

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 687 297**

51 Int. Cl.:

A23L 2/00	(2006.01)	A61Q 19/00	(2006.01)
A61K 33/00	(2006.01)	A61K 8/19	(2006.01)
A61K 8/25	(2006.01)	C02F 1/469	(2006.01)
C02F 1/00	(2006.01)	A23L 2/78	(2006.01)
C02F 1/44	(2006.01)	C02F 1/68	(2006.01)
C02F 1/46	(2006.01)	C02F 9/00	(2006.01)
A23L 2/52	(2006.01)	C02F 103/02	(2006.01)
A23L 2/74	(2006.01)		
A61Q 3/00	(2006.01)		
A61Q 5/00	(2006.01)		

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **23.07.2010 PCT/EP2010/060730**
- 87 Fecha y número de publicación internacional: **27.01.2011 WO11009950**
- 96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **23.07.2010 E 10737552 (9)**
- 97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **13.06.2018 EP 2456327**

54 Título: **Procedimiento para producir agua enriquecida con ácido ortosilícico natural, agua sin gas obtenida mediante dicho procedimiento, utilización cosmética y terapéutica de dicha agua**

30 Prioridad:
23.07.2009 WO PCT/IB2009/054216

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
24.10.2018

73 Titular/es:
**SOCIETE ANONYME DES EAUX MINERALES D'EVIAN, "S.A.E.M.E" (100.0%)
22 Avenue des Sources
74500 Evian Les Bains, FR**

72 Inventor/es:
**DI GIOIA, LODOVICO y
JACQUEMONT, MARLÈNE**

74 Agente/Representante:
CURELL AGUILÁ, Mireia

ES 2 687 297 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

Procedimiento para producir agua enriquecida con ácido ortosilícico natural, agua sin gas obtenida mediante dicho procedimiento, utilización cosmética y terapéutica de dicha agua.

5 La invención se refiere a un método para obtener agua potable sin gas con un contenido aumentado de ácido ortosilícico biodisponible natural y contenido sustancialmente inalterado de iones minerales disueltos valiosos. Dicha agua potable puede utilizarse para producir bebidas.

10 En las últimas dos décadas, muchos estudios han demostrado los beneficios para la salud de beber agua natural. Los principales minerales disueltos en el agua son calcio, magnesio, sodio, potasio, bicarbonato, sulfato, cloruro, nitrato, fluoruro y silicio. La mayoría de ellos también presentan algunas funciones específicas en el cuerpo humano tales como el calcio para los huesos y la tensión arterial.

15 Más particularmente, el silicio es un mineral que se definió recientemente como esencial en seres humanos, al participar en el metabolismo normal de animales superiores (Carlisle EM. Silicon. En: O'Dell B. L., Sunde RA, eds. Handbook of nutritionally essential mineral elements. New York Basel: Marcel Dekker, Inc. 1997:603-618).

20 A través de su acción sobre el colágeno y las fibras elásticas, se ha demostrado que el silicio desempeña un papel clave en la fisiología de tejidos conjuntivos, y como consecuencia en las funciones de diversos órganos, es decir principalmente tegumento, huesos y vasos sanguíneos (Carlisle EM. *In vivo* requirement for silicon in articular cartilage and connective tissue formation in the chick. Journal of Nutrition 106, 478-484, 1976; Carlisle EM. Biochemical and morphological changes associated with long bone abnormalities in silicon deficiency. Journal of Nutrition 110, 1046-1056, 1980; Calomme MR. & Berghe DA. Supplementation of calves with stabilized orthosilicic acid. Effect on the Si, Ca, Mg, and P concentrations in serum and the collagen concentration in skin and cartilage. Biological Trace Element Research 56, 153-165, 1997). Mejora la fuerza y el brillo del cabello; la calidad, resistencia de las uñas y la protección frente a infecciones. En la piel, se ha mostrado que el silicio aumenta la resistencia, elasticidad e hidratación; así como protege la piel frente a enfermedades gracias a sus propiedades antiinflamatorias; y finalmente previene arrugas a través de su acción sobre la síntesis del colágeno.

30 Algunos autores consideran que el silicio es esencial para la formación de la matriz ósea y la mineralización ósea (Carlisle EM. Silicon as an essential trace element in animal nutrition. Ciba Foundation symposium 121, 123-139, 1986). Muchos estudios sobre suplementación han mostrado un volumen óseo aumentado en mujeres que padecen osteoporosis o que presentan un déficit del peso de los huesos. Un estudio epidemiológico ha mostrado una mejor osificación de la cadera en hombres que consumen más silicio y en mujeres premenopáusicas (Jugdaohsingh, the journal of Nutrition, Health & Aging, vol. 11, nº 2, 2007, páginas 99-110).

40 Varios estudios han revelado la actividad antiaterosclerótica del silicio en animales y seres humanos (Schwarz K., Ricci BA., Punsar S. & Karvonen MJ. Inverse relation of silicon in drinking water and atherosclerosis in Finland. Lancet 1, 538-539, 1977; Schwarz K. Silicon, fibre, and atherosclerosis. Lancet 1, 454-457, 1977; Loeper J., Goy L., Rozensztajn L. & Fragny M. The antiatheromatous action of silicon. Atherosclerosis 33, 397-408, 1979). Aunque el mecanismo todavía sigue siendo impreciso y se necesita estudiarlo adicionalmente, algunos autores sospechan que esta propiedad está vinculada con la conservación, mediante el silicio, de la estructura de la matriz endotelial y la función en estados ateromatosis.

45 Además de estos efectos, el silicio se reconoce como tratamiento para la hiperacidez gástrica. También se ha considerado que el silicio previene la toxicidad del aluminio secuestrando aluminio y por tanto previniendo el deterioro cognitivo y enfermedades neurodegenerativas tales como la enfermedad de Alzheimer (Exley *et al.*, Journal of Alzheimer's Disease, 10, 2006, páginas 17-24, Gillette-Guyonnet *et al.*, Am J Clin Nutr, 2005, 81, páginas 897-902).

50 El silicio (Si) es muy abundante en la tierra, constituyendo hasta el 26% de la corteza terrestre en peso, y está presente en casi todas las rocas minerales, arenas y arcillas de la tierra. Existe como dióxido de silicio, también denominado sílice [SiO₂], en un estado polimerizado amorfo (sílice coloidal) o cristalino (cuarzo), pero también en forma de silicatos SiO₄⁴⁻ asociados en las rocas con los cationes K⁺, Na⁺, Ca⁺⁺, Mg⁺⁺, Fe⁺⁺, Fe³⁺, Al³⁺. La disolución de rocas que contienen silicio es muy lenta y produce ácido ortosilícico (OSA), cuya fórmula química es [Si(OH)₄], presentando una solubilidad en agua de aproximadamente 120 mg/l a 25°C y pH neutro. Esta solubilidad se expresa convencionalmente en miligramos de SiO₂ por litro de agua, y se adopta este convenio en la siguiente descripción (el factor de conversión es: 1 mg/l de SiO₂ = 1,6 mg/l de Si(OH)₄). OSA es un diácido débil (pK_{a1} = 9,6 y pK_{a2} = 12,6) que está en forma no disociada a pH neutro o ácido. El ácido ortosilícico (OSA) presenta una buena biodisponibilidad. Se absorbe fácilmente hasta > 50% de la cantidad ingerida total (Martin, The Journal of Nutrition, Health & Aging, vol. 11, nº 2, 2007, páginas 94-98).

65 Aunque el OSA está muy biodisponible, su concentración depende del tipo de agua. Las aguas más ricas son aguas subterráneas procedentes de piedras volcánicas que contienen de 30 a más de 100 mg/l de OSA (Volvic 32 mg/l y residuo seco: 134 mg/l, Fiji 85 mg/l y residuo seco: 218 mg/l) y aguas termominerales que ofrecen de 50 a más de 100 mg/l debido a la solubilidad superior de OSA a temperatura superior. Pero estas aguas potables

naturales son poco frecuentes. Además, las aguas subterráneas que contienen más de 50 mg/l de OSA son incluso menos frecuentes y sólo contienen una baja cantidad de otros minerales solubles valiosos. Otra desventaja es que las aguas termominerales, por el contrario, presentan generalmente un contenido de minerales demasiado alto. Su alto contenido de minerales, y en particular sodio, hace que no estén adaptadas para un consumo habitual como agua potable porque los riñones y la tensión arterial podrían verse afectados. Por el contrario, las aguas subterráneas procedentes de piedras intrusivas presentan concentraciones inferiores de OSA (de 10 a 30 mg/l), similares a las aguas superficiales y aguas subterráneas de acuíferos poco profundos (<10 mg/l) o también al agua del mar (de 1 a 3 mg/l).

Resultan de especial interés las aguas naturales con un contenido de minerales bajo o medio (menos de 1100 mg/l de minerales disueltos y en particular menos de 20 mg/l de sodio) y con un alto contenido de silicio.

En la actualidad, las aguas y bebidas funcionales están consiguiendo cada vez más interés por parte de los consumidores porque pueden ayudar a prevenir problemas de salud a largo plazo. Cuando tienen la elección, los consumidores siempre prefieren los productos naturales y aquellos con un contenido bajo/nulo en calorías, como el agua.

Diferentes empresas intentan desarrollar un procedimiento para producir agua enriquecida con silicio.

Ya se han propuesto algunas preparaciones biológicas que comprenden OSA y un polipéptido como agente complejante/estabilizante, tal como por ejemplo en los documentos EP 1 092 728, US 20060165815 o CN 101279737. Estas preparaciones biológicas contienen colina y otras sustancias con un efecto de osmolito, tales como gelatina animal, betaína, glicina o taurina, y también algunos azúcares. Son solubles y pueden disolverse en agua potable. Presentan el inconveniente de no ser naturales debido a las moléculas orgánicas añadidas que también pueden aportar calorías junto con OSA. Un ejemplo de producto comercial es BioSil™, que contiene el 2% de silicio, el 47% de cloruro de colina, el 33% de glicerina y el 18% de agua destilada.

En el documento JP 200626619, el autor propuso un agua mineral con ácido metasilícico añadido (H_2SiO_3). Esta agua se produce disolviendo algunas piedras especiales con un tratamiento térmico hasta 90-100°C y esperando 1 hora como mínimo. Los principales inconvenientes de esta invención son la cantidad de energía requerida para someter el agua a ebullición durante tanto tiempo y la dificultad de producir tal agua a escala industrial.

Otra posible manera de añadir silicio a agua es disolviendo sales de silicato solubles, pero el pH del agua fortificada es alcalino y requerirá una neutralización con ácido.

Una segunda solución posible es la adición de gel de silicio coloidal en agua en forma de moléculas poliméricas insolubles, grandes, de ácido silícico suspendidas en agua. Sin embargo, estas moléculas poliméricas no pueden absorberse directamente a través de la pared estomacal y por tanto presentan una baja tasa de absorción. Además, las sales de silicato y el gel de silicio coloidal no son componentes naturales.

Un procedimiento bien conocido para concentrar sustancias disueltas en agua es la ósmosis inversa (RO), en la que el flujo de agua de alimentación se separa para dar un permeado, agua casi pura, y un retenido, que contiene casi todas las sustancias inicialmente disueltas. Por ejemplo Koprivnjak *et al.* (Water Research 40:3385-3392, 2006) propusieron RO como método eficaz para la concentración de materia orgánica natural a partir de aguas de río dulces. Se aplicó un tratamiento previo utilizando una resina de intercambio catiónico saturada con H^+ para retirar algunos iones que pueden precipitar durante el procedimiento de RO, tales como calcio y bicarbonato formando $CaCO_3$ insoluble. Los autores consideraron que la concentración conjunta de sustancias inorgánicas restantes y sílice era un efecto negativo de la RO. Por ese motivo, se asoció un procedimiento de electrodiálisis (ED) a la RO, con el fin de retirar de manera no específica iones del retenido. Con el fin de retirar parcialmente la sílice, se ajustó el pH a 9,2 - 9,6, antes de la ED, de modo que el OSA se convierte parcialmente en su base conjugada $H_3SiO_4^-$. Un equipo de electrodiálisis comprende un cátodo en un extremo terminal, un ánodo en el extremo opuesto y, entre medias, pares alternos de membranas de calidad estándar selectivas de cationes (para entenderlo, permeables para cationes) y selectivas de aniones (para entenderlo, permeables para aniones) formando una pluralidad de cámaras de dilución y de concentración. Evidentemente, y en particular debido a las membranas de ED utilizadas, no se consigue el objetivo de lograr un agua potable natural con un contenido de minerales valiosos sustancialmente inalterado. Vetter *et al.* (Separation and Purification Technology 56:383-387, 2007) utilizaron la misma asociación para aislar materia orgánica disuelta a partir de agua del mar, sin ninguna referencia al silicio o al comportamiento de iones individuales.

Otra asociación apropiada de RO y ED se describe en el documento FR 2 818 267, en el que se describe un procedimiento para agotar cationes monovalentes a partir de agua. Los inventores observaron que la selectividad de la electrodiálisis entre los cationes monovalentes y los cationes divalentes puede aumentar en proporción a medida que aumenta la concentración iónica del agua que va a tratarse. Sin embargo, el alcance de la invención no era aumentar el contenido de silicio y no se menciona el silicio. Además, no se seleccionó específicamente el tipo de membranas de ED utilizadas. Por tanto, con el procedimiento descrito en esta solicitud de patente no era posible obtener un agua potable natural con una cantidad superior de silicio y con un contenido de minerales

valiosos sustancialmente inalterado.

5 En el documento US 20080277341 se describe otra asociación de RO y ED, con el propósito de preparar agua mineral y agua de permeado de RO a partir de agua del mar profunda. Los inventores obtienen un agua mineral con un alto contenido de minerales (ejemplo: ion sodio 200-5000 mg/l). No se mencionan el contenido final y el comportamiento del silicio en el procedimiento. Además, no se seleccionó específicamente el tipo de membranas de ED utilizadas. Turek (Desalination 153:377-381, 2002) propuso una electrodiálisis en dos etapas de agua del mar, estando la primera etapa equipada con una pila que sólo contiene membranas permeables a iones univalentes y la segunda etapa con una pila que sólo contiene membranas de calidad estándar, con el fin de evitar el yeso (CaSO_4). Por tanto, ninguna de las pilas contiene al mismo tiempo membranas permeables univalentes y membranas de calidad estándar. Además, este procedimiento no describe la utilización de RO y no se menciona el silicio.

15 El documento EP 0 391 318 describe una manera de recuperar algunos minerales a partir de agua del mar, añadiendo productos químicos tales como ácido y agentes alcalinos, y tratamientos térmicos/de filtración para retirar la mayor parte del agua. Después deben diluirse estos minerales en agua para su utilización final en preparaciones de alimentos y bebidas. El inventor de este documento ni describe la composición inicial del agua del mar ni la del agua de dilución. El procedimiento de este documento modificará algunos iones minerales valiosos tales como sulfato, bicarbonato, sodio y calcio debido a la adición de ácido sulfúrico (sulfato añadido + descomposición de bicarbonato para dar dióxido de carbono) e hidróxido de sodio (sodio añadido) o hidróxido de sodio + óxido de calcio (también calcio añadido).

25 Además, debe destacarse que el agua del mar presenta un nivel muy bajo de silicio (de 1 a 2 mg de SiO_2/l). El agua iónica descrita en este documento se obtiene disolviendo precipitado (b) en agua a aproximadamente 100 g/l (disolución madre). Después se diluye esta disolución madre 20 veces hasta alcanzar pH 10. La OMS considera que el agua a pH 10 no es potable. La disolución madre se diluye 100 veces hasta alcanzar un pH 8,3, aceptable para agua potable (véase el ejemplo 2 en este documento). Teniendo en cuenta un contenido de Si de 697 mg/kg en (b) (véase la tabla 1), y suponiendo una densidad de (b) próxima a 1, el agua iónica contendrá aproximadamente 70 mg de Si/l, y la preparación del ejemplo 2 tan sólo 0,7 mg de Si/l tras dilución de 100 veces. Esto es igual a 1,5 mg de SiO_2/l , es decir exactamente el contenido inicial en el agua del mar. Por tanto, el procedimiento descrito en este documento no proporciona un agua enriquecida en sílice. Además, el procedimiento descrito en este documento presenta los siguientes inconvenientes:

35 Sólo puede utilizarse con agua del mar.

Sólo es un procedimiento discontinuo que requiere tiempos de contacto muy prolongados (2-3 horas, después 10 horas).

40 Requiere la adición de productos químicos (productos químicos peligrosos tales como álcalis y ácidos fuertes que suponen riesgo de manipulación) y el pH del agua se modifica sustancialmente.

45 Resulta complejo y difícil de llevar a cabo a escala industrial, con las etapas de calentamiento de agua (caro en cuanto a energía) y obtención de precipitados (difícil de gestionar para plantas industriales, especialmente para limpiar).

50 El documento EP 1 092 728 describe un complejo que contiene ácido ortosilícico que puede utilizarse en agua con el fin de enriquecer agua con ácido ortosilícico. Sin embargo, el complejo contiene polipéptidos que están por tanto presentes en el agua enriquecida obtenida utilizando este complejo. Por tanto, el agua no contiene sólo ácido ortosilícico natural que se origina del agua inicial, sino que contiene otros componentes dado que el ácido ortosilícico presenta una fuente exógena (tal como tetraalcoxisilano). Por tanto, el agua obtenida utilizando este complejo también debe contener conservantes para mantenerla microbiológicamente segura durante el almacenamiento y debe almacenarse en frío dado que las moléculas orgánicas añadidas pueden constituir una fuente de alimento para bacterias patógenas.

55 Por tanto, el complejo descrito en el documento EP 1 092 728, cuando se añade a agua, no proporciona una disolución de hidratación libre de calorías, libre de conservantes, libre de alérgenos, de pH neutro y totalmente natural.

60 Por tanto, un objetivo de la presente invención es encontrar un procedimiento nuevo para preparar un agua o una bebida con un contenido aumentado de silicio natural soluble y biodisponible en forma de ácido ortosilícico, sin modificar sustancialmente el contenido de iones minerales valiosos disueltos tales como calcio, magnesio, sodio, potasio, bicarbonato, sulfato o cloruro.

65 Uno de los aspectos de la invención es proponer un nuevo procedimiento para preparar un agua o una bebida que conserve el sabor ligero y las propiedades de hidratación del agua, al tiempo que aporte beneficios adicionales de alto nivel de OSA.

La presente invención se refiere a un procedimiento para producir agua enriquecida con ácido ortosilícico natural, comprendiendo dicho procedimiento por lo menos las siguientes etapas sucesivas:

- 5 a. una etapa de ósmosis inversa de un agua bruta que contiene una baja cantidad de ácido ortosilícico con el fin de obtener un retenido;
- 10 b. una etapa de electrodiálisis del retenido obtenido en la etapa a con una pila de electrodiálisis que comprende pares alternos de membranas selectivas de cationes y membranas selectivas de aniones, seleccionándose dichas membranas selectivas de cationes y membranas selectivas de aniones del grupo de membranas selectivas monovalentes y membranas de calidad estándar, de manera que la pila contiene por lo menos una membrana de calidad estándar de cationes, una membrana selectiva monovalente de cationes, una membrana de calidad estándar de aniones y una membrana selectiva monovalente de aniones;
- 15 c. una etapa de recuperación de un agua final que presenta un contenido en peso de ácido ortosilícico igual a por lo menos el 150%, particularmente por lo menos el 200%, más particularmente por lo menos el 300% del contenido en peso de ácido ortosilícico del agua bruta, y un contenido en peso de iones minerales valiosos disueltos comprendido en el intervalo del 70 al 130%, particularmente en el intervalo del 80 al 120%, más particularmente en el intervalo del 90 al 110% del contenido en peso de iones minerales valiosos disueltos del agua bruta. El término "ácido ortosilícico natural" tal como se utiliza en la presente memoria, designa ácido ortosilícico presente de manera natural en agua, cuya fórmula química es $[\text{Si}(\text{OH})_4]$, y que presenta una solubilidad en agua de aproximadamente 120 mg/l a 25°C y a pH neutro.

25 El procedimiento según la presente invención presenta por lo menos una de las siguientes ventajas:

Puede utilizarse con cualquier tipo de agua, incluyendo con agua diferente del agua del mar;

Puede utilizarse en un modo continuo;

No requiere la adición de productos químicos (productos químicos peligrosos tales como álcalis y ácidos fuertes que suponen riesgo de manipulación), sólo se recuperan minerales naturales en el agua final y el pH del agua no se modifica sustancialmente;

35 El contenido inicial de minerales y el contenido aumentado de silicio pueden recuperarse en el agua final obtenida mediante este procedimiento sin añadir productos químicos y sin añadir agua de dilución;

El procedimiento es sencillo y fácil de llevar a cabo a escala industrial.

40 La expresión "iones minerales valiosos disueltos" tal como se utiliza en la presente memoria, designa los principales minerales disueltos en agua que presentan una función específica en el cuerpo humano, que son en particular iones de calcio, magnesio, sodio, potasio, bicarbonato, sulfato y cloruro.

45 La expresión "agua bruta que contiene una baja cantidad de ácido ortosilícico" tal como se utiliza en la presente memoria, designa agua bruta que contiene menos de la cantidad de ácido ortosilícico deseada, en particular menos de 45 mg/l de SiO_2 , más particularmente menos de 40 mg/l de SiO_2 , todavía más particularmente menos de 30 mg/l de SiO_2 , de manera adicional todavía más particularmente menos de 20 mg/l de SiO_2 , por ejemplo menos de 10 mg/l de SiO_2 .

50 El término "pila de electrodiálisis" anteriormente mencionado no designa las membranas selectivas de cationes presentes entre cada electrodo y la pila de electrodiálisis con el fin de aislar el electrolito. La adición de por lo menos una membrana selectiva de cationes en cada extremo se conoce bien en la técnica anterior.

55 En una forma de realización particular, el procedimiento comprende una etapa preliminar α) antes de la etapa a) que consiste en la descontaminación del agua bruta con el fin de obtener un agua bruta descontaminada y en que la etapa a) se lleva a cabo con el agua bruta descontaminada. El tratamiento previo se lleva a cabo preferentemente mediante técnicas bien conocidas que pueden retirar los contaminantes minerales u orgánicos sin modificar el contenido de iones minerales disueltos valiosos, tales como utilizando carbono activado para retirar contaminantes orgánicos u óxidos de metales y medios de filtración de zeolitas para retirar contaminantes minerales y elementos inestables tales como hierro o manganeso. Sin embargo, no se lleva a cabo ningún tratamiento mediante resinas de intercambio iónico ni ninguna inyección de agentes antidescalcación o de cualquier tipo de reactivo para aumentar o reducir el pH con el agua bruta o con el agua bruta descontaminada durante la etapa α) o antes de la etapa a), con el fin de recuperar en el retenido de ósmosis inversa todos y sólo los minerales originales y naturales presentes en el agua bruta.

65 El término "agua descontaminada" tal como se utiliza en la presente memoria, designa un agua que cumple con

los reglamentos y normas de agua potable y en particular con un nivel de contaminantes muy por debajo de las normas de agua potable y preferentemente con un nivel no detectable de contaminantes.

5 En otra forma de realización particular, el agua bruta se selecciona de aguas subterráneas o agua superficial, más particularmente agua de manantial, agua mineral, agua mineral natural o aguas potables.

El término “agua natural” tal como se utiliza en la presente memoria, designa agua que se extrae de sistemas subterráneos hidrogeológicos protegidos y está libre de contaminantes de origen humano.

10 El término “agua potable” tal como se utiliza en la presente memoria, designa agua que cumple con normas nacionales o europeas. Por ejemplo, en Europa, el agua potable se define en la directiva 98/83 EC. Esta directiva especifica que el cloruro y el sulfato deben estar por debajo de 250 mg/l cada uno y el sodio por debajo de 200 mg/l, con el fin de evitar un sabor alterado. Un alto contenido de sulfato en el agua potable puede dar como resultado trastornos gastrointestinales. El término “libre de sodio” se utiliza tanto en los Estados Unidos como en
15 Canadá, y más recientemente se ha aprobado en Europa, para aguas que contienen menos de 20 mg/l de sodio.

20 En una forma de realización ventajosa, el agua final presenta un contenido de ácido ortosilícico comprendido entre 30 y 120 mg/l de SiO₂, particularmente entre 45 y 120 mg/l, en particular entre 55 y 120 mg/l, por ejemplo entre 65 y 120 mg/l, más particularmente entre 75 y 120 mg/l.

Debe entenderse que el agua final obtenida al final del procedimiento es un agua enriquecida con ácido ortosilícico natural, que presenta por tanto un contenido en peso de ácido ortosilícico superior al agua bruta.

25 En una forma de realización particular, el agua final presenta un residuo seco por debajo de 1500 mg/l, particularmente por debajo de 1100 mg/l, más particularmente por debajo de 500 mg/l.

El término “residuo seco” tal como se utiliza en la presente memoria, designa la suma del contenido en peso de agua en iones de calcio, magnesio, sodio, silicio, potasio, nitratos, sulfatos y cloruro, más la mitad del contenido en peso de agua en iones bicarbonato.

30 En otra forma de realización particular, el agua final presenta un contenido en peso de ácido ortosilícico estable a temperatura de almacenamiento, incluso en particular a una temperatura por debajo de 10°C, más en particular de aproximadamente 4°C.

35 En otra forma de realización ventajosa, el procedimiento comprende una etapa final d) tras la etapa c), que consiste en la adición del agua final a una bebida y/o un jarabe y/o un polvo, con el fin de formar una bebida enriquecida con ácido ortosilícico biodisponible natural.

40 El agua final puede mezclarse con diferentes componentes tales como sales minerales u orgánicas, azúcar, edulcorantes naturales o artificiales, aromas, ácidos, conservantes, agentes colorantes, vitaminas, extractos vegetales, jugos, proteínas y/o fibras.

45 En otra forma de realización particular, la tasa de recuperación de la ósmosis inversa se ajusta para mantener la tasa de saturación de minerales insolubles en el retenido por debajo del 100%, particularmente por debajo del 90%, más particularmente por debajo del 80%.

50 La ósmosis inversa se controla con el fin de presentar una tasa de recuperación de retenido lo suficientemente baja como para mantener la concentración de sales insolubles, tales como CaCO₃, MgCO₃, Mg(OH)₂, CaSO₄, BaSO₄, SrSO₄, CaF₂ y SiO₂ por debajo del límite de saturación, evitando por tanto una descamación de la membrana de ósmosis inversa sin añadir agentes antidescamación o retirar iones minerales disueltos valiosos antes de la etapa de ósmosis inversa.

55 Más ventajosamente, las membranas de ósmosis inversa se seleccionan de membranas higienizables en caliente, membranas de desalinización del agua del mar, membranas de agua salobre, membranas resistentes a la incrustación biológica y membranas de baja energía, en particular de membranas de agua salobre y membranas de desalinización de agua del mar.

60 El término “membrana higienizable en caliente” tal como se utiliza en la presente memoria, designa membranas que pueden higienizarse y esterilizarse utilizando agua caliente a baja presión, evitando por tanto la utilización de agentes esterilizantes químicos que pueden contaminar posteriormente el retenido si no se eliminan correctamente mediante lavado del sistema.

65 El término “membrana de baja energía” tal como se utiliza en la presente memoria, designa membranas que pueden hacerse funcionar a baja presión con el fin de ahorrar energía.

Las membranas de RO pueden fabricarse de diferentes materiales tales como acetato de celulosa o poliamida.

Las membranas de poliamida son particularmente ventajosas ya que presentan un rechazo de OSA muy bueno (Lee Comb, RO plays a major role in silica removal, Water Technology Magazine, volumen 22, número 12, 1999). Elementos de RO comerciales se fabrican de membranas enrolladas en espiral y están diseñados para diferentes presiones de trabajo: los elementos para agua del mar funcionan a 25-90 bares, los elementos para agua salobre a 10-30 bares y los elementos de baja energía a 7-15 bares. Para el fin de la invención, cualquier tipo de elemento de RO es adecuado, pero los elementos que funcionan a una presión inferior a 25 bares son más ventajosos, con el fin de ahorrar costes de energía. Los elementos sanitarios de baja energía tales como SanRO ESPA2 de Hydranautics o HSRO de Filmtec son de particular interés porque pueden concentrar eficazmente minerales y OSA en el retenido a una baja presión de funcionamiento al tiempo que evitan la contaminación bacteriana. Una ventaja adicional de estos elementos es la posibilidad de desinfectarlos utilizando agua caliente, evitando por tanto la utilización de productos químicos que posteriormente contaminarán el retenido. En una forma de realización ventajosa de la invención, la tasa de recuperación del permeado se mantiene por debajo del 75% con el fin de aumentar el rechazo de minerales y OSA en el retenido por encima del 90%. Sin limitaciones, pueden utilizarse muchas configuraciones de RO en la invención, tales como RO de 1 pase con o sin bucle de recirculación de retenido (R) hacia alimentación (F) para formar una alimentación F1 (figuras 1A y B) o RO de 2 pases con o sin bucles de recirculación del retenido R1/R2 del pase 1 y/o del pase 2 a la alimentación F/permeado P1 para formar alimentaciones F1/F2 (figuras 1C y D). Ventajosamente, un sistema de 2 pases garantiza la máxima recuperación de minerales disueltos y OSA en el retenido R3, recuperando minerales disueltos y OSA no retirados mediante el pase 1 y todavía presentes en el permeado P1. Más ventajosamente, pueden realizarse ahorros de energía añadiendo una etapa adicional al pase 1 (figura 1 E).

En otra forma de realización ventajosa, la tasa de rechazo de iones minerales disueltos y ácido ortosilícico en el retenido es por lo menos superior al 80%, particularmente superior al 90%, más particularmente superior al 95%.

El principio que rige la electrodiálisis es una diferencia de potencial eléctrico a través de una pila de electrodiálisis que comprende series alternantes de membranas de intercambio catiónico y aniónico entre un ánodo y un cátodo. Tal como conoce un experto en la materia, por lo menos una membrana de intercambio catiónico está presente entre cada electrodo y la pila de electrodiálisis. La disolución de alimentación que contiene iones tanto positivos como negativos entra en la pila de membranas a la que se aplica una tensión, provocando por tanto la migración de los iones hacia sus electrodos respectivos. Las membranas de intercambio catiónico (también denominadas selectivas de cationes) permiten la transferencia de cationes pero inhiben la transferencia de aniones. A la inversa, las membranas de intercambio aniónico (también denominadas selectivas de aniones) permiten la transferencia de aniones pero inhiben la transferencia de cationes. El resultado son compartimentos alternantes que contienen corrientes de concentración iónica diluida (diluido) y corrientes ricas en concentración iónica (concentrado). Se hace circular una disolución de aclarado iónico por los electrodos para mantener la conductividad de la pila de membranas al tiempo que se impide que iones posiblemente corrosivos de la disolución de alimentación entren en contacto con los electrodos.

Los electrodos de metal se fabrican de placas de titanio muy resistentes cubiertas por una capa de óxido de metal, tal como titanio platinado, pero también es posible acero inoxidable 316. En el procedimiento de la invención, no es necesario que ambos electrodos (ánodo y cátodo) se fabriquen de titanio. Ventajosamente, sólo el ánodo se fabrica de titanio platinado. El cátodo puede fabricarse simplemente de acero inoxidable, reduciendo por tanto significativamente el coste del procedimiento. Más ventajosamente, todos los tipos de electrodos utilizados en el procedimiento de la invención son de calidad para alimentos, que es el caso de los materiales de acero inoxidable y titanio platinado.

Las características deseables de las membranas utilizadas en aplicaciones de electrodiálisis incluyen selectividad entre iones de carga opuesta, alta conductividad iónica, baja conducción eléctrica, estabilidad química a largo plazo, resistencia mecánica y resistencia a la incrustación biológica. Estas características se determinan mediante el polímero de matriz de membrana y el resto iónico fijado que afectan a la selectividad iónica de la membrana. Con frecuencia se eligen materiales poliméricos tales como poliestireno, polietileno y polisulfona para la matriz de membrana y con frecuencia se reticulan para garantizar la estabilidad. Los restos iónicos fijados son por ejemplo alquil-amonios para membranas selectivas de aniones, tales como $\sim\text{NR}_3^+$, $\sim\text{NHR}_2^+$, $\sim\text{NH}_2\text{R}^+$, y sulfonato $\sim\text{SO}_3^-$ o carboxilato $\sim\text{CO}_2^-$ para membranas selectivas de cationes. Ejemplos no limitativos de membranas de intercambio iónico adecuadas para el procedimiento de la invención son Selemion® producida por Asahi Glass Company (Japón) o Neosepta® producida por Astom Corporation (Japón). Las membranas Neosepta® AMX y CMX son membranas de intercambio iónico basadas en poliestireno, de utilización general, de calidad estándar. Las membranas Neosepta® CMXS presentan una delgada capa con carga catiónica sobre la superficie de membrana que aumenta la selectividad para cationes monovalentes en comparación con cationes multivalentes. Como consecuencia, cuando se utiliza tal tipo de membranas selectivas monovalentes de cationes (CMS), cationes monovalentes tales como por ejemplo Na^+ se retiran más del diluido y cationes divalentes tales como por ejemplo Mg^{2+} se retiran menos, en comparación con el tipo de membranas de calidad estándar de cationes (CSG). Las membranas Neosepta® ACS presentan una reticulación en superficie aumentada que aumenta la selectividad para aniones monovalentes en comparación con aniones divalentes. Como consecuencia, cuando se utiliza tal tipo de membranas selectivas monovalentes de aniones (AMS), aniones monovalentes tales como por ejemplo Cl^- se retiran más del diluido y aniones divalentes tales como por

ejemplo SO_4^{2-} se retiran menos, en comparación con el tipo de membranas de calidad estándar de aniones (ASG). Ventajosamente, todas las membranas utilizadas para el fin de la invención son de calidad para alimentos, como es el caso con Neosepta® por lo menos en Europa. Las membranas Neosepta® presentan ventajas adicionales bien conocidas por el especialista, tales como baja resistencia eléctrica, bajos coeficientes de difusión, alta resistencia mecánica, alta estabilidad dimensional y alta resistencia al ataque químico.

En una forma de realización particular, la pila de electrodiálisis contiene por lo menos cinco pares alternos de membranas selectivas de cationes y membranas selectivas de aniones, particularmente por lo menos 10 pares alternos.

La parte activa de la pila está compuesta por el mismo número de membranas selectivas de aniones y de cationes pero la proporción de ASG y AMS, y la proporción de CSG y CMS, es variable y se ajusta ventajosamente a la composición de agua de alimentación. De manera inesperada, los inventores han descubierto que eligiendo con precisión la proporción de cada tipo de membrana, es posible lograr una tasa de retirada sustancialmente similar para cada ion valioso presente en el agua bruta de la etapa de RO. Los inventores también han descubierto de manera inesperada que el orden en el que se apilan las membranas no tiene ninguna influencia sobre la tasa de retirada de cada ion, siempre que las membranas de extremo sean selectivas de cationes y cada membrana selectiva de aniones esté comprendida entre 2 membranas selectivas de cationes. Se entiende que la proporción requerida de ASG/AMS y CSG/CMS se obtiene en una única pila.

Para cada ion mineral disuelto valioso, se calcula que esta tasa de retirada, o factor de dilución (DF_i), es la razón de la concentración del ion en la alimentación de ED con respecto a la concentración del mismo ion en el diluido de ED. Este factor de dilución es ventajosamente igual al factor de concentración (CF) obtenido con la etapa de RO (igual a la razón de flujo de alimentación de RO con respecto a flujo de retenido de RO), con el fin de lograr un contenido sustancialmente inalterado de iones minerales valiosos en el producto final. Por tanto, el DF_i para cada ion mineral disuelto valioso es lo suficientemente próximo al CF como para lograr un contenido final en peso de iones minerales disueltos valiosos en el intervalo del 70 al 130% del contenido inicial en peso en agua bruta y más ventajosamente del 80 al 120%. Incluso más ventajosamente, el intervalo final es del 90 al 110%, lo cual significa que no hay ningún cambio en absoluto en la composición de iones minerales disueltos valiosos, teniendo en cuenta la variabilidad natural de una fuente de agua y las incertidumbres analíticas que representan una variabilidad de $\pm 10\%$ en la composición del agua bruta que alimenta el procedimiento.

La retirada de OSA mediante la etapa de ED no es significativa, con el fin de lograr un contenido final de OSA en el diluido de ED equivalente al contenido de OSA en la alimentación de RO multiplicado por el factor de concentración de RO. Más ventajosamente, la pérdida de sílice en la etapa de ED es de menos del 10%, particularmente menos del 5%.

La disolución de concentrado inicial de electrodiálisis puede prepararse disolviendo cualquiera de las siguientes sales minerales solubles en agua: NaCl, KCl, Na_2SO_4 , K_2SO_4 , NaNO_3 , KNO_3 , NaHCO_3 , KHCO_3 , CaCl_2 , MgCl_2 o MgSO_4 en agua de permeado de RO. La disolución puede ser una disolución pura de un único anión y un único catión obtenida disolviendo sólo una sal mineral, o una mezcla de aniones y cationes obtenida disolviendo juntas varias sales minerales de la lista. La disolución de sal mineral se elige ventajosamente para ajustarse con la composición de agua de alimentación, con el fin de refinar adicionalmente el DF_i de cada ion. Los inventores han mostrado que eligiendo con precisión la disolución de sal mineral, es posible refinar adicionalmente el DF_i . En una forma de realización particular, la disolución de sal mineral se elige de una disolución de NaCl, una disolución de KCl, una disolución de K_2SO_4 y una mezcla de las mismas, ventajosamente la disolución de sal mineral se elige de una disolución de KCl, una disolución de K_2SO_4 y una mezcla de las mismas, más ventajosamente la disolución de sal mineral es una mezcla de disolución de KCl y K_2SO_4 .

La conductividad de la disolución de concentrado inicial de ED está comprendida entre 0,5 y 5 mS/cm y más ventajosamente entre 1 y 3 mS/cm. Durante la ED, la conductividad de la disolución de concentrado aumenta debido a transferencia de iones desde el compartimento de diluido. Por tanto, la conductividad del compartimento de concentrado se mantiene constante purgando de manera periódica o continua una fracción de la disolución de concentrado y añadiendo agua nueva. En una forma de realización preferida, la disolución de concentrado se gestiona en un modo de funcionamiento de alimentación y drenaje, añadiendo agua de permeado procedente de RO, o diluido procedente de la salida de ED. Esta agua añadida puede suplementarse con una o más sales minerales antes de alimentar el compartimento de concentrado, elegidas de NaCl, KCl, Na_2SO_4 , K_2SO_4 , NaNO_3 , KNO_3 , NaHCO_3 , KHCO_3 , CaCl_2 , MgCl_2 o MgSO_4 .

En otro modo de funcionamiento de la etapa de ED, se hace funcionar una limpieza automática continua del procedimiento de electrodiálisis por medio de una inversión periódica de la polaridad de CC, conmutando las corrientes de flujo de concentrado y diluido.

El procedimiento de la invención puede llevarse a cabo en un modo continuo o discontinuo. En una forma de realización particular, las dos etapas sucesivas a) y b) del procedimiento según la presente invención se repiten con el agua obtenida tras la etapa b) tantas veces como sea necesario con el fin de obtener un agua final con los

contenidos en peso de ácido ortosilícico y minerales valiosos disueltos deseados, en particular una o dos veces, más particularmente una vez.

5 Los diferentes pasos permiten el aumento del contenido final de ácido ortosilícico en el agua al tiempo que se evita la precipitación de minerales insolubles en la etapa de ósmosis inversa.

10 Ventajosamente, el retenido obtenido tras la primera etapa a) de ósmosis inversa sólo contiene la mitad del contenido en peso de ácido ortosilícico deseado del agua final. En una forma de realización específica, la purga del compartimento de concentrado de ED (C) se mezcla con agua de permeado de RO (P) con el fin de producir un agua potable (DW) similar al agua de alimentación inicial (F) en cuanto al sabor y la composición de iones minerales disueltos valiosos, pero que no contiene casi nada de silicio. Todo el silicio contenido en el agua bruta de alimentación inicial (F) se recupera en el diluido de ED (D), que también contiene iones minerales disueltos valiosos a una concentración similar a la del agua de alimentación inicial (F). Esto se ilustra en la figura 2.

15 En otra forma de realización particular, el efluente del compartimento de concentración de la pila de electrodiálisis se añade al permeado de ósmosis inversa con el fin de formar agua potable mineral.

20 En otra forma de realización particular, el contenido en peso de ion nitrato en el agua final es de como mínimo menos del 80% del contenido en el agua bruta, particularmente menos del 70%, más particularmente menos del 50%.

25 Se descubre en el contexto de la presente invención asimismo de manera inesperada que, al tiempo que se logra un contenido final de iones minerales disueltos valiosos principalmente inalterado, es posible obtener una retirada potenciada de ion nitrato no deseable, habiéndose asociado el ion nitrato con efectos adversos para la salud debido a su conversión en nitrito y nitrosamina en el cuerpo humano, que se sabe que son sustancias carcinogénicas.

30 La presente invención también se refiere a agua potable sin gas caracterizada por que contiene un contenido disuelto de sodio de menos de 20 mg/l, un contenido de ácido ortosilícico comprendido entre 75 y 120 mg/l de SiO₂ y un residuo seco de entre 400 y 1100 mg/l.

El agua potable sin gas está libre de calorías, libre de conservantes, libre de alérgenos y presenta un pH neutro. Más ventajosamente, no contiene ninguna molécula orgánica.

35 Ventajosamente, el ácido ortosilícico contenido en la misma es de origen natural, procedente del agua inicial y no de una fuente exógena.

40 Ventajosamente, el agua potable sin gas puede obtenerse mediante el procedimiento según la presente invención.

Más ventajosamente, el agua potable sin gas según la presente invención contiene menos de 10 mg/l de iones nitrato disueltos.

45 La presente invención también se refiere a la utilización del agua potable sin gas según la presente invención u obtenida mediante el procedimiento según la presente invención para reforzar y/o embellecer la piel, el cabello y las uñas y/o para la prevención de arrugas y/o para la prevención de deshidratación de la piel.

50 Finalmente, la presente invención se refiere al agua potable sin gas según la presente invención u obtenida mediante el procedimiento según la presente invención para su utilización como fármaco, en particular para el tratamiento y/o la prevención de osteoporosis, de toxicidad de aluminio, para la prevención de enfermedades neurodegenerativas, en particular la enfermedad de Alzheimer, y/o para la prevención de enfermedades cardiovasculares y/o aterosclerosis, y/o para la prevención de enfermedades de la piel y/o para la prevención y/o el tratamiento de hipertensión.

55 Debido a la presencia de un alto nivel de OSA en el agua según la presente invención, junto con otros minerales valiosos, el agua sin gas según la presente invención presenta un efecto positivo sobre la fuerza y el brillo del cabello, sobre la resistencia y elasticidad de la piel, regla antiinflamatoria y de mantenimiento de la hidratación de la piel, sobre la protección contra las enfermedades de la piel, sobre la síntesis del colágeno y por tanto la prevención de arrugas, sobre la resistencia y mejora de la calidad de las uñas y sobre una mejor protección frente a infecciones de las uñas. También puede utilizarse en el tratamiento para hiperacidez gástrica. Dado que el silicio y el calcio son esenciales para la formación de la matriz ósea y la mineralización ósea, el agua sin gas según la presente invención puede utilizarse a ese respecto, y en particular para aumentar el volumen óseo en mujeres que padecen osteoporosis o que presentan un déficit del peso de los huesos. El agua sin gas según la presente invención también puede utilizarse para prevenir la toxicidad de aluminio secuestrando aluminio mediante el silicio y por tanto para la prevención del deterioro cognitivo y enfermedades neurodegenerativas tales como la enfermedad de Alzheimer.

Las características de la presente invención se explicarán con mayor detalle en los siguientes ejemplos.

Figuras

- 5 Figura 1: la figura 1 representa posibles configuraciones de la etapa de ósmosis inversa.
- Figura 2: la figura 2 representa una forma de realización específica que consiste en mezclar permeado de la etapa de ósmosis inversa con concentrado de la etapa de electrodiálisis.
- 10 Figura 3: la figura 3 representa una mezcla de membranas AMS/ASG/CMS/CSG apiladas en el dispositivo de electrodiálisis utilizado en los ejemplos 3 a 7 y 11 y 12.
- Figura 4: la figura 4 representa la retirada C/C₀ (expresada en %) lograda para cada ion mineral disuelto en función del tiempo de ED en el ejemplo 3. (C = concentración final del ion; C₀ = concentración del ion en el agua de alimentación de RO).
- 15 Figura 5: la figura 5 representa la retirada C/C₀ (expresada en %) lograda para cada ion mineral disuelto en función del tiempo de ED en el ejemplo 4. (C = concentración final del ion; C₀ = concentración del ion en el agua de alimentación de RO).
- 20 Figura 6: la figura 6 representa la retirada C/C₀ (expresada en %) lograda para cada ion mineral disuelto en función del tiempo de ED en el ejemplo 5. (C = concentración final del ion; C₀ = concentración del ion en el agua de alimentación de RO).
- 25 Figura 7: la figura 7 representa la retirada C/C₀ (expresada en %) lograda para cada ion mineral disuelto en función del tiempo de ED en el ejemplo 6. (C = concentración final del ion; C₀ = concentración del ion en el agua de alimentación de RO).
- 30 Figura 8: la figura 8 representa la retirada C/C₀ (expresada en %) lograda para cada ion mineral disuelto en función del tiempo de ED en el ejemplo 7. (C = concentración final del ion; C₀ = concentración del ion en el agua de alimentación de RO).
- 35 Figura 9: la figura 9 representa la retirada C/C₀ (expresada en %) lograda para cada ion mineral disuelto en función del tiempo de ED en el ejemplo 11. (C = concentración final del ion; C₀ = concentración del ion en el agua de alimentación de RO).
- 40 Figura 10: la figura 10 representa la retirada C/C₀ (expresada en %) lograda para cada ion mineral disuelto en función del tiempo de ED en el ejemplo 12 (C = concentración final del ion; C₀ = concentración del ion en el agua de alimentación de RO).

Ejemplos

Ejemplo 1

45 En esta prueba se utilizaron dos módulos de RO comerciales BW30-2540 y SW30-2540 de Dow Filmtec (The Dow Chemical Company, Midland, MI) montados en un recipiente de presión de acero inoxidable. La configuración del sistema fue tal como se ilustra en la figura 1B: 1 pase y 1 etapa de RO con recirculación de parte del retenido a la alimentación. Se hizo funcionar el sistema en modo continuo con un agua de alimentación A, que presentaba las características presentadas en la tabla 1:

Tabla 1: Características del agua de alimentación A

Temperatura				pH		Conductividad				Residuo seco		
15 ± 1°C				6,3		257 µS/cm				168 mg/l		
(composición en mg/l)												
Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	NO ₃ ⁻	PO ₄ ³⁻	F ⁻	Ba ²⁺	Sr ²⁺	OSA
10,6	8,2	26,1	6,2	109	13,0	13,8	3,5	0,60	0,00	0,001	0,002	32,0

55 Durante la 1ª parte de la prueba, se montó la membrana BW30-2540 en el recipiente de presión. Se utilizó el software gratuito ROSA v6.1.5 de Filmtec antes de la prueba para simular el sistema de RO y definir los parámetros de procedimiento para lograr un CF de 2. La simulación también confirmó que no había problemas de solubilidad en el retenido mediante un cálculo de ajuste a escala.

60 Cuando se alcanzó el estado estacionario, el flujo de alimentación era de 200 l/h y la presión del lado de

alimentación de RO era de 23 bares. El flujo de retenido recirculado era de 1366 l/h y el flujo de retenido rechazado era de 100 l/h. La conductividad del retenido era de 503 $\mu\text{S/cm}$. El flujo de permeado rechazado era de 100 l/h y su conductividad era de 8,5 $\mu\text{S/cm}$. La composición de iones minerales del retenido y el permeado se presentan en la tabla 2. Para cada ion mineral, se calculó la tasa de recuperación en el retenido a lo largo de un periodo de tiempo de 1 hora y también se presenta en la tabla 2.

Tabla 2: Composición del permeado y el retenido en el estado estacionario y tasa de recuperación de cada ion mineral en el retenido con el módulo de RO BW30-2540

	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	NO ₃ ⁻	OSA
Permeado (mg/l)	0,2	0,1	1,5	0,7	4,9	0,3	0,0	0,0	0,5
Retenido (mg/l)	22,7	17,2	55,2	12,5	225,7	26,5	29,5	8,5	65
Recuperación en el retenido (%)	95	104	104	99	96	101	98	94	95

La tasa de recuperación de cada ion mineral disuelto valioso Ca²⁺, Mg²⁺, Na⁺, K⁺, HCO₃⁻, Cl⁻, SO₄²⁻ y ácido ortosilícico está comprendida en el intervalo del 95 al 105%. Una tasa de recuperación por encima del 100% para algunos iones minerales no es sorprendente, y está relacionada con el margen de error analítico.

A partir de esta prueba puede observarse claramente que el 100 \pm 5% de todos los iones minerales valiosos disueltos y ácido ortosilícico se recupera en el retenido cuando se hace funcionar un CF = 2.

Durante la 2ª parte de la prueba, se montó la membrana SW30-2540 en el recipiente de presión. Se utilizó de nuevo ROSA v6.1.5 antes de la prueba para simular el sistema de RO y definir los parámetros de procedimiento para lograr un CF de 2. La simulación también confirmó que no había problemas de solubilidad en el retenido mediante un cálculo de ajuste a escala.

Quando se alcanzó el estado estacionario, el flujo de alimentación era de 204 l/h y la presión del lado de alimentación de RO era de 35 bares. El flujo de retenido recirculado era de 800 l/h y el flujo de retenido rechazado era de 102 l/h. La conductividad del retenido era de 517 $\mu\text{S/cm}$. El flujo de permeado rechazado era de 102 l/h y su conductividad era de 3,2 $\mu\text{S/cm}$. La composición de iones minerales del retenido y el permeado se presentan en la tabla 3. Para cada ion mineral, se calculó la tasa de recuperación en el retenido a lo largo de un periodo de tiempo de 1 hora y también se presenta en la tabla 3.

Tabla 3: Composición del permeado y el retenido en el estado estacionario y tasa de recuperación de cada ion mineral en el retenido con el módulo de RO SW30-2540

	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	NO ₃ ⁻	OSA
Permeado (mg/l)	0,0	0,0	0,4	0,0	3,1	0,0	0,0	0,0	0,2
Retenido (mg/l)	24,6	17,2	55,6	12,1	235,5	28,3	30,3	7,4	67,0
Recuperación en el retenido (%)	101	101	102	94	98	105	99	90	96

La tasa de recuperación de cada ion mineral disuelto valioso Ca²⁺, Mg²⁺, Na⁺, K⁺, HCO₃⁻, Cl⁻, SO₄²⁻ y ácido ortosilícico está comprendida en el intervalo del 94 al 105%. Los resultados con los módulos BW30-2540 y SW30-2540 son muy similares. Sin embargo, el módulo BW requiere una menor presión para lograr CF = 2, lo que a su vez requiere menos energía para la bomba.

Ejemplo 2

Se realizó la prueba con los mismos equipos y la misma configuración que en el ejemplo 1, pero sólo se utilizó el módulo de RO BW30-2540. Se hizo funcionar el sistema en modo continuo con un agua de alimentación B, diferente del agua de alimentación A, que presentaba las características presentadas en la tabla 4:

Tabla 4: Características del agua de alimentación B

Temperatura		pH		Conductividad				Residuo seco				
14 \pm 1°C		6,7		196 $\mu\text{S/cm}$				129 mg/l				
(composición en mg/l)												
Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	NO ₃ ⁻	PO ₄ ³⁻	F ⁻	Ba ²⁺	Sr ²⁺	OSA
11,2	7,8	10,7	5,7	72	13,7	6,6	6,6	0,49	0,23	0,0004	0,059	31,0

Durante la 1ª parte de la prueba, se utilizó ROSA v6.1.5 para simular el sistema de RO y definir los parámetros de procedimiento para lograr un CF de 2 con agua de alimentación B. La simulación también confirmó que no había problemas de solubilidad en el retenido.

Quando se alcanzó el estado estacionario, el flujo de alimentación era de 200 l/h y la presión del lado de

5 alimentación de RO era de 25 bares. El flujo de retenido recirculado era de 700 l/h y el flujo de retenido rechazado era de 100 l/h. La conductividad del retenido era de 365 $\mu\text{S}/\text{cm}$. El flujo de permeado rechazado era de 100 l/h y su conductividad era de 5,7 $\mu\text{S}/\text{cm}$. La composición de iones minerales del retenido y el permeado se presentan en la tabla 5. Para cada ion mineral, se calculó la tasa de recuperación en el retenido a lo largo de un periodo de tiempo de 1 hora y también se presenta en la tabla 5.

Tabla 5: Composición del permeado y el retenido en el estado estacionario y tasa de recuperación de cada ion mineral en el retenido con el módulo de RO BW30-2540 y CF = 2

	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	NO ₃ ⁻	F ⁻	OSA
Permeado (mg/l)	0,0	0,0	0,7	0,3	3,0	0,2	0,0	1,0	0,0	0,5
Retenido (mg/l)	21,1	14,5	20,4	10	138	27,5	13,5	13,2	0,46	58,1
Recuperación en el retenido (%)	95	96	95	95	96	101	101	99	93	93

10 La tasa de recuperación de cada ion mineral disuelto valioso Ca²⁺, Mg²⁺, Na⁺, K⁺, HCO₃⁻, Cl⁻, SO₄²⁻ y ácido ortosilícico está comprendida en el intervalo del 93 al 101% con el agua B, diferente del agua A.

15 Durante la 2ª parte de la prueba, se utilizó ROSA v6.1.5 para simular el sistema de RO y definir los parámetros de procedimiento para lograr un CF de 3 con agua de alimentación B. La simulación también confirmó que no había problemas de solubilidad en el retenido.

20 Cuando se alcanzó el estado estacionario, el flujo de alimentación era de 150 l/h y la presión del lado de alimentación de RO era de 24 bares. El flujo de retenido recirculado era de 750 l/h y el flujo de retenido rechazado era de 50 l/h. La conductividad del retenido era de 535 $\mu\text{S}/\text{cm}$. El flujo de permeado rechazado era de 100 l/h y su conductividad era de 5,2 $\mu\text{S}/\text{cm}$. La composición de iones minerales del retenido y el permeado se presentan en la tabla 6. Para cada ion mineral, se calculó la tasa de recuperación en el retenido a lo largo de un periodo de tiempo de 1 hora y también se presenta en la tabla 6.

25 Tabla 6: Composición del permeado y el retenido en el estado estacionario y tasa de recuperación de cada ion mineral en el retenido con el módulo de RO BW30-2540 y CF = 3

	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	NO ₃ ⁻	F ⁻	OSA
Permeado (mg/l)	0,0	0,0	0,6	0,25	2,5	0,2	0,0	0,3	0,0	0,5
Retenido (mg/l)	31,5	22,3	29,3	16,8	206,9	43,2	21,6	19,6	0,8	85,5
Recuperación en el retenido (%)	93	93	91	92	95	104	111	101	121	91

30 La tasa de recuperación de cada ion mineral disuelto valioso Ca²⁺, Mg²⁺, Na⁺, K⁺, HCO₃⁻, Cl⁻, SO₄²⁻ y ácido ortosilícico está comprendida en el intervalo del 93 al 111% con el agua B, logrando por tanto un CF = 3 sin pérdida sustancial de iones minerales valiosos en el retenido.

Ejemplo 3

35 En esta prueba se utilizan 30 litros del retenido producido según el ejemplo 1 y agua de alimentación A. Se procesa el agua mediante un dispositivo de electrodiálisis EUR2C-10P (EURODIA Industries, Rungis, Francia) en modo discontinuo. La pila de electrodiálisis está compuesta por 10 pares de membranas selectivas de aniones y de cationes Neosepta®, colocadas de manera alternante en un sistema de sujeción similar a un filtro-prensa y formando 10 células activas. Se añade una membrana selectiva de cationes CSG en cada extremo de la pila de electrodiálisis con el fin de aislar el electrolito. La superficie activa de cada célula es de 0,02 m² y la superficie activa total de la pila es de 0,2 m². Cada célula de electrodiálisis, que presenta un compartimento de dilución y uno de concentración, está compuesta por:

- 45 - Una junta de separación, equipada con una red que fomenta la turbulencia,
- Una membrana selectiva de aniones,
- Una junta de separación,
- Una membrana selectiva de cationes,
- Una junta de separación.

50 La mezcla de membranas AMS/ASG/CMS/CSG en la pila, excluyendo las membranas catiónicas de extremo, está compuesta por 4 CMS, 6 CSG, 4 AMS y 6 ASG y están apiladas tal como se ilustra en la figura 3A. Los electrodos que se colocan en el extremo del dispositivo son un ánodo de titanio - platino y un cátodo de acero inoxidable. Se lavan mediante un electrolito compuesto por una disolución de NaNO₃ con una conductividad de 19,4 mS/cm a 20°C y un pH de 6,5.

55 La prueba se realiza en un modo de tensión constante/corriente variable, en el que se establece una tensión deseada de 8 V y se deja que la corriente se ajuste automáticamente para mantener la tensión y no se permite

que se aproxime a la corriente limitante. Se mantiene la temperatura constante a $19,5 \pm 0,6^\circ\text{C}$ recirculando el diluido en un depósito equipado con una camisa de agua de refrigeración, con el fin de compensar el calentamiento producido por la ED.

5 En esta prueba, la disolución de concentrado inicial era una disolución de NaCl con una conductividad de 1,0 mS/cm a 20°C y un pH de 7,7. Se mantuvo la conductividad del concentrado en el intervalo de 1,1 ~ 1,6 mS/cm purgando de manera periódica el concentrado y añadiendo agua de permeado procedente de RO.

10 Se mide la composición del diluido cada 30 minutos y al final de la prueba, cuando se alcanza el 100% de la conductividad del agua de alimentación de RO y se ilustra en la figura 4. En la figura 4 también se presenta la retirada para silicio y para la conductividad. A partir de esta figura puede observarse claramente que tras 95 minutos, la composición de Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , Cl^- , SO_4^{2-} y HCO_3^- está en el intervalo del 75 al 120%, mientras que el contenido de silicio (expresado como SiO_2) permanece inalterado al 208%. El ion NO_3^- no deseado se retira hasta el 42% del contenido inicial. La composición del agua final se presenta en la tabla 7.

15 Tabla 7: Composición del agua final

Calcio (mg/l)	9,0
Magnesio (mg/l)	7,9
Sodio (mg/l)	31,3
Potasio (mg/l)	4,7
Bicarbonato (mg/l)	114
Cloruro (mg/l)	12,6
Sulfato (mg/l)	11,5
Nitrato (mg/l)	1,5
OSA (mg/l de SiO_2)	66,9
Residuo seco (mg/l)	202

20 **Ejemplo 4**

Se repite el ejemplo 3, pero se sustituye la primera membrana CMS tras el cátodo por una membrana CSG tal como se ilustra en la figura 3B, con el fin de estrechar la tasa de retirada de cada ion mineral disuelto valioso. Se lavan los electrodos mediante un electrolito compuesto por una disolución de NaNO_3 con una conductividad de 19,7 mS/cm a 20°C y un pH de 9,9. Se realiza la prueba en un modo de tensión constante/corriente variable, en el que se establece una tensión deseada de 8 V y se deja que la corriente se ajuste automáticamente para mantener la tensión y no se permite que se aproxime a la corriente limitante. Se mantiene la temperatura constante a $19,4 \pm 0,6^\circ\text{C}$ recirculando el diluido en un depósito equipado con una “doble envuelta”. Dentro de la “doble envuelta” se hace circular un fluido de regulación térmica con el fin de compensar el calentamiento producido por la ED. En esta prueba, la disolución de concentrado inicial era una disolución de NaCl con una conductividad de 1,1 mS/cm a 20°C y un pH de 7,3. Se mantuvo la conductividad del concentrado en el intervalo de 1,1 ~ 1,9 mS/cm purgando de manera periódica el concentrado y añadiendo agua de permeado procedente de RO. Se mide la composición del diluido cada 30 minutos y al final de la prueba, cuando se alcanza el 100% de la conductividad del agua de alimentación de RO y se ilustra en la figura 5. En la figura 5 también se presenta la retirada para silicio y para la conductividad. A partir de esta figura puede observarse claramente que tras 80 minutos, la composición de Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , Cl^- , SO_4^{2-} y HCO_3^- está en el intervalo más restringido del 80 al 120%, mientras que el contenido de silicio (expresado como SiO_2) permanece inalterado al 206%. El ion NO_3^- no deseado se retira hasta el 73% del contenido inicial. La composición del agua final se presenta en la tabla 8.

40 Tabla 8: Composición del agua final

Calcio (mg/l)	11,0
Magnesio (mg/l)	9,2
Sodio (mg/l)	30,5
Potasio (mg/l)	5,1
Bicarbonato (mg/l)	126
Cloruro (mg/l)	15,4
Sulfato (mg/l)	13,4
Nitrato (mg/l)	2,6
OSA (mg/l de SiO_2)	65,9
Residuo seco (mg/l)	216

45 **Ejemplo 5**

Se repite el ejemplo 4 pero se sustituye la disolución de concentrado inicial de NaCl por una disolución de KCl con una conductividad de 1,0 mS/cm a 20°C y un pH de 6,3. Se mantiene la conductividad del concentrado en el

intervalo de 1,1 ~ 1,5 mS/cm purgando de manera periódica el concentrado y añadiendo agua de permeado procedente de RO. Se mantiene la temperatura constante a 20,8 ± 0,3°C.

5 Se mide la composición del diluido cada 30 minutos y al final de la prueba, cuando se alcanza el 100% de la conductividad del agua de alimentación de RO y se ilustra en la figura 6. En la figura 6 también se presenta la retirada para silicio y para la conductividad. A partir de esta figura puede observarse claramente que tras 99 minutos, la composición de Ca²⁺, Mg²⁺, Na⁺, K⁺, Cl⁻, SO₄²⁻ y HCO₃⁻ está en el intervalo del 85 al 110%, mientras que el contenido de silicio (expresado como SiO₂) permanece inalterado al 193%. El nitrato se retira hasta el 10
10 49% de su contenido inicial. La composición del agua final se presenta en la tabla 9. Este ejemplo ilustra que sustituyendo Na por K en el concentrado inicial, es posible reducir la retirada de K mediante ED y estrechar la tasa de retirada de cada ion mineral disuelto valioso con el fin de lograr una concentración final en el diluido (C) más próxima al 100% de la concentración en el agua de alimentación de RO (C₀).

15 Tabla 9: Composición del agua final

Calcio (mg/l)	9,9
Magnesio (mg/l)	9,0
Sodio (mg/l)	27,9
Potasio (mg/l)	6,8
Bicarbonato (mg/l)	120
Cloruro (mg/l)	13,0
Sulfato (mg/l)	11,9
Nitrato (mg/l)	1,7
OSA (mg/l de SiO ₂)	61,4
Residuo seco (mg/l)	202

Ejemplo 6

20 Se repite el ejemplo 5 pero las membranas de ED se apilan de manera diferente (figura 3C), con el fin de demostrar que la elección de las membranas es importante, no cómo se apilan. Para esta prueba, la disolución de concentrado de KCl inicial presenta una conductividad de 1,0 mS/cm a 19°C y un pH de 7,8. Se mantiene la conductividad del concentrado en el intervalo de 1,1 ~ 1,5 mS/cm purgando de manera periódica el concentrado y añadiendo agua de permeado procedente de RO. Se mantiene la temperatura constante a 21,1 ± 0,3°C.

25 Se mide la composición del diluido cada 30 minutos y al final de la prueba, cuando se alcanza el 100% de la conductividad del agua de alimentación de RO y se ilustra en la figura 7. En la figura 7 también se presenta la retirada para silicio y para la conductividad. A partir de esta figura puede observarse claramente que tras 100 minutos, la composición de Ca²⁺, Mg²⁺, Na⁺, K⁺, Cl⁻, SO₄²⁻ y HCO₃⁻ está en el intervalo del 88 al 110%, mientras que el contenido de silicio (expresado como SiO₂) permanece inalterado al 193%. Estos resultados son comparables a los ilustrados en la figura 6. La composición del agua final se presenta en la tabla 10.
30

Tabla 10: Composición del agua final

Calcio (mg/l)	10,3
Magnesio (mg/l)	8,4
Sodio (mg/l)	26,8
Potasio (mg/l)	6,1
Bicarbonato (mg/l)	113
Cloruro (mg/l)	14,3
Sulfato (mg/l)	13,7
Nitrato (mg/l)	2,8
OSA (mg/l de SiO ₂)	61,7
Residuo seco (mg/l)	201

35 Ejemplo 7

Se repite el ejemplo 6, con el mismo apilamiento de membranas tal como se ilustra en la figura 3C, pero la disolución de concentrado inicial de NaCl se sustituye por una mezcla de disolución de KCl y K₂SO₄ con una conductividad de 1,0 mS/cm a 20°C y un pH de 7,1. 2/3 de esta conductividad se obtienen mediante KCl y 1/3 mediante K₂SO₄. Se mantiene la conductividad del concentrado en el intervalo de 1,1 ~ 1,5 mS/cm purgando de manera periódica el concentrado y añadiendo agua de permeado procedente de RO. Se mantiene la temperatura constante a 21,6 ± 0,3°C.
40

Se mide la composición del diluido cada 30 minutos y al final de la prueba, cuando se alcanza el 100% de la conductividad del agua de alimentación de RO y se ilustra en la figura 8. En la figura 8 también se presenta la
45

retirada para silicio y para la conductividad. A partir de esta figura puede observarse claramente que tras 102 minutos, la composición de Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , Cl^- , SO_4^{2-} y HCO_3^- está en el intervalo del 92 al 110%, mientras que el contenido de silicio (expresado como SiO_2) permanece inalterado al 196%. El nitrato se retira hasta el 47% de su contenido inicial. La composición del agua final se presenta en la tabla 11. Este ejemplo ilustra que sustituyendo K^+ y Cl^- por una mezcla de K^+ , Cl^- y SO_4^{2-} en el concentrado inicial, es posible estrechar adicionalmente la tasa de retirada de cada ion mineral disuelto valioso con el fin de lograr una concentración final en el diluido (C) más próxima al 100% de la concentración en el agua de alimentación de RO (C_0).

Tabla 11: Composición del agua final

Calcio (mg/l)	9,8
Magnesio (mg/l)	8,8
Sodio (mg/l)	27,9
Potasio (mg/l)	6,8
Bicarbonato (mg/l)	117
Cloruro (mg/l)	12,1
Sulfato (mg/l)	14,5
Nitrato (mg/l)	1,6
OSA (mg/l de SiO_2)	62,7
Residuo seco (mg/l)	203

Ejemplo 8

La estabilidad del agua potable fortificada con OSA puede suponer un problema si se almacena esa agua a baja temperatura, por ejemplo en un frigorífico a 4°C. De hecho, la solubilidad del ácido ortosilícico en agua disminuye al disminuir la temperatura. La solubilidad es de 115 mg/l a 20°C y un pH de 7,0, pero es de tan sólo 85 mg/l a 4°C y al mismo pH. Por debajo del límite de solubilidad, se forma sílice coloidal.

Se almacenó agua fortificada con OSA a 100 mg/l en botellas de vidrio de 1 litro tapadas con tapón corona durante varios días a 4°C. Se cogió una botella de vez en cuando, se abrió y se filtró inmediatamente la mitad del volumen con un filtro de 0,45 μm , con el fin de retirar del agua filtrada la sílice coloidal posiblemente formada durante el almacenamiento a 4°C. Se analizaron el agua filtrada y no filtrada de la misma botella para determinar el contenido de silicio disuelto utilizando el método colorimétrico del molibdato. Tal como se muestra en la tabla 12, el silicio estaba totalmente en forma de ácido ortosilícico soluble, incluso tras 3 meses a 4°C, demostrando por tanto que el agua potable fortificada es perfectamente estable en almacenamiento.

Tabla 12: Porcentaje en peso del contenido de silicio soluble no filtrable (OSA) del agua tras almacenamiento a la temperatura de 4°C

Tiempo de almacenamiento a 4°C (días)	Contenido de silicio disuelto no filtrable (%)
14	100
21	100
28	100
56	100
90	100

Ejemplo comparativo 9

El ejemplo 9 es un ejemplo ilustrativo de la imposibilidad de lograr la tasa de retirada requerida para todos los iones minerales disueltos valiosos con una pila de membranas no mixtas. En este ejemplo, se utilizó el dispositivo de ED descrito en el ejemplo 3, y todas las membranas eran AMS y CMS excepto 2 CSG en el extremo para aislar el electrolito. En esta prueba, la disolución de concentrado inicial era una disolución de NaCl con una conductividad de 1,4 mS/cm a 20°C y un pH de 7,8. Se midió la composición del diluido cuando se alcanzó el 100% de la conductividad del agua de alimentación de RO (agua A). La siguiente tabla 13 ilustra la retirada lograda para cada ion mineral disuelto y se expresa en %. A partir de esta tabla puede observarse claramente que ninguno de los iones disueltos estaba en el intervalo objetivo del 70 al 130%, a excepción del bicarbonato. Sin embargo, el nitrato se retiró correctamente y el OSA no se retiró en absoluto.

Tabla 13: % de retirada para cada ion disuelto en el agua final

	(%)
Conductividad	100
Calcio	133
Magnesio	166
Sodio	57

	(%)
Potasio	42
Bicarbonato	98
Cloruro	48
Sulfato	152
Nitrato	33
OSA	200

Ejemplo 10

5 Se realizó la prueba con los mismos equipos y la misma configuración que en el ejemplo 1, pero se utilizó un módulo HSRO-4040, que consistía en membranas higienizables en caliente de Dow Filmtec. Se hizo funcionar el sistema en modo continuo con un agua de alimentación C, que presentaba las características presentadas en la tabla 14.

10 Tabla 14: Características del agua de alimentación C

Temperatura		pH		Conductividad		Residuo seco						
14 ± 1°C		5,97		478 µS/cm		288 mg/l						
(composición en mg/l)												
Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	NO ₃ ⁻	PO ₄ ³⁻	F ⁻	Ba ²⁺	Sr ²⁺	OSA
36,5	13,8	9,1	37,9	151,9	43,0	41,5	7,0	0,44	0,18	0,0004	0,062	22,9

15 Antes de comenzar la prueba, se utilizó ROSA v7.0.0 para simular el sistema de RO y definir los parámetros de procedimiento para lograr un CF de 2. La simulación también confirmó que no había problemas de solubilidad en el retenido.

20 Cuando se alcanzó el estado estacionario, el flujo de alimentación era de 396 l/h y la presión del lado de alimentación de RO era de 7,2 bares. El flujo de retenido recirculado era de 1300 l/h y el flujo de retenido rechazado era de 198 l/h. La conductividad del retenido era de 902 µS/cm. El flujo de permeado rechazado era de 200 l/h y su conductividad era de 24,2 µS/cm. La composición de iones minerales del retenido y el permeado se presentan en la tabla 15. Para cada ion mineral, se calculó la tasa de recuperación en el retenido a lo largo de un periodo de tiempo de 1 hora y también se presenta en la tabla 15.

25 Tabla 15: Composición del permeado y el retenido en el estado estacionario y tasa de recuperación de cada ion mineral en el retenido con el módulo de RO HSRO-4040 y CF = 2

	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	NO ₃ ⁻	F ⁻	OSA
Permeado (mg/l)	0,3	0,1	0,5	4,7	8,8	0,5	0,1	0,4	0,0	0,2
Retenido (mg/l)	73	27,6	18,2	70,6	297,6	85	82	12,5	0,34	46,6
Recuperación en el retenido (%)	100	100	100	93	98	99	99	89	94	102

La tasa de recuperación de cada ion mineral disuelto valioso Ca²⁺, Mg²⁺, Na⁺, K⁺, HCO₃⁻, Cl⁻, SO₄²⁻ y ácido ortosilícico está comprendida en el intervalo del 93 al 102% con el agua C.

30 Durante la 2ª parte de la prueba, se utilizó ROSA v7.0.0 para simular el sistema de RO y definir los parámetros de procedimiento para lograr un CF de 3 con agua de alimentación D, muy similar al agua C, que presentaba las características presentadas en la tabla 16. La simulación también confirmó que no había problemas de solubilidad en el retenido.

35 Tabla 16: Características del agua de alimentación D

Temperatura		pH		Conductividad		Residuo seco						
18 ± 1°C		5,84		484 µS/cm		290 mg/l						
(composición en mg/l)												
Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	NO ₃ ⁻	PO ₄ ³⁻	F ⁻	Ba ²⁺	Sr ²⁺	OSA
37,2	14,1	9,0	39,8	155,6	42	40	5,8	0,62	0,17	0,0005	0,058	23,4

40 Cuando se alcanzó el estado estacionario, el flujo de alimentación era de 404 l/h y la presión del lado de alimentación de RO era de 9 bares. El flujo de retenido recirculado era de 1300 l/h y el flujo de retenido rechazado era de 140 l/h. La conductividad del retenido era de 1284 µS/cm. El flujo de permeado rechazado era de 257 l/h y su conductividad era de 26,4 µS/cm. La composición de iones minerales del retenido y el permeado se presentan en la tabla 17. Para cada ion mineral, se calculó la tasa de recuperación en el retenido a lo largo de un periodo de tiempo de 1 hora y también se presenta en la tabla 17.

Tabla 17: Composición del permeado y el retenido en el estado estacionario y tasa de recuperación de cada ion mineral en el retenido con el módulo de RO HSRO-4040 y CF = 3

	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	NO ₃ ⁻	F ⁻	OSA
Permeado (mg/l)	0,2	0,0	0,6	5,4	10	0,7	0,15	0,5	0,0	0,2
Retenido (mg/l)	111,3	42	26,1	108,3	445,4	123	118	16,5	0,5	69,8
Recuperación en el retenido (%)	104	103	100	94	99	101	102	99	106	103

5 La tasa de recuperación de cada ion mineral disuelto valioso Ca²⁺, Mg²⁺, Na⁺, K⁺, HCO₃⁻, Cl⁻, SO₄²⁻ y ácido ortosilícico está comprendida en el intervalo del 94 al 104% con el agua D, logrando por tanto un CF = 3 sin pérdida sustancial de iones minerales valiosos en el retenido.

10 Ejemplo 11

Se repite el ejemplo 4, pero la primera membrana AMS tras el cátodo se sustituye por una membrana ASG tal como se ilustra en la figura 3D, con el fin de estrechar la tasa de retirada de cada ion mineral disuelto valioso. Se lavan los electrodos mediante un electrolito compuesto por una disolución de NaNO₃ con una conductividad de 19,1 mS/cm a 21,1°C y un pH de 9,5. En esta prueba se utilizan 30 litros de retenido producido según el ejemplo 10 y agua de alimentación C (CF = 2).

20 Se realiza la prueba en un modo de tensión constante/corriente variable, en el que se establece una tensión deseada de 9 V y se deja que la corriente se ajuste automáticamente para mantener la tensión y no se permite que se aproxime a la corriente limitante. Se mantiene la temperatura constante a 18,7 ± 0,7°C.

25 En esta prueba, la disolución de concentrado inicial es una disolución de KCl con una conductividad de 1,0 mS/cm a 21,4°C y un pH de 6,7. Se mantiene la conductividad del concentrado en el intervalo de 1,0 ~ 2,1 mS/cm purgando de manera periódica el concentrado y añadiendo agua de permeado procedente de RO.

30 Se mide la composición del diluido cada 30 minutos y al final de la prueba, cuando se alcanza el 100% de la conductividad del agua de alimentación de RO (figura 9). En la figura 9 también se presenta la retirada para silicio y para la conductividad. A partir de esta figura puede observarse claramente que tras 133 minutos, la composición de Ca²⁺, Mg²⁺, Na⁺, K⁺, Cl⁻, SO₄²⁻ y HCO₃⁻ está en el intervalo del 75 al 125% de su contenido en el agua C, mientras que el contenido de silicio (expresado como SiO₂) permanece inalterado al 202% del contenido en el agua C. El ion NO₃⁻ no deseado se retira hasta el 57% del contenido inicial. El agua obtenida mediante el procedimiento contiene un contenido disuelto de sodio de 11,1 mg/l, un contenido de ácido ortosilícico de 46,3 mg/l de SiO₂ y un residuo seco de 296,6 mg/l. La composición completa del agua final se presenta en la tabla 18.

35 Tabla 18: Composición del agua final

Calcio (mg/l)	34,3
Magnesio (mg/l)	16
Sodio (mg/l)	11,1
Potasio (mg/l)	29,3
Bicarbonato (mg/l)	171,1
Cloruro (mg/l)	36,5
Sulfato (mg/l)	33
Nitrato (mg/l)	4
OSA (mg/l de SiO ₂)	46,3
Residuo seco (mg/l)	296,6

40 Ejemplo 12

Se repite el ejemplo 11. Se lavan los electrodos mediante un electrolito compuesto por una disolución de NaNO₃ con una conductividad de 18,7 mS/cm a 21°C y un pH de 6,5. En esta prueba se utilizan 30 litros de retenido producido según el ejemplo 10 y agua de alimentación D (CF = 3).

45 Se realiza la prueba en un modo de tensión constante/corriente variable, en el que se establece una tensión deseada de 13 V y se deja que la corriente se ajuste automáticamente para mantener la tensión y no se permite que se aproxime a la corriente limitante. Se mantiene la temperatura constante a 23,2 ± 1,2°C.

50 En esta prueba, la disolución de concentrado inicial es una disolución de KCl con una conductividad de 1,0 mS/cm a 21,3°C y un pH de 7,4. Se mantiene la conductividad del concentrado en el intervalo de 1,0 ~ 2,6 mS/cm purgando de manera periódica el concentrado y añadiendo agua de permeado procedente de RO.

ES 2 687 297 T3

Se mide la composición del diluido cada 20 minutos y al final de la prueba, cuando se alcanza el 100% de la conductividad del agua de alimentación de RO (figura 10). En la figura 10 también se presenta la retirada para silicio y para la conductividad. A partir de esta figura puede observarse claramente que tras 95 minutos, la composición de Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , Cl^- , SO_4^{2-} y HCO_3^- está en el intervalo del 70 al 125%, mientras que el contenido de silicio (expresado como SiO_2) permanece inalterado al 197%. El ion NO_3^- no deseado se retira hasta el 56% del contenido inicial. El agua obtenida mediante el procedimiento contiene un contenido disuelto de sodio de 13,6 mg/l, un contenido de ácido ortosilícico de 68,7 mg/l de SiO_2 y un residuo seco de 447 mg/l. La composición del agua final se presenta en la tabla 19.

5

10 Tabla 19: Composición del agua final

Calcio (mg/l)	53,9
Magnesio (mg/l)	25,4
Sodio (mg/l)	13,6
Potasio (mg/l)	42
Bicarbonato (mg/l)	253,2
Cloruro (mg/l)	44,2
Sulfato (mg/l)	66
Nitrato (mg/l)	4,6
OSA (mg/l de SiO_2)	68,7
Residuo seco (mg/l)	447

REIVINDICACIONES

- 5 1. Procedimiento para producir agua enriquecida con ácido ortosilícico natural, comprendiendo dicho procedimiento por lo menos las etapas sucesivas siguientes:
- 10 a. una etapa de ósmosis inversa de un agua bruta que contiene una cantidad de ácido ortosilícico de menos de 45 mg/l de SiO₂ para obtener un retenido;
- 15 b. una etapa de electrodiálisis del retenido obtenido en la etapa a) con una pila de electrodiálisis que comprende unos pares alternos de membranas selectivas de cationes y membranas selectivas de aniones, seleccionándose dichas membranas selectivas de cationes y membranas selectivas de aniones en el grupo de membranas selectivas monovalentes y membranas de calidad estándar de manera que la pila contiene por lo menos una membrana de calidad estándar de cationes, una membrana selectiva monovalente de cationes, una membrana de calidad estándar de aniones y una membrana selectiva monovalente de aniones;
- 20 c. una etapa de recuperar un agua final que presenta un contenido en peso de ácido ortosilícico igual a por lo menos 150%, particularmente por lo menos 200%, más particularmente por lo menos 300% del contenido en peso de ácido ortosilícico del agua bruta, y un contenido en peso de iones minerales valiosos disueltos comprendido en el intervalo de 70 a 130%, particularmente en el intervalo de 80 a 120%, más particularmente en el intervalo de 90 a 110% del contenido en peso de iones minerales valiosos disueltos del agua bruta, seleccionándose los iones minerales valiosos de entre iones de calcio, magnesio, sodio, potasio, bicarbonato, sulfato y cloruro.
- 25 2. Procedimiento según la reivindicación 1, caracterizado por que comprende una etapa preliminar α) antes de la etapa a), que consiste en descontaminar el agua bruta para obtener un agua bruta descontaminada y por que la etapa a) se lleva a cabo en el agua bruta descontaminada.
- 30 3. Procedimiento según la reivindicación 1 o 2, caracterizado por que el agua bruta se selecciona de entre aguas subterráneas o agua superficial, más particularmente agua de manantial, agua mineral, agua mineral natural o aguas potables.
- 35 4. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3, caracterizado por que el agua final presenta un contenido de ácido ortosilícico comprendido entre 30 y 120 mg/l de SiO₂, particularmente entre 45 y 120 mg/l, más particularmente entre 75 y 120 mg/l.
- 40 5. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4, caracterizado por que el agua final presenta un residuo seco por debajo de 1500 mg/l, particularmente por debajo de 1100 mg/l, más particularmente por debajo de 500 mg/l.
- 45 6. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 5, caracterizado por que la pila de electrodiálisis contiene por lo menos cinco pares alternos de membranas selectivas de cationes y membrana selectiva de aniones, particularmente por lo menos 10 pares alternos.
- 50 7. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 6, caracterizado por que el agua final presenta un contenido en peso de ácido ortosilícico estable a temperatura de almacenamiento, incluso en particular a una temperatura por debajo de 10°C, más particularmente de aproximadamente 4°C.
- 55 8. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 7, caracterizado por que comprende una etapa final d) tras la etapa c), que consiste en la adición del agua final a una bebida y/o un jarabe y/o un polvo, para formar una bebida enriquecida con ácido ortosilícico biodisponible natural.
- 60 9. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 8, caracterizado por que la tasa de recuperación de la ósmosis inversa se ajusta para mantener la tasa de saturación de minerales insolubles en el retenido por debajo de 100%, particularmente por debajo de 90%, más particularmente por debajo de 80%.
- 65 10. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 9, caracterizado por que las dos etapas sucesivas a) y b) se repiten en el agua obtenida tras la etapa b) tantas veces como sea necesario para obtener un agua final con los contenidos en peso de ácido ortosilícico y minerales valiosos disueltos deseados, en particular una o dos veces, más particularmente una vez.
11. Procedimiento según la reivindicación 10, caracterizado por que el retenido obtenido tras la primera etapa a) de ósmosis inversa contiene únicamente la mitad del contenido en peso de ácido ortosilícico deseado del agua final.
12. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 11, caracterizado por que las membranas de

ósmosis inversa se seleccionan de entre membranas higienizables en caliente, membranas de desalinización de agua del mar, membranas de agua salobre, membranas resistentes a la incrustación biológica y membranas de baja energía, en particular de entre membranas de agua salobre y membranas de desalinización de agua del mar.

5

13. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 12, caracterizado por que la tasa de rechazo de iones minerales disueltos y ácido ortosilícico en el retenido es por lo menos superior a 80%, particularmente superior a 90%, más particularmente superior a 95%.

10

14. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 13, caracterizado por que el efluente del compartimento de concentración de la pila de electrodiálisis se añade al permeado de ósmosis inversa para formar agua potable mineral.

15

15. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 15, caracterizado por que el contenido de ion nitrato en el agua final es por lo menos menos de 80% del contenido en peso en el agua bruta, particularmente menos de 70%, más particularmente menos de 50%.

20

16. Agua potable sin gas obtenible mediante el procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 15, caracterizada por que contiene un contenido disuelto de sodio de menos de 20 mg/l, un contenido de ácido ortosilícico comprendido entre 75 y 120 mg/l de SiO₂ y un residuo seco entre 400 y 1100 mg/l.

17. Agua potable sin gas según la reivindicación 16, caracterizada por que contiene menos de 10 mg/l de iones nitrato disueltos.

25

18. Utilización del agua potable sin gas según la reivindicación 16 o 17 para reforzar y/o embellecer la piel, el cabello y las uñas y/o para la prevención de arrugas y/o para la prevención de la deshidratación de la piel.

30

19. Agua potable sin gas según la reivindicación 16 o 17 para su utilización como fármaco, en particular para el tratamiento y/o la prevención de osteoporosis, de toxicidad de aluminio, para la prevención de enfermedades neurodegenerativas, en particular la enfermedad de Alzheimer, y/o para la prevención de enfermedades cardiovasculares y/o aterosclerosis, y/o para la prevención de enfermedades de la piel y/o para la prevención y/o el tratamiento de la hipertensión.

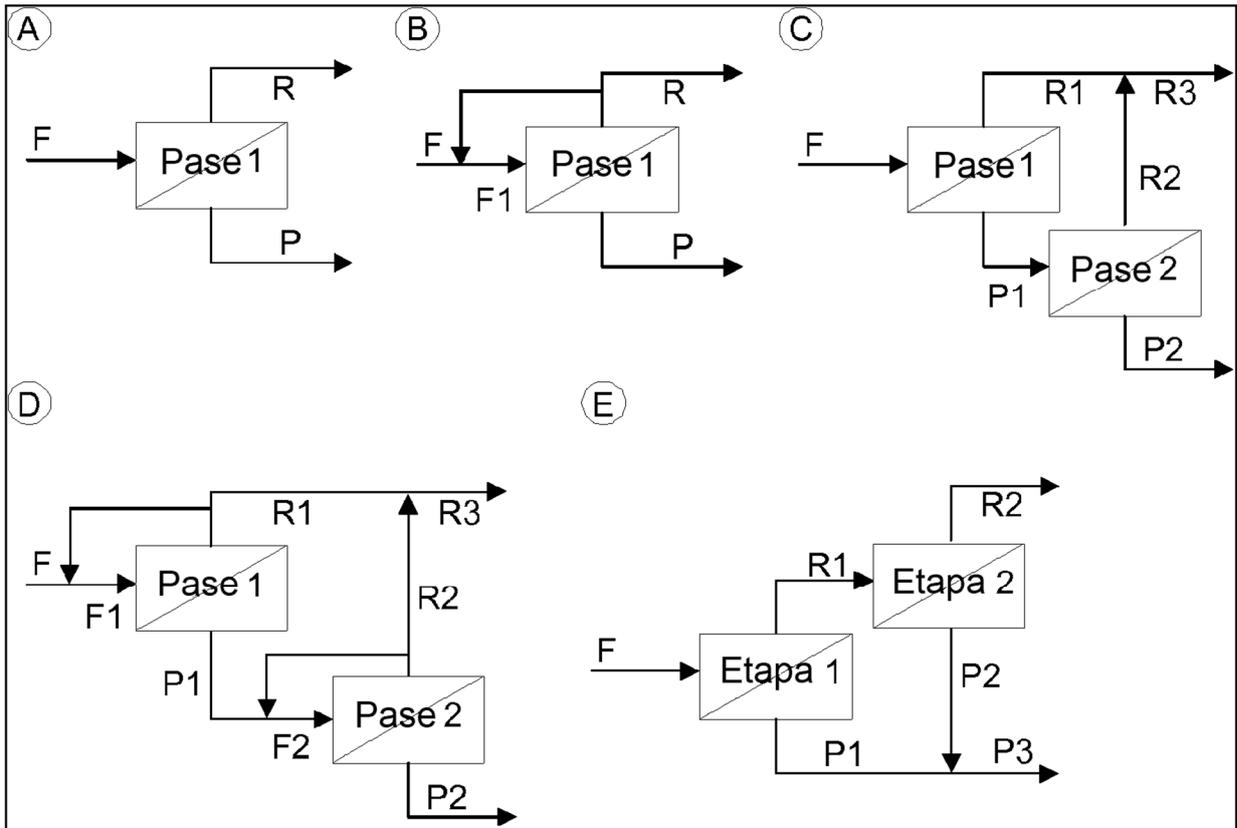


Fig. 1

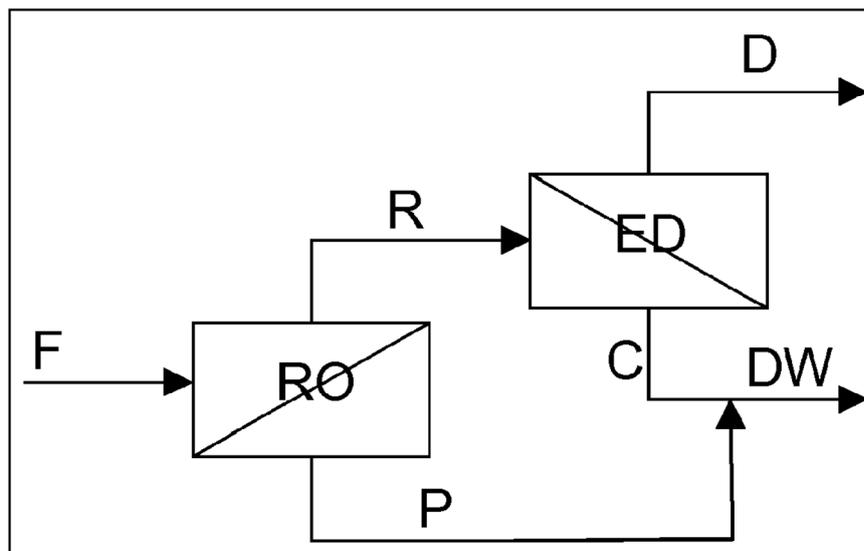


Fig. 2

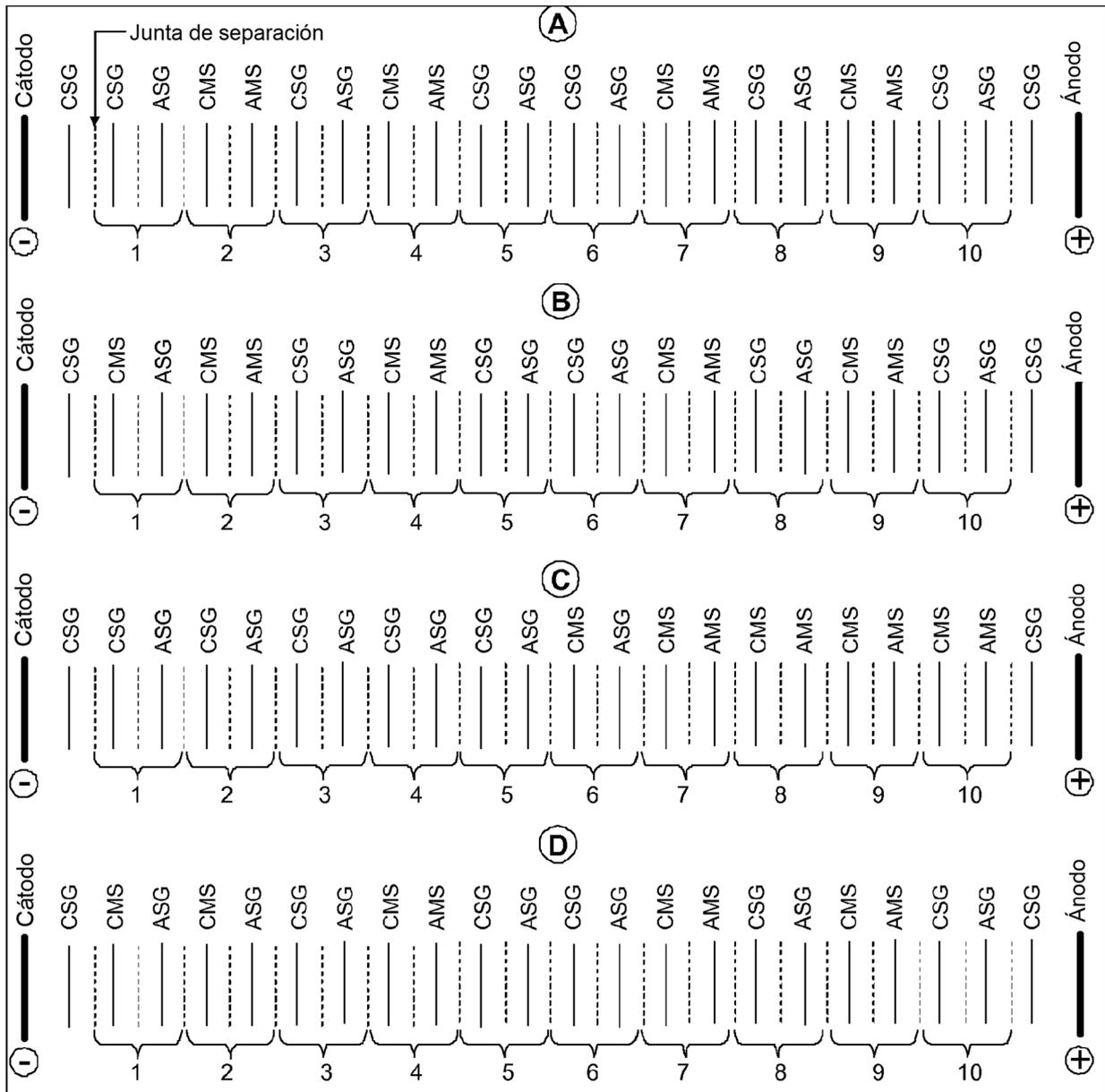


Fig. 3

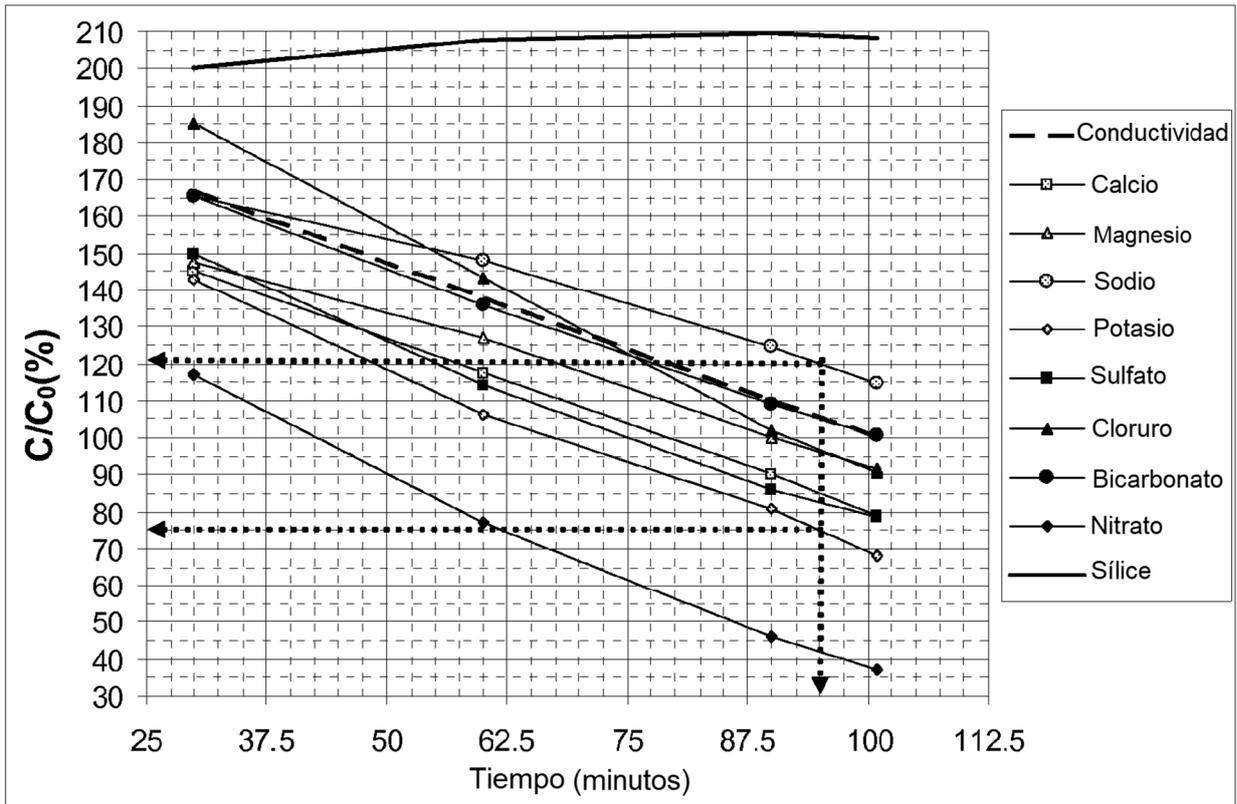


Fig. 4

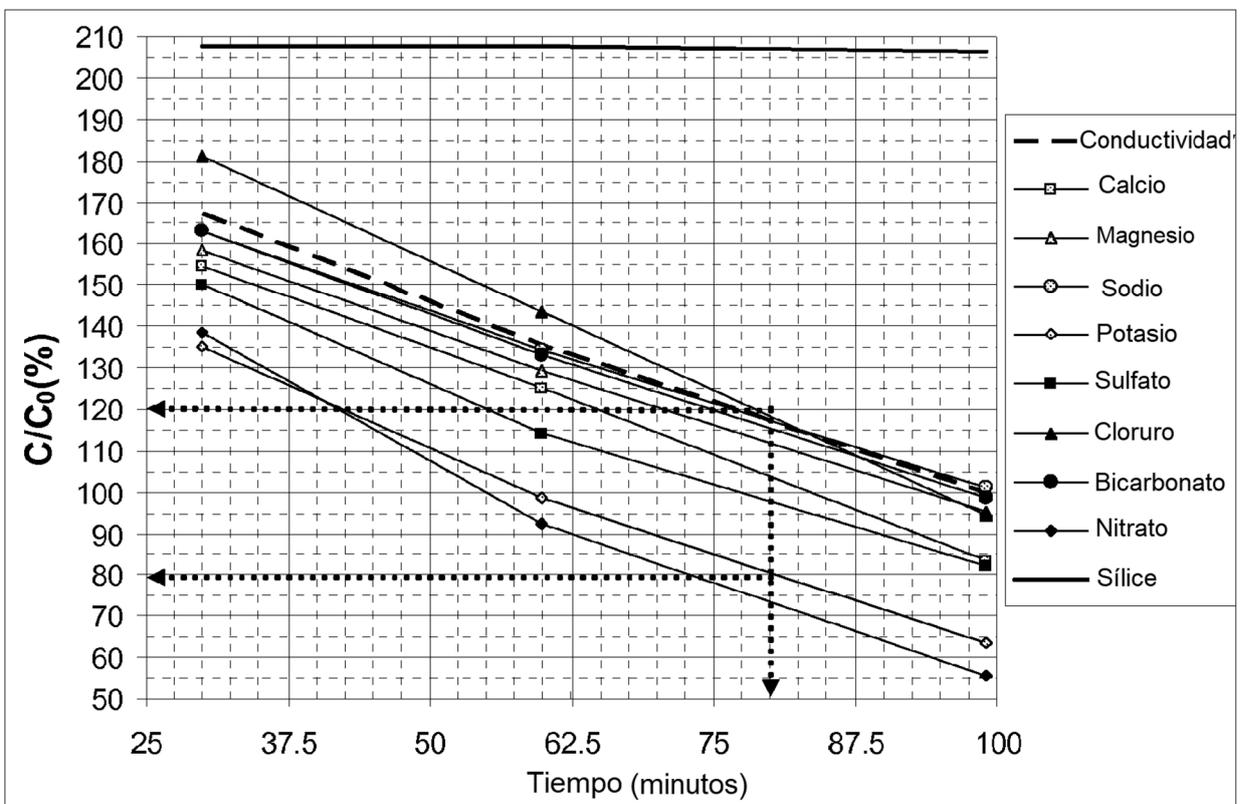


Fig. 5

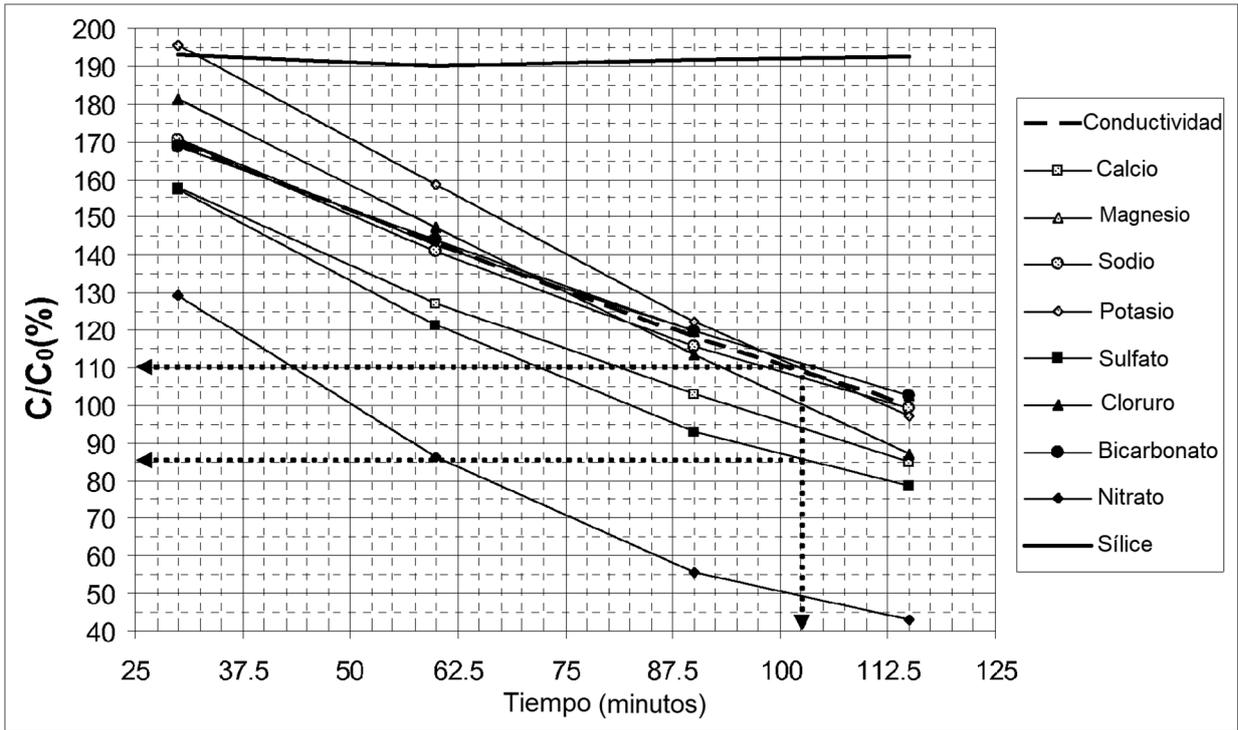


Fig. 6

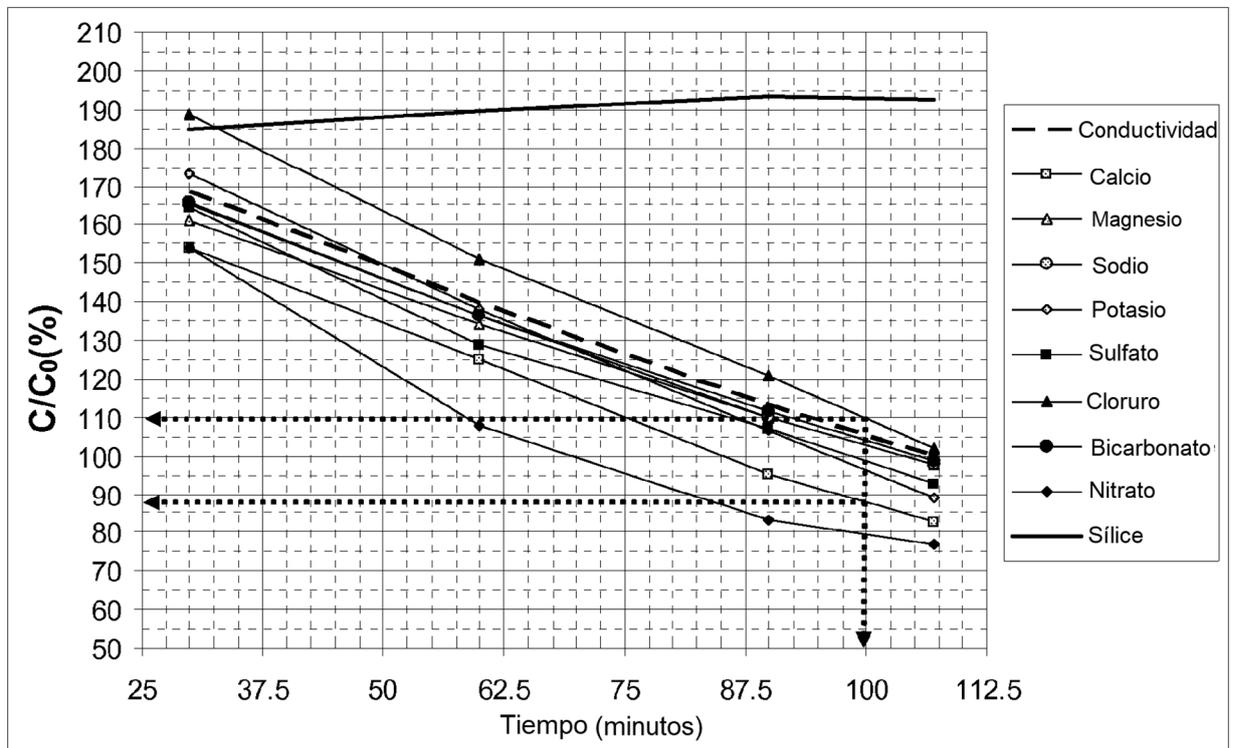


Fig. 7

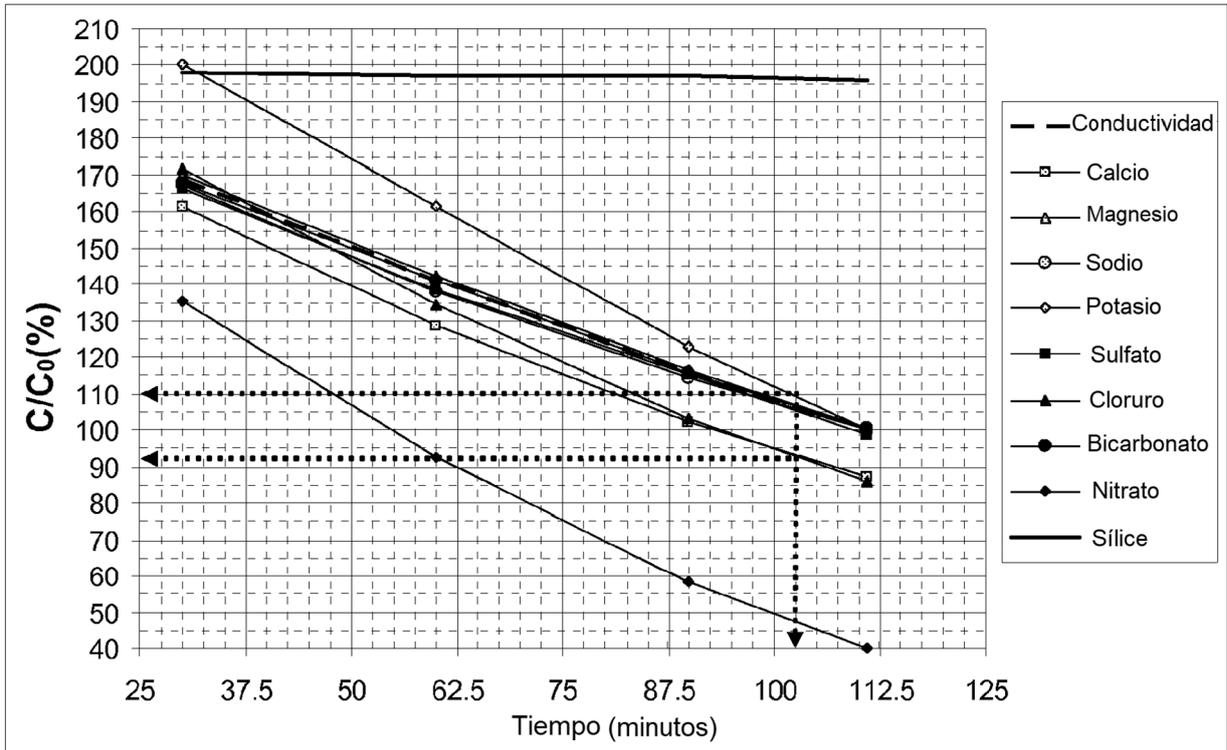


Fig. 8

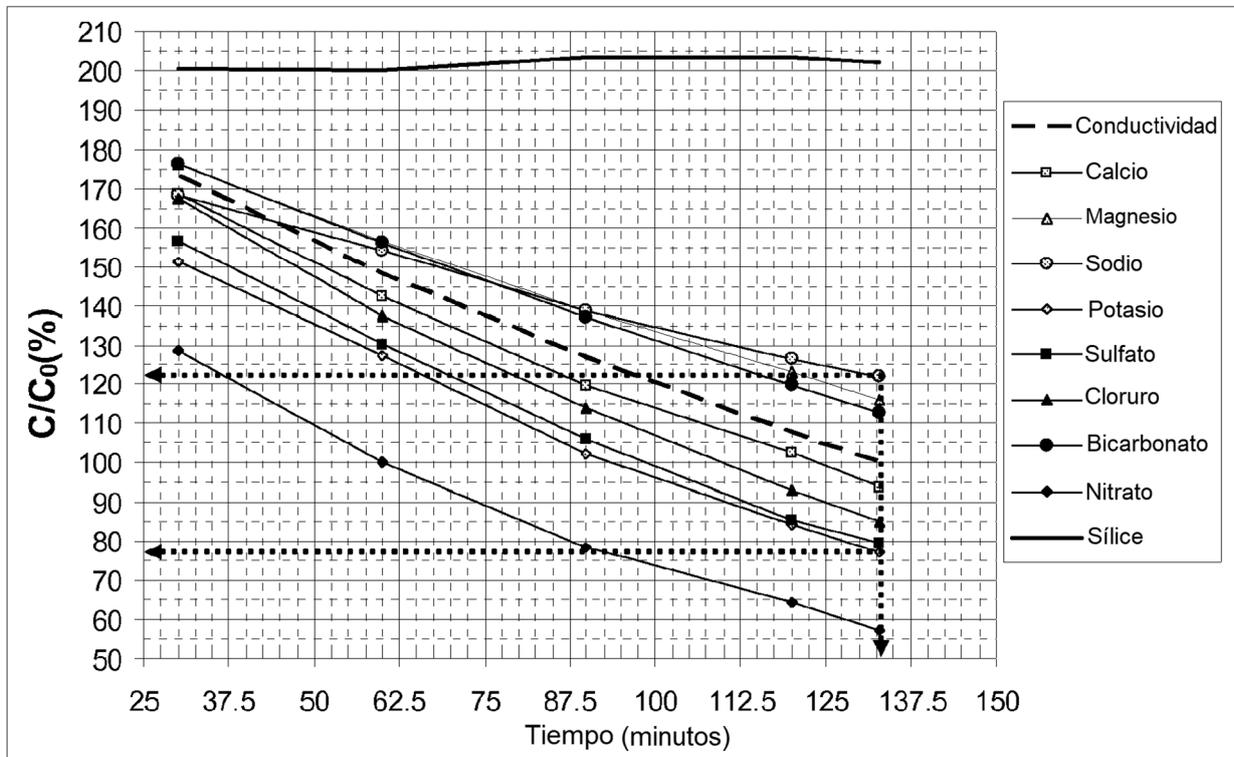


Fig. 9

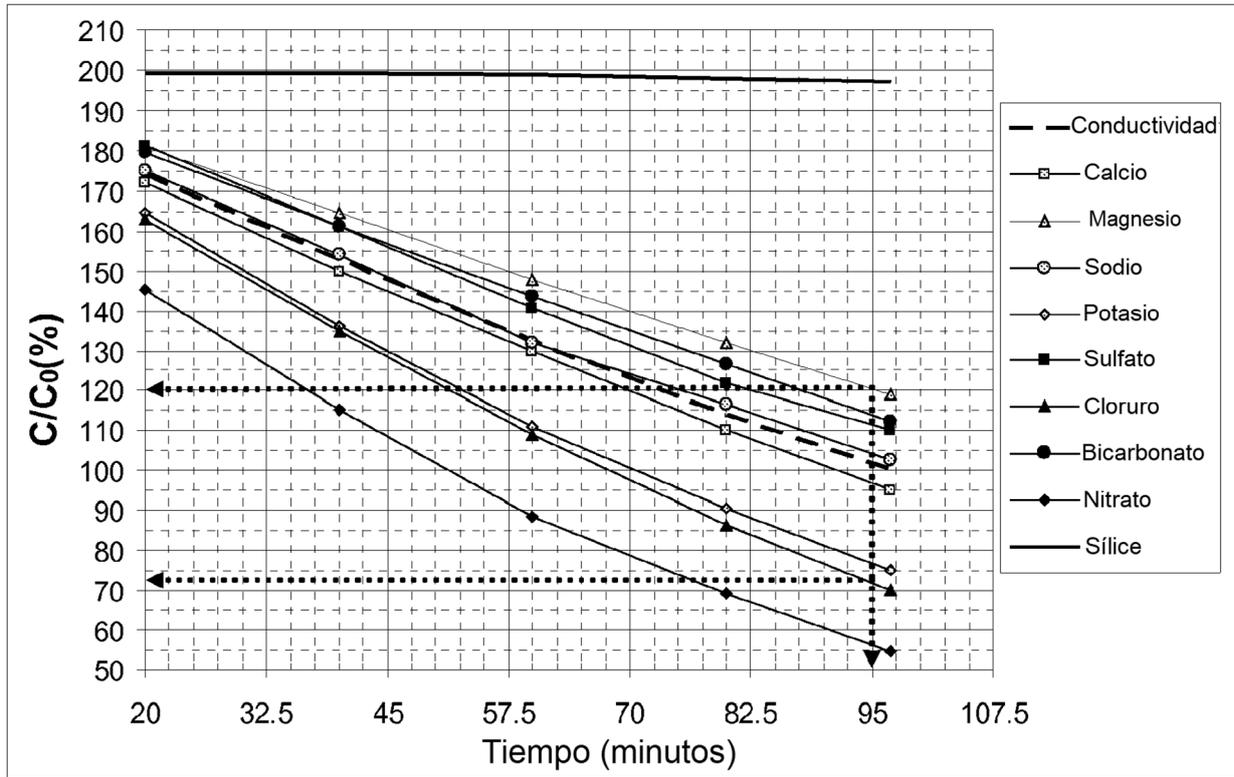


Fig. 10