamizado y/o fraccionamiento en húmedo y/o en seco, por ejemplo, mediante un ciclón. Es conocido para la persona experta que el carbonato de calcio molido puede contener inherentemente una concentración definida de magnesio, tal como es el caso de calcita dolomítica.

40 El término "índice de saturación de Langelier (ISL)" tal como se usa en la presente invención, describe la tendencia de un líquido acuoso a formar incrustaciones o corrosivo, con un ISL positivo indicando tendencias de formación de incrustaciones y un ISL negativo que indica un carácter corrosivo. Un índice de saturación de Langelier equilibrado, esto es,  $ISL=0$ , por lo tanto, significa que el líquido acuoso está en equilibrio químico. El ISL se calcula de la siguiente forma

$$ISL = pH - pH_s,$$

45 en donde el pH es el valor de pH real del líquido acuoso y  $pH_s$  es el valor de pH del líquido acuoso a la saturación de  $CaCO_3$ . El  $pH_s$  puede estimarse de la siguiente forma:

$$pH_s = (9,3 + A + B) - (C + D),$$

50 en donde A es el indicador de valor numérico de sólidos disueltos totales (SDT) presentes en el líquido acuoso, B es el indicador de valor numérico de temperatura del líquido acuoso en K, C es el indicador de valor numérico de la concentración de calcio del líquido acuoso en mg/l de  $CaCO_3$ , y D es el indicador de valor numérico de la alcalinidad del líquido acuoso en mg/l de  $CaCO_3$ . Los parámetros A a D se determinan usando las siguientes ecuaciones:

$$A = (\log_{10}(\text{SDT}) - 1)/10,$$

$$B = -13,12 \times \log_{10}(T + 273) + 34,55,$$

$$C = \log_{10}[\text{Ca}^{2+}] - 0,4,$$

$$D = \log_{10}(\text{TAC}),$$

- 5 en donde SDT son los sólidos disueltos totales en mg/l, T es la temperatura en °C,  $[\text{Ca}^{2+}]$  es la concentración de calcio del líquido acuoso en mg/l de  $\text{CaCO}_3$  y TAC es la alcalinidad del líquido acuoso en mg/l de  $\text{CaCO}_3$ .

El término “índice de densidad de sedimentación (IDS)” tal como se usa en la presente invención se refiere a la cantidad de material particulado en agua y se correlaciona con la tendencia de incrustación de sistemas de ósmosis inversa o nanofiltración. El IDS puede calcularse, por ejemplo, a partir de la tasa de obstrucción de un filtro de membrana de 0.45  $\mu\text{m}$  cuando se hace pasar agua con una presión de agua aplicada constante de 208.6 kPa. El valor de  $\text{IDS}_{15}$  se calcula a partir de la tasa de obstrucción de un filtro de membrana de 0.45  $\mu\text{m}$  cuando se hace pasar agua con una presión de agua aplicada constante de 208.6 kPa durante 15 minutos. Normalmente, los sistemas de ósmosis inversa de enrollado en espiral necesitarán un IDS de menos de 5, y los sistemas de ósmosis inversa de fibra hueca necesitarán un IDS de menos de 3.

15 El término “índice de incrustación modificado (IIM)” tal como se usa en la presente invención se refiere a la concentración de materia suspendida y es un índice más preciso que el IDS para predecir la tendencia de un agua a producir incrustación en membranas de ósmosis inversa o nanofiltración. El método que puede usarse para determinar el IIM puede ser el mismo que para el IDS excepto que el volumen se registra cada 30 segundos a lo largo de un periodo de filtración de 15 minutos. El IIM puede obtenerse gráficamente como la pendiente de la parte recta de la curva cuando se representa gráficamente  $t/V$  frente a  $V$  ( $t$  es el tiempo en segundos para recoger un volumen de  $V$  en litros). Un valor de IIM de  $<1$  corresponde a un valor de IDS de aproximadamente  $<3$  y puede considerarse lo suficientemente bajo como para controlar la incrustación coloidal y de partículas.

20 En el caso de que se use una membrana de ultrafiltración (UF) para mediciones de IIM, el índice se denomina IIM-UF a diferencia del  $\text{IIM}_{0,45}$  en el que se usa un filtro de membrana de 0.45  $\mu\text{m}$ .

25 Para el propósito de la presente invención, el término “micronizado” se refiere a un tamaño de partícula en el rango micrométrico, por ejemplo, un tamaño de partícula de desde 0.1 hasta 100  $\mu\text{m}$ . Las partículas micronizadas pueden obtenerse mediante técnicas basadas en fricción, por ejemplo, trituración o molienda en condiciones o bien en húmedo o bien en seco. Sin embargo, también es posible de producir las partículas micronizadas mediante otro método adecuado, por ejemplo, mediante precipitación, expansión rápida de disoluciones supercríticas, secado por pulverización, clasificación o fraccionamiento de arenas o lodos que se producen de manera natural, filtración de agua, procedimientos sol-gel, síntesis de reacción de pulverización, síntesis en llama o síntesis de espuma líquida.

30 En la totalidad del presente documento, el “tamaño de partícula” de un producto de carbonato de calcio se describe mediante su distribución de tamaños de partícula. El valor  $d_x$  representa el diámetro relativo al que el  $x\%$  en peso de las partículas tienen diámetros menores que  $d_x$ . Esto significa que el valor de  $d_{20}$  es el tamaño de partícula al que el 20% en peso de todas las partículas son más pequeñas, y el valor de  $d_{75}$  es el tamaño de partícula al que 75% en peso de todas las partículas son más pequeñas. El valor de  $d_{50}$  es, por lo tanto, el tamaño de partícula medio en peso, es decir, el 50% en peso de todos los granos son más grandes o más pequeños que este tamaño de partícula. Para el propósito de la presente invención, el tamaño de partícula se especifica como el tamaño de partícula medio en peso  $d_{50}$  a menos que se indique de otro modo. Para determinar el valor de  $d_{50}$  el tamaño de partícula medio en peso para partículas que tienen un  $d_{50}$  mayor de 0,5  $\mu\text{m}$ , puede usarse un dispositivo Sedigraph 5100 de la compañía Micromeritics, EE.UU.

35 “Carbonato de calcio precipitado (PCC, por sus siglas en inglés)” dentro del significado de la presente invención es un material sintetizado, obtenido de manera general mediante precipitación seguida de la reacción de dióxido de carbono y cal en un medio acuoso o mediante precipitación de una fuente de calcio y carbonato en agua o mediante precipitación de iones de calcio y carbonato, por ejemplo  $\text{CaCl}_2$  y  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ , a partir de la disolución.

45 El término “remineralización” tal como se usa en la presente invención se refiere a la restauración de minerales en agua que no contiene minerales en absoluto o en una cantidad suficiente para obtener un agua que es agradable. Una remineralización puede lograrse mediante la adición de al menos carbonato de calcio al agua que va a tratarse. Opcionalmente, por ejemplo, para beneficios relacionados con la salud, o para asegurar la ingesta apropiada de algunos minerales esenciales y elementos traza, pueden mezclarse sustancias adicionales con el carbonato de calcio y luego añadirse al agua durante el procedimiento de remineralización. De acuerdo con las directrices nacionales sobre la salud humana y la calidad del agua potable, el producto remineralizado puede comprender minerales adicionales que contienen magnesio, potasio o sodio, por ejemplo, carbonato de magnesio, sulfato de magnesio, hidrogenocarbonato de potasio, hidrogenocarbonato de sodio u otros minerales que contienen elementos traza esenciales.

Para el propósito de la presente invención, una "suspensión" comprende sólidos insolubles y agua y, opcionalmente, aditivos adicionales y contiene usualmente grandes cantidades de sólidos y, por lo tanto, es más viscosa y, de manera general, de mayor densidad que el líquido a partir del que se formó.

5 El término "sólidos totales disueltos (SDT)" tal como se usa en la presente invención es una medida del contenido combinado de todas las sustancias inorgánicas y orgánicas contenidas en un líquido en forma molecular, ionizada o microgranular (sol coloidal) suspendida. De manera general, la definición operativa es que los sólidos deben ser lo suficientemente pequeños como para sobrevivir a una filtración a través de un tamiz del tamaño de dos micrómetros. Los sólidos disueltos totales pueden estimarse con un medidor de conductividad y se especifican en mg/l.

10 "Turbidez" dentro del significado de la presente invención describe la nubosidad u opacidad de un fluido, producida por partículas individuales (sólidos suspendidos) que son generalmente invisibles a simple vista. La medición de turbidez es una prueba clave de la calidad del agua y puede llevarse a cabo con un nefelómetro. Las unidades de la turbidez de un nefelómetro calibrado tal como se usa en la presente invención se especifican en Unidades Nefelométricas de Turbidez (UNT).

15 El procedimiento inventivo para la remineralización de agua comprende las etapas de (a) proporcionar agua de alimentación, y (b) inyectar dióxido de carbono gaseoso y una suspensión en el agua de alimentación, en el que la suspensión comprende carbonato de calcio micronizado.

20 El agua de alimentación que va a usarse en el procedimiento inventivo puede derivarse de diversas fuentes. El agua de alimentación preferiblemente tratada mediante el procedimiento de la presente invención es agua de mar desalinizada, agua salobre o salmuera, aguas residuales tratadas o agua natural tal como agua subterránea, agua superficial o agua de lluvia.

25 De acuerdo con una realización de la presente invención, el agua de alimentación puede pretratarse. Un pretratamiento puede ser necesario, por ejemplo, en el caso de que el agua de alimentación se derive de agua superficial, agua subterránea o agua de lluvia. Por ejemplo, para lograr las directrices de agua potable, es necesario tratar el agua a través del uso de técnicas químicas o físicas de manera que se retiren contaminantes tales como componentes orgánicos y minerales no deseados. Por ejemplo, puede usarse la ozonización como primera etapa de pretratamiento, seguida entonces por coagulación, floculación o decantación como segunda etapa de tratamiento. Por ejemplo, pueden usarse sales de hierro (III) tales como  $\text{FeClSO}_4$  o  $\text{FeCl}_3$ , o sales de aluminio tales como  $\text{AlCl}_3$ ,  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$  o polialuminio como agentes de floculación. Los materiales floculados pueden retirarse del agua de alimentación, por ejemplo, por medio de filtros de arena o filtros multicapa. En los documentos EP 1 975 310, EP 1 982 759, EP 1 974 807 o EP 1 974 806, por ejemplo, se describen otros procedimientos de purificación de agua que pueden usarse para pretratar el agua de alimentación.

35 De acuerdo con otra realización a modo de ejemplo de la presente invención, se bombea en primer lugar agua de mar o agua salobre fuera del mar por medio de tomas oceánicas abiertas o tomas bajo la superficie tales como pozos, y luego se somete a pretratamientos físicos tales como procedimiento con tamices, sedimentación o de retirada de arena. Dependiendo de la calidad del agua requerida, pueden ser necesarias etapas de tratamiento adicionales tales como coagulación y floculación para reducir la potencial incrustación de las membranas. El agua de mar o agua salobre pretratada puede destilarse luego, por ejemplo, usando evaporación ultrarrápida de múltiples etapas, destilación de efecto múltiple o filtración de membrana tal como ultrafiltración u ósmosis inversa, para retirar las partículas y las sustancias disueltas restantes.

40 De acuerdo con la etapa (b) del procedimiento inventivo, se inyectan dióxido de carbono gaseoso y una suspensión que comprende carbonato de calcio micronizado en el agua de alimentación. De acuerdo con una realización, el dióxido de carbono se inyecta en una primera etapa, y la suspensión se inyecta posteriormente en una segunda etapa. De acuerdo con una realización alternativa, la suspensión se inyecta en una primera etapa, y el dióxido de carbono se inyecta en una segunda etapa. Sin embargo, también es posible inyectar el dióxido de carbono y la suspensión simultáneamente. Preferiblemente, se inyecta el dióxido de carbono en una primera etapa, y la suspensión se inyecta posteriormente en una segunda etapa. Sin querer restringirse a ninguna teoría, se cree que inyectar primero el dióxido de carbono acelerará la reacción.

50 El dióxido de carbono gaseoso puede obtenerse de un tanque de almacenamiento, en el que se mantiene en fase líquida. Dependiendo de la tasa de consumo de dióxido de carbono y el entorno, pueden usarse tanques o bien criogénicos o bien aislados de manera convencional. La conversión del dióxido de carbono líquido en dióxido de carbono gaseoso puede realizarse usando un vaporizador calentado con aire, o un sistema de vaporización basado en electricidad o vapor. Si es necesario, la presión del dióxido de carbono gaseoso puede reducirse antes de la etapa de inyección, por ejemplo, usando una válvula de reducción de presión.

55 El dióxido de carbono gaseoso puede inyectarse en una corriente de agua de alimentación a una tasa controlada, formando una dispersión de burbujas de dióxido de carbono en la corriente y permitiendo que las burbujas se disuelvan en la misma. Por ejemplo, la disolución de dióxido de carbono en el agua de alimentación puede facilitarse con la provisión de la corriente de agua de alimentación a una velocidad de flujo de 40-60 mg/l según la

concentración inicial de CO<sub>2</sub> en el permeado/destilado, el valor de pH final objetivo (CO<sub>2</sub> en exceso) y la concentración de calcio final objetivo (CaCO<sub>3</sub> añadido). De acuerdo con una realización a modo de ejemplo, el dióxido de carbono se introduce en la corriente de agua de alimentación en una región turbulenta de la misma, en el que la turbulencia puede crearse, por ejemplo, mediante una restricción en la tubería. Por ejemplo, el dióxido de carbono puede introducirse en la garganta de un tubo Venturi dispuesto en la tubería. El estrechamiento del área de la sección transversal de la tubería en la garganta del tubo Venturi crea un flujo turbulento de suficiente energía para romper el dióxido de carbono en burbujas relativamente pequeñas y facilitar de esa manera su disolución. De acuerdo con una realización, el dióxido de carbono se introduce a presión dentro de una corriente de agua. De acuerdo con otra realización de la presente invención, la disolución de dióxido de carbono en el agua de alimentación se facilita mediante un mezclador estático.

Una válvula de control de flujo u otros medios pueden usarse para controlar la rata de flujo de dióxido de carbono en la corriente. Por ejemplo, un bloque de dosificación de CO<sub>2</sub> y un dispositivo de medición de CO<sub>2</sub> en línea pueden usarse para controlar la rata del flujo de CO<sub>2</sub>. De acuerdo con una realización a modo de ejemplo de la invención, el CO<sub>2</sub> se inyecta usando una unidad combinada que comprende una unidad de dosificación de CO<sub>2</sub>, un mezclador estático y un dispositivo de medición de CO<sub>2</sub> en línea.

El dióxido de carbono acidifica el agua de alimentación mediante la formación de ácido carbónico. La cantidad de dióxido de carbono que se inyecta en el agua de alimentación dependerá de la cantidad de dióxido de carbono que ya se encuentra presente en el agua de alimentación. La cantidad de dióxido de carbono que ya se encuentra presente en el agua de alimentación dependerá, a su vez por ejemplo, del tratamiento corriente arriba del agua de alimentación. Agua de alimentación, por ejemplo, que se ha desalinizado mediante evaporación instantánea contendrá otra cantidad de dióxido de carbono y, por lo tanto, otro pH, que agua de alimentación que se ha desalinizado por ósmosis inversa. Agua de alimentación, por ejemplo, que se ha desalinizado por ósmosis inversa puede tener un pH de aproximadamente 5.3 y puede tener una baja concentración de CO<sub>2</sub> de por ejemplo de 2 - 5 mg/l.

La remineralización del agua de alimentación se induce mediante la inyección de la suspensión que comprende el carbonato de calcio micronizado en el agua de alimentación.

La suspensión que se inyecta en el agua de alimentación comprende carbonato de calcio micronizado. De acuerdo con una realización, la concentración de carbonato de calcio en la suspensión es de desde el 0.05 hasta el 40% en peso, desde el 1 hasta el 25% en peso, desde el 2 hasta el 20% en peso, desde el 3 hasta el 15% en peso o desde el 5 hasta el 10% en peso, con base en el peso total de la suspensión. De acuerdo con otra realización, la concentración de carbonato de calcio en la suspensión es desde el 10 hasta el 40% en peso, desde el 15 hasta el 30% en peso, o desde el 20 hasta el 25% en peso, con base en el peso total de la suspensión.

El carbonato de calcio micronizado presenta un tamaño de partícula dentro del rango micrométrico. De acuerdo con una realización, el calcio micronizado tiene un tamaño de partícula de desde 0.1 hasta 100 µm, desde 0.5 hasta 50 µm, desde 1 hasta 15 µm, de 2 a 10 µm o desde 3 hasta 5 µm.

Ejemplos de carbonatos de calcio adecuados son carbonato de calcio molido, carbonato de calcio modificado o carbonato de calcio precipitado, o una mezcla de los mismos. Un carbonato de calcio molido (GCC, por sus siglas en inglés) natural puede presentar, por ejemplo, uno o más de mármol, piedra caliza, creta y/o dolomita. Un carbonato de calcio precipitado (PCC, por sus siglas en inglés) puede presentar, por ejemplo, una o más de formas cristalinas mineralógicas aragonítica, vaterítica y/o calcítica. La aragonita se encuentra comúnmente en forma acicular, mientras que la vaterita pertenece al sistema cristalino hexagonal. La calcita puede ser de formas escalenoédrica, prismática, esférica y romboédrica. Un carbonato de calcio modificado puede presentar un carbonato de calcio molido natural o precipitado con una modificación de superficie y/o de estructura interna, por ejemplo, el carbonato de calcio puede tratarse o recubrirse con un agente de tratamiento de superficie de hidrofobización tal como, por ejemplo, un ácido carboxílico alifático o un siloxano. El carbonato de calcio puede tratarse o recubrirse para volverse catiónico o aniónico con, por ejemplo, un poliacrilato o un polidamc.

De acuerdo con una realización de la presente invención, el carbonato de calcio micronizado es un carbonato de calcio molido (GCC, por sus siglas en inglés). De acuerdo con una realización preferida, el carbonato de calcio micronizado es un carbonato de calcio molido que tiene un tamaño de partícula de desde 3 hasta 5 µm.

De acuerdo con otra realización de la presente invención, el carbonato de calcio micronizado comprende un contenido insoluble en HCl de desde el 0.02 hasta el 2.5% en peso, del 0.05 al 1.5% en peso o del 0.1 al 0.6% en peso, con base en el peso total del carbonato de calcio micronizado. Preferiblemente, el contenido insoluble en HCl del carbonato de calcio no supera el 0.6% en peso, con base en el peso total del carbonato de calcio micronizado. El contenido insoluble en HCl puede ser, por ejemplo, minerales tales como cuarzo, silicato o mica.

Además del carbonato de calcio micronizado, la suspensión puede comprender otros minerales micronizados. De acuerdo con una realización, la suspensión puede comprender carbonato de magnesio micronizado, carbonato de calcio y magnesio, por ejemplo, piedra caliza dolomítica, dolomita calcarea, dolomita o dolomita a medio quemar;

óxido de magnesio tales como dolomita quemada, sulfato de magnesio, hidrogenocarbonato de potasio, hidrogenocarbonato de sodio, hidrogeno carbonato de sodio u otros minerales que contienen elementos traza esenciales.

5 De acuerdo con una realización de la presente invención, la suspensión se prepara de manera reciente mediante el mezclado de agua y carbonato de calcio micronizado. La preparación *in situ* de la suspensión puede preferirse debido a que suspensiones espesas premezcladas pueden requerir la adición de otros agentes tales como estabilizadores o biocidas, que pueden ser compuestos no deseados en el agua remineralizada. De acuerdo con una realización preferida de la presente invención, el periodo de tiempo entre la preparación de la suspensión y la inyección de la suspensión es lo suficientemente corto como para evitar el crecimiento bacteriano en la suspensión.

10 De acuerdo con una realización a modo de ejemplo, el periodo de tiempo entre la preparación de la suspensión y la inyección de la suspensión es de menos de 48 horas, menos de 24 horas, menos de 12 horas, menos de 5 horas, menos de 2 horas o menos de 1 hora. De acuerdo con otra realización de la presente invención, la suspensión inyectada cumple con los requisitos de calidad microbiológica, especificados por las directrices nacionales para agua potable.

15 La suspensión puede prepararse, por ejemplo, usando un mezclador tal como un agitador mecánico para suspensiones espesas diluidas, o un dispositivo de mezclado de polvo-líquido específico para suspensiones espesas más concentradas. Dependiendo de la concentración de la suspensión preparada, el tiempo de mezclado puede ser de desde 0.5 hasta 30 min, desde 1 hasta 20 min, desde 2 hasta 10 min o desde 3 hasta 5 min. De acuerdo con una realización de la presente invención, la suspensión se prepara usando una máquina de mezclado, en el que la máquina de mezclado permite mezclado y dosificación simultáneos de la suspensión.

20

El agua usada para preparar la suspensión puede ser, por ejemplo, agua destilada, agua de alimentación o agua industrial. De acuerdo con una realización preferida de la presente invención, el agua usada para preparar la suspensión es agua de alimentación, por ejemplo, permeado o destilado obtenido de un procedimiento de desalinización. De acuerdo con una realización a modo de ejemplo, el agua usada para preparar la suspensión se acidifica con dióxido de carbono. Sin restringirse a ninguna una teoría, se cree que un pretratamiento con CO<sub>2</sub> de este tipo del agua usada para preparar la suspensión, incrementa la disolución de carbonato de calcio en el agua y, por lo tanto, reduce el tiempo de reacción.

25

De acuerdo con una realización, la suspensión que comprende carbonato de calcio micronizado se inyecta directamente en una corriente de agua de alimentación. Por ejemplo, la suspensión puede inyectarse en el agua de alimentación a una tasa controlada mediante una bomba que se comunica con un recipiente de almacenamiento para la suspensión. Preferiblemente, la suspensión puede inyectarse en el agua de alimentación con una tasa de 1 a 10 litros por metro cúbico de agua de alimentación, dependiendo de la concentración de la suspensión. Según otra realización, la suspensión que comprende carbonato de calcio micronizado se mezcla con el agua de alimentación en una cámara de reacción, por ejemplo, usando un mezclador tal como un agitador mecánico. De acuerdo con todavía otra realización, la suspensión se inyecta en un tanque que recibe la totalidad del flujo de agua de alimentación.

30

35

De acuerdo con una realización de la presente invención, solamente una parte del agua de alimentación se remineraliza mediante la inyección de la suspensión, y posteriormente, el agua remineralizada se combina con agua de alimentación sin tratar. Opcionalmente, solamente una parte del agua de alimentación se remineraliza a una alta concentración de carbonato de calcio, en comparación con los valores finales objetivo, y posteriormente, el agua remineralizada se combina con agua de alimentación sin tratar.

40

De acuerdo con otra realización, el agua tratada, o parte del agua tratada se filtra, por ejemplo, mediante ultrafiltración, para reducir adicionalmente el nivel de turbidez del agua remineralizada.

45 De acuerdo con una realización de la presente invención, la suspensión se inyecta en tal cantidad que se logra la disolución completa del carbonato de calcio. Por ejemplo, la inyección de CO<sub>2</sub> y suspensión que comprende carbonato de calcio se ajusta de tal manera que para un equivalente de CO<sub>2</sub>, se añade un equivalente de carbonato de calcio al agua de alimentación. De acuerdo con una realización, el procedimiento inventivo se lleva a cabo de tal manera que se logran simultáneamente la remineralización y la neutralización del agua de alimentación acidificada con CO<sub>2</sub>.

50 Si es necesario, puede separarse el dióxido de carbono en exceso del agua remineralizada usando un sistema de separación de gases. El dióxido de carbono en exceso puede recircularse para su uso en el procedimiento inventivo.

Las cantidades de dióxido de carbono y carbonato de calcio inyectadas en el agua de alimentación se seleccionan para proporcionar un agua de calidad deseada. Por ejemplo, la calidad del agua remineralizada puede evaluarse mediante el índice de saturación de Langelier (ISL). De acuerdo con una realización, el agua remineralizada tiene un índice de saturación de Langelier de desde -1 hasta 2, preferiblemente desde -0.5 hasta 0.5, lo más preferiblemente desde -0.2 hasta 0.2. De acuerdo con otra realización, el agua remineralizada tiene un índice de densidad de sedimentación IDS<sub>15</sub> inferior a 5, preferiblemente inferior a 4 y lo más preferiblemente inferior a 3. Según todavía

55

otra realización, el agua remineralizada tiene un índice de incrustación de membrana IIM<sub>0.45</sub> inferior a 4, preferiblemente inferior a 2.5, lo más preferiblemente inferior a 2. La evaluación puede realizarse, por ejemplo, midiendo el pH del agua de alimentación tratada, de manera continua. Dependiendo del sistema de remineralización, el pH del pH tratado puede medirse, por ejemplo, en una corriente de agua tratada, en una cámara de reacción, en la que se mezclan la suspensión y el agua de alimentación, o en un tanque de almacenamiento para el agua remineralizada. De acuerdo con una realización de la presente invención, el pH se mide a los 30 min, 20 min, 10 min, 5 min o 2 min tras la etapa de remineralización. La medición del valor de pH puede llevarse a cabo a temperatura ambiente, esto es, a aproximadamente 20°C.

De acuerdo con una realización a modo de ejemplo de la invención, la cantidad del dióxido de carbono y/o suspensión inyectada se controla detectando el valor de pH del agua de alimentación tratada. Alternativa o adicionalmente, la cantidad de dióxido de carbono y/o suspensión inyectada se controla detectando parámetros tales como la alcalinidad, la conductividad, la dureza total, la concentración de calcio, concentración de CO<sub>2</sub>, pH, los sólidos disueltos totales o la turbidez. De acuerdo con una realización, el procedimiento de la presente invención comprende además las etapas de (c) medir el valor de un parámetro del agua remineralizada, en el que el parámetro se selecciona del grupo que comprende la alcalinidad, la conductividad, la dureza total, la concentración de calcio, la concentración de CO<sub>2</sub>, el pH, los sólidos disueltos totales o la turbidez del agua remineralizada, (d) comparar el valor del parámetro medido con un valor del parámetro predeterminado, y (e) proporcionar la cantidad de dióxido de carbono y/o suspensión inyectada sobre la base de la diferencia entre el valor del parámetro medido y el predeterminado.

De acuerdo con una realización, el valor del parámetro predeterminado es un valor de pH, en el que el valor de pH es de desde 5.5 hasta 9, preferiblemente desde 7 hasta 8.5.

La figura 1 muestra un esquema de un aparato que puede usarse para operar el método inventivo. Fluye agua de alimentación desde un depósito (1) a una tubería (2). La tubería (2) tiene una entrada (6) de gas a través de la que puede inyectarse dióxido de carbono, procedente de una fuente (4) de dióxido de carbono, en el agua de alimentación. Una segunda entrada (10) está ubicada corriente abajo de la entrada (6) de gas, a través de la que se inyecta la suspensión que comprende carbonato de calcio micronizado en la corriente de agua de alimentación desde un tanque (9) de almacenamiento para la suspensión. La suspensión se prepara *in situ* usando un mezclador (8) adecuado mezclando agua que se obtiene del depósito (1) mediante una tubería (12), y carbonato de calcio micronizado obtenido desde un recipiente (7) de almacenamiento. Opcionalmente, el dióxido de carbono puede inyectarse en el agua para preparar la suspensión mediante una entrada (5) de gas. El pH del agua remineralizada puede medirse corriente abajo de la entrada (10) de suspensión, en un punto (11) de toma de muestras. De acuerdo con una realización, la rata de flujo del agua de alimentación es de 20000 y 500000 m<sup>3</sup> al día.

El procedimiento inventivo puede usarse para producir agua potable, agua para fines recreativos tal como agua para piscinas, agua industrial para aplicaciones de procedimiento, agua de irrigación o agua para la recarga de acuíferos o pozos.

De acuerdo con una realización, las concentraciones de dióxido de carbono y carbonato de calcio en el agua remineralizada cumplen con los valores requeridos para la calidad del agua potable, que se fijan mediante directrices nacionales. De acuerdo con una realización, el agua remineralizada obtenida mediante el procedimiento inventivo tiene una concentración de calcio de desde 15 hasta 200 mg/l como CaCO<sub>3</sub>, preferiblemente desde 50 hasta 150 mg/l como CaCO<sub>3</sub>, y lo más preferible desde 100 hasta 125 mg/l como CaCO<sub>3</sub> o de desde 15 hasta 100 mg/l, preferiblemente de desde 20 hasta 80 mg/l, y más preferiblemente de desde 40 hasta 60 mg/l. En caso de que la suspensión comprenda además una sal de magnesio tal como carbonato de magnesio, o sulfato de magnesio, el agua remineralizada obtenida mediante el procedimiento inventivo puede tener una concentración de magnesio de desde 5 hasta 25 mg/l, preferiblemente desde 5 hasta 15 mg/l, y lo más preferido desde 8 hasta 12 mg/l.

De acuerdo con una realización de la presente invención, el agua remineralizada tiene una turbidez menor de 5.0 UNT, menos de 1.0 NTO, menor de 0.5 UNT, o menor de 0.3 UNT.

De acuerdo con una realización a modo de ejemplo de la presente invención, el agua remineralizada tiene un ISL de desde -0,2 hasta +0,2, una concentración de calcio de desde 15 hasta 200 mg/l, una concentración de magnesio de desde 5 hasta 25 mg/l, una alcalinidad entre 100 y 200 mg/l como CaCO<sub>3</sub>, un pH entre 7 y 8,5 y una turbidez de menos de 0.5 UNT.

De acuerdo con una realización de la presente invención, se lleva a cabo una etapa de retirada de partículas tras la remineralización, por ejemplo, para reducir el nivel de turbidez del agua remineralizada. También es posible llevar a cabo una etapa de retirada de partículas antes de la inyección de dióxido de carbono y/o la suspensión, por ejemplo, para reducir el nivel de turbidez del agua de alimentación o parte del agua de alimentación. De acuerdo con una realización, se lleva a cabo una etapa de sedimentación. Por ejemplo, el agua de alimentación y/o agua remineralizada pueden conducirse por tubería a un clarificador o tanque de almacenamiento para reducir adicionalmente el nivel de turbidez del agua. De acuerdo con otra realización, las partículas pueden retirarse

mediante decantación. Alternativamente, al menos una parte del agua de alimentación y/o agua remineralizada puede filtrarse, por ejemplo, mediante ultrafiltración, para reducir adicionalmente el nivel de turbidez del agua.

### Ejemplos

5 Los siguientes ejemplos muestran diferentes suspensiones espesas con diversas concentraciones de carbonato de calcio, que se prepararon a partir de diferentes rocas carbonatadas.

10 El agua de alimentación se obtuvo a partir de un procedimiento de desalinización por ósmosis inversa, y se acidificó con aproximadamente 50 mg/l de CO<sub>2</sub>. Las suspensiones espesas se prepararon mezclando una cantidad apropiada de carbonato de calcio con 100 ml de agua de alimentación a temperatura ambiente usando un agitador magnético, con agitación entre 1000 y 1500 rpm y un tiempo de mezclado de entre 3 y 5 min. La mineralización se llevó a cabo añadiendo la suspensión en pequeñas cantidades a aproximadamente un litro del agua de alimentación acidificada, en la que la suspensión y el agua de alimentación se mezclaron usando un agitador magnético, con agitación entre 1000 y 1500 rpm y un tiempo de mezclado de 2 min. Tras cada adición de suspensión, se tomó una muestra del agua de alimentación tratada para controlar la alcalinidad, la turbidez, la conductividad, el pH, la temperatura. Una concentración final de calcio de 125 mg/l como CaCO<sub>3</sub> se escogió como objetivo para la remineralización del agua de alimentación. Para cada muestra, se midió la turbidez del agua remineralizada directamente tras el mezclado y tras un periodo de asentamiento de 60 min como mínimo. La turbidez medida en las muestras asentadas se llevó a cabo para observar el impacto de la sedimentación en el procedimiento de remineralización.

15 Se midió la turbidez con un turbidímetro de laboratorio 2100 AN IS de Hach Lange y la calibración se llevó a cabo usando patrones de turbidez StabCal (patrones de formazina) de < 0.1, 20, 200, 1000, 4000 y 7500 UNT.

20 Se midió la alcalinidad total con un titulador T70 de Mettler-Toledo usando el software LabX Light Titration relacionado. Se usó un electrodo de pH DGi111-SG para esta titulación de acuerdo con el método de Mettler-Toledo M415 correspondiente del folleto de aplicación 37 (análisis de agua). La calibración del electrodo de pH se llevó a cabo usando patrones de Mettler-Toledo de valores de pH de 4.01, 7.00 y 9.21.

#### Ejemplo 1 – Suspensión A

25 Se prepararon dos suspensiones espesas que tenían una concentración de carbonato de calcio del 0,5 y el 5% en peso, con base en el peso total de la suspensión, a partir de carbonato de calcio micronizado de mármol que tenía un tamaño de partícula de 3,5 µm y un contenido insoluble en HCl del 0.2% en peso, con base en el peso total del carbonato de calcio.

30 Los resultados recopilados en la Tabla 1 muestran valores de turbidez similares para ambos procedimientos de remineralización con suspensiones espesas con el 0.5% en peso y el 5% en peso de CaCO<sub>3</sub>. Tras un periodo de asentamiento, las muestras presentaron valores de turbidez de menos de 0.5 UNT.

#### Ejemplo 2 – Suspensión B

35 Se prepararon tres suspensiones espesas que tenían una concentración de carbonato de calcio del 0.5, 1 y el 10% en peso, con base en el peso total de la suspensión, a partir de carbonato de calcio micronizado de mármol que tenía un tamaño de partícula de 2,8 µm y un contenido insoluble en HCl del 1.5% en peso, con base en el peso total del carbonato de calcio.

40 Los resultados recopilados en la Tabla 1 muestran valores de turbidez similares para los tres procedimientos de remineralización. Sin embargo, los valores de turbidez medidos para las muestras asentadas, tomadas tras dos minutos de remineralización, son mayores que los del ejemplo 1, lo que puede deberse a la diferencia en el contenido insoluble en HCl del carbonato de calcio de mármol.

#### Ejemplo 3 – Suspensión C

45 Se preparó una suspensión que tenía una concentración de carbonato de calcio del 5% en peso, con base en el peso total de la suspensión, a partir de carbonato de calcio micronizado de piedra caliza que tenía un tamaño de partícula de 3 µm y un contenido insoluble en HCl del 0,1% en peso, con base en el peso total del carbonato de calcio.

Los resultados recopilados en la Tabla 1 muestran que el valor de turbidez medido para la muestra asentada es mucho menor en comparación a los valores de los ejemplos 1 y 2, lo que puede deberse a las diferentes estructuras geológicas de las rocas carbonatadas.

Tabla 1

Suspensión	Concentración de suspensión (% en peso)	Turbidez (UNT)		Alcalinidad de muestra reciente (mg/l de CaCO <sub>3</sub> )
		Muestra reciente	Muestra asentada	
A	0.5	35	0.44	100
A	5.0	32	0.45	120
B	0.5	26	3.90	115
B	1.0	25	3.50	112
B	10.0	24	3.30	119
C	5.0	20	0.21	117

**Ejemplo 4 – Tamaños de partícula diferentes**

5 Se prepararon tres suspensiones espesas que tenían una concentración de carbonato de calcio del 5% en peso, con base en el peso total de la suspensión, a partir de carbonato de calcio micronizado de mármol que tenía un tamaño de partícula de 3.5, 9 y 20 µm, respectivamente, y un contenido insoluble en HCl del 0.2% en peso, con base en el peso total del carbonato de calcio.

10 Los resultados recopilados en la Tabla 2 muestran que, tras un periodo de asentamiento, la turbidez del agua remineralizada con un mayor tamaño de partícula, es decir 20 µm, tenía un menor valor de turbidez en comparación con la turbidez del agua remineralizada con menor tamaño de partícula, es decir 3,5 µm.

Tabla 2

Tamaño de partícula promedio (µm)	Turbidez (UNT)		Alcalinidad de muestra reciente (mg/l de CaCO <sub>3</sub> )
	Muestra reciente	Muestra asentada	
3.5	32	0.45	120
9	22	0.36	78
20	27	0.31	67

**Ejemplos a escala piloto**

15 Los siguientes ejemplos a escala piloto muestran diferentes ensayos de remineralización utilizando suspensiones espesas acuosas de carbonato de calcio. El carbonato de calcio micronizado usado para preparar todas las suspensiones espesas para estas pruebas piloto es una piedra caliza que tienen un tamaño de partícula de 3 µm y un contenido insoluble de HCl de 0.1% en peso con base en el peso total del carbonato de calcio. Corresponde con el carbonato de calcio utilizado para preparar la suspensión C presentado en el ejemplo 3. El contenido de sólidos de las suspensiones espesas acuosas de carbonato de calcio micronizado era de entre 0.4 y 20% en peso, con base en el peso del carbonato de calcio micronizado. El medio acuoso usado para preparar las suspensiones de carbonato de calcio micronizado era agua que se obtuvo por ósmosis reversa. En lo que sigue, los términos "agua obtenida por ósmosis reversa" y "agua de ósmosis reversa o de RO" se utilizarán como sinónimos.

20 En las pruebas a escala piloto se agregaron o bien 50 o 100 mg/l de CaCO<sub>3</sub> al agua que se obtuvo por ósmosis reversa (RO).

25 Todas las pruebas a escala piloto se llevaron a cabo en un mezclador Flashmix FM30 de Silverson a presión normal y mediante el uso de una cantidad en exceso de CO<sub>2</sub>. Las pruebas de remineralización se realizaron bien sea en un modo por lotes o un modo continuo, tanto usando un tanque regulador de 400 L. Las suspensiones espesas de carbonato de calcio micronizado se agregaron por medio de una válvula de alimentación para el modo por lotes y por medio de una bomba peristáltica para los ensayos de remineralización en línea.

30 La disolución del carbonato de calcio dosificado en el agua acidificada con CO<sub>2</sub> se estudió mediante la medición de pH, la conductividad y turbidez. De acuerdo con la disminución de la turbidez y el incremento de la conductividad, fue posible evaluar el tiempo de reacción para la disolución completa de CaCO<sub>3</sub> bajo condiciones específicas, por ejemplo, la calidad inicial de agua de RO, la temperatura, el exceso de CO<sub>2</sub>, con el fin de cumplir con la calidad del agua objetivo, por ejemplo una turbidez de <1 UNT.

1. Pruebas por lote para una remineralización de agua de RO mediante la adición de 100 mg/l de CaCO<sub>3</sub> y diferentes ratas de flujo de CO<sub>2</sub>

5 Se llevaron a cabo inicialmente pruebas de remineralización utilizando suspensiones espesas micronizadas de CaCO<sub>3</sub> en un modo por lotes con el fin de estudiar la disolución de CaCO<sub>3</sub> en función de la dosificación de CO<sub>2</sub>. Esto se realizó mediante el bombeo de los 400 L de agua obtenida por ósmosis reversa y contenida en el tanque regulador a través del mezclador en un bucle cerrado. Para estas pruebas por lotes la dosificación de CO<sub>2</sub> tuvo lugar antes de la bomba y el mezclador Flashmix, a una presión de CO<sub>2</sub> de 4.5 bares y durante un período definido de tiempo.

10 La suspensión de carbonato cálcico micronizado utilizada tenía un contenido de sólidos de 20% en peso, con base en el peso del carbonato de calcio micronizado. Para la remineralización se agregaron 100 mg/L de CaCO<sub>3</sub> al agua de RO a la vez a través de la válvula de alimentación.

El agua de RO utilizada para estas pruebas tenía los siguientes parámetros:

	pH	Temperatura (°C)	Conductividad (µS/cm)
Agua de RO	5.4-5.5	25	14 - 18

15 La conductividad, el pH y la turbidez se midieron para cada prueba y se observó un comportamiento exponencial para una disminución de la turbidez y un incremento de la conductividad. Por consiguiente, el tiempo de reacción requerido para alcanzar la turbidez objetivo pudo ser estimado para cada dosificación de CO<sub>2</sub>.

20 La Tabla 3 muestra los diferentes resultados obtenidos para la remineralización de agua de RO mediante la adición de 100 mg/L de CaCO<sub>3</sub> utilizando una suspensión de carbonato cálcico micronizado que tenía un contenido de sólidos de 20% en peso, con base en el peso de carbonato cálcico micronizado, y usando diferentes ratas de flujo de CO<sub>2</sub>.

Tabla 3

Ensayo No.	Rata de flujo de CO <sub>2</sub> (mL/min)	Tiempo estimado requerido para alcanzar la turbidez estimada (min)		
		< 2 UNT	< 1 UNT	< 0.5 UNT
1	2	79	93	106
2	4	52	61	70
3	8	32	38	43

25 Como puede ser tomado de la Tabla 3, y como se esperaba, la disolución de CaCO<sub>3</sub> puede acelerarse mediante el uso de un exceso de CO<sub>2</sub> dosificado durante los ensayos. Una turbidez de <1 UNT pudo lograrse después de aproximadamente 90 min, 60 min y 40 min para una rata de flujo de CO<sub>2</sub> de 2, 4 y 8 L/min, respectivamente.

2. Pruebas por lote para una remineralización de agua de RO mediante la adición de 50 mg/L de CaCO<sub>3</sub> y diferentes tiempos de dosificación de CO<sub>2</sub>

Todas las pruebas se realizaron utilizando el mismo protocolo que las pruebas a escala piloto descritas anteriores; sin embargo, la concentración de calcio agregada en el agua de RO tratada fue de 50 mg/L en lugar de 100 mg/L.

30 Para estas pruebas por lotes, la posición donde se introdujo el CO<sub>2</sub> en el sistema era el mismo que durante las pruebas anteriores, por ejemplo, antes de la bomba y el mezclador Flashmix. La dosificación de CO<sub>2</sub> se realizó a 4.5 bares y con un flujo constante de 4 L/h para diferentes tiempos de dosificación. Todas las pruebas se llevaron a cabo utilizando una cantidad en exceso de CO<sub>2</sub> con respecto a la cantidad de CaCO<sub>3</sub> agregada al agua de RO. Se observó el impacto del tiempo de dosificación de CO<sub>2</sub>, esto es, el exceso de CO<sub>2</sub> dosificado durante estas pruebas por lotes, en la turbidez del agua remineralizada.

35 La Tabla 4 muestra los diferentes resultados obtenidos para la remineralización de agua de RO mediante la adición de 50 mg/L de CaCO<sub>3</sub> utilizando una suspensión de carbonato cálcico micronizado que tenía un contenido de sólidos de 10% en peso, con base en el peso de carbonato cálcico micronizado, y usando una rata de flujo de CO<sub>2</sub> constante de 4 L/h para diferentes tiempos de dosificación.

Tabla 4

Ensayo No.	Tiempo de dosificación de CO <sub>2</sub> (min)	Tiempo estimado requerido para lograr la turbidez requerida (min)	
		< 2 UNT	< 1 UNT
4	Dosificación continua de CO <sub>2</sub>	28	39
5	10 min de dosificación de CO <sub>2</sub>	55	87
6	20 min de dosificación de CO <sub>2</sub>	33	56
7	10 min de predosificación de CO <sub>2</sub> (dosificación total de CO <sub>2</sub> = 20 min)	44	-

5 En el ensayo 4, el CO<sub>2</sub> se dosificó continuamente al agua de RO, mientras que en los ensayos 5 y 6 el CO<sub>2</sub> se dosificó solamente durante los primeros 10 o 20 minutos del ensayo. En el ensayo 7, el agua de RO se trató primero durante 10 minutos con el CO<sub>2</sub> sin ninguna adición de CaCO<sub>3</sub>. Luego, se agregó la suspensión de calcio micronizado y además se dosificó CO<sub>2</sub> durante 10 minutos adicionales del ensayo.

10 Se observó para el ensayo 7 que la predosificación de CO<sub>2</sub> presentó una más rápida disminución de turbidez en el inicio del experimento en comparación con los otros ensayos 4 a 6, cuando no se llevó a cabo predosificación. Sin embargo, no se observaron mejoras adicionales cuando se detuvo la dosificación de CO<sub>2</sub>. Además, el tiempo requerido para alcanzar el nivel objetivo de turbidez fue proporcional al tiempo de dosificación de CO<sub>2</sub> para todos los ensayos. El ensayo más rápido fue el ensayo 4, donde se agregó continuamente el CO<sub>2</sub>. El ensayo más lento fue el ensayo 5, donde el CO<sub>2</sub> se dosificó durante 10 minutos, solamente. Se pudo lograr una turbidez de <1 UNT después de aproximadamente 90 min, 60 min y 40 min durante un tiempo de dosificación de CO<sub>2</sub> de 10 min, 20 min y continuo, respectivamente.

15 Pruebas de remineralización continua para una remineralización de agua de RO mediante la adición de 50 mg/L de CaCO<sub>3</sub> y con diferentes ratas de flujo de CO<sub>2</sub>

Usando la misma configuración descrita anteriormente con respecto a las pruebas por lotes, se realizaron dos ensayos de remineralización en un modo continuo.

20 Con el fin de iniciar los ensayos en modo continuo, en primer lugar un lote de 400 L de agua de RO fue tratado inicialmente con 50 mg/L de CaCO<sub>3</sub> mediante el uso de una suspensión de carbonato cálcico micronizado que tenía un contenido de sólidos de 10% en peso, con base en el peso de carbonato cálcico micronizado. Cuando la turbidez alcanzó un valor de <1 UNT se inició el proceso de remineralización continua mediante la adición de una suspensión acuosa de carbonato cálcico micronizado que tenía un contenido de sólidos de 0.4% en peso, con base en el peso del carbonato cálcico micronizado, en 0.15 L/min por el medio de una bomba peristáltica. El agua remineralizada fue producida a una rata de 12 L/min.

25 Hay que subrayar que n ensayos de remineralización continuos presentaron condiciones muy estables con respecto a pH, conductividad y turbidez durante un período superior a una hora.

30 La Tabla 5 muestra los resultados para la remineralización continua de agua de RO mediante la adición de 50 mg/L de CaCO<sub>3</sub> utilizando una suspensión de carbonato cálcico micronizado que tenía un contenido de sólidos de 0.4% en peso, con base en el peso del carbonato de calcio micronizado, y usando diferentes ratas de flujo de CO<sub>2</sub>.

Tabla 5

Ensayo No.	Rata de flujo de CO <sub>2</sub> (mL/min)	Calidad del agua final del agua tratada		
		pH	Conductividad (µS/cm)	Turbidez (UTN)
8	2	5.5	65	12
9	4	5.2	55	4

**REIVINDICACIONES**

1. Proceso para la remineralización de agua que comprende las etapas de:
- a) proporcionar agua de alimentación, y
  - b) inyectar dióxido de carbono gaseoso y una suspensión en el agua de alimentación, en donde la suspensión comprende carbonato de calcio micronizado y en donde el carbonato de calcio tiene un tamaño de partícula de 0.1 a 100 µm y un contenido insoluble de HCl desde 0.05 hasta 1.5% en peso con base en el peso total del carbonato de calcio micronizado.
2. El proceso de la reivindicación 1, en donde la concentración de carbonato de calcio en la suspensión es desde 0.05 hasta 40% en peso, desde 1 hasta 25% en peso, desde 2 hasta 20% en peso, preferiblemente desde 3 hasta 15% en peso, y más preferiblemente desde 5 hasta 10% en peso con base en el peso total de la suspensión, o la concentración de carbonato de calcio en la suspensión es desde 10 hasta 40% en peso, desde 15 hasta 30% en peso, o desde 20 hasta 25% en peso con base en el peso total de la suspensión.
3. El proceso de cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde el carbonato de calcio tiene un tamaño de partícula desde 0.5 hasta 50 µm, desde 1 hasta 15 µm, preferiblemente desde 2 hasta 10 µm, más preferiblemente desde 3 hasta 5 µm.
4. El proceso de cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde el carbonato de calcio tiene un contenido insoluble de HCl desde 0.1 hasta 0.6% en peso con base en el peso total del carbonato de calcio micronizado.
5. El proceso de cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde el carbonato de calcio es un carbonato de calcio molido, carbonato de calcio modificado, en donde el carbonato de calcio modificado es un carbonato de calcio molido o precipitado con una superficie y/o modificación estructural interna, o carbonato de calcio precipitado, o mezclas de los mismos.
6. El proceso de cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde la suspensión comprende minerales adicionales que contienen magnesio, potasio o sodio, preferiblemente carbonato de magnesio, carbonato de calcio y magnesio, por ejemplo, piedra caliza dolomítica, dolomita calcarea, dolomita o dolomita a medio quemar, óxido de magnesio tal como dolomita quemada, sulfato de magnesio, hidrógeno carbonato de potasio, o hidrógeno carbonato de sodio.
7. El proceso de la reivindicación 6, en donde el período de tiempo entre la preparación de la suspensión y la inyección de la suspensión es menos de 48 horas, menos de 24 horas, menos de 12 horas, menos de 5 horas, menos de 2 horas o menos de 1 hora.
8. El proceso de cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde el agua remineralizada obtenida tiene una concentración de calcio como carbonato de calcio 15 a 200 mg/l, preferiblemente de 50 a 150 mg/l, y lo más preferido de 100 a 125 mg/l, o de 15 a 100 mg/l, preferiblemente de 20 a 80 mg/l, y más preferiblemente de 40 a 60 mg/l.
9. El proceso de cualquiera de las reivindicaciones 6 a 8, en donde el agua remineralizada obtenida tiene una concentración de magnesio de 5 a 25 mg/l, preferiblemente de 5 a 15 mg/l, y lo más preferido de 8 a 12 mg/l.
10. El proceso de cualquier reivindicación de las reivindicaciones anteriores, en donde el agua remineralizada tiene un valor de turbidez menor que 5.0 UNT, menor que 1.0 NTU, menor que 0.5 NTU, o menor que 0.3 NTU.
11. El proceso de cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde el agua remineralizada tiene un índice de saturación de Langlier de -1 a 2, preferiblemente de -0.5 a 0.5, y lo más preferiblemente de -0.2 a 0.2.
12. El proceso de cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde el agua remineralizada tiene un Índice de Densidad de Sedimentación  $IDS_{15}$  inferior a 5, preferiblemente inferior a 4, y lo más preferido inferior a 3.
13. El proceso de cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde el agua remineralizada tiene un Índice de Incrustación de Membrana  $IIM_{0.45}$  inferior a 4, preferiblemente inferior a 2.5, y lo más preferido inferior a 2.
14. El proceso de cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde el agua de alimentación es agua de mar desalinizada, agua salobre o salmuera, agua residual tratada o agua natural tal como agua subterránea, agua de superficie o de lluvia.
15. El proceso de cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde el dióxido de carbono se inyecta en una primera etapa, y la suspensión se inyecta subsecuentemente en una segunda etapa, o en donde la suspensión se

inyecta en una primera etapa y el dióxido de carbono se inyecta subsecuentemente en una segunda etapa, o en donde el dióxido de carbono y la suspensión se inyectan simultáneamente.

16. El proceso de cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde el dióxido de carbono se inyecta en el agua utilizada para la preparación de la suspensión.
- 5 17. El proceso de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde el agua remineralizada se mezcla con agua de alimentación.
18. El proceso de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde el proceso comprende además una etapa de eliminación de partículas.
- 10 19. El proceso de cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde el proceso comprende además las etapas de:
- c) medir un valor de parámetro del agua remineralizada, en donde el parámetro se selecciona del grupo que comprende la alcalinidad, conductividad, concentración de calcio, pH, sólidos disueltos totales, y la turbidez del agua remineralizada,
- d) comparar el valor del parámetro medido con un valor de parámetro predeterminado, y
- 15 e) proporcionar la cantidad de dióxido de carbono inyectado y/o suspensión sobre la base de la diferencia entre la medida y el valor de parámetro predeterminado.
20. El proceso de la reivindicación 19, en donde el valor de parámetro predeterminado es un valor de pH, en donde el valor de pH es de 5.5 a 9, preferiblemente de 7 a 8.5.
- 20 21. Uso de un carbonato de calcio micronizado en forma de una suspensión para la remineralización de agua, comprendiendo la remineralización una etapa de inyectar dióxido de carbono gaseoso en el agua de alimentación, en donde el carbonato de calcio tiene un tamaño de partícula de 0.1 a 100  $\mu\text{m}$  y un contenido insoluble de HCl de 0.05 a 1.5% en peso con base en el peso total del carbonato de calcio micronizado.
- 25 22. El uso de la reivindicación 21, en donde el agua remineralizada se selecciona de agua potable, agua de recreación tal como agua para piscinas, aguas industrial para aplicaciones de proceso, agua de riego o agua para la recarga de acuíferos o pozos.

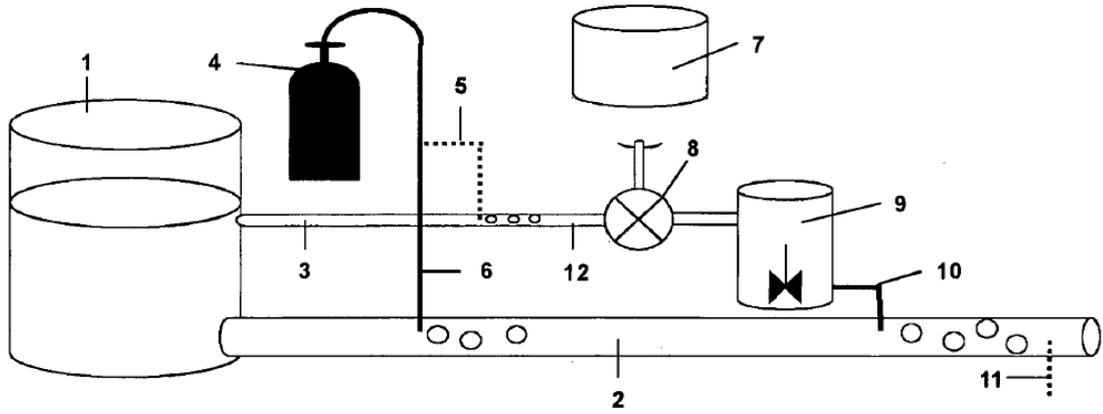


Figura 1