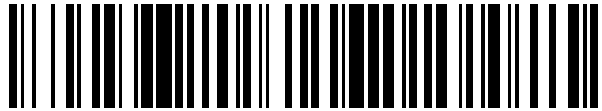


19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 564 319**

51 Int. Cl.:

**C02F 1/26** (2006.01)

**C02F 103/08** (2006.01)

**C02F 103/36** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **19.11.2010 E 10795493 (5)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **27.01.2016 EP 2504283**

54 Título: **Desalinización de agua utilizando una extracción por disolventes direccionales**

30 Prioridad:

**25.11.2009 US 264270 P**

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

**21.03.2016**

73 Titular/es:

**MASSACHUSETTS INSTITUTE OF TECHNOLOGY  
(100.0%)  
77 Massachusetts Avenue  
Cambridge, MA 02139, US**

72 Inventor/es:

**BAJPAYEE, ANURAG;  
KRAEMER, DANIEL;  
MUTO, ANDREW;  
CHEN, GANG;  
LIENHARD, JOHN y  
MIKIC, BORIVOJE**

74 Agente/Representante:

**CARPINTERO LÓPEZ, Mario**

Observaciones :

**Véase nota informativa (Remarks) en el folleto original publicado por la Oficina Europea de Patentes**

**ES 2 564 319 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

Desalinización de agua utilizando una extracción por disolventes direccionales

**Antecedentes**

5 Se espera que en este siglo la escasez de agua dulce supere la escasez de energía como preocupación global para la humanidad, y estos dos retos están unidos inexorablemente. El agua dulce es una de las necesidades más fundamentales de los seres humanos y otros organismos. Cada ser humano necesita consumir un mínimo de aproximadamente dos litros por día además de mayores demandas de agua dulce para agricultura, al igual que para procedimientos industriales. Por otra parte, las técnicas para transportar agua dulce o para producir agua dulce mediante desalinización tienden a ser muy exigentes de suministros cada vez más escasos de energía asequible.

10 Los peligros planteados por suministros insuficientes de agua son particularmente graves. Una escasez de agua dulce puede llevar a hambruna, enfermedad, muerte, migración forzada en masa, conflictos/guerras entre regiones (desde Darfur hasta el suroeste americano) y ecosistemas arruinados. A pesar de la criticidad de la necesidad de agua dulce y de las consecuencias profundas de la escasez, los suministros de agua dulce están particularmente limitados. El 97,5% de agua de la Tierra es salada, y aproximadamente un 70% del resto está inmovilizada como hielo (la mayoría en casquetes de hielo y glaciares), dejando únicamente un 0,75% de todo el agua en la Tierra como agua dulce disponible.

15 Además, ese 0,75% de agua dulce disponible no está distribuido uniformemente. Por ejemplo, los países en desarrollo muy poblados, tales como India y China, tienen muchas regiones que son objeto de suministros escasos. Más aún, el suministro de agua dulce es a menudo estacionalmente inconsistente. Normalmente limitada a cuencas hidrográficas regionales, el agua es pesada y su transporte es caro y requiere mucha energía.

20 Por otra parte, las demandas de agua dulce están haciéndose más severas en todo el globo. Los embalses están secándose; los acuíferos están descendiendo de nivel; los ríos están secándose; y los glaciares y casquetes de hielo están retrayéndose. Las poblaciones crecientes aumentan la demanda; al igual que cambios en la agricultura y una mayor industrialización. El cambio climático plantea aún más peligros en muchas regiones. Por consiguiente, el número de personas que afrontan escaseces de agua está creciendo.

25 Normalmente, se necesitan cantidades masivas de energía para producir agua dulce a partir de agua del mar (o, en un grado menor, de agua salobre), especialmente en ubicaciones remotas. En la actualidad la ósmosis inversa (OI) es la tecnología destacada de desalinización, pero se requiere mucha energía y es aún relativamente ineficaz debido a las grandes presiones requeridas para impulsar el agua a través de membranas semipermeables y su tendencia a la contaminación. En centrales a gran escala, la relación energía/volumen requerida puede ser de solo 4 kWh/m<sup>3</sup> con un 30% de recuperación, en comparación con el mínimo teórico de aproximadamente 1 kWh/m<sup>3</sup>, aunque los sistemas de OI de menor escala (por ejemplo, a bordo de barcos) tienen una eficacia mucho peor, en un orden de magnitud. Otro procedimiento popular es la destilación por evaporación instantánea de múltiples etapas (MSF), también un procedimiento que requiere mucha energía y capital.

30 En vez de extraer agua pura, los procedimientos electroquímicos, tales como electrodiálisis (ED) y la desalinización capacitiva (CD), extraen solo suficiente sal para conseguir agua potable (< 10 mM). Los sistemas de desalinización electromecánica actuales a gran escala son menos eficaces que las centrales de OI para desalar agua de mar (por ejemplo, 7 kWh/m<sup>3</sup> es el estado de la técnica en ED), pero se vuelven más eficaces para agua salobre (por ejemplo, CD puede conseguir 0,6 kWh/m<sup>3</sup>). En general, las técnicas existentes para eliminar la sal del agua, algunas de las cuales han existido durante siglos, tienden a ser caras o complicadas o ambas.

35 Se pueden encontrar ejemplos de procedimientos de desalinización de la técnica anterior en las patentes US 3.350.300 y 3.398.032 de Hess y en el documento WO 2006/029452 de Mailvaganam.

**Sumario**

45 En la presente memoria se describe un procedimiento para la desalinización del agua utilizando una extracción por disolventes direccionales.

50 Ciertos disolventes, tales como aceites comestibles (por ejemplo, aceite de soja) y algunos ácidos grasos, poseen una característica inusual de ser capaces de disolver direccionalmente agua mientras que no disuelven otras sales solubles en agua, tales como cloruro sódico, o impurezas y son insolubles o casi insolubles en agua (es decir, el agua se disuelve en la fase mayoritaria de disolvente direccional, pero el disolvente direccional no se disuelve en la fase mayoritaria de agua en más de cantidades traza). En la presente memoria, se aprovecha este fenómeno de solubilidad direccional en un nuevo procedimiento de desalinización controlado por temperatura de una solución salina.

55 En un ejemplo del procedimiento, se pone en contacto una solución salina (por ejemplo, agua de mar) con un disolvente direccional. El disolvente direccional incluye un ácido carboxílico (es decir, un compuesto que incluye un grupo carboxilo, RCOOH), tal como ácido decanoico, CH<sub>3</sub>(CH<sub>2</sub>)<sub>8</sub>COOH. Se calientan la solución salina y el

disolvente antes o después del contacto para mejorar la disolución direccional del agua en el disolvente y para producir, de ese modo, fases diferenciadas, una primera fase que incluye el disolvente y agua de la solución salina y una segunda fase que incluye un residuo altamente concentrado de la solución salina. La primera fase se separa de la segunda fase y es extraída. De forma alternativa, se puede extraer la segunda fase de la primera fase. Tras la extracción, se enfría la primera fase para precipitar el agua del disolvente; y luego se retira el agua precipitada del disolvente. El agua extraída puede tener la forma de agua sustancialmente pura (por ejemplo, adecuada para un uso industrial o agrícola o que incluso cumpla estándares de pureza de agua potable, tal como una pureza del 99,95%).

El procedimiento de la presente divulgación puede utilizar calor de baja calidad, que puede provenir de fuentes de calor terrestre, del océano, del sol o como calor residual de otros procedimientos. Este procedimiento de desalinización también puede ser sencillo de utilizar y puede ofrecer ahorros significativos de energía y económicos con respecto a los presentes procedimientos de desalinización.

### Breve descripción de los dibujos

La FIG. 1 es una ilustración esquemática de un procedimiento de desalinización de extracción por disolventes direccionales, a escala de laboratorio.

La FIG. 2 es una ilustración de una etapa inicial en el procedimiento, en la que se mezcla el agua salina con un disolvente direccional.

La FIG. 3 es una ilustración que muestra el uso de una placa de agitación para agitar la mezcla del agua salina y del disolvente para crear una emulsión.

La FIG. 4 es una ilustración que muestra la inmersión de la emulsión en un baño de agua caliente para aumentar la temperatura de la emulsión.

La FIG. 5 es una ilustración que muestra la separación de la emulsión calentada formando una capa superior de disolvente y agua disuelta y una capa inferior de agua salina altamente concentrada.

La FIG. 6 es una ilustración que muestra la decantación de la capa superior de disolvente y de agua disuelta en un tubo.

La FIG. 7 es una ilustración que muestra el enfriamiento del disolvente decantado y del agua disuelta para precipitar gotitas pequeñas de agua del disolvente.

La FIG. 8 es una ilustración que muestra el uso de dielectroforesis para separar las gotitas de agua del disolvente, reuniéndose el agua separada en la parte inferior del tubo.

La FIG. 9 es una ilustración que muestra la recuperación de agua sustancialmente pura de la parte inferior del tubo.

La FIG. 10 es una ilustración que muestra el uso de una placa de agitación para agitar una mezcla de agua salina y de disolvente de ácido decanoico para crear una emulsión calentada.

La FIG. 11 es una ilustración que muestra la separación de la emulsión calentada en una capa superior de ácido decanoico con agua disuelta y una capa inferior de agua salina altamente concentrada.

La FIG. 12 es una ilustración que muestra la decantación de la capa superior de disolvente y agua disuelta en un tubo calentado en un baño de agua caliente.

La FIG. 13 es una ilustración que muestra el uso de dielectroforesis en un tubo calentado para separar las gotitas de agua del disolvente, reuniéndose el agua separada en la parte inferior del tubo.

La FIG. 14 es un gráfico que representa la producción de agua dulce a partir de disolvente de ácido decanoico como una función de la temperatura.

La FIG. 15 es un gráfico que representa el consumo exergético para un procedimiento de desalinización utilizando ácido decanoico como disolvente como una función de la temperatura.

En los dibujos adjuntos, los caracteres similares de referencia hacen referencia a las mismas partes, o similares, en todas las distintas vistas. Los dibujos no están necesariamente a escala, en cambio se hace hincapié en la ilustración de los principios particulares expuestos a continuación.

### Descripción detallada

Las anteriores y otras características y ventajas de diversos aspectos de la invención serán evidentes a partir de la siguiente descripción más particular de diversos conceptos y de realizaciones específicas dentro de los límites más amplios de la invención. Se pueden implementar diversos aspectos de la materia objeto presentada anteriormente y expuestos con más detalle a continuación de varias formas, dado que la materia objeto no está limitada a ninguna forma particular de implementación. Se proporcionan ejemplos de implementaciones y aplicaciones específicas principalmente con fines ilustrativos.

A no ser que se defina lo contrario, los términos (incluyendo términos técnicos y científicos) utilizados en la presente memoria tienen el mismo significado comúnmente entendido por una persona con un nivel normal de dominio de la técnica a la que pertenece la presente invención. Además, se comprenderá que debe interpretarse que términos tales como los definidos en los diccionarios utilizados habitualmente, tienen un significado que es coherente con su significado en el contexto de la técnica relevante y no deben ser interpretados en un sentido idealizado ni demasiado formal, a no ser que se defina así expresamente en la presente memoria. Por ejemplo, si se hace referencia a una composición particular, pueden aplicarse realidades prácticas imperfectas; por ejemplo, se puede comprender que la

presencia potencial de al menos impurezas traza (por ejemplo, de menos del 0,1% en peso o volumen) se encuentra dentro del alcance de la descripción.

5 Aunque se pueden utilizar los términos primero, segundo, tercero, etc. para describir diversos elementos, estos elementos no están limitados por estos términos. Estos términos son utilizados simplemente para distinguir un elemento de otro. Por lo tanto, se podría denominar a un primer elemento, expuesto a continuación, segundo elemento sin alejarse de las enseñanzas de las realizaciones ejemplares.

10 Se pueden utilizar términos relativos espacialmente, tales como “encima”, “superior”, “debajo”, “inferior” y similares en la presente memoria para facilitar la descripción para describir la relación de un elemento con otro elemento, según se ilustra en las figuras. Se comprenderá que se concibe que los términos relativos espacialmente abarquen distintas orientaciones del aparato en uso u operación, además de la orientación mostrada en las figuras. Por ejemplo, si se gira el aparato en las figuras, los elementos descritos “bajo” o “debajo de” otros elementos o características estarían orientados entonces “encima de” los otros elementos o características. Por lo tanto, el término ejemplar, “encima”, puede abarcar tanto una orientación de encima como de debajo. El aparato puede estar orientado de otra manera (por ejemplo, girado 90 grados o en otras orientaciones) y los descriptores relativos espacialmente utilizados en la presente memoria interpretados en consecuencia.

15 Además, en la presente memoria, cuando se hace referencia a que un elemento está “sobre”, “conectado con” o “acoplado con” otro elemento, puede estar directamente sobre, conectado o acoplado con el otro elemento o puede haber elementos intermedios, a no ser que se especifique lo contrario.

20 La terminología utilizada en la presente memoria tiene el fin de describir realizaciones particular y no se concibe que sea limitante de realizaciones ejemplares. Según se utilizan en la presente memoria, se concibe que las formas singulares “un”, “una”, “el” y “la” también incluyan las formas plurales, a no ser que el contexto indique claramente lo contrario. Además, los términos “incluye”, “incluyendo”, “comprende” y “comprendiendo” especifican la presencia de elementos o etapas indicadas pero no excluye la presencia ni adición de uno o más elementos o etapas adicionales.

25 En la FIG. 1 se ilustra de forma amplia y esquemática una ejemplificación por lotes, a escala de laboratorio, de un procedimiento de desalinización con diversas etapas mostradas con mayor detalle en las FIGURAS 2-9. También se puede llevar a cabo el procedimiento a una escala industrial mayor utilizando aparatos automatizados mayores. Además, también se puede llevar a cabo el procedimiento en un procedimiento continuo por etapas, en el que se introduce continuamente la solución salina y se produce continuamente agua sustancialmente pura.

30 El procedimiento de la FIG. 1 comienza en la etapa A con la adición de una solución salina 12 y de calor, Q, a un disolvente direccional 14 en un recipiente 16. Se mezclan el disolvente direccional 14 y la solución salina 12 para producir una emulsión 22, según se muestra en la etapa B. Con la adición de más calor, Q, el agua de la solución salina se disuelve 13 entonces en el disolvente direccional hasta la etapa C; y el residuo concentrado 30 de la solución salina se asienta 15 en la parte inferior del recipiente 16 en la etapa D.

35 Entonces, se retira el recipiente 16 de la fuente de calor y se decanta 17 la solución de agua en el disolvente direccional del recipiente a una vasija secundaria en la etapa E y se deja que enfríe para precipitar 19 agua de la solución, según se muestra en la etapa F. El agua precipitada 21 se asienta en la parte inferior de la vasija en la etapa G y luego es recuperada 23 como agua sustancialmente pura de la parte inferior de la vasija en la etapa H. Según se muestra, se puede reutilizar 25 el disolvente direccional cuando se repite el procedimiento con solución salina adicional.

40 Con referencia de nuevo a las etapas de este procedimiento desde el comienzo en un ejemplo más específico, comenzando con la FIG. 2 (etapa A en la FIG. 1), se añade una solución salina 12 a un recipiente 16 (por ejemplo, un matraz) lleno de un disolvente direccional 14 a temperatura ambiente, o cerca de la misma, (por ejemplo, 25-35°C). La solución salina 12 puede darse de forma natural, por ejemplo, en forma de agua salina extraída del mar. El disolvente direccional 14 puede ser, por ejemplo, un aceite comestible, tal como aceite de coco, que incluye ácidos grasos.

45 El disolvente direccional consiste esencialmente en uno o más ácidos grasos selectos. Los ácidos grasos adecuados incluyen cadenas de carbono de 6 a 13 átomos de carbono, tal como ácido decanoico, que tiene una longitud de cadena de carbono de 10 átomos de carbono. El ácido graso también puede ser un sólido a temperatura ambiente (por ejemplo, aproximadamente 30°C y/o menos). El ácido decanoico es considerado sustancialmente insoluble en agua (por ejemplo, se disuelve en agua únicamente hasta 40-50 partes por millón); y el ácido decanoico es relativamente inocuo para los seres humanos, dado que se encuentra de forma natural en la leche. En los procedimientos para separar agua de una solución salina, un grupo hidróxido hidrófilo del ácido graso puede unirse al agua de la solución salina.

50 Entonces, se mezclan la solución salina 12 del recipiente 16 y el disolvente direccional 14, combinándolos para formar una emulsión. Según se muestra en la FIG. 3 (etapa B en la FIG. 1), en un entorno a escala de laboratorio, la mezcla puede llevarse a cabo en una placa magnética 20 de agitación con un agitador magnético 18 metido en el interior del recipiente 16. La placa 20 de agitación desplaza magnéticamente el agitador magnético 18 en el

recipiente 16 para mezclar de forma enérgica el disolvente 14 y la solución salina 12 para producir una emulsión 22 de los dos líquidos. La mezcla se lleva a cabo hasta que la emulsión 22 tenga un aspecto turbio a simple vista (por ejemplo, en la presente realización, durante aproximadamente 30 segundos).

5 Se expone la emulsión 22 en el recipiente 16 a una fuente 24 de calor (por ejemplo, en forma de un baño de agua caliente), según se muestra en la FIG. 4 (etapa C en la FIG. 1), y se precalienta hasta una temperatura de precalentamiento, por ejemplo, de aproximadamente 75°C o, en otras realizaciones, únicamente hasta una temperatura de solo aproximadamente 40°C, con la temperatura elevada reflejada por el mercurio elevado en el termómetro ilustrado 26. De forma alternativa, el disolvente 14 y/o la solución salina 12 pueden ser calentados antes de su contacto o mezcla. Se puede proporcionar el calor, por ejemplo, mediante calor residual de otro procedimiento o de fuentes de calor terrestre, del océano, o de un calentamiento solar sencillo procedente del sol. La emulsión 22 permanece sometida a la fuente de calor para mantener la temperatura de precalentamiento (por ejemplo, durante un día) para permitir que el agua de las gotitas de la solución salina en la emulsión 22 se disuelva en el disolvente direccional.

10 La solución 28 del disolvente con el agua disuelta sube hasta la parte superior del recipiente 16 y tiene un aspecto transparente a simple vista, mientras que el residuo concentrado 30 de la solución salina se separa hasta la parte inferior del recipiente 16, según se muestra en la FIG. 5 (etapa D en la FIG. 1).

15 Entonces, se retira el recipiente 16 de la fuente 24 de calor y se decanta la solución 28 incluyendo el disolvente y el agua disuelta del recipiente 16 en vasijas secundarias 32 (por ejemplo, en forma de tubos cónicos), según se muestra en la FIG. 6 (etapa E en la FIG. 1), y se deja que enfrien (por ejemplo, en aire ambiente) hasta la temperatura ambiental, según se muestra en la FIG. 7 (etapa F en la FIG. 1). Según enfría la solución 28, la solución 28 se vuelve turbia, indicando la precipitación de pequeñas gotitas de agua para formar una emulsión 34.

20 Opcionalmente, para acelerar la separación del agua precipitada y la separación del agua del disolvente, la emulsión 34 del agua precipitada y del disolvente, mientras es mantenida en el tubo 32 en un soporte 33, puede ser sometida a dielectroforesis, según se muestra en la FIG. 8 (etapa G en la FIG. 1). Según se muestra, una fuente 40 de alimentación está acoplada mediante hilos conductores 38 a un par de electrodos 35 y 36 colocados en la parte inferior y en la parte superior de la vasija 32. La fuente 40 de alimentación produce una diferencia de potencial entre los electrodos 35 y 36, produciendo la no uniformidad de la forma de los electrodos (por ejemplo, una placa plana en un extremo y una aguja en el otro extremo) un campo eléctrico no uniforme que actúa sobre las gotitas de agua para separarlas del disolvente. Por consiguiente, se recoge agua sustancialmente pura 42, que tiene una mayor densidad que el disolvente, en la parte inferior de la vasija 32 y es retirada mediante un agujero en la parte inferior de la vasija y es recogida en un depósito 44 de agua (en la presente realización, en forma de matraz), según se muestra en la FIG. 9 (etapa H en la FIG. 1).

25 El agua sustancialmente pura 42 puede tener un contenido de sales en peso/peso, por ejemplo, inferior a un 1,5%, inferior a 0,14% o inferior a 0,05%. Opcionalmente, se puede emplear una desalinización adicional después de los procedimientos de separación de agua descritos anteriormente para alcanzar un nivel más elevado de pureza del agua. Por ejemplo, una segunda etapa de desalinización puede tener forma de ósmosis inversa o destilación por evaporación instantánea.

30 En sistemas grandes, se puede utilizar la recuperación de calor para mejorar la eficacia del sistema. Por ejemplo, el calor liberado en el enfriamiento para precipitar agua pura puede ser utilizado para calentar la emulsión de agua de mar en aceite.

35 Una aplicación para estos aparatos y procedimientos es en la producción de petróleo o de gas natural, en la que se puede utilizar el disolvente direccional para separar sales y otros componentes que son insolubles en el disolvente direccional, por ejemplo, de "agua de producción" (es decir, agua que se produce junto con el petróleo y el gas) o "agua de fracturación" (es decir, agua de fracturación hidráulica) que se genera, en particular, cuando se extrae petróleo de arena bituminosa o cuando se extrae gas natural de esquistos bituminosos. El agua de fracturación hidráulica puede tener una concentración de sal tres veces mayor que la de agua de mar típica y puede incluir, por ejemplo, benceno y metales pesados. Y normalmente, el agua o agua de fracturación hidráulica producida es transportada a una instalación aneja para su tratamiento y/o contención en depósitos sobre el nivel del suelo.

40 Tanto la ósmosis inversa como la evaporación instantánea de múltiples etapas exhiben un rendimiento inferior en el tratamiento de agua de producción o de fracturación hidráulica, en el que una salinidad mucho mayor en el agua de producción o de fracturación hidráulica aumenta el consumo de energía y provoca una mayor contaminación de las membranas. Mezclando en vez de ello el agua de producción con el disolvente direccional, se puede extraer la mayoría del agua en forma sustancialmente pura utilizando aportaciones de energía y calor relativamente bajas y a un coste razonable, dejando un producto de desecho mucho más concentrado y de menor volumen y permitiendo que se vuelva a utilizar el agua extraída en el procedimiento de extracción de petróleo, ofreciendo, de ese modo, beneficios medioambientales sustancialmente en términos de contención de desechos, menores demandas de agua, menos contaminación medioambiental y mayor eficacia.

**Ejemplificación 1 (no según la invención)**Materiales, procedimientos y observaciones:

5 En un primer experimento, se utilizó aceite de soja como el disolvente direccional. El aceite de soja tiene un límite de hidrosaturación del 0,3% en volumen a 25°C, y se prevé que este límite de saturación casi se duplique a 60°C. El aceite de soja es barato y fácilmente disponible.

Se preparó una solución acuosa de cloruro sódico para simular el agua de mar. Se midió el contenido de sales de esta solución utilizando un medidor de salinidad Horiba y se halló que era de  $3,367\% \pm 0,115\%$ .

10 Se añadieron aproximadamente 6 ml de esta solución de sales a aproximadamente 300 ml de aceite de soja y fueron mezclados de forma enérgica en un recipiente sobre una placa de agitación para producir una emulsión de solución de sal en aceite. Se agitó la mezcla durante aproximadamente 30 segundos hasta que el contenido del recipiente alcanzó un aspecto turbio a simple vista.

15 Entonces, se colocó este recipiente de emulsión en un baño de agua caliente precalentada a 75°C. Se dejó la emulsión en el baño de agua caliente durante 24 horas (este periodo de incubación puede reducirse o aumentarse fácilmente para optimizar la velocidad de procesamiento o la producción) para permitir que algo de agua de las gotitas de emulsión se disuelva en el aceite. Se espera que esta disolución direccional de agua en el aceite vuelva sumamente concentradas con sal las gotitas restantes, y se espera que estas gotitas se separen por gravedad hasta la parte inferior de un recipiente.

20 Tras 24 horas de incubación, se extrajo el recipiente de emulsión del baño de agua caliente. Según se preveía, una cantidad significativa de la solución de sal se había separado hasta la parte inferior del recipiente, y el aceite por encima tenía un aspecto transparente a simple vista. Este cambio de turbio a transparente indica que las gotitas de la emulsión bien se han disuelto o bien se han separado hasta la parte inferior del recipiente.

El aceite por encima de la solución de sal separada fue decantado en seis tubos cónicos distintos de 50 ml y se dejaron que enfriasen al aire a temperatura ambiente. Según se preveía, tras varias horas de enfriamiento, el aceite pareció volverse turbio de nuevo, indicando la precipitación de pequeñas gotitas de agua.

25 Para acelerar el procedimiento de separación de esta agua precipitada y su separación del aceite, se sometieron a las emulsiones a dielectroforesis. En el procedimiento de dielectroforesis, se utilizó un campo eléctrico no uniforme para separar materiales particulados (aquí, gotitas de agua) de un fluido anfitrión (aquí, aceite). Específicamente, se sometió a la mezcla a un campo eléctrico de aproximadamente 2 kV/cm durante aproximadamente 5 minutos. Se observó una separación significativa del agua del aceite. Se retiró esta agua separada y aparentemente desalada por medio de un agujero en la parte inferior de los tubos cónicos. Se recuperó aproximadamente 1,5 ml de agua.

30 El agua recuperada también fue sometida a ensayo utilizando el medidor de salinidad Horiba y se halló que el contenido salino final fue de  $0,5833\% \pm 0,0681\%$ .

Exposición:

35 Como se preveía, se redujo significativamente el contenido salino de la solución inicial de sal utilizando el procedimiento demostrado.

40 Aunque la concentración final de sales fue significativamente menor que la concentración inicial, no se encuentra dentro de los estándares de potabilidad del 0,05%. Se atribuye la sal restante en el agua recuperada a la posibilidad de que no se separó toda el agua no disuelta que contenía sal antes de la decantación y fue mezclada finalmente con el agua pura. Se puede reducir el contenido salino sometiendo a la mezcla a dielectroforesis antes del enfriamiento para aumentar la separación de microgotitas de agua emulsionada sumamente salada y, por lo tanto, reducir adicionalmente la concentración salina final del agua recuperada. De forma alternativa, incluso con tal contenido de sales, se puede utilizar este procedimiento como una primera etapa (tratamiento previo) de desalinización, en combinación, por ejemplo, con el uso de tecnología de separación de agua a base de membranas en una segunda etapa subsiguiente. En este contexto, esta primera etapa del procedimiento de desalinización reduce la energía y el coste necesarios para producir agua de pureza elevada en la segunda etapa del procedimiento.

45 Otra área de mejora fue el volumen reducido de agua pura que fue recuperado; el agua pura recuperada fue únicamente de aproximadamente un 0,5% del volumen de aceite utilizado. Esta recuperación limitada podría hacer que el procedimiento fuese ineficaz energéticamente, al igual que ineficaz en cuanto a tamaño. Para abordar este problema, se pueden utilizar otros disolventes direccionales, tales como ácido decanoico, que tienen capacidad para disolver mayores cantidades de agua.

A pesar de estas áreas que pueden ser objeto de mejoras, los resultados de este experimento parecieron sumamente prometedores; y se creyó que este procedimiento con las modificaciones contempladas podría producir agua pura a la vez que se seguía manteniendo eficacia energética y en tamaño.

### Ejemplificación 2:

- 5 En un intento por descubrir un procedimiento más eficaz, se llevó a cabo un segundo experimento, en el que se repitieron los experimentos descritos anteriormente utilizando ácido decanoico como el disolvente. El ácido decanoico disuelve aproximadamente un 3,4% de agua (es decir, de forma que la solución incluya aproximadamente un 3,4% de agua disuelta) a 33°C y aproximadamente un 5,1% de agua a 62°C. El ácido decanoico puro es un sólido por debajo de los 30°C.
- 10 Inicialmente, se calentó ligeramente (hasta aproximadamente 30°C) el ácido decanoico para fundirlo antes de que se añadiese la solución salina, y se calentó la placa 20 de agitación para calentar la mezcla (según se muestra por medio del termómetro 26, que refleja una temperatura elevada) cuando se forma la emulsión 22, según se muestra en la FIG. 10. Después de agitar, se permitió que la emulsión reposara sobre la placa 20 de calentamiento/agitación para permitir la separación del disolvente y de la solución 28 de agua disuelta del residuo altamente concentrado de la solución salina 30, según se muestra en la FIG. 11.

A partir de entonces, se transfirió la fase que contenía ácido decanoico y la solución 28 de agua disuelta a tubos cónicos 32 colocados en un baño 48 de agua, según se muestra en la FIG. 12, en el que se permitió que el contenido se enfriase y reposara durante varias horas antes de la separación final del agua sustancialmente pura. A continuación, según se muestra en la FIG. 13, se proporcionó un calentamiento por medio de una bobina resistiva 46 de calentamiento durante la dielectroforesis para mantener el ácido decanoico por encima de los 30°C para evitar la solidificación. Finalmente, se recoge el agua sustancialmente pura 42, que tiene una mayor densidad que el ácido decanoico, en la parte inferior de la vasija 32 y es retirada por medio de un agujero en la parte inferior de la vasija 32 y recogida en un depósito 44 de agua, según se muestra en la FIG. 9. Este segundo experimento incluyó tandas experimentales en los que se calentó la emulsión hasta temperaturas de 40, 45, 50, 55, 60, 65, 70, 75 y 80°C. Comenzando con un contenido salino inicial de un 3,5% en peso (p/p), el agua desalada contenía entre un 0,06% y un 0,11% de sal con una producción entre 0,4% p/p y un 2% p/p de agua desalada de la emulsión (en la que la producción es el peso del agua recuperada dividido por el peso unitario del disolvente utilizado), dependiendo de la máxima temperatura operativa. Por lo tanto, no solo es este disolvente considerablemente más eficaz (que el aceite de soja, utilizado en el primer experimento), sino que la eliminación de sal también es mucho más eficaz con el ácido decanoico. La salinidad del agua recuperada se encuentra en el intervalo de estándares de agua potable y agrícola. La FIG. 14 resume los resultados, en la que se representan las producciones (círculos) 49 y las salinidades 50 del agua recuperada (triángulos) de distintas tandas experimentales. También se representan producciones experimentales (cuadrados) 52 cuando se disolvió agua pura en ácido decanoico. La línea discontinua 54 refleja la producción calculada a partir de los datos de solubilidad de C. Hoerr, et al., "The Effect of Water on Solidification Points of Fatty Acids", Journal of the American Oil Chemists' Society, tomo 19, 126-128 (1942). Finalmente, se muestra el límite de salinidad de la EPA como la línea 56 de puntos y rayas en la parte inferior del gráfico, con la salinidad de la OMS trazada como una segunda línea 58 de puntos y rayas inmediatamente por encima de ella.

Además, otro beneficio del uso de ácido decanoico como un disolvente es que el ácido decanoico es un sólido por debajo de los 30°C y, por lo tanto, si queda cualquier disolvente en el agua recuperada como impureza, puede ser eliminado fácilmente enfriando la mezcla por debajo de los 30°C y separando el agua de las impurezas sólidas.

Se calculó el consumo exergético para un procedimiento industrial de desalinización utilizando ácido decanoico como el disolvente direccional y se resume en la FIG. 15, en la que se compara el consumo exergético de los resultados experimentales (círculos) 60 a las temperaturas de precalentamiento de 40, 45, 50, 55, 60, 65°C, 70°C, 75 y 80°C, con los valores de la bibliografía para el consumo exergético de la ósmosis inversa (triángulos huecos) 62 y la evaporación instantánea 64 de múltiples etapas (diamantes). Estos gráficos de consumo energético representan la máxima cantidad de trabajo eléctrico equivalente utilizada para eliminar la sal del agua de mar. También se muestra el consumo energético real de la temperatura fuente de la ósmosis inversa (triángulos rellenos) 66, dado que se deriva la electricidad de una central eléctrica a temperaturas elevadas. Para extrapolar los resultados experimentales a números para un procedimiento industrial continuo, se supone una eficacia del intercambiador de calor de un 80%. La conversión de energía a trabajo para el procedimiento propuesto fue llevada a cabo con eficiencia de Carnot, que es el máximo teórico que puede conseguirse utilizando un motor térmico. En realidad, ningún motor térmico es eficaz a las temperaturas operativas reducidas utilizadas aquí, y los equivalentes reales de trabajo eléctrico serían mucho menores que los calculados. La línea discontinua 68 está basada de nuevo en el consumo exergético calculado a partir de los datos de solubilidad de C. Hoerr, et al., "The Effect of Water on Solidification Points of Fatty Acids", Journal of the American Oil Chemists' Society, tomo 19, 126-128 (1942).

Para describir las realizaciones de la invención, se utiliza terminología específica en aras de la claridad. De cara a la descripción, se concibe que los términos específicos incluyan al menos equivalentes técnicos y funcionales que operen de una forma similar para conseguir un resultado similar. Además, en algunos casos en los que una realización particular de la invención incluye una pluralidad de elementos del sistema o etapas del procedimiento,

- esos elementos o etapas pueden ser sustituidos por un único elemento o etapa; asimismo, se puede sustituir un único elemento o etapa con una pluralidad de elementos o etapas que sirven el mismo fin. Además, cuando se especifican parámetros de diversas propiedades en la presente memoria para las realizaciones de la invención, se pueden ajustar esos parámetros hacia arriba o hacia abajo en  $1/100$ ,  $1/50$ ,  $1/20$ ,  $1/10$ ,  $1/5$ ,  $1/3$ ,  $1/2$ ,  $3/4$ , etc. (o, ascendente, en un factor de 2, 5, 10, etc.), o en aproximaciones redondeadas de los mismos, a no ser que se especifique lo contrario. Además, aunque se ha mostrado y descrito la presente invención con referencias a realizaciones particulares de la misma, los expertos en la técnica comprenderán que se pueden realizar sustituciones y alteraciones en la forma y se pueden crear detalles en las mismas sin alejarse del alcance de la invención, según se define en las reivindicaciones adjuntas.
- 5
- 10 Además, otros aspectos, funciones y ventajas también se encuentran dentro del ámbito de la invención; y no es preciso que todas las realizaciones de la invención consigan todas las ventajas ni posean todas las características descritas anteriormente. Además, se pueden utilizar etapas, elementos y características expuestas en la presente memoria en conexión con una realización junto con otras realizaciones.
- 15 En las reivindicaciones del procedimiento, cuando se enumeran etapas en un orden particular —con o sin caracteres antepuestos en secuencia añadidos para facilitar la referencia— no se debe interpretar que las etapas estén limitadas temporalmente al orden en el que son enumeradas, a no ser que los términos o la fraseología especifiquen o impliquen lo contrario.



**REIVINDICACIONES**

1. Un procedimiento de separación de agua de una solución salina utilizando un disolvente direccional, comprendiendo el procedimiento:
  - 5 proporcionar el disolvente direccional y la solución salina que comprende agua y al menos una sal, en el que el disolvente direccional incluye un ácido carboxílico con una longitud de cadena de carbono de 6 a 13 átomos de carbono;
  - fabricar una emulsión de la solución salina en el disolvente direccional;
  - calentar el disolvente direccional antes o después del contacto con la solución salina para producir una primera fase que incluya el disolvente direccional y agua de la solución salina disuelta en el disolvente direccional, y una segunda fase que incluya un residuo altamente concentrado de la solución salina;
  - 10 permitir que la primera fase se separe de la segunda fase;
  - extraer la primera fase incluyendo el disolvente direccional y el agua disuelta del residuo altamente concentrado de la solución salina o extraer el residuo altamente concentrado de la solución salina de la primera fase;
  - 15 enfriar la primera fase después de la extracción para precipitar el agua del disolvente direccional; y retirar el agua precipitada del disolvente direccional.
2. El procedimiento de la reivindicación 1, en el que el disolvente direccional incluye un compuesto con un grupo hidróxido hidrófilo, y en el que el grupo hidróxido hidrófilo se une al agua de la solución salina.
3. El procedimiento de la reivindicación 1, en el que el disolvente direccional es un sólido a temperaturas de 30°C y menores.
4. El procedimiento de la reivindicación 1, en el que se calienta el disolvente direccional utilizando energía procedente de una fuente de calor de temperatura media no superior a 75 °C utilizando, preferentemente, energía procedente de una fuente de calor de baja temperatura no superior a 40 °C.
5. El procedimiento de la reivindicación 1, en el que el agua precipitada extraída tiene un contenido de sales inferior al 1,5% en peso/peso.
6. El procedimiento de la reivindicación 1, en el que el agua precipitada extraída tiene un contenido de sales inferior al 0,14% en peso/peso.
7. El procedimiento de la reivindicación 1, en el que el agua precipitada extraída tiene un contenido de sales inferior al 0,05% en peso/peso.
8. El procedimiento de la reivindicación 1, en el que la separación del agua de la solución salina utilizando el disolvente direccional es una primera etapa en un procedimiento de desalinización de múltiples etapas, comprendiendo el procedimiento, además, someter al agua precipitada, tras su extracción, a una segunda etapa de desalinización para alcanzar un mayor nivel de pureza.
9. El procedimiento de la reivindicación 8, en el que la segunda etapa de desalinización incluye ósmosis inversa o destilación por evaporación instantánea.
10. El procedimiento de la reivindicación 1, que comprende, además, reutilizar el disolvente direccional para repetir el procedimiento de separación del agua de la solución salina.
11. El procedimiento de la reivindicación 1, en el que se extrae el agua del disolvente direccional que tiene forma de líquido.
12. El procedimiento de la reivindicación 1, en el que la solución salina es agua de fracturación hidráulica o agua de producción de extracción de petróleo o gas.

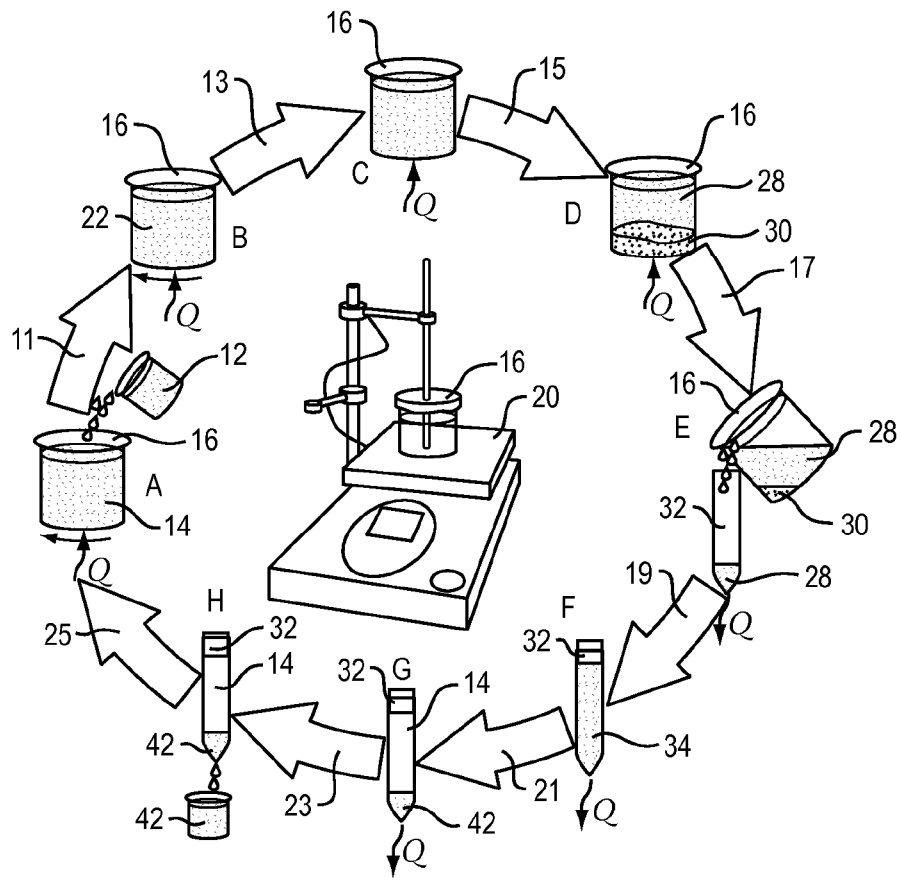


FIG. 1

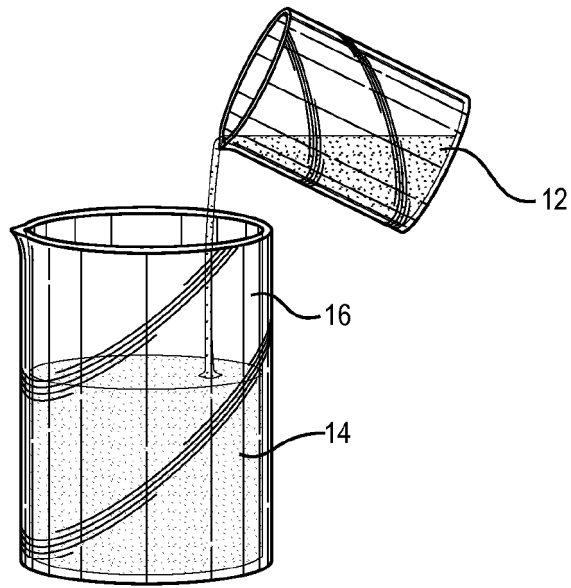


FIG. 2

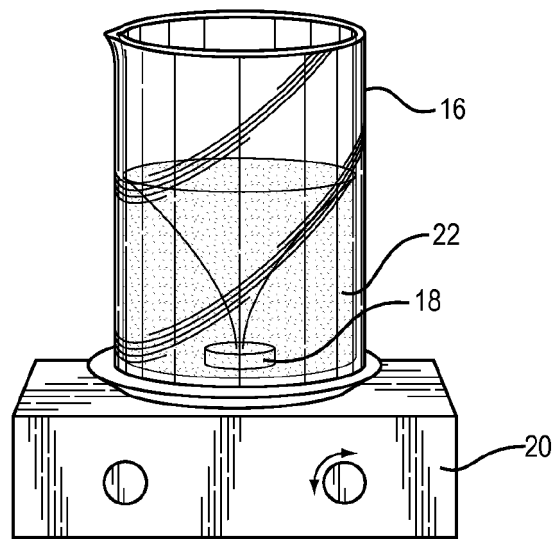


FIG. 3

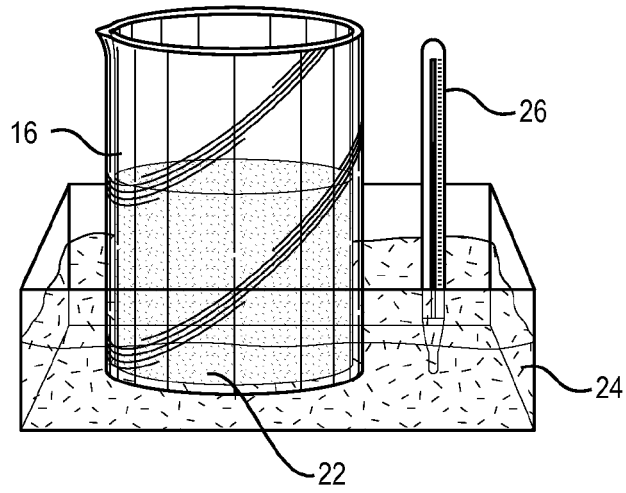


FIG. 4

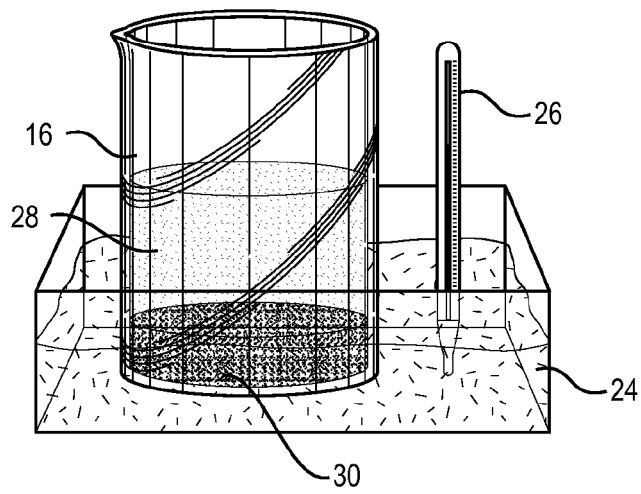


FIG. 5

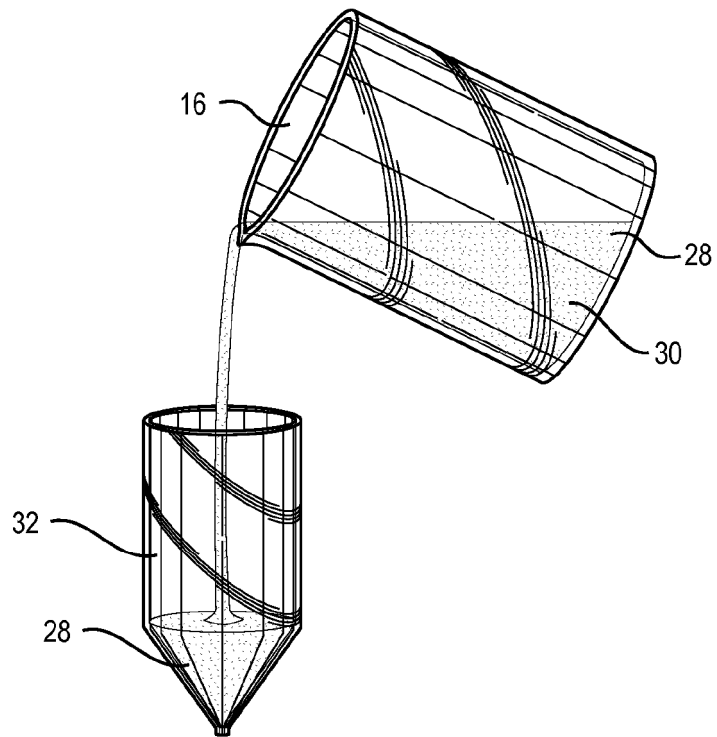


FIG. 6

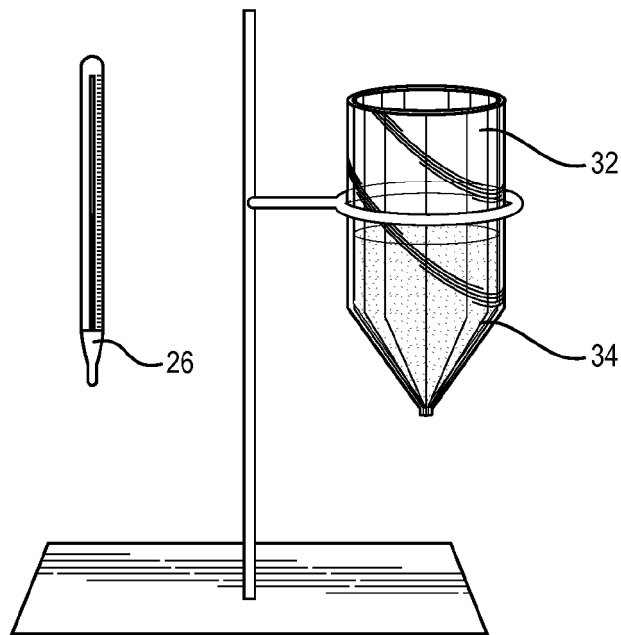


FIG. 7

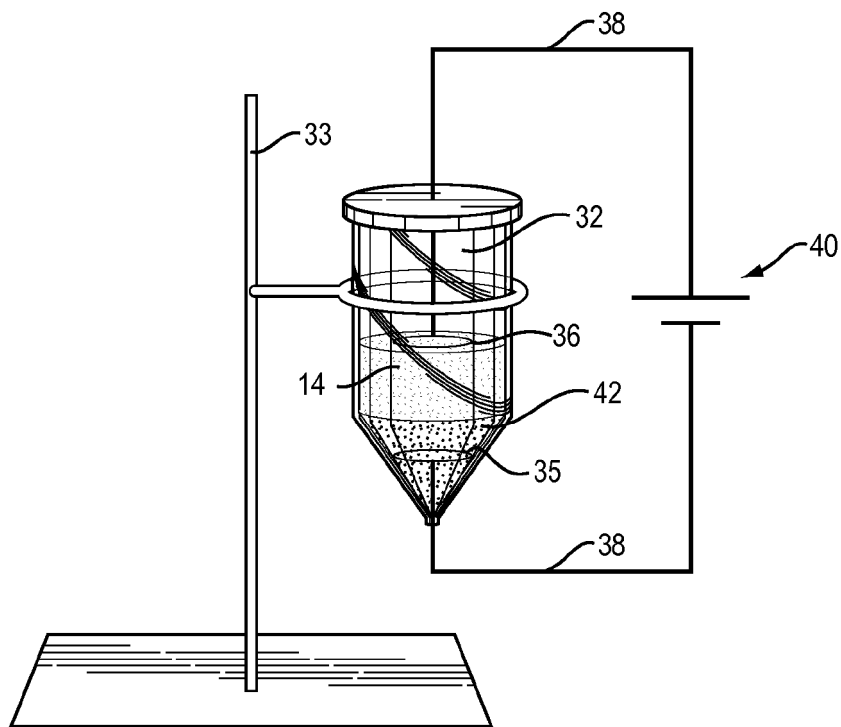
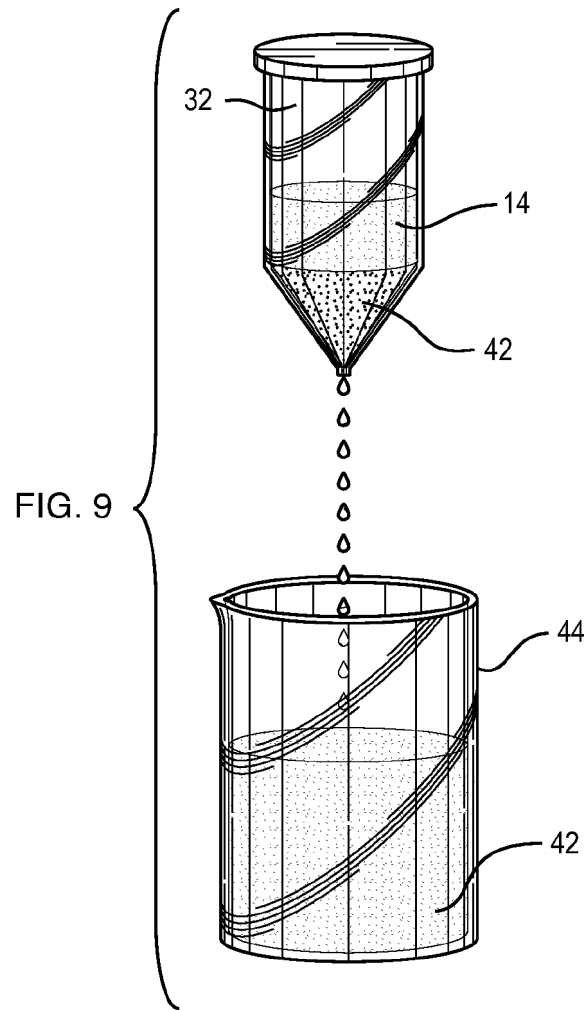


FIG. 8



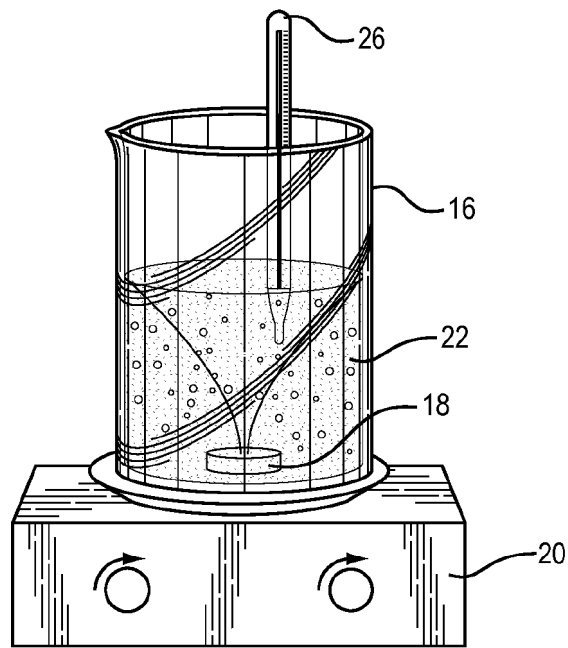


FIG. 10

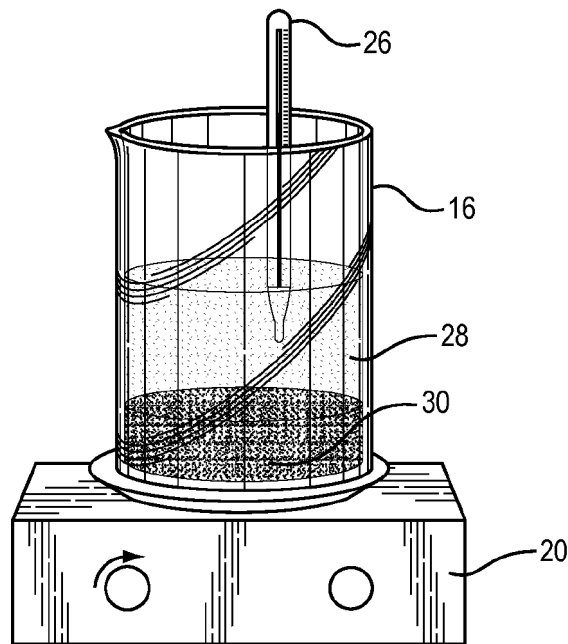


FIG. 11



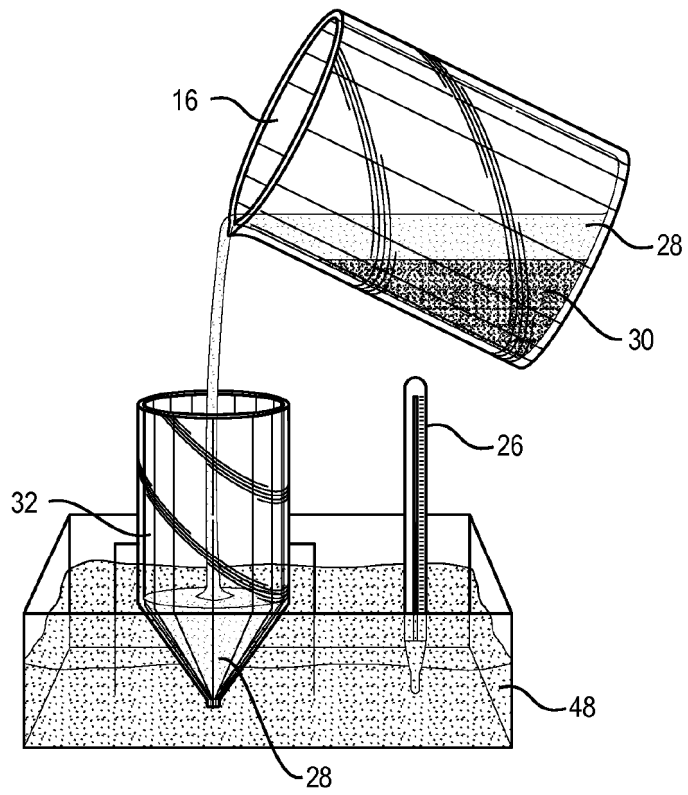


FIG. 12

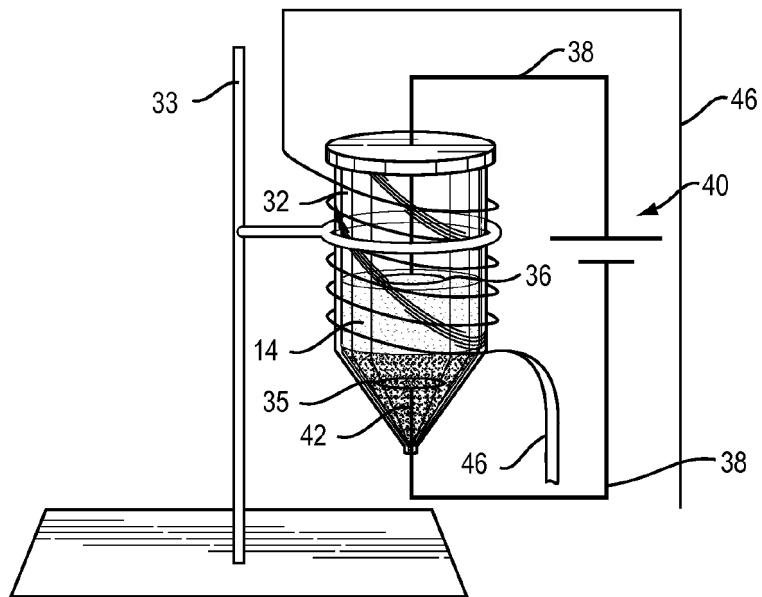


FIG. 13

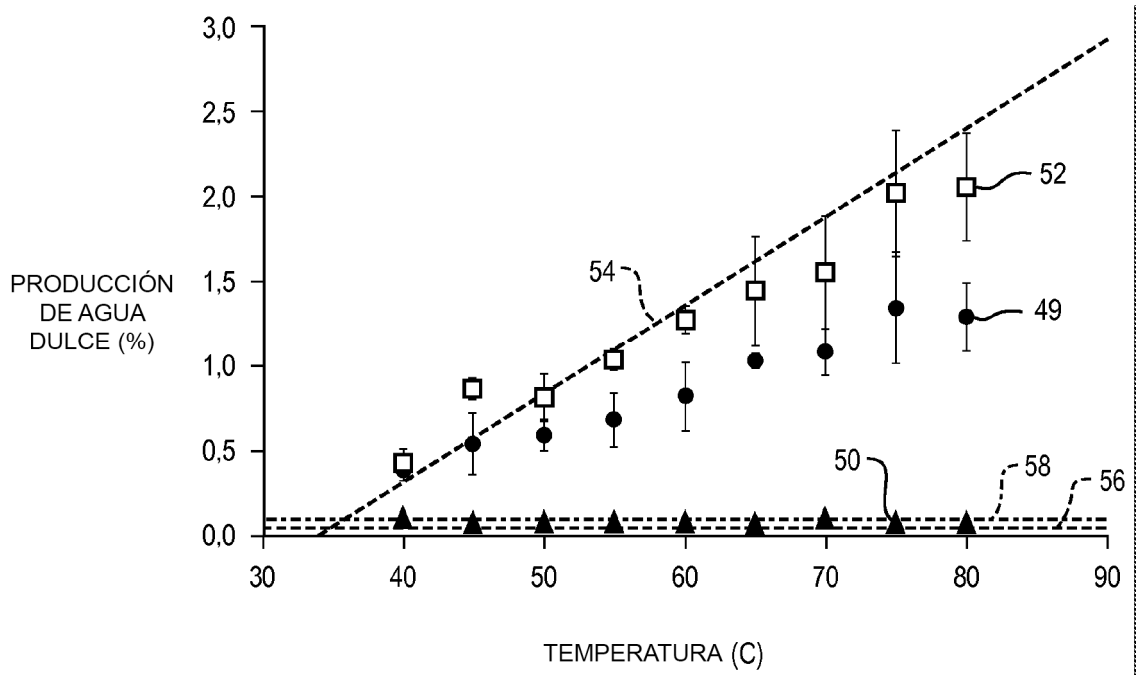


FIG. 14

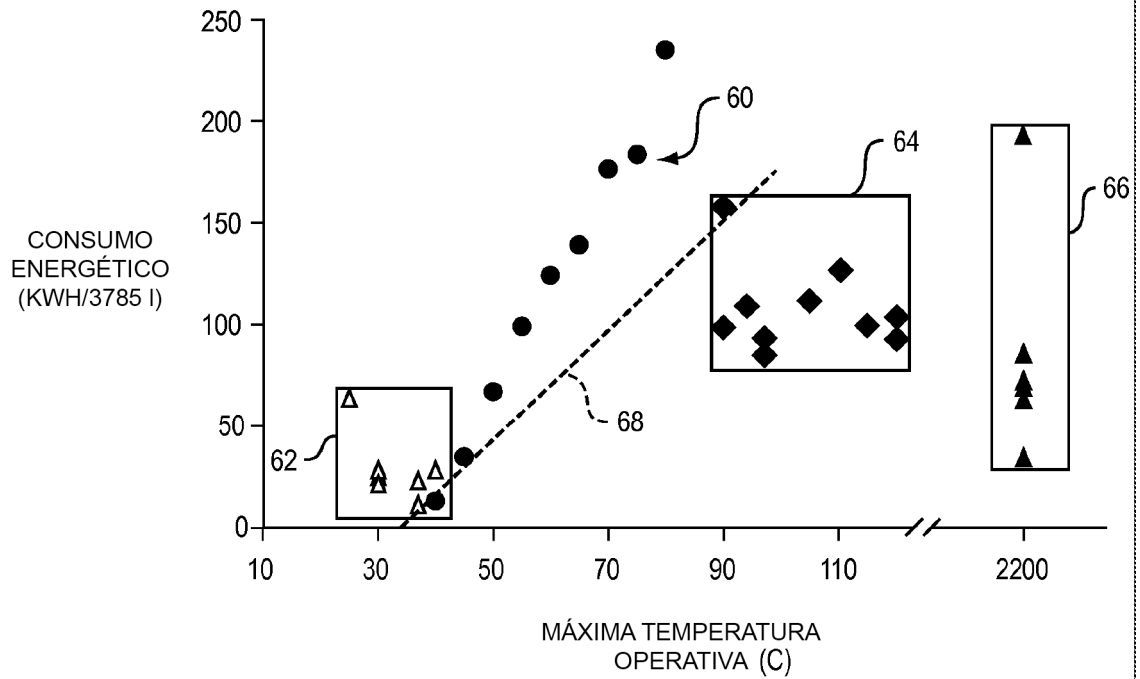


FIG. 15