

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 546 733**

51 Int. Cl.:

**C02F 1/02** (2006.01)

**C02F 1/44** (2006.01)

**C02F 1/04** (2006.01)

**C02F 103/08** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **16.07.2009 E 09788233 (6)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **02.09.2015 EP 2310325**

54 Título: **Método y sistema para la retirada de un compuesto inorgánico en condiciones supercríticas**

30 Prioridad:

**21.07.2008 NL 1035729**

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

**28.09.2015**

73 Titular/es:

**STICHTING WETSUS CENTRE OF EXCELLENCE  
FOR SUSTAINABLE WATER TECHNOLOGY**

**(100.0%)**

**Agora 1**

**8934 CJ Leeuwarden, NL**

72 Inventor/es:

**METZ, SYBRANDUS JACOB y**

**LEUSBROCK, INGO**

74 Agente/Representante:

**DE ELZABURU MÁRQUEZ, Alberto**

**ES 2 546 733 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

Método y sistema para la retirada de un compuesto inorgánico en condiciones supercríticas

5 La presente invención se refiere a un método para la retirada de un compuesto inorgánico de un fluido en condiciones supercríticas. Más específicamente, la invención se refiere a la desalinización del agua, como el agua del mar y las aguas residuales. El agua desalinizada resultante se puede usar como agua potable.

Se conocen varios métodos para desalinizar el agua y para retirar compuestos inorgánicos.

El documento US-A-51184478 describe un método para la desnitrificación de nitratos y nitritos de un sistema acuoso.

10 El documento US4822497 describe un método para la separación de sólidos, en condiciones supercríticas, como se conoce de la técnica anterior. Según 1998 IDA Worldwide Desalating Plants, Inventory Report N° 15, 1998, Wangnick Consulting GmbH, en 1998, por todo el mundo se dispuso de una capacidad total de  $22,58 \times 10^6 \text{ m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$ . De esta capacidad total, las técnicas de evaporación instantánea en varias etapas (MSF) y de ósmosis inversa (RO) fueron las responsables del 44,4% y el 39,1% de esta capacidad mundial total, respectivamente. Otras técnicas incluyen la destilación por múltiple efecto (MED), compresión de vapor (VC) y electrodiálisis (ED). Otras tecnologías  
15 (menos eficaces) para la retirada de compuestos inorgánicos incluyen ultrafiltración, nano-filtración, desalinización solar, destilación por membrana, destilación por congelación, co-desionización capacitiva. Estas últimas técnicas se aplican principalmente en nuevas aplicaciones que se están desarrollando y que todavía no contribuyen significativamente a la capacidad mundial. Principalmente, también se han hallado tecnologías como la compresión de vapor y la electrodiálisis en plantas a escala relativamente pequeña y localizaciones descentralizadas.

20 Una planta de destilación MSF usa cámaras de vaporización instantánea con diferentes niveles de presión. El agua presurizada, como el agua del mar, fluye a través de tuberías que están situadas en secciones opuestas de las cámaras donde se intercambia el calor con el vapor. Se usa un calentador de vapor para calentar más el agua en estas tuberías, usando vapor o combustibles fósiles. El vapor se condensa y se recoge en bandejas como  
25 producción primaria del proceso. El agua no evaporada tiene una concentración de sal más alta y se retira del sistema, normalmente por dilución en el mar. Estas plantas muestran un consumo de energía relativamente alto, debido a los procesos de evaporación. Otro inconveniente es que algunas plantas muestran una eficacia de aproximadamente el 50% de la corriente de alimentación que se transfiere a la corriente de producción primaria. La recuperación de agua a partir de la corriente de alimentación está limitada principalmente por la formación de incrustaciones de sales sobre el equipo del proceso. Por lo tanto, se usan agentes anti-incrustantes que retrasan el  
30 proceso de cristalización. Sin embargo, la recuperación del agua está limitada por la formación de incrustaciones. Con frecuencia, el resto de la corriente de alimentación se diluye en el mar, lo que puede dar como resultado problemas medioambientales.

Una propuesta diferente es la destilación por múltiple efecto (MED) que trabaja de forma similar a la MFS que usa  
35 cámaras con diferentes presiones. La energía de la fase vapor se reutiliza en el proceso, aunque esto con frecuencia conduce a un índice de formación de incrustaciones más alto y una velocidad de corrosión más alta para las áreas de transferencia de calor. Otra propuesta es el uso de la compresión de vapor (VC) para la producción de agua dulce, que es similar al MED. En la VC, la fase vapor se reutiliza para mejorar la eficacia energética.

El segundo método más importante existente para desalinizar un fluido como el agua del mar, es el uso de la  
40 ósmosis inversa (RO). La presión del sistema se usa para separar fracciones salinas de la corriente de agua de entrada. Los iones salinos no pasan las membranas, mientras que las moléculas de agua pasan. Ejemplos de los materiales usados para las membranas son acetato de celulosa, poliamidas y otros polímeros. Un inconveniente principal del uso de membranas es la formación de incrustaciones y suciedad de origen biológico. Por lo tanto, se usan agentes anti-incrustaciones. En la electrodiálisis (ED), se usa un campo eléctrico para retirar sales de un fluido. Situando las membranas entre el ánodo y el cátodo, que son selectivos para los iones o los cationes, se produce  
45 agua dulce. Como la cantidad de energía requerida es proporcional a la cantidad de sal retirada del fluido, la aplicabilidad de ED está principalmente limitada a la desalinización del agua salobre.

La presente invención tiene por objeto evitar, al menos parcialmente, uno o más de los inconvenientes mencionados para dar como resultado una retirada más eficaz de compuestos inorgánicos, tal como en un proceso de desalinización.

50 Por lo tanto, la presente invención proporciona un método para la retirada de un compuesto inorgánico en condiciones supercríticas, según la reivindicación 1.

Al aumentar la temperatura y la presión, de manera que se siga la curva de equilibrio vapor-líquido, el líquido se hace menos denso debido al aumento de la temperatura, y la fase vapor se hace más densa debido al aumento de la presión. Por lo tanto, estas diferentes fases se hacen menos distinguibles en el caso de que la temperatura y la  
55 presión aumenten incluso más. En las condiciones en las que la densidad del vapor y de la fase líquida es igual, únicamente se puede ver una fase. Estas condiciones se denominan el punto crítico de un fluido y la fase es denominada fase crítica. Para el agua, la temperatura crítica es 647 K (374°C) y la presión crítica es de 22,1 MPa

(221 bar). Las propiedades de la fase (super)crítica son una mezcla de las propiedades de las fases líquida y vapor. En condiciones supercríticas, condiciones por encima de las condiciones críticas, también la constante dieléctrica relativa cambia drásticamente. El valor de esta constante cae desde aproximadamente 80 en condiciones ambientales, a por debajo de 20 en la fase supercrítica. Esta constante es una indicación de la capacidad para solvatar iones en un fluido. Esto significa que el agua pierde su capacidad para disolver compuestos como una sal y fracciones salinas en la fase supercrítica, mientras que en condiciones ambientales el agua es un excelente disolvente de las sales. Por otro lado, la capacidad de solvatación de los compuestos orgánicos en agua aumenta bajo condiciones supercríticas. En una realización preferida, el fluido es agua del mar o aguas residuales.

Según la invención, la fracción inorgánica comprende una fracción salina, La disminución de la solubilidad de las sales en condiciones supercríticas conduce a la desalinización de fluidos, como el agua del mar, bajo estas condiciones. Las fracciones salinas precipitarán en forma de cristales que se pueden separar del fluido a través de métodos de separación que son conocidos por los expertos. La desalinización de un fluido en condiciones supercríticas se puede aplicar incluso a fluidos que entran con altas concentraciones de sales mientras que todavía se sea capaz de realizar la desalinización de una manera eficaz. Además, una alta concentración de sales es incluso positiva para la desalinización ya que aumenta el grado de sobresaturación y, por lo tanto, la fuerza motriz para el paso de la precipitación. En realizaciones preferidas según la presente invención, el fluido comprende agua del mar y/o aguas residuales con una alta concentración de sales procedente, por ejemplo, de plantas de tratamiento de aguas residuales y de la industria galvánica. También es posible enviar la producción, o corrientes residuales, de las unidades de evaporación de las unidades de ósmosis inversa (RO), con concentraciones de sales de hasta aproximadamente el 6%, como corriente de alimentación a la operación de desalinización. Especialmente el flujo del retenido de la unidad de RO se puede usar eficazmente al estar ya a una alta presión de aproximadamente 6 MPa (60 bar).

En una realización preferida según la presente invención, la temperatura del fluido en el paso de separación está por encima de 458°C para asegurar una concentración de cloruro por debajo de 200 ppm.

Tratando el fluido a una temperatura por encima de 458°C (731 K), se puede realizar una concentración de cloruro por debajo de 200 ppm. Esta concentración es uno de los límites relevantes del agua potable. Un flujo de salida con una concentración de cloruro por debajo de este valor se puede usar como agua potable. Una solución alternativa para evitar estas condiciones relativamente rigurosas sería realizar un paso de post-tratamiento. Sin embargo, esto requiere pasos adicionales y equipo. Como alternativa a la temperatura, se puede elegir que la presión del fluido en el paso de separación esté por encima de 22,1 MPa (221 bar) para asegurar una concentración de cloruro por debajo de 200 ppm. También, se puede usar una combinación de temperatura y presión para asegurar la concentración de cloruro deseada.

En otra realización preferida según la presente invención, el fluido se trata previamente en un paso de proceso de ósmosis inversa.

Usando el flujo de salida, como la salmuera concentrada, del paso de RO como flujo de entrada del paso de destilación supercrítica, se puede conseguir una operación eficaz. Esto se consigue ya que la mayoría de las plantas de RO están equipadas con una unidad de recuperación de presión que con modificaciones relativamente pequeñas se puede adaptar a las necesidades de una planta de SCD (desalinización supercrítica). Además, comparado con otras combinaciones, el fluido está ya a una presión relativamente alta de aproximadamente 6 MPa (60 bar) después del paso de la RO. En una realización alternativa según la presente invención se hace que el fluido penetre en una unidad de destilación por vaporización instantánea en varias etapas (MSF). Semejante combinación permite el uso de una unidad de producción combinada de vapor. Usando una paso de tratamiento previo, como RO y/o MSF, aumentaron las ventajas de la SCD sobre las concentraciones de sal del fluido de entrada.

En una realización preferida según la presente invención, se recupera la energía del fluido después del paso de separación.

A través de la recuperación de energía después del paso de separación, se puede llevar a cabo una operación energéticamente eficaz. Las posibilidades para recuperar energía incluye la puesta en acción de un turbocambiador en el que la bomba de alta presión y la turbina están sobre un eje. La corriente de alimentación pasa a través de la bomba, se presuriza, y entra en el recipiente con membrana en el caso de una planta de RO. Las corrientes de permeado y de concentrado dejan el recipiente después de que el flujo del concentrado se expande sobre la turbina y se recupera la energía. Otra posibilidad incluye una rueda Pelton en la que la corriente se expande a través de una boquilla que está dirigida hacia las palas de la rueda Pelton que está instalada en el mismo eje que la bomba de alta presión. Una posibilidad más incluye un intercambiador de trabajo consistente en un sistema de válvulas y pistones que permiten la transferencia de presión desde la salida del sistema a la corriente del agua de alimentación.

Según la presente invención, el paso de separación se divide en diferentes sub-pasos de separación para separar compuestos inorgánicos, por ejemplo diferentes fracciones salinas, en diferentes condiciones supercríticas. Dividiendo la operación (desalinización) supercrítica en sub-pasos con diferentes condiciones supercríticas es posible desalinizar componentes (sales) específicos en un sub-paso por separado. Esto puede mejorar la calidad del producto resultante, por ejemplo agua potable. También es posible separar diferentes fracciones salinas del fluido de

entrada. Esto permite un post-tratamiento más eficaz de tales concentraciones que se puede enfocar sobre aplicaciones específicas para estas diferentes fracciones salinas. Esto puede mejorar la eficacia global del proceso de separación.

5 En una realización más preferida según la presente invención, la energía para llevar el fluido a las condiciones supercríticas se mejora mediante una pila de combustible o una planta energética.

10 Llevar un fluido, que se va a desalinizar, a condiciones supercríticas requiere una cantidad específica de energía. Para hacer posible una operación global eficaz del proceso de desalinización puede ser beneficioso combinar el proceso de desalinización con una pila de combustible o una planta energética que tiene una cantidad relativamente grande de energía disponible como subproducto. Esta combinación contribuye a una operación eficaz del proceso de desalinización. Además, también puede mejorar la eficacia de la pila de combustible o la operación de la planta energética.

15 La invención se puede aplicar en un sistema y en una planta energética que comprende tal sistema. En una planta energética, el agua se calienta hasta que se hace vapor. Este vapor a alta presión se expande sobre una turbina, generando por ello energía. El vapor a baja presión, después de pasar por la turbina, se enfría normalmente usando un cambiador de calor con, por ejemplo, agua superficial y el agua se recicla. Según la invención, el agua de una planta energética se calienta hasta condiciones supercríticas. A continuación, los compuestos inorgánicos, como las sales, se separan. Usando la turbina se genera energía. Preferiblemente, en vez de reciclar el agua, ésta se usa, por ejemplo, como agua potable.

20 Más ventajas, características y detalles de la invención se aclaran basándose en la Figura 8. A continuación se hace referencia a los dibujos que se adjuntan, en los que:

- la Figura 1 muestra una destilación por vaporización instantánea en varias etapas;
- la Figura 2 muestra una visión esquemática, en conjunto, de una planta de ósmosis inversa;
- la Figura 3 muestra la densidad y la constante dieléctrica relativa del agua como un función de la temperatura;
- 25 - la Figura 4 muestra una visión esquemática, en conjunto, de un montaje experimental;
- la Figura 5 muestra la solubilidad de las fracciones salinas;
- la Figura 6 muestra el esquema base de la destilación supercrítica;
- la Figura 7A muestra una visión esquemática, en conjunto, de una planta de RO;
- 30 - la Figura 7B muestra una visión esquemática, en conjunto, de una combinación de una planta de RO y SCD;
- la Figura 8 muestra una visión esquemática, en conjunto, de la cristalización que usa SCD en sub-pasos;
- la Figura 9A muestra una visión esquemática, en conjunto, de una combinación de una pila de combustible con SCD;
- 35 - la Figura 9B muestra una visión esquemática, en conjunto, de una combinación de una pila de combustible con RO y SCD; y
- la Figura 10 muestra una visión esquemática, en conjunto, de una combinación de una planta energética con SCD.

40 Una planta 2 de destilación por vaporización instantánea en varias etapas (Figura 1) comprende un número de cámaras 4 de vaporización instantánea. Estas cámaras 4 operan a diferentes niveles de presión. El fluido, agua salobre o agua del mar, fluye a través de las tuberías 6 en la sección superior de las cámaras 4 para intercambiar calor con el vapor ascendente. El agua de las tuberías 6 se calienta en un calentador 8 de vapor. La alta temperatura del agua junto con una descompresión en las diferentes cámaras 4 da como resultado una vaporización instantánea de la fase líquida. El vapor que asciende desde las secciones inferiores de las cámaras 4 se condensa sobre las tuberías 6 en la sección superior. El condensado se recoge en las bandejas recolectoras 10. Con la bomba 12 el condensado es bombeado fuera del sistema 12 como flujo 14 de salida. En el sistema ilustrado 2, el calentador 8 de vapor es alimentado con vapor procedente una fuente primaria 16 de vapor. El fluido de entrada fluye a un sistema 18 de vacío y se hace un tratamiento previo en un sistema 20 de pre-tratamiento. El agua no evaporada se concentra en relación a la concentración salina y se bombea fuera del sistema a través de la bomba 22. Con frecuencia, este flujo 24 de salida se diluye en el mar.

50 Una planta 26 de ósmosis inversa (Figura 2) comprende una unidad 28 de ósmosis inversa. El flujo 30 de entrada comprende agua salobre y/o agua del mar que se trata previamente en una unidad 32 de pre-tratamiento. El flujo se

bombee con la bomba 34 a la unidad 28 de RO. El permeado 36 es la salida del sistema 26. El concentrado 38 se introduce a través de una turbina 40 hacia la unidad 42 de post-tratamiento. Esto da como resultado un flujo 44 de salida. Los pasos 32 del pre-tratamiento pueden incluir la retirada de compuestos biológicos para minimizar la suciedad de origen biológico, la retirada de bicarbonatos arrancándolos con ácido, agentes anti-incrustantes que arranquen las incrustaciones y la retirada de sólidos. La unidad 28 de RO opera a aproximadamente 5 – 8 MPa (50 – 80 bar) para la desalinización del agua del mar y a aproximadamente 1 – 2,5 MPa (10 – 25 bar) para el tratamiento de aguas salobres. Las membranas comúnmente están hechas de acetato de celulosa, poliamidas y otros polímeros. Las membranas de la unidad 28 pueden tener diferentes combinaciones de composición, por ejemplo fibra hueca y enrollado en espiral.

La densidad y la corriente dieléctrica relativa del agua (Figura 3) muestran una significativa caída alrededor de los 650 – 670 K. Como se mencionó, esta característica es importante para la desalinización supercrítica de un líquido como el agua del mar.

Para medir el efecto de las condiciones supercríticas sobre el agua con diferentes fracciones salinas, se usa un montaje 46 experimental (Figura 4). El sistema 46 comprende un horno 48 con una columna 50 de sal. Se proporciona el líquido desde un depósito 52 de suministro y se bombea mediante una bomba 54 hasta el pre-calentador 56. La temperatura del pre-calentador se mide con un sensor 58 y la temperatura del fluido en el lado de la entrada del horno 48 se mide con el sensor 60. La temperatura en el interior del horno 48 se mide con el sensor 62. El líquido se filtra con un filtro 64 y se introduce en el refrigerador 66. El efecto del refrigerador 66 se mide mediante los sensores 68 y 70. En el sistema 46 se incorporan dos válvulas, una que actúa como regulador 72 de retención y una que actúa como una válvula 74 de seguridad. La temperatura del fluido entre las válvulas 72 y 74 se mide con un sensor 76. El líquido se analiza mediante una unidad 78 de muestreo en la que la temperatura se mide con un sensor 80. Finalmente, el líquido es enviado a la salida 82. La temperatura del horno se selecciona en el intervalo de 350 – 450°C. Para realizar en los experimentos las medidas de agua que contienen una fracción salina específica, se introduce el agua a través de la columna 50 de sal con la fracción o fracciones salinas específicas que se van a analizar en la unidad 78 de muestreo. Los análisis en la unidad 78 tienen lugar a presión y temperatura ambiente. Los análisis se realizan mediante conductometría e ICP. Las muestras de ICP se toman cuando el sistema está en equilibrio con el fin de tener una referencia para las medidas de conductometría. Para tener una indicación de la corrosión, se llevan a cabo un análisis de compuestos inorgánicos como iones de Fe, Ni, y Cr. La bomba 54 presuriza el líquido hasta los 40 MPa (400 bar) con un flujo másico de hasta 10 g/minuto. Además se incluyen dos válvulas de seguridad (no mostradas), una justo antes y una después de una tubería en forma de U en el horno. El refrigerador 66 comprende un serpentín radiador que cuelga en el aire. Las partes de la planta 46 que están en contacto directo con la sal y el flujo de agua que contiene sal están hechas de material resistente a la corrosión, como una aleación basada en níquel (Hastelloy C-276 o Inconel 600). Otras partes están hechas de acero inoxidable. Las solubilidades de las sales medidas como una función de la temperatura se muestran en comparación con la constante dieléctrica (Figura 5). En la planta 46 se varía la temperatura y la presión para estudiar la solubilidad de diferentes fracciones salinas en agua. Se estudiaron otros aspectos en relación con el flujo másico y el tiempo de residencia con el fin de estudiar el efecto de la interacción de las fracciones salinas y el tiempo (residencia) para llegar al equilibrio. El diámetro de partícula se refiere principalmente a los efectos superficiales. También se analizaron las composiciones de la corriente de salida para estudiar el efecto de la corrosión del sistema 46. A partir de los resultados se muestra que es posible la desalinización de, por ejemplo, agua del mar en condiciones supercríticas y tiene varias ventajas. También, se muestra que diferentes fracciones salinas tienen diferentes condiciones a las que la precipitación es máxima. Esto permite llevar a cabo la desalinización en sub-pasos para permitir la desalinización de una fracción específica procedente del fluido.

El sistema 84 de destilación (Figura 6) tiene un flujo 86 de entrada que se lleva a la temperatura deseada de más de 647 K y una presión de más de 22,1 MPa en la unidad 88 de entrada de energía. El fluido que se lleva a estas condiciones tiene una concentración de 3 – 10% en peso y se introduce en la unidad 90 de separación. La unidad 90 de separación separa las fracciones salinas del líquido. Las fracciones salinas separadas son enviadas a la salida 92. El agua desalinizada en condiciones de una temperatura de 647 K y una presión de más de 22,1 MPa es introducida en la unidad 94 de recuperación de energía. La energía recuperada es enviada a través de la conexión 96 a la unidad 88 de pre-tratamiento. La corriente de agua desalinizada en condiciones ambientales es enviada a la salida 98.

Un sistema esquemático 100 de RO (Figura 7A) tiene una entrada 102 para el suministro de un fluido en condiciones ambientales al sistema 100. La unidad 104 de pre-tratamiento lleva el fluido a una presión de aproximadamente 6 MPa y envía el fluido a la unidad 106 de RO. El producto, como el agua potable, es enviado a la salida 108 en condiciones ambientales. El retenido del RO tiene iguales condiciones como las aplicadas a la unidad 106 de RO. Este flujo es enviado a la unidad 110 de recuperación de energía después de lo cual resulta una corriente residual en condiciones ambientales que es enviada a la salida 112.

Una combinación de RO y SCD en un sistema 114 (Figura 7B) da como resultado un sistema eficaz como se mencionó anteriormente. El sistema 114 según la invención tiene un flujo 116 de entrada que se pre-trata y se lleva a la unidad 118 de pre-tratamiento, y se lleva a una temperatura de 293 K y una presión de aproximadamente 6 MPa (60 bar). A continuación, el flujo es introducido en la unidad 120 de RO. La salida 122 de la RO comprende agua limpia a una temperatura de 293 K y una presión de 0,1 MPa (1 bar). El retenido tiene una temperatura de

aproximadamente 293 K y una presión de 6 MPa y es introducido en la unidad 124 de acondicionamiento para llevar este flujo a una temperatura de más de 647 K y una presión de más de 22,1 MPa. Este flujo es enviado a la unidad 126 de SCD en la que las fracciones salinas se separan del agua. Las sales son enviadas a la salida 128 en condiciones aproximadamente ambientales. El fluido restante, en condiciones supercríticas, es enviado a la unidad 130 de recuperación de energía en la cual se recupera energía que se puede usar para los pasos de entrada de energía, donde resulta después un flujo 132 de salida en condiciones aproximadamente ambientales.

Según la invención, el método tiene varios sub-pasos en un sistema 134 de desalinización fraccionada (Figura 8). Un flujo 138 de entrada que contiene diferentes fracciones salinas es introducida a una unidad 138 de pre-tratamiento. Esta unidad 138 puede ser una unidad de RO. El flujo de agua es enviado a la salida 140 de la unidad 138. El fluido concentrado restante es enviado a la primera unidad 144 de SCD opera a una temperatura de 650 K y una presión de 25 MPa. La unidad 144 tiene dos flujos de salida. Un flujo de salida es enviado a la unidad 146 de SCD donde el segundo paso 2A se lleva a cabo sobre la primera fracción en condiciones de 700 K y 25 MPa. El otro flujo de salida del primer paso 144 es enviado a otra unidad, la unidad SCD 148, para el paso 2B que opera a una temperatura de 640 K y una presión de 25 MPa. Los dos principales flujos de salida de la unidad 146 son un flujo de agua en la salida 150 y una fracción salina (NaCl) en la salida 152. Los dos principales flujos de salida de la unidad 148 comprenden la salida 154 principalmente  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  y, además,  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  y  $\text{H}_2\text{O}$ . La segunda salida principal comprende la fracción de  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ . En la unidad 144, el fluido de entrada se separa en agua con la fracción principal de NaCl y pequeñas cantidades de  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  y  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  y el otro flujo hacia la unidad 148 que comprende agua con fracciones de  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  y  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ . En el paso 2A de la unidad 146 se produce agua pura. El resto se introduce como un flujo de agua salina concentrada como salida 152.

El sistema SCD 158 según la invención es provisto de energía procedente de una pila 160 de combustible (Figura 9A). La pila 160 de combustible tiene sus entradas 162, 164, de gas natural o biogás y  $\text{CO}_2$  y  $\text{O}_2$  respectivamente. Dependiendo del tipo de pila de combustible, opera a alrededor de 600°C o de 900°C. La electricidad 166 como salida de la pila 160 de combustible es introducida mediante la corriente 168 de alimentación en la unidad SCD 170. Este flujo 168 de entrada a la unidad SCD 170 es llevada a una temperatura de aproximadamente 303 K y 25 MPa en la unidad 172. A continuación, este flujo líquido es llevado a las condiciones del SCD, de aproximadamente 700 K y 25 MPa, usando calor o vapor 174 en un cambiador 176. La unidad 170 tiene una salida 178 de producto a aproximadamente 700 K y 25 MPa y una salida de concentrados en condiciones aproximadamente ambientales. La energía del flujo 178 de salida se puede recuperar.

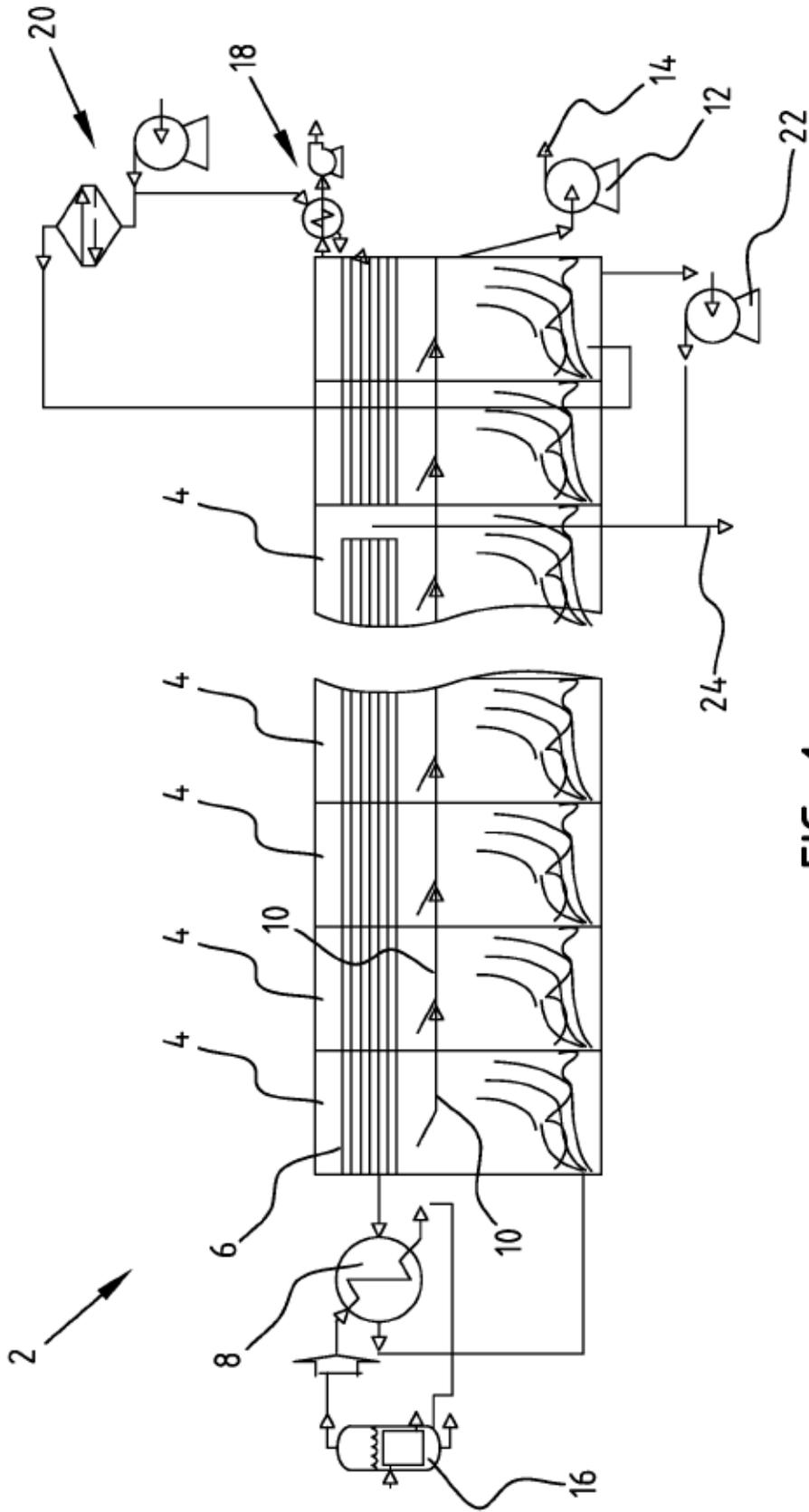
En una realización alternativa 182 (Figura 9B), el sistema 158 se combina con la unidad 184 de RO. El flujo 186 de entrada se lleva desde condiciones ambientales, usando la energía 166 mediante la unidad 188 de presión, a una presión de 6 MPa. A continuación, se aumenta la temperatura del flujo hasta aproximadamente 303 K mediante el calentador 190 o el vapor 174. El permeado de la RO es enviado a la salida 192 a presión ambiente y a una temperatura de aproximadamente 303 K. El concentrado de la RO es enviado hacia la unidad de SCD con una temperatura de aproximadamente 303 K y con una presión de aproximadamente 6 MPa.

En un sistema alternativo 196 según la invención, la desalinización supercrítica se incorpora al ciclo de una planta energética (Figura 10). La energía generada en la operación de la planta energética se usa para dar energía a toda la operación de la SCD. Con frecuencia, la planta energética usa un sistema cerrado en el que el agua se calienta hasta formar vapor para accionar una turbina y generar energía. A continuación, se reutiliza el agua. Según la invención, una planta energética utiliza un sistema abierto en el que, un fluido entrante, como el agua, se calienta hasta condiciones supercríticas. Los diferentes compuestos, como las fracciones salinas, son retirados del agua y el agua/vapor se usa para accionar las turbinas. A partir de ahí, el agua se puede usar como agua potable cuando, por ejemplo, las fracciones salinas ya han sido retiradas del agua. Se usa agua nueva (del mar) para generar energía. Una ventaja de este sistema es que no se requieren pasos adicionales de pre-tratamiento para el fluido de la planta energética. Además, la producción de agua potable se puede combinar con la generación de energía en una planta energética. Una ventaja adicional es que la mayoría del equipo requerido está ya disponible en las plantas energéticas existentes. De hecho, el único requisito fundamental sería añadir un paso de separación para la retirada de los compuestos inorgánicos, como las fracciones salinas. Como ejemplo, una planta energética de 550 MW usa aproximadamente 1600 toneladas de vapor por hora. Semejante planta energética podría estar produciendo, además de energía, aproximadamente 1600  $\text{m}^3/\text{h}$  de agua potable.

La presente invención no se limita ni mucho menos a sus realizaciones preferidas anteriormente descritas. Los derechos buscados están definidos por las siguientes reivindicaciones, dentro de cuyo alcance se pueden prever muchas modificaciones

**REIVINDICACIONES**

1. Un método para la retirada de un compuesto inorgánico en condiciones supercríticas, que comprende los pasos de:
  - 5 - llevar un fluido que comprende más de una fracción inorgánica a condiciones supercríticas, en el que el fluido comprende diferentes fracciones salinas como fracción inorgánica;
  - separar diferentes fracciones salinas en el fluido a través de la disminución de la solubilidad de las fracciones salinas en condiciones supercríticas,  
en el que el paso de separación está dividido en diferentes sub-pasos para separar diferentes fracciones a diferentes condiciones supercríticas en sub-pasos separado, que comprende:
    - 10 - operar una primera unidad (144) a una temperatura de 650 K y una presión de 25 MPa;
    - enviar un flujo de salida de la primera unidad a una segunda unidad (146) que realiza un segundo paso (2A) en condiciones de 700 K y 25 MPa que tienen flujos de salida de agua y una fracción salina de NaCl;
    - enviar otro flujo de salida de la primera unidad a otra unidad (148) realizando un paso (2B) en condiciones de 640 K y 25 MPa y que tiene dos flujos principales de salida que comprenden principalmente Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> y Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>, respectivamente;
    - 15 - enfriar y/o despresurizar el fluido; y
    - retirar las fracciones separadas.
2. Un método según la reivindicación 1, en el que el fluido es agua de mar y/o aguas residuales.
3. Un método según la reivindicación 1 ó 2, en el que el fluido se lleva a condiciones supercríticas con una presión superior a 22,1 MPa (221 bar) y una temperatura superior a 374°C, de manera que la constante dieléctrica relativa cae.
4. Un método según la reivindicación 1 ó 2, en el que la presión del fluido, en el paso de separación, es superior a 22,1 MPa (221 bar) para asegurar una concentración de cloruro inferior a 200 ppm.
5. Un método según una cualquiera de las reivindicaciones 1-4, en el que se hace un pre-tratamiento del fluido en un paso de proceso de ósmosis inversa, en el que el flujo de salida de salmuera concentrada se usa como flujo de entrada para el paso de separación.
6. Un método según una cualquiera de las reivindicaciones 1-5, en el que el fluido se precalienta en una unidad de destilación por vaporización instantánea en varias etapas.
7. Un método según una cualquiera de las reivindicaciones 1-6, en el que se recupera energía a partir del fluido después del paso de separación.
8. Un método según la reivindicación 7, en el que la energía se recupera usando al menos uno de un turbocargador, una rueda Pelton y un intercambiador de trabajo.
9. Un método según una cualquiera de las reivindicaciones 1-8, en el que el fluido es agua y en el que se retiran del agua diferentes fracciones salinas y el agua/vapor se usa para accionar turbinas de la planta energética.
- 35 10. Un método según una cualquiera de las reivindicaciones 1-9, en el que la energía para llevar el fluido a las condiciones supercríticas es suministrada por una pila de combustible o una planta energética.



**FIG. 1**

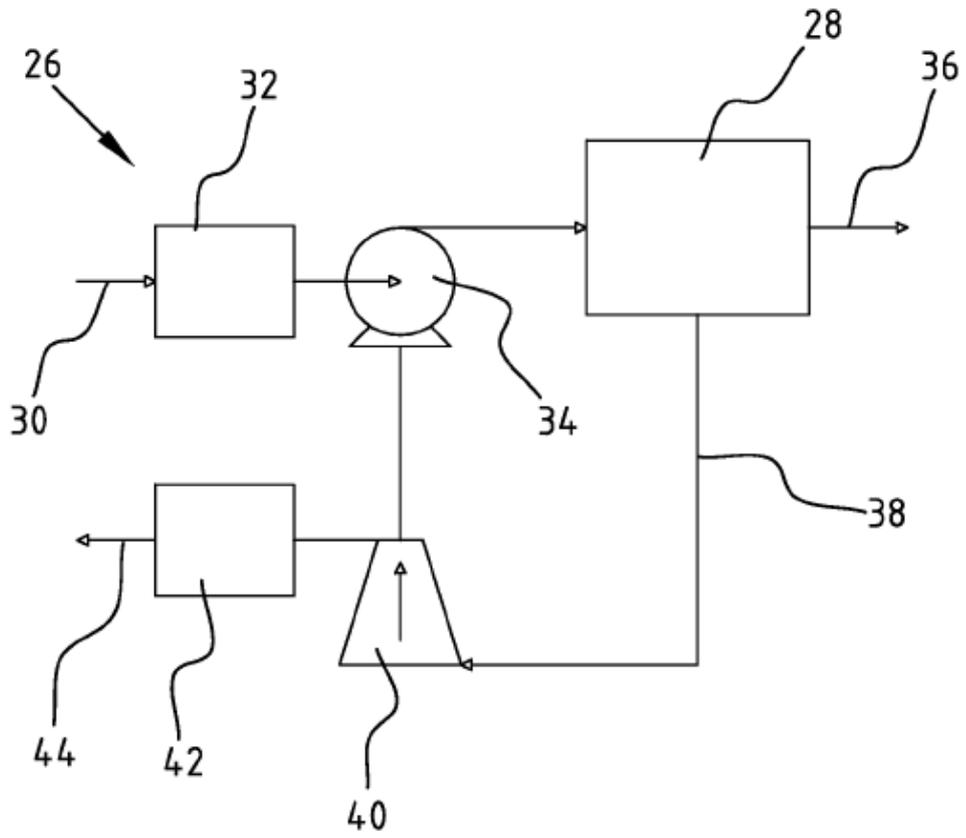
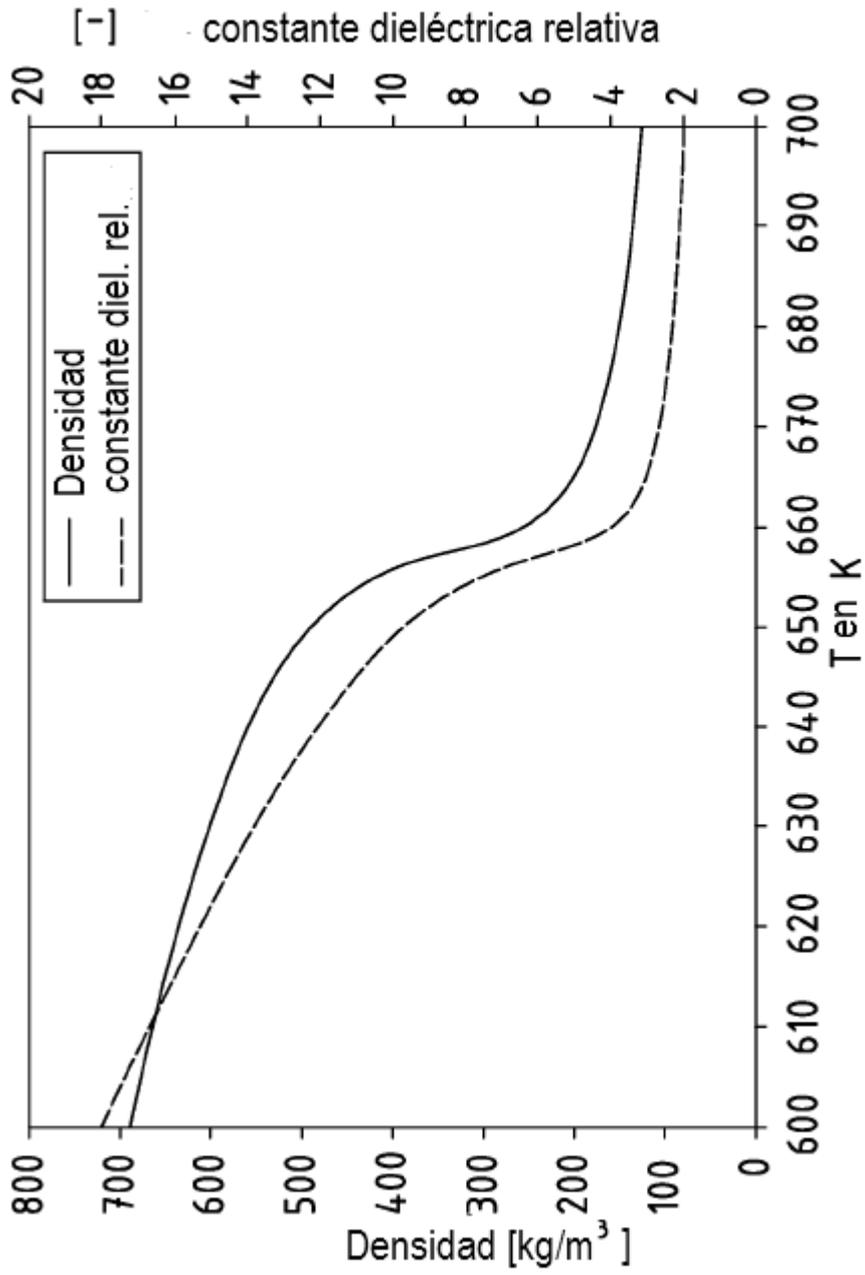
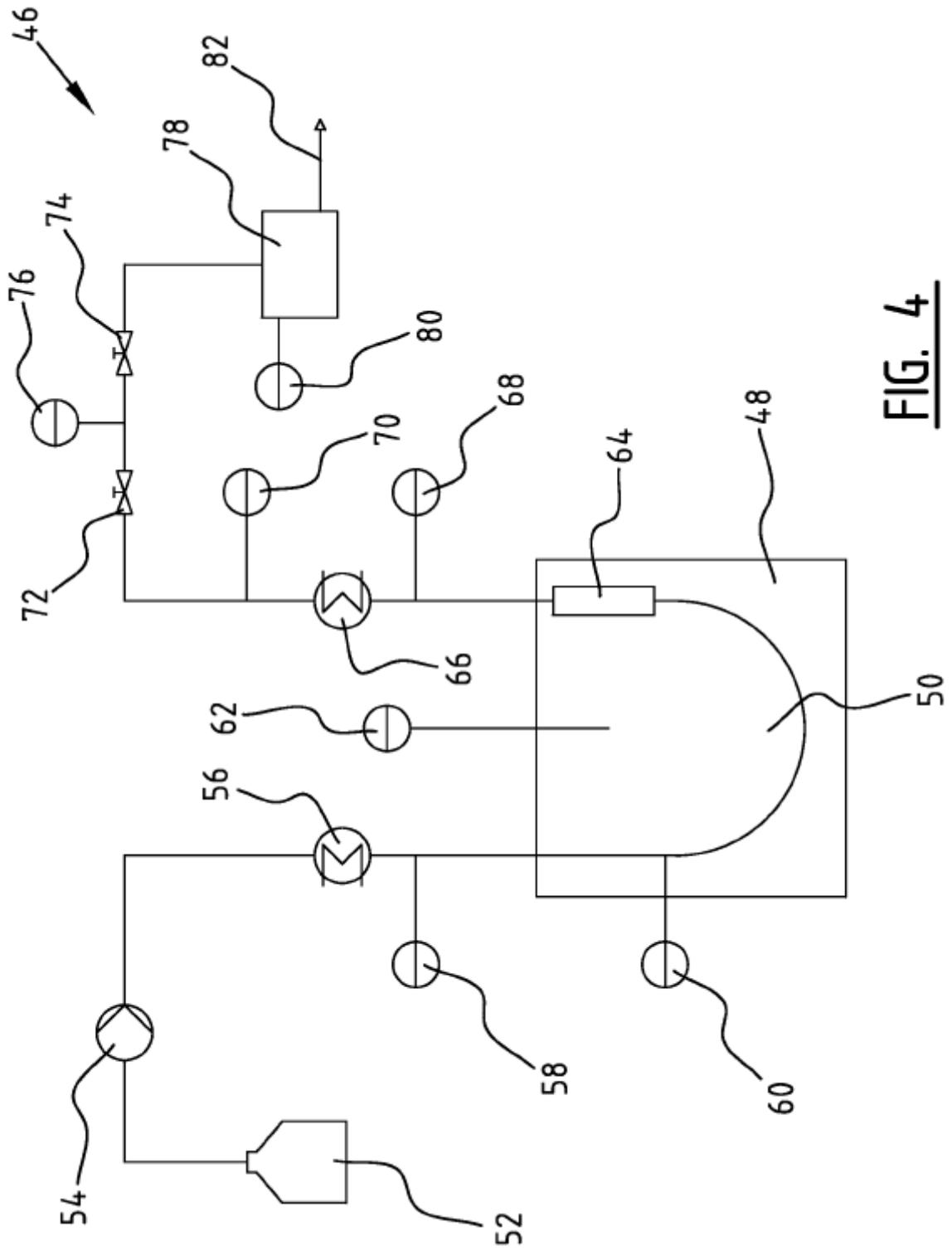


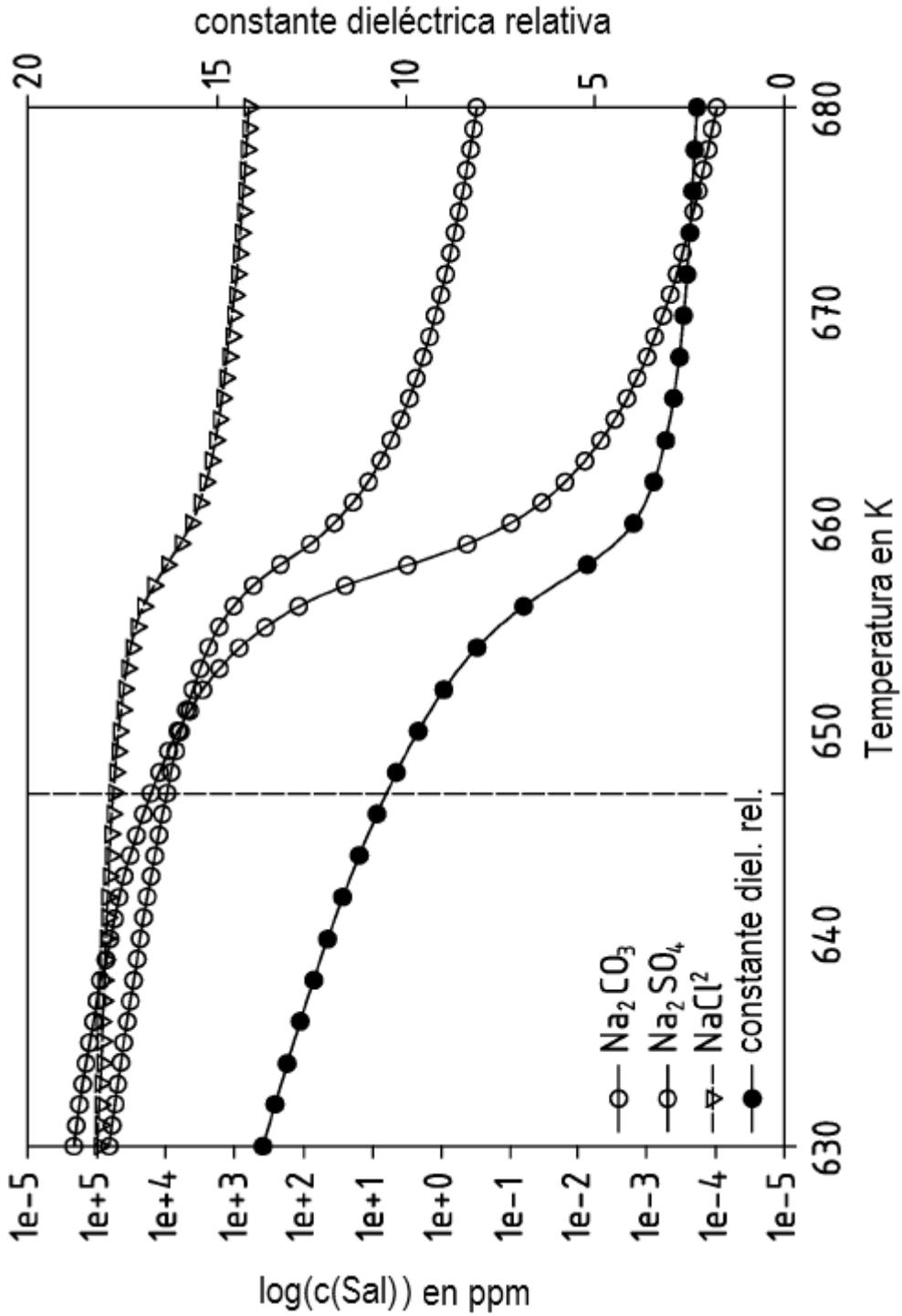
FIG. 2



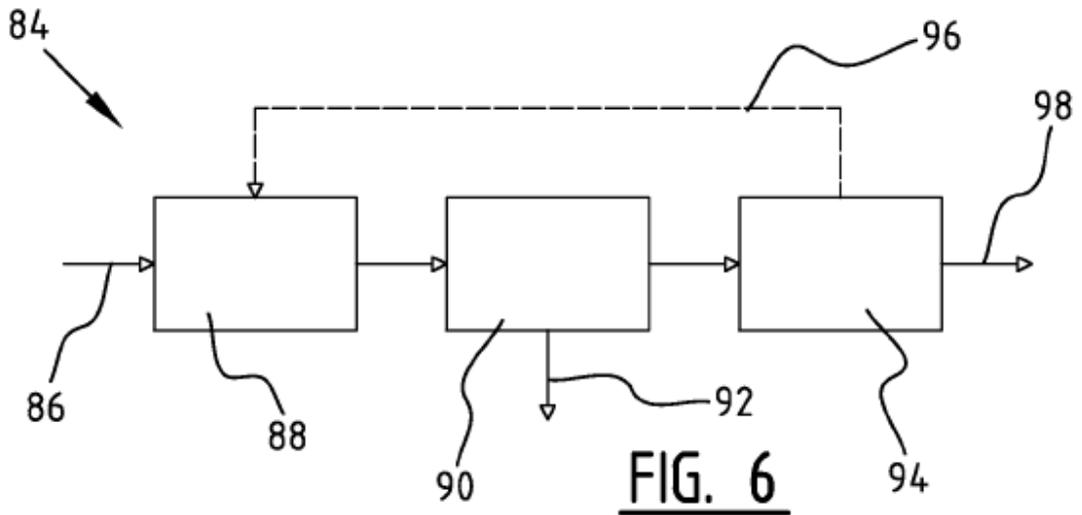
**FIG. 3**



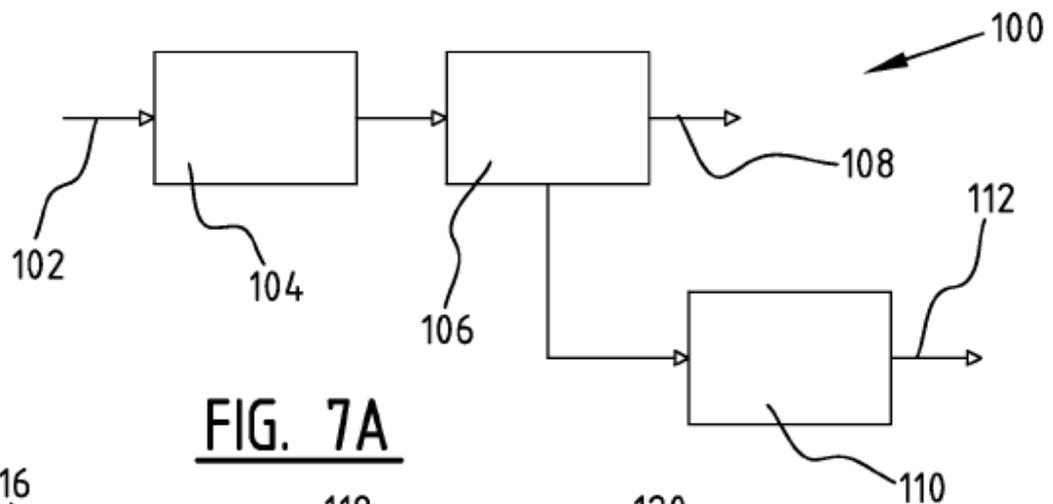
**FIG. 4**



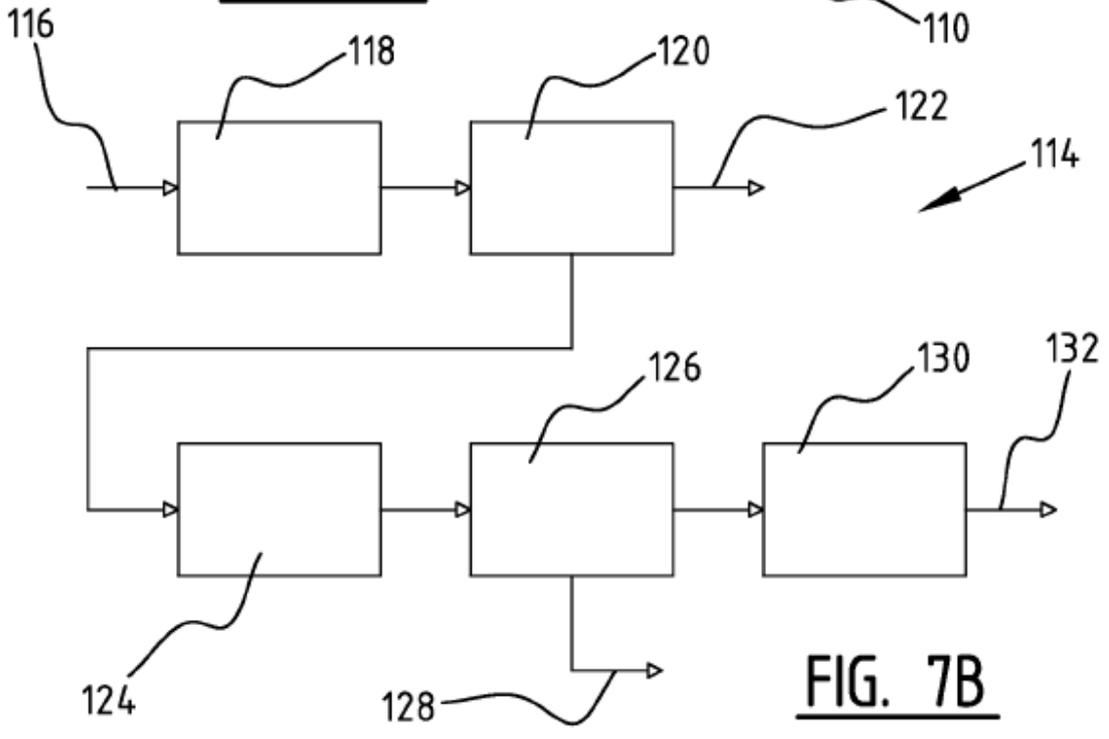
**FIG. 5**



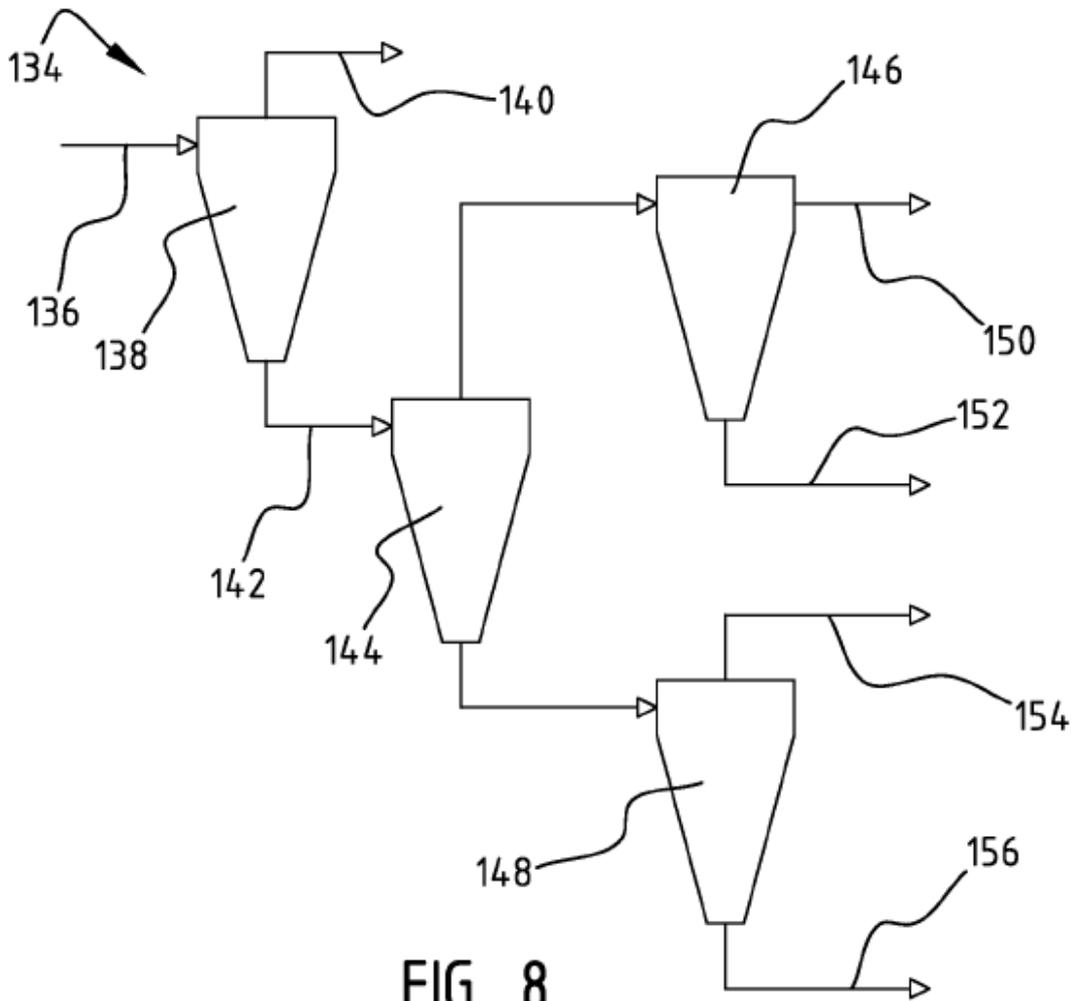
**FIG. 6**



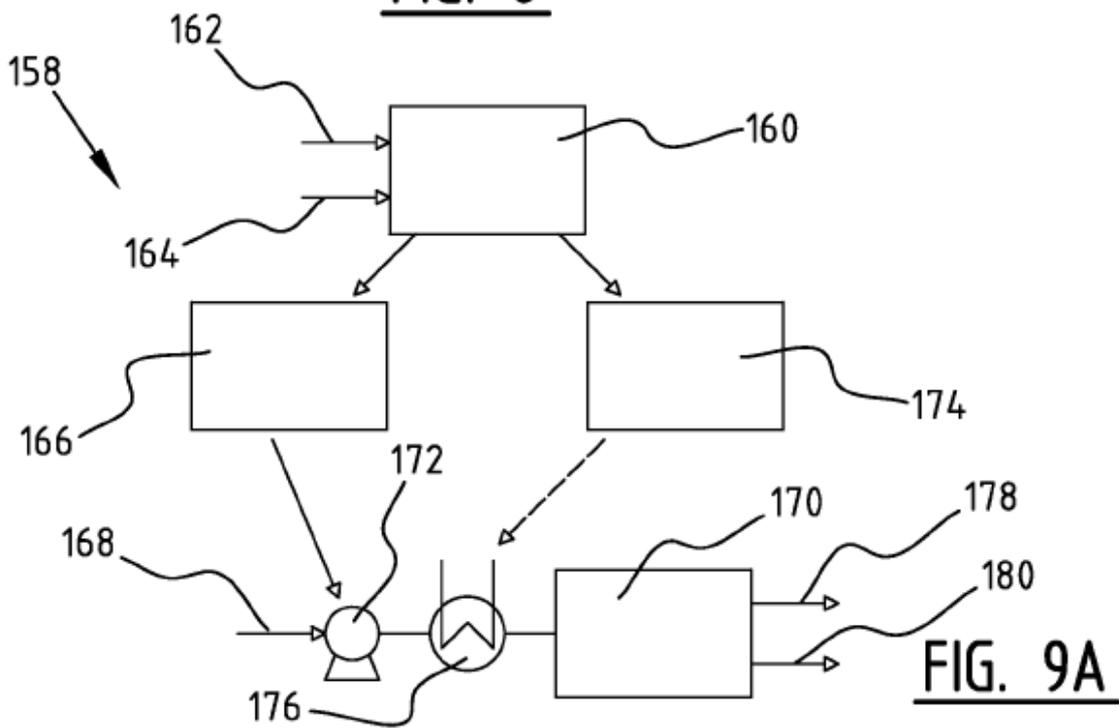
**FIG. 7A**



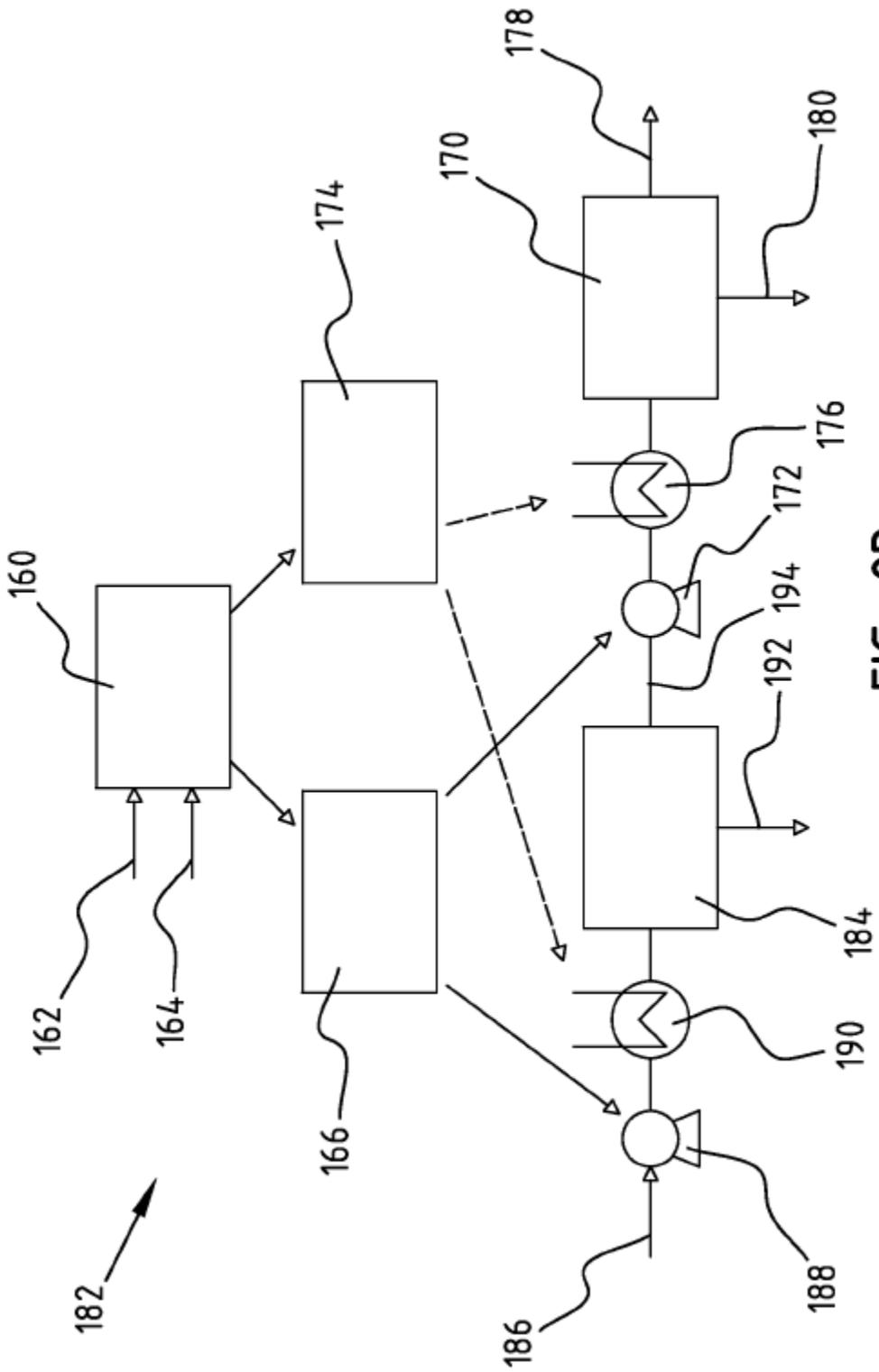
**FIG. 7B**



**FIG. 8**



**FIG. 9A**



**FIG. 9B**

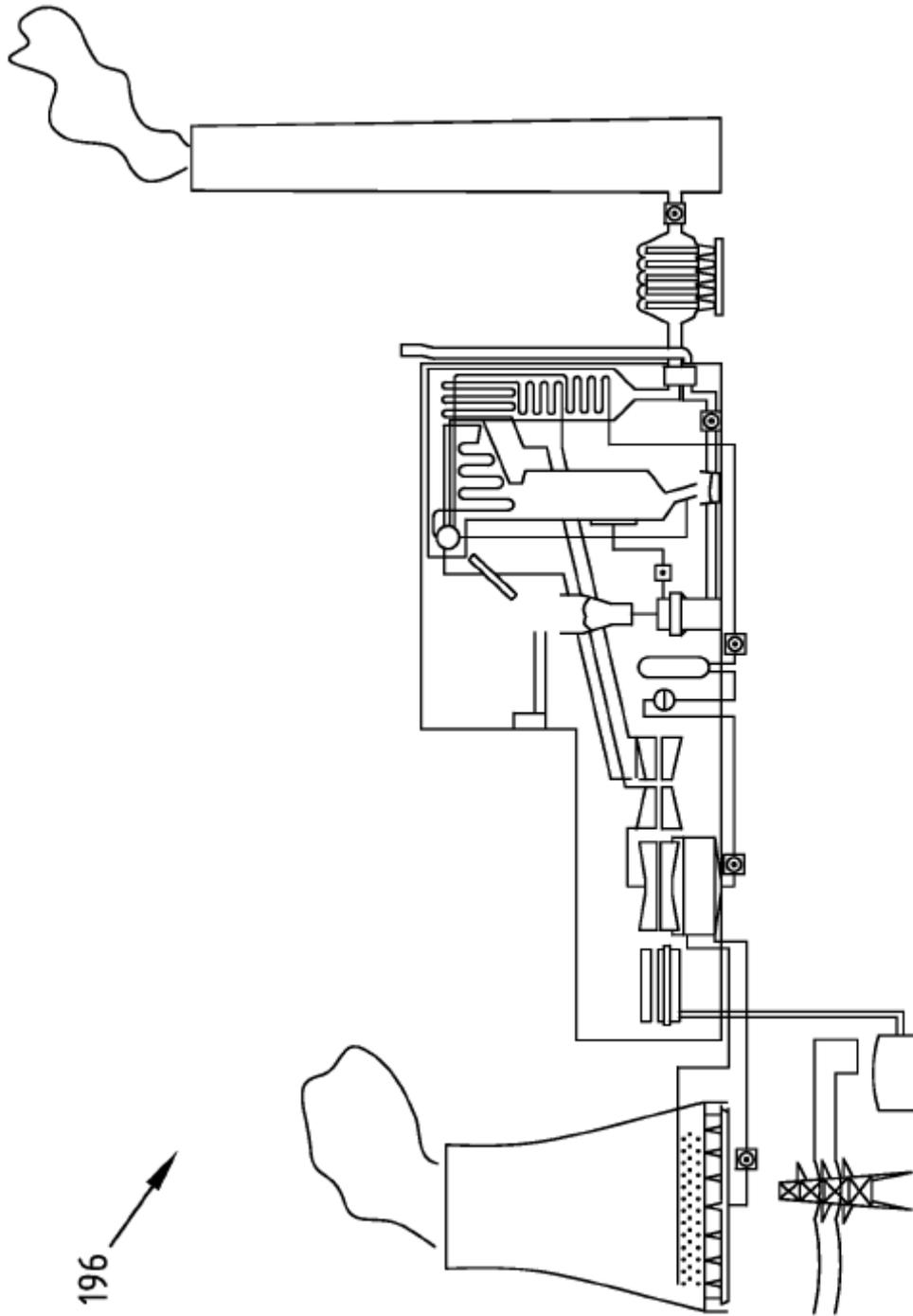


FIG. 10