

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 705 617**

51 Int. Cl.:

<b>G21F 9/06</b>	(2006.01)	<b>C02F 101/00</b>	(2006.01)
<b>G21F 9/02</b>	(2006.01)		
<b>G21F 9/08</b>	(2006.01)		
<b>B01D 59/40</b>	(2006.01)		
<b>C25B 1/04</b>	(2006.01)		
<b>G21F 9/00</b>	(2006.01)		
<b>C02F 1/00</b>	(2006.01)		
<b>C02F 1/04</b>	(2006.01)		
<b>C02F 1/461</b>	(2006.01)		
<b>C25B 15/08</b>	(2006.01)		

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **28.01.2015 PCT/JP2015/052345**
- 87 Fecha y número de publicación internacional: **25.02.2016 WO16027479**
- 96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **28.01.2015 E 15833259 (3)**
- 97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **26.12.2018 EP 3185247**

54 Título: **Método para el tratamiento de agua cruda que contiene agua con tritio**

30 Prioridad:

**18.08.2014 JP 2014166113**

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

**26.03.2019**

73 Titular/es:

**DE NORA PERMELEC LTD (100.0%)  
2023-15, Endo  
Fujisawa-shi Kanagawa 252-0816, JP**

72 Inventor/es:

**MANABE, AKIYOSHI;  
OHARA, MASAHIRO;  
NISHIKI, YOSHINORI y  
KUNIMATSU, AKIRA**

74 Agente/Representante:

**UNGRÍA LÓPEZ, Javier**

ES 2 705 617 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 para el tratamiento de agua cruda que contiene agua con tritio

5 **Campo técnico**

La presente invención se refiere a un método para tratar agua cruda que contiene agua con tritio en la que, mediante la gasificación de agua cruda que contiene agua con tritio mediante electrolisis en agua alcalina, la concentración de tritio se diluye a 1/1244 en relación con la concentración de tritio en el agua cruda, y simultáneamente, se reduce el volumen de agua cruda que contiene agua con tritio. El tritio se puede extraer en una cantidad de 1/20 del patrón de descarga permisible al aire libre y puede conducir a grandes alturas separadas de cualquier organismo vivo.

La presente invención también se refiere a un método para recuperar tritio como agua concentrada que contiene agua con tritio haciendo reaccionar gas de hidrógeno que contiene tritio con vapor de agua.

La presente invención también se refiere a un método para tratar agua cruda que contiene agua con tritio en la que se usa agua cruda que apenas contiene impurezas como los iones de cloruro como agua cruda que contiene agua con tritio, y gasificar el agua cruda mediante electrolisis continua, y así se diluye la concentración de tritio, y simultáneamente se reduce el volumen de agua cruda que contiene agua con tritio. La presente invención también se refiere a un método para tratar agua cruda que contiene agua con tritio en la que, después de realizar la electrolisis continua, se realiza además la electrolisis en agua alcalina para el agua que contiene agua con tritio separada mientras se recupera un componente alcalino utilizado para la electrolisis.

La presente invención también se refiere a un método para tratar agua cruda que contiene agua con tritio en la que se utiliza agua cruda que contiene una gran cantidad de impurezas como los iones de cloruro como agua cruda que contiene agua con tritio, se realiza una electrolisis continua después de retirar las impurezas y la concentración de tritio se diluye, y al mismo tiempo se reduce el volumen de agua cruda que contiene agua con tritio. La presente invención también se refiere a un método para tratar agua cruda que contiene agua con tritio, en la cual, después de realizar la electrolisis continua, la electrolisis se realiza adicionalmente mientras se recupera un componente alcalino utilizado para la electrolisis y el volumen del agua que contiene agua con tritio se reduce adicionalmente.

**Antecedentes**

La mayor parte del tritio en la tierra está presente como un óxido similar al agua tritiada, es decir, el agua con tritio. Se cree que la concentración de agua con tritio que circula en el aire tiene un valor casi constante en animales y plantas de todas las edades en cualquier área. A partir de la cantidad reducida de concentración en el agua, se puede determinar un período separado de la circulación del aire y también se puede establecer la datación del agua subterránea. La concentración de agua con tritio también se utiliza para la investigación real de un flujo de agua subterránea en el campo de la ingeniería civil y la agricultura. El tritio está presente de forma mixta en el agua como agua con tritio, que incluye oxígeno, y está ampliamente presente en los recursos hídricos, como el vapor de agua, la lluvia, el agua subterránea, el agua de lagos, el agua de mar, el agua potable y un organismo vivo como fase gaseosa, fase líquida, o fase sólida.

El tritio natural es producido por una reacción entre la radiación cósmica y el aire. Sin embargo, debido a la baja probabilidad de producción, su cantidad es extremadamente pequeña. Mientras tanto, el tritio producido por la prueba nuclear en la década de 1950, un reactor nuclear y el reprocesamiento de combustible nuclear se ha descargado y está presente en gran cantidad en el entorno (tritio de precipitación). Además, en comparación con un sistema externo, el tritio producido durante la operación o el mantenimiento del reactor o el reprocesamiento de combustible nuclear se acumula y localiza a un nivel más alto en las instalaciones relacionadas con un reactor nuclear. Sin embargo, debido a la razón de que las propiedades químicas casi no son diferentes de las del hidrógeno, se descarga a la atmósfera o el mar.

El valor más alto medido en Japón es de 1100 Bq/l, medido el 21 de junio de 2013 en el puerto de la primera planta de energía nuclear de Fukushima donde ocurrió el desastre nuclear. Dado que es difícil separar químicamente el tritio del hidrógeno, se ha probado un método para la separación física. Sin embargo, todavía está en un nivel de prueba y aún está por conseguirse el éxito práctico. Por lo tanto, la radioactividad del tritio descargado en el medio ambiente debido a un desastre en una planta de energía nuclear o similar no puede eliminarse con la tecnología actual. El agua contaminada que contiene tritio producida a partir de la primera central nuclear de Fukushima puede alcanzar los 800.000 m<sup>3</sup> aproximadamente en el futuro, y se desea contar con un método para un tratamiento efectivo de la misma tan pronto como sea posible.

Mientras tanto, como la concentración de tritio está en un nivel extremadamente bajo, es general tener una concentración de electrolisis para mejorar la precisión de la medición en el momento de medir la concentración. En este documento, un método para preparar una solución de muestra que contiene electrolito disuelto y realizar electrolisis a través de un panel similar a una placa se conoce como la concentración de electrolisis en agua pesada de una técnica relacionada. Hay HDO o HTO como agua incluida en una solución de electrolito además de H<sub>2</sub>O. Se

descomponen en hidrógeno y oxígeno según la electrolisis del agua en general. Sin embargo, debido al efecto del isótopo, la descomposición del H<sub>2</sub>O ocurre antes de la descomposición de HDO o HTO, y por lo tanto, a medida que la concentración de deuterio o tritio aumenta en la solución de electrolito, ocurre la concentración. El níquel se utiliza como ánodo utilizado para la concentración de electrolisis. El acero, el hierro, el níquel y similares se utilizan como cátodo. Esos electrodos se limpian y la muestra de agua que se prepara agregando hidróxido de sodio diluido como sal de soporte a la solución acuosa que contiene agua pesada se añade a un recipiente de vidrio. A continuación la electrolisis se realiza mediante la aplicación de corriente eléctrica. En ese momento, mientras que la densidad de corriente se establece en 1 a 10 A/dm<sup>2</sup> aproximadamente y la temperatura de la solución se mantiene a 5 °C o menos para evitar la evaporación del agua causada por el calentamiento, la electrolisis generalmente continúa hasta que la cantidad de líquido se reduce a 1/10 o menos para que tenga la concentración de deuterio.

Es decir, la concentración de electrolisis del tritio se basa en la propiedad de que, como en el caso del deuterio, la electrolisis del agua con tritio es más difícil que el agua con hidrógeno ligero. Con respecto al método de electrolisis que incluye la inserción de un electrodo metálico en una solución alcalina acuosa, ya se han realizado varios estudios para que como manual oficial esté presente un método convencional. De acuerdo con este método, la concentración de tritio se concentra en 1 etapa. Sin embargo, en términos de un caso real, hay varios problemas en la concentración de electrolisis de una técnica relacionada, es decir, los trabajos operativos son complicados, la tasa de concentración de tritio está limitada por el límite superior de concentración de electrolitos, se genera una mezcla de gas de hidrógeno y oxígeno para producir un riesgo de explosión, la electrolisis lleva mucho tiempo y el método no es adecuado para un tratamiento a gran escala.

Dado que la tecnología se determina desde el punto de vista de la separación y captura de un material apenas contenido en una etapa, los problemas anteriores se deben principalmente al uso de una electrolisis en solución alcalina acuosa de una técnica relacionada en la que es difícil manejar una solución de agua electrolítica en agua alcalina, es difícil separar el gas generado por un ánodo, es difícil aumentar la corriente electrolítica debido a la formación de burbujas de aire en una superficie metálica, o similar.

El documento de patente US 2011/0243834 A1 describe un método para separar el tritio de los materiales de residuo radiactivos y el agua de los reactores nucleares, que comprende una etapa de pasar agua con agua con tritio a un electrolizador alcalino, donde se descompone el agua tritiada.

A este respecto, como método de electrolisis para el agua que ha recibido atención en los últimos años, se puede mencionar una electrolisis del agua que utiliza un electrolito de polímero sólido (a continuación, denominado "EPS") (más adelante, denominada "electrolisis en agua de EPS"). La primera electrolisis en agua de EPS fue realizada por General Electric Company de EE. UU., aplicando la tecnología de pila de combustible a principios de los años 70. Con respecto a la estructura de la parte de electrolisis, ambas superficies de una membrana de EPS se intercalan entre electrodos de metal porosos, y al sumergirlas en agua pura y solo aplicando corriente eléctrica, se provoca que la electrolisis libere gas descompuesto de los electrodos porosos. El EPS es un tipo de resina de intercambio catiónico, y tiene una estructura en la que un grupo de ácido sulfónico o similar para que tenga transporte de iones se une químicamente a una cadena de polímero. Cuando se aplica corriente eléctrica entre dos electrodos, el agua se descompone y se produce gas oxígeno en el ánodo y se producen iones de hidrógeno. Esos iones de hidrógeno se transportan al cátodo después de moverse a través de los grupos de ácido sulfónico de EPS, y después de tomar electrones, se genera gas de hidrógeno. Aparentemente, el EPS en sí mismo no sufre ningún cambio y se mantiene en una fase sólida.

En el caso de utilizar el EPS para la concentración de electrolisis de tritio, se espera que tenga las siguientes ventajas en comparación con un método de una técnica relacionada.

- 1) El agua destilada se puede descomponer directamente. Es decir, la disolución y neutralización de un electrolito y la eliminación de un electrolito, que son esenciales en la electrolisis acuosa en solución alcalina, no son necesarias y la tasa de disminución del volumen de agua de la muestra es ilimitada, en principio.
- 2) Como la superficie del electrodo no está cubierta por burbujas de aire, la electrolisis se puede llevar a cabo con una alta corriente eléctrica y, por lo tanto, se puede acortar el tiempo de electrolisis.
- 3) Como el gas de hidrógeno y el gas oxígeno se producen por separado en diferentes lados de una membrana de EPS, el tratamiento del gas es fácil y es mucho más seguro que un método de una técnica relacionada en el que se maneja gas de mezcla explosiva.

Además, con respecto al método de concentración de electrolisis del agua pesada en base a la electrolisis del agua de EPS, existen Bibliografías de Patentes 1 y 2 sugeridas por la compañía solicitante y Bibliografía no patentada 1.

Sin embargo, en el caso de utilizar las Bibliografías de Patentes 1 y 2 y la Bibliografía no patentada 1, se puede presentar una solicitud para un dispositivo para el análisis o concentración a pequeña escala, pero no son adecuados para un tratamiento a gran escala basado en las siguientes razones. Dado que la solución de electrolito que se utiliza es agua pura, para que no haya flujo de corriente eléctrica en la solución de electrolito, la membrana de polímero sólido como elemento constitucional debe estar fuertemente sujeta al ánodo y al cátodo con una presión superficial de 20-30 kg/cm<sup>2</sup> o menos. Como tal, se requiere que cada miembro de un baño de electrolisis tenga una

alta resistencia. Sin embargo, tener un área de reacción grande como 1 m<sup>2</sup> o más no es práctico cuando se considera la eficiencia económica o la propiedad operativa. Además, no son adecuados para la concentración de electrolisis o el fraccionamiento de agua cruda que contiene un gran volumen de agua pesada debido al alto costo involucrado con las instalaciones o similares.

5

## Lista de citas

### Bibliografía de patentes

- 10 Bibliografía de patentes 1: JP 8-26703 A (Patente n.º 3406390)  
Bibliografía de patentes 2: JP 8-323154 A (Patente n.º 3977446)

### Bibliografía no patentada

- 15 Bibliografía no patentada 1: Enriquecimiento electrolítico de tritio con electrolito de polímero sólido (RADIOISOTOPES, Vol. 45, n.º 5 de mayo de 1996 (publicado por Japan Radioisotope Association))

## Sumario de la invención

### 20 Problema técnico

Un objeto de la presente invención es resolver los problemas de una técnica anterior y proporcionar un método para tratar agua cruda que contenga agua con tritio que sea adecuada para un tratamiento a gran escala usando electrolisis. Más específicamente, un objeto de la presente invención es proporcionar un método para diluir tritio a la concentración de 1/1244 mediante la gasificación de agua cruda que contiene agua con tritio mediante electrolisis continua en agua alcalina bajo suministro continuo de agua cruda para su conversión en hidrógeno gas que contiene tritio y oxígeno gas para disminuir la influencia del tritio en un organismo vivo. Un objeto de la presente invención es proporcionar un método para eliminar tritio en una cantidad de 1/20 o menos del patrón de descarga permisible al aire libre y llevarlo a grandes alturas separadas de cualquier organismo vivo. Un objeto de la presente invención es proporcionar un método para recuperar tritio como agua que contiene agua con tritio concentrada haciendo reaccionar el gas de hidrógeno que contiene tritio gasificado con vapor de agua. Un objeto de la presente invención también es proporcionar un método para permitir la electrolisis continua en el caso en el que el agua cruda que apenas contiene impurezas como los iones de cloruro se utiliza como agua cruda que contiene agua con tritio, y por lo tanto diluir la concentración de tritio y reducir el volumen de agua cruda que contiene agua con tritio. Un objeto de la presente invención también es proporcionar un método para, después de realizar la electrolisis continua en agua cruda que contiene agua con tritio, tratar el agua cruda que contiene agua con tritio en la que la electrolisis en agua alcalina se realiza adicionalmente con un suministro discontinuo mientras se recupera el componente alcalino. Se utiliza para la electrolisis y, por lo tanto, se diluye la concentración de tritio y se reduce el volumen de agua que contiene agua con tritio. Un objeto de la presente invención también es proporcionar un método para realizar la electrolisis continua antes mencionada después de eliminar las impurezas en una etapa previa en el caso en que se utiliza agua cruda que contiene impurezas como una gran cantidad de iones de cloruro como agua cruda que contiene agua con tritio, y por lo tanto diluyen la concentración de tritio y reducen el volumen de agua cruda que contiene agua con tritio. Un objeto de la presente invención también es proporcionar un método para, con respecto a esos métodos, y después de realizar la electrolisis continua en agua cruda que contiene agua con tritio, tratar agua cruda que contiene agua con tritio en la que la electrolisis en agua alcalina se realiza además con suministro discontinuo mientras se recupera el componente alcalino utilizado para la electrolisis y, por lo tanto, se diluye la concentración de tritio y se reduce el volumen de agua que contiene agua con tritio.

### 50 Solución al problema

Para lograr el objeto descrito anteriormente, el primer medio de resolución de la presente invención es proporcionar un método para tratar el agua cruda que contiene agua con tritio por medio de la cual el agua cruda que contiene agua con tritio se trata mediante una primera etapa de electrolisis en agua alcalina que incluye las etapas de:

- 55 (1) suministrar una parte de agua cruda que contiene agua con tritio y agua alcalina a un tanque de circulación;  
(2) mezclar el agua cruda con el agua alcalina en el tanque de circulación para obtener un electrolito ajustado para que tenga una concentración alcalina deseada, suministrar el electrolito a un dispositivo de electrolisis en agua alcalina y realizar un tratamiento de electrolisis;  
60 (3) suministrar el agua cruda continuamente al tanque de circulación en una cantidad que corresponda al agua cruda perdida por el tratamiento de electrolisis anterior para mantener la concentración de álcali en una concentración inicial ajustada, y continuar el tratamiento de electrolisis mientras circula el electrolito para que el tratamiento de electrolisis en agua alcalina funcione continuamente.  
(4) gasificar el agua cruda en hidrógeno gas que contiene tritio y gas oxígeno para que la concentración de tritio se diluya a 1/1244 en relación con la concentración de tritio en el agua cruda; y  
65 (5) reducir el volumen del agua cruda.

Para lograr el objeto descrito anteriormente, el segundo medio de resolución de la presente invención es proporcionar un método para tratar el agua cruda que contiene agua con tritio en la que se elimina el hidrógeno que contiene tritio generado por la primera etapa de electrolisis en agua alcalina se extrae al aire libre.

5 Para lograr el objeto descrito anteriormente, el tercer medio de resolución de la presente invención es proporcionar un método para tratar agua cruda que contiene agua con tritio en la que el gas de hidrógeno que contiene tritio generado por la primera etapa de electrolisis en agua alcalina se envía a una torre de catalizador, el hidrógeno gaseoso que contiene tritio se hace reaccionar con vapor de agua en un catalizador cargado en la torre de catalizador, y el tritio se recupera como agua concentrada que contiene agua con tritio.

10 Para lograr el objeto descrito anteriormente, el cuarto medio de resolución de la presente invención es proporcionar un método para tratar el agua cruda que contiene agua con tritio en la que el método incluye:

15 la primera etapa de electrolisis en agua alcalina para realizar continuamente el tratamiento de electrolisis en agua alcalina;

una segunda etapa de destilación en la cual, después de completar la primera etapa de electrolisis en agua alcalina, la cantidad total del electrolito que permanece en la primera etapa de electrolisis en agua alcalina se suministra a un evaporador, un componente alcalino en el electrolito se recupera como suspensión de sal alcalina, y simultáneamente, se elimina el agua que contiene agua con tritio destilada por el evaporador; y

20 una segunda etapa de electrolisis en agua alcalina en la que el agua que contiene tritio se extrae con la segunda etapa de destilación y se suministra agua alcalina nueva a un tanque de circulación, el agua que contiene agua con tritio se mezcla con el agua alcalina nueva en el tanque de circulación para así tener una solución electrolítica con una concentración de álcali deseada, la capacidad de electrolisis de un dispositivo de electrolisis en agua alcalina se ajusta a la capacidad adecuada para una cantidad de tratamiento del electrolito, se realiza un tratamiento de electrolisis en agua alcalina seguido de un tratamiento discontinuo, el agua que contiene agua de tritio se gasifica y se convierte en hidrógeno gas que contiene tritio y oxígeno gas, de modo que la concentración de tritio se diluye a 1/1244 en relación con la concentración de tritio en el agua que contiene agua con tritio, y se reduce el volumen del agua cruda,

25 si es necesario, además comprende la etapa de repetir varias veces la segunda etapa de destilación y la segunda etapa de electrolisis en agua alcalina hasta la finalización del tratamiento discontinuo en el cual, en el momento de repetir varias veces, se reduce gradualmente la capacidad del dispositivo de electrolisis en agua alcalina utilizado para la segunda etapa de electrolisis en agua alcalina y se repite el tratamiento.

35 Para lograr el objeto descrito anteriormente, el quinto medio de resolución de la presente invención es proporcionar, con respecto a los primeros medios de resolución anteriores, un método para tratar el agua cruda que contiene agua con tritio en la cual, cuando se utiliza el agua cruda que contiene impurezas que incluye una gran cantidad de iones de cloruro como agua cruda que contiene agua con tritio, además se proporciona una primera etapa de destilación para eliminar las impurezas como una etapa previa de la primera etapa de electrolisis en agua alcalina, y en la primera etapa de destilación, el agua cruda que contiene impurezas que incluyen los iones de cloruro se suministra al evaporador y las impurezas se eliminan como una suspensión salina, y simultáneamente, el agua cruda que contiene agua con tritio después de eliminar las impurezas se extrae y a continuación se suministra continuamente para ser tratada por la primera etapa de electrolisis en agua alcalina.

45 Para lograr el objeto descrito anteriormente, el sexto medio de resolución de la presente invención es proporcionar, en relación con el cuarto medio de resolución anterior, un método para tratar el agua cruda que contiene agua con tritio en la cual, cuando se utiliza agua cruda que contiene impurezas que incluye una gran cantidad de iones de cloruro como agua cruda que contiene agua con tritio, se proporciona una primera etapa de destilación para eliminar las impurezas como etapa previa de la primera etapa de electrolisis en agua alcalina, y en la primera etapa de destilación, el agua cruda que contiene impurezas que incluyen iones de cloruro que se suministra al evaporador y las impurezas se eliminan como una suspensión salina, y simultáneamente, el agua cruda que contiene agua con tritio se retira y a continuación se suministra continuamente para ser tratada por la primera etapa de electrolisis en agua alcalina.

50 Para lograr el objeto descrito anteriormente, el séptimo medio de resolución de la presente invención es proporcionar, con respecto al quinto o sexto medio de resolución anterior, un método para tratar agua cruda que contiene agua con tritio en la que, en la primera etapa de destilación, la suspensión salina se concentra y a continuación se separa y se recupera como una materia sólida.

60 Para lograr el objeto descrito anteriormente, el octavo medio de resolución de la presente invención es proporcionar, con respecto al cuarto medio de resolución anterior, un método para tratar agua cruda que contiene agua con tritio en la que, en la segunda etapa de destilación, la suspensión de sal alcalina se concentra y a continuación se separa y se recupera como una materia sólida.

65 Para lograr el objeto descrito anteriormente, el noveno medio de resolución de la presente invención es proporcionar, en relación con el cuarto medio de resolución anterior, un método para tratar agua cruda que contiene agua con tritio en la que, en la primera etapa de electrolisis en agua alcalina, se usa agua alcalina con una

concentración relativamente alta como agua alcalina, el tratamiento de electrolisis se realiza a una densidad de corriente relativamente alta, y en la segunda etapa de electrolisis en agua alcalina, se usa agua alcalina con una concentración relativamente baja como agua alcalina, el tratamiento de electrolisis se realiza a una densidad de corriente relativamente baja

5 Para lograr el objeto descrito anteriormente, el décimo medio de resolución de la presente invención es proporcionar, con respecto a los primeros medios de resolución anteriores, un método para tratar agua cruda que contiene agua con tritio en la que, en la primera etapa de electrolisis en agua alcalina, se utiliza el 15 % en masa o más de agua alcalina como agua alcalina, y el tratamiento de electrolisis se realiza a una densidad de corriente de 15 A/dm<sup>2</sup> o superior.

10 Para lograr el objeto descrito anteriormente, el undécimo medio de resolución de la presente invención es proporcionar, con respecto al cuarto medio de resolución anterior, un método para tratar agua cruda que contiene agua con tritio en la que, en la segunda etapa de electrolisis en agua alcalina, se utiliza del 2 al 10 % en masa de agua alcalina como agua alcalina, y el tratamiento de electrolisis se realiza a una densidad de corriente de 5 a 20 A/dm<sup>2</sup>.

**Efectos ventajosos de la invención**

20 (1) De acuerdo con la presente invención, al gasificar el agua cruda que contiene agua con tritio y convertirla en hidrógeno gas que contiene tritio y oxígeno gas, la concentración de tritio se puede diluir a 1/1244, y la influencia del tritio en el organismo vivo se puede reducir.

25 Además, aunque es preferible que la cantidad total de agua cruda que contiene agua con tritio se trate con electrolisis en agua alcalina, si el volumen del agua con tritio es grande o si existe alguna otra razón relacionada con la eficiencia económica o similar, la electrolisis del agua alcalina se puede realizar en varios periodos divididos.

30 (2) De acuerdo con la presente invención, mediante la gasificación del agua cruda que contiene agua con tritio, la concentración de tritio se puede diluir a 1/1244 y, por lo tanto, el tritio se puede eliminar en una cantidad de 1/20 o menos del patrón de descarga permisible al aire libre y se puede llevar a grandes alturas separadas de cualquier organismo vivo.

(3) De acuerdo con la presente invención, en el método para realizar un tratamiento continuo con electrolisis en agua alcalina de agua cruda que contiene agua con tritio mediante la primera etapa de electrolisis en agua alcalina, dado que el hidrógeno gas que contiene gas de tritio gasificado reacciona con vapor de agua, el producto tratado se puede recuperar como agua concentrada que contiene agua con tritio.

35 (4) De acuerdo con la presente invención, también para el agua cruda que contiene tritio que contiene impurezas como una gran cantidad de iones de cloruro, se proporciona la primera etapa de destilación para el suministro continuo a un destilador como una etapa previa para eliminar las impurezas como suspensión salina y, por tanto, se puede obtener el efecto descrito anteriormente. A continuación, un tratamiento por la primera etapa de electrolisis en agua alcalina y un tratamiento que consiste en la primera etapa de destilación como una etapa previa y la primera etapa de electrolisis en agua alcalina se denominan "sistema de electrolisis en agua alcalina (I)".

40 (5) De acuerdo con el cuarto medio de resolución de la presente invención, después de completar la electrolisis continua de la primera etapa de electrolisis en agua alcalina en el sistema de electrolisis en agua alcalina (I), la solución de electrolito (agua alcalina) que permanece en la primera etapa de electrolisis en agua alcalina se trata en modo discontinuo que consiste en la segunda etapa de destilación y la segunda etapa de electrolisis en agua alcalina proporcionada después de la finalización de la segunda etapa de destilación, y así el componente alcalino se puede recuperar como una suspensión de sal alcalina mediante la segunda etapa de destilación y el agua que contiene agua con tritio destilada se puede extraer simultáneamente.

45 (6) De acuerdo con el cuarto medio de resolución de la presente invención, después de completar la electrolisis continua de la primera etapa de electrolisis en agua alcalina en el sistema de electrolisis en agua alcalina (I), la solución de electrolito (agua alcalina) que permanece en la primera etapa de electrolisis en agua alcalina se somete a un tratamiento de electrolisis haciendo que el agua que contiene tritio se extraiga después de completar la segunda etapa de destilación como una solución de electrolito y suministre la solución de electrolito al dispositivo de electrolisis en agua alcalina mientras que la capacidad de electrolisis de un dispositivo de electrolisis en agua alcalina se ajusta a la capacidad correspondiente a la cantidad de tratamiento de la solución de electrolito durante la segunda etapa de electrolisis en agua alcalina de modo discontinuo. De este modo, el agua que contiene agua con tritio que permanece después del tratamiento con el sistema de electrolisis en agua alcalina (I) se diluye a un patrón de descarga permisible de tritio o inferior y a continuación se retira, y el volumen de agua cruda que contiene agua con tritio se puede reducir aún más.

50 (7) Según el cuarto medio de resolución de la presente invención, para realizar un tratamiento discontinuo suficiente, el volumen puede reducirse hasta que el agua que contiene agua con tritio sea casi cero, mientras que el volumen del dispositivo de electrolisis en agua alcalina disminuye gradualmente (es decir, reduciendo las instalaciones) realizando una etapa para repetir la segunda etapa de destilación y la segunda etapa de electrolisis en agua alcalina como la tercera, la cuarta,... etapas. A continuación, se hace referencia al tratamiento que consiste en la segunda etapa de destilación (utilizada para la tercera etapa de destilación y la siguiente etapa de destilación) y la segunda etapa de electrolisis en agua alcalina (utilizada para la tercera etapa

de electrolisis en agua alcalina y la siguiente etapa de electrolisis en agua alcalina) como "sistema de electrolisis en agua alcalina (II)".

(8) De acuerdo con el quinto o el sexto medio de resolución de la presente invención, en el caso de que se use agua cruda que contiene impurezas como una gran cantidad de iones de cloruro como agua cruda que contiene agua con tritio, las impurezas se eliminan como una suspensión salina mediante la realización de la primera etapa de destilación como etapa previa de la primera etapa de electrolisis en agua alcalina para llevar a cabo el sistema de electrolisis en agua alcalina (I). Como tal, de acuerdo con la primera etapa de electrolisis en agua alcalina, no se acumulan impurezas en la solución de electrolito y la electrolisis continua en agua alcalina se puede llevar a cabo sin problemas en un estado estable durante un largo período de tiempo.

(9) De acuerdo con la presente invención, en el caso en que el electrolito permanezca después de completar la primera etapa de electrolisis en agua alcalina para llevar a cabo el sistema de electrolisis en agua alcalina (I) se trata con el sistema de electrolisis en agua alcalina (II), si es necesario, el álcali restante debe recuperarse como una sal alcalina cada vez durante la tercera, la cuarta... etapas de destilación como segunda etapa de destilación cuando la segunda etapa de electrolisis en agua alcalina y la siguiente etapa de electrolisis en agua alcalina se repiten varias veces. En cuanto a las instalaciones para las etapas de destilación de la segunda, la tercera y las siguientes etapas, también se puede utilizar las instalaciones de la primera etapa de destilación como una etapa previa para eliminar impurezas como una gran cantidad de iones de cloruro en el agua cruda que contiene agua con tritio, y por lo tanto se puede lograr un ahorro significativo de costos.

## Breve descripción de los dibujos

La Fig. 1 es un diagrama de flujo que ilustra una primera realización (correspondiente a los primeros medios de resolución anteriores) del sistema de electrolisis en agua alcalina (I) de acuerdo con la presente invención, que, con respecto al tratamiento de agua cruda que contiene agua con tritio, se realiza para el tratamiento de agua cruda que contiene solo una pequeña cantidad de impurezas como los iones de cloruro y se utiliza para la primera etapa de electrolisis en agua alcalina para que tenga una electrolisis continua en agua alcalina mientras el electrolito circula con la concentración de álcali mantenida a un nivel constante.

La Fig. 2 es un diagrama de flujo que ilustra una cuarta realización (correspondiente al cuarto medio de resolución anterior) del sistema de electrolisis en agua alcalina según la presente invención, que se utiliza para el sistema de electrolisis en agua alcalina (II) que consiste en la segunda etapa de destilación para extraer, recuperar y tratar en modo discontinuo, el componente alcalino del electrolito que permanece en la primera etapa de electrolisis en agua alcalina y en la segunda etapa de electrolisis en agua alcalina para que tenga un tratamiento de electrolisis mientras se ajusta la capacidad de electrolisis de un dispositivo de electrolisis en agua alcalina a la capacidad correspondiente a la cantidad de tratamiento de la solución de electrolito que permanece en la primera etapa de electrolisis en agua alcalina.

La Fig. 3 es un diagrama de flujo que ilustra la cuarta realización de una constitución en la cual, con respecto al método para tratar agua cruda que contiene agua con tritio utilizando el sistema de electrolisis en agua alcalina (II) que se muestra en la Fig. 2, el electrolito que permanece se trata adicionalmente en la segunda etapa de destilación, el componente alcalino se recupera como una suspensión de sal alcalina del destilador, y también se suministra el agua que contiene agua con tritio obtenida por destilación a un tanque de circulación y se somete a la segunda etapa de electrolisis en agua alcalina, y después de eso, la recuperación anterior y la electrolisis se repiten hasta tener un tratamiento discontinuo suficiente, en el que el método se realiza durante un tratamiento de la solución de electrolito que permanece en la primera etapa de electrolisis en agua alcalina del sistema de electrolisis en agua alcalina (I).

La Fig. 4 es un diagrama de flujo que ilustra una sexta realización (correspondiente a los quinto y sexto medios de resolución anteriores) del sistema de electrolisis en agua alcalina según la presente invención con el sistema de electrolisis en agua alcalina (II) que se realiza en el caso donde, como agua cruda que contiene agua con tritio, para el tratamiento se usa agua cruda que contiene una gran cantidad de impurezas como iones de cloruro, en la cual el sistema de electrolisis en agua alcalina (II) consiste en la primera etapa de destilación como etapa previa para eliminar las impurezas como suspensión salina, la primera etapa de electrolisis en agua alcalina para que tenga una electrolisis continua en agua alcalina, mientras que el electrolito del sistema de electrolisis en agua alcalina (I) circula mientras se mantiene para que tenga una concentración constante de álcali, la segunda etapa de destilación para recuperar el componente alcalino de la solución electrolítica que permanece la primera etapa de electrolisis con agua alcalina como suspensión de sal alcalina y la segunda etapa de electrolisis con agua alcalina para que tenga un tratamiento de electrolisis mientras se ajusta la capacidad de electrolisis del dispositivo de electrolisis con agua alcalina a la capacidad correspondiente a la cantidad de tratamiento de la solución de electrolito que permanece en la primera etapa de electrolisis en agua alcalina.

La Fig. 5 es un diagrama de flujo que ilustra la sexta realización del método de tratamiento en el que se usa el sistema de electrolisis en agua alcalina que se muestra en la Fig. 4 y el agua cruda que contiene una gran cantidad de impurezas como los iones de cloruro se trata como agua cruda que contiene agua con tritio.

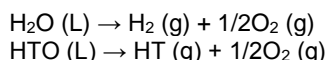
## Descripción de las realizaciones

La cantidad de agua contaminada que contiene tritio liberada desde la primera planta de energía nuclear de Fukushima es grande, y la cantidad de almacenamiento de agua contaminada puede ser tan grande como 800.000 m<sup>3</sup> en el futuro. La presente invención está diseñada bajo el objeto de determinar una tecnología mediante la cual el

agua almacenada contaminada con tritio en una cantidad de 800.000 m<sup>3</sup> se somete a un tratamiento de separación de tritio con una capacidad de tratamiento de 400 m<sup>3</sup>/día y el volumen de agua contaminada con tritio se reduce a 1 m<sup>3</sup> o menos, y eventualmente a 0, y también se realiza la tecnología teniendo en cuenta el área de una planta y el costo involucrado en la construcción y el funcionamiento de la planta. Una realización de la tecnología es convertir el agua con tritio en agua que contiene tritio a gas de tritio mediante electrolisis continua, y después de la desintoxicación y la extracción al aire libre, se conduce a grandes altitudes separadas de cualquier organismo vivo.

Como se describe a continuación, de acuerdo con la presente invención, el agua con tritio (HTO) se gasifica para su conversión en gas de tritio (HT) a fin de garantizar una baja concentración como 1/20 o menos del patrón de descarga permisible y el valor establecido de 1 mSv o menos al año. El coeficiente de separación de 1244 se consigue de acuerdo con la siguiente fórmula de cálculo.

La reacción de electrolisis es como se describe a continuación.



Es decir, debido a que el volumen de 1 mol de gas molecular es de 22,4 l en el estado estándar, cuando 1 l de agua cruda (aproximadamente 1000 g) se descompone y gasifica por electrolisis, el contenido de tritio en 1 l del agua cruda se diluye por  $(1000/18) \times 22,4 = 1244$  después de la gasificación.

Este valor del coeficiente de separación es un valor numérico que se encuentra dentro del intervalo de la forma de agua con tritio. El coeficiente de dosis según el tipo químico de tritio y la edad se muestra en la Tabla 1. Sobre la base de la Tabla 1, se encuentra que, en términos del coeficiente de dosis efectivo que muestra directamente la influencia sobre el cuerpo humano y el medio ambiente, el gas de tritio (HT) tiene un grado de influencia de 1/10.000 en comparación con el agua con tritio (HTO).

Tabla 1. Coeficientes de dosis según las formas químicas del tritio y las edades

Años	Coeficiente de dosis ( Sv/Bq ) (dosis efectiva por unidad de radioactividad de la ingesta)					
	Ingesta oral		Ingesta por inhalación (tritio soluble o tritio gaseoso ) <sup>1</sup>			
	HTO	OBT <sup>*2</sup>	HTO <sup>*3</sup>	OBT	HT <sup>*4</sup>	CH <sub>3</sub> T
3 meses	6,4 x 10 <sup>-11</sup>	1,2 x 10 <sup>-10</sup>	6,4 x 10 <sup>-11</sup>	1,1 x 10 <sup>-10</sup>	6,4 x 10 <sup>-15</sup>	6,4 x 10 <sup>-13</sup>
1 año	4,8 x 10 <sup>-11</sup>	1,2 x 10 <sup>-10</sup>	4,8 x 10 <sup>-11</sup>	1,1 x 10 <sup>-10</sup>	4,8 x 10 <sup>-15</sup>	4,3 x 10 <sup>-13</sup>
5 años	3,1 x 10 <sup>-11</sup>	7,3 x 10 <sup>-11</sup>	3,1 x 10 <sup>-11</sup>	7,0 x 10 <sup>-11</sup>	3,1 x 10 <sup>-15</sup>	3,1 x 10 <sup>-13</sup>
10 años	2,3 x 10 <sup>-11</sup>	5,7 x 10 <sup>-11</sup>	2,3 x 10 <sup>-11</sup>	5,5 x 10 <sup>-11</sup>	2,3 x 10 <sup>-15</sup>	2,3 x 10 <sup>-13</sup>
15 años	1,8 x 10 <sup>-11</sup>	4,2 x 10 <sup>-11</sup>	1,8 x 10 <sup>-11</sup>	4,1 x 10 <sup>-11</sup>	1,8 x 10 <sup>-15</sup>	1,8 x 10 <sup>-13</sup>
Adulto	1,8 x 10 <sup>-11</sup>	4,2 x 10 <sup>-11</sup>	1,8 x 10 <sup>-11</sup>	4,1 x 10 <sup>-11</sup>	1,8 x 10 <sup>-15</sup>	1,8 x 10 <sup>-13</sup>

(Nota)  
<sup>\*1</sup> la dosis eficiente por inhalación de compuestos de tritio en partículas se describe en ICRP Publ.72, p.44, Tabla A2.  
<sup>\*2</sup> OBT: tritio unido orgánicamente.  
<sup>\*3</sup> La dosis de HTO absorbida por la piel no se incluye en ella.  
<sup>\*4</sup> La dosis por irradiación de gas HT en los pulmones no se incluye en ella.

Se estima que aumenta en un 20 % si se incluye. [Fuente] ICRP: Publicación ICRP 72, Pergamon Press, Oxford, (1995) [Fuente] Hiroshi Takeda et al., "Efectos de la radiación y control de la seguridad del tritio", Journal of Atomic Energy Society, 39 (11), p.923 (1997).

Como tal, el grado de influencia del tritio en un organismo vivo después de la conversión en gas de tritio también se reduce a 1/10.000. Por lo tanto, cuando se considera el coeficiente de dosis efectivo, se cree que el coeficiente de separación es igual a 12.440.000.

Se incluyen varias realizaciones en el método para tratar agua cruda que contiene agua con tritio de la presente invención. Hay una realización en la que una etapa de destilación para separar y eliminar impurezas como la sal, el Ca y el Mg contenidos en el agua para el tratamiento, una etapa de electrolisis en agua alcalina para extraer el gas de tritio del agua tritio al aire libre para que tenga 1/20 o menos del patrón de descarga permisible y también del 0,047 % o menos/año de la cantidad de tritio acumulada en el mundo y para llevar el gas a grandes altitudes separadas de cualquier organismo vivo, y la etapa de circulación y la etapa de electrolisis en agua alcalina se repiten para reducir la cantidad de "agua de tratamiento" almacenada a cero en una etapa final. En primer lugar, se dan las explicaciones para esta realización.

El agua contaminada que contiene tritio producida por la primera planta de energía nuclear de Fukushima contiene una gran cantidad de impurezas como los iones de cloruro. Cuando la gasificación y la dilución se realizan por electrolisis en agua alcalina, si dicha agua cruda se somete directamente a la electrolisis en agua alcalina, se acumulan los iones de cloruro en las impurezas. Además, si los iones de cloruro están presentes en un álcali



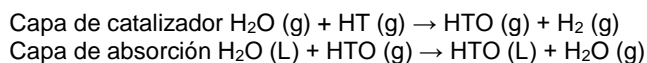
cáustico a un nivel de solubilidad o superior, se precipitan como cloruros y, por lo tanto, la electrolisis puede no continuar. En este sentido, de acuerdo con la presente invención, en el caso de tratar esta agua contaminada, esas impurezas se eliminan como una suspensión salina durante una etapa de destilación como una etapa previa a la electrolisis del agua alcalina, y el agua cruda después de la eliminación se somete continuamente a la electrolisis del agua alcalina.

Sin embargo, cuando el agua cruda que contiene agua con tritio a tratar contiene solo una pequeña cantidad de impurezas como los iones de cloruro, las impurezas como los iones de cloruro no se concentran en la medida en que puedan precipitarse como metales alcalinos, incluso cuando la electrolisis del agua alcalina se realiza continuamente. Por lo tanto, la etapa de destilación anterior para eliminar los iones de cloruro antes de la electrolisis en agua alcalina no es necesaria. Por consiguiente, en tal caso, el diseño puede hacerse de modo que el agua cruda que contiene agua con tritio se introduzca directamente en un tanque de circulación para suministrar el agua cruda a un dispositivo de electrolisis en agua alcalina.

En la presente invención, el "caso en el que el agua cruda que contiene agua con tritio contiene solo una pequeña cantidad de impurezas como los iones de cloruro" significa un caso en el que las impurezas como los iones de cloruro están contenidas en el agua cruda que contiene agua con tritio, o un caso en el que las impurezas están contenidas en una cantidad para precipitar como cloruros en la medida en que la electrolisis no se puede realizar de forma continua. Además, cuando las impurezas como los iones de cloruro se precipitan como cloruros, es posible que parte de ellos se extraigan de una tubería de circulación durante la electrolisis en agua alcalina.

De acuerdo con la presente invención, en la primera etapa de electrolisis en agua alcalina del sistema de electrolisis en agua alcalina (I), se utiliza el agua cruda que contiene solo una pequeña cantidad de impurezas como los iones de cloruro o el agua cruda de la cual se elimina una gran cantidad de impurezas contenidas con la primera etapa de destilación como agua cruda que contiene agua con tritio, y el tratamiento se lleva a cabo mientras se suministra continuamente agua cruda en una cantidad correspondiente a la cantidad de agua cruda perdida por el tratamiento de electrolisis en agua alcalina desde un tanque de almacenamiento hasta un tanque de circulación proporcionado en la primera etapa de electrolisis de agua alcalina. Específicamente, la electrolisis se realiza continuamente ajustando la concentración de álcali a una concentración inicial deseada en el tanque de circulación para preparar un electrolito y hacer circular el electrolito mientras se mantiene la concentración de álcali. Al electrolizar toda la cantidad de agua cruda almacenada en el tanque de almacenamiento como se ha descrito anteriormente, el agua cruda que contiene agua con tritio en el agua cruda se gasifica y se convierte en gas de hidrógeno que contiene tritio y gas oxígeno. Como resultado, en comparación con un caso de agua con tritio antes de la gasificación, la concentración de tritio se diluye a 1/1244. Además, es efectivo realizar el sistema de electrolisis en agua alcalina (II) que consiste en la segunda etapa de electrolisis en agua alcalina en la cual el electrolito que permanece en la primera etapa de electrolisis en agua alcalina después de que se retira el tratamiento anterior y se somete a un tratamiento discontinuo, el álcali se recupera como suspensión y la electrolisis se lleva a cabo mientras la capacidad de electrolisis del dispositivo de electrolisis en agua alcalina se ajusta a la capacidad correspondiente a la cantidad de tratamiento del electrolito restante; esta realización se explicará más adelante.

El hidrógeno gas que contiene gas de tritio que se obtiene gasificando el agua cruda que contiene agua con tritio después del tratamiento de la primera etapa de electrolisis en agua alcalina mencionada anteriormente puede descargarse directamente al aire libre, o el hidrógeno gas que contiene gas de tritio se suministrará a una torre de catalizador y se hará reaccionar con vapor de agua en un catalizador cargado en la torre de catalizador y se recuperará como agua que contiene agua con tritio concentrada (HTO). La fórmula de reacción para tal caso es la siguiente.



A continuación, se explican las realizaciones de la presente invención con referencia a los dibujos.

#### (1) Primera realización

La Fig. 1 es un diagrama de flujo que ilustra el tratamiento con el sistema de electrolisis en agua alcalina (I) de la primera realización de la presente invención, que se puede aplicar al agua cruda que contiene agua con tritio por medio del cual, si no hay impurezas contenidas como los iones de cloruro o, incluso cuando están contenidas, el funcionamiento del sistema de electrolisis no está inhibido. En tal caso, se lleva a cabo un tratamiento, sin tener una etapa previa para eliminar las impurezas, la electrolisis en agua alcalina del agua cruda que contiene tritio se realiza de manera continua mediante la primera etapa de electrolisis en agua alcalina mientras se mantiene una concentración de álcali constante. A continuación, la primera realización de la presente invención se explica con referencia al diagrama de flujo de la figura 1.

El sistema de electrolisis en agua alcalina que se muestra en la Fig. 1 es el sistema de electrolisis en agua alcalina (I) que utiliza la primera etapa de electrolisis en agua alcalina, en el que el sistema de electrolisis en agua alcalina está compuesto por un tanque de almacenamiento de agua cruda 1, un baño de tratamiento de agua cruda 2, una

bomba 7, un baño de electrolisis en agua alcalina 8, un tanque de circulación 9, los tubos de circulación de electrolito 10, 11, las bombas de suministro 12, 13 y los refrigeradores 14, 15. El baño de electrolisis en agua alcalina 8 está compuesto por un la cámara de ánodo 16 para alojar un ánodo, una cámara de cátodo 17 para alojar un cátodo y un diafragma 18 para separar la cámara de ánodo 16 de la cámara de cátodo 17.

5 De acuerdo con la primera realización, no es necesaria una etapa de destilación descrita a continuación para eliminar impurezas como los iones de cloruro que están contenidas en el agua cruda como agua cruda que contiene agua con tritio, y el agua cruda que contiene agua con tritio se puede suministrar directamente al tanque de circulación 9 de un dispositivo de electrolisis en agua alcalina. En ese momento, por ejemplo, como se muestra en la Fig. 1, es posible tener una constitución en la que parte del agua cruda se suministra desde el tanque de almacenamiento de agua cruda 1 para su almacenamiento al tanque de circulación 9 a través del baño de tratamiento de agua cruda 2 al que se transporta el agua cruda como objeto de tratamiento.

15 El agua cruda que contiene agua con tritio que no contiene impurezas como los iones de cloruro se puede tratar mediante la primera etapa de electrolisis en agua alcalina mediante la cual se realiza un tratamiento continuo en el sistema de electrolisis en agua alcalina (I) como se muestra en la Fig. 1.

20 Además, incluso cuando se usa agua con tritio que contiene agua cruda que contiene impurezas como iones de cloruro, si la cantidad de tratamiento es pequeña, el tiempo de tratamiento es corto, la cantidad de impurezas es pequeña o la constitución incluye la eliminación de las impurezas durante la electrolisis continua, el agua cruda que contiene agua con tritio se puede tratar mediante la primera realización.

25 A continuación, se dan explicaciones para el caso en que  $800.000 \text{ m}^3$  de agua cruda que contiene solo una pequeña cantidad de impurezas como los iones de cloruro se tratan como agua cruda que contiene agua con tritio mediante el sistema de electrolisis en agua alcalina (I) con referencia a la Fig. 1.

30 (a) En esta realización, el objeto de tratamiento de la primera etapa de electrolisis en agua alcalina es  $800.000 \text{ m}^3$  de agua cruda que contiene agua con tritio que se almacena en el tanque de almacenamiento de agua cruda 1. Como parte de esta agua cruda, agua cruda de  $400 \text{ m}^3/\text{día}$  se suministra desde el tanque de almacenamiento de agua cruda 1 al tanque de circulación 9 en la primera etapa de electrolisis en agua alcalina a través del baño de tratamiento de agua cruda 2 por medio de la bomba 7. Además, el agua alcalina se suministra al tanque de circulación 9 (no ilustrado).

35 Además, es preferible que la cantidad total de agua cruda dentro del tanque de almacenamiento de agua cruda 1 se transporte al tanque de circulación 9 a través del baño de tratamiento de agua cruda 2, y a continuación se someta a un tratamiento de electrolisis. Si el agua cruda dentro del tanque de almacenamiento de agua cruda 1 está presente en una gran cantidad, es preferible tener una constitución de modo que el agua cruda se transporte varias veces al baño de tratamiento de agua cruda 2 y al agua cruda dentro del baño de tratamiento de agua cruda 2 se trata continuamente. Lo mismo se aplica a las siguientes realizaciones y ejemplos.

40 (b) Posteriormente, dentro del tanque de circulación 9, el agua cruda dentro del tanque de circulación 9 se mezcla con agua alcalina para producir un electrolito que tenga la concentración de álcali deseada. A continuación, el electrolito se suministra al baño de electrolisis en agua alcalina 8 para el tratamiento de electrolisis.

45 (c) Es preferible que el agua alcalina del electrolito tenga una alta concentración. Es preferiblemente del 15 % en masa, o del 20 % en masa o más. Además, el álcali a usar es preferiblemente KOH o NaOH.

El electrolito dentro del baño de electrolisis en agua alcalina 8 es de  $400 \text{ m}^3$ , la cantidad de electrolito dentro del tanque de circulación 9 y la tubería o similar también es de  $400 \text{ m}^3$ , y por lo tanto el volumen total del proceso de electrolisis es de  $800 \text{ m}^3$ .

50 (d) El electrolito mezclado en el tanque de circulación 9 para que tenga una concentración de álcali deseada se suministra a la cámara de ánodo 16 del baño de electrolisis en agua alcalina 8 a través de la tubería de circulación 10 a través de la bomba de suministro 12 y el refrigerador 14. Al mismo tiempo el electrolito se suministra a la cámara del cátodo 17 del baño de electrolisis en agua alcalina 8 a través de la tubería de circulación 11 a través de la bomba de suministro 13 y el refrigerador 15. A continuación, el electrolito se somete a electrolisis. El electrolito se electroliza según pasa por el diafragma 18. Como resultado de la electrolisis, se genera gas de oxígeno en la cámara de ánodo 16, y se realiza la separación de gas-líquido en el gas de oxígeno generado y el electrolito. El electrolito separado circula hacia el tanque de circulación 9 a través de la tubería de circulación de electrolito 10.

55 Al mismo tiempo, en la cámara del cátodo 17, se genera gas de hidrógeno, y se realiza la separación gas-líquido en el gas de hidrógeno generado y el electrolito. El electrolito separado circula hacia el tanque de circulación 9 a través de la tubería de circulación de electrolito 11. Al establecer una alta densidad de corriente en ese momento, se puede acortar el tiempo requerido para el tratamiento de electrolisis. El intervalo de densidad de corriente para la operación se ve afectado por el rendimiento de un baño de electrolisis, en particular, el ánodo, el cátodo, el diafragma y la estructura de un baño de electrolisis que son factores principales. Es preferible que la densidad de corriente tenga  $15 \text{ A/dm}^2$  o más y  $80 \text{ A/dm}^2$  o menos. Más preferiblemente, es de  $20 \text{ A/dm}^2$  o más y de  $60 \text{ A/dm}^2$  o menos. En particular, cuando la cantidad a gasificar por electrolisis del agua se ajusta a un volumen pequeño, la cantidad del proceso disminuye naturalmente. Cuando se lleva a cabo la descomposición de un gran volumen, la cantidad del proceso aumenta naturalmente.

De acuerdo con la determinación de los inventores, en cuanto a la electrolisis del agua alcalina, la electrolisis se puede realizar incluso con un electrolito que tenga una concentración de álcali del 32 % en masa. Sin embargo, cuando la electrolisis se lleva a cabo a una concentración mayor que eso, la viscosidad de la solución de electrolito aumenta, no se produce rápidamente la liberación del gas generado al exterior del sistema, el voltaje de la celda se vuelve alto y se genera un alto consumo de energía. Por lo tanto, no es un método deseable.

Cuando la cantidad del tratamiento de electrolisis es de 400 m<sup>3</sup>/día para el método anterior, la cantidad total de 800.000 m<sup>3</sup> de agua cruda que contiene agua con tritio se tratará durante 5,5 años (800.000 m<sup>3</sup>/400 m<sup>3</sup>/día/365 días = 5,5 años). Dado que la cantidad de circulación del electrolito es de 800 m<sup>3</sup>, 800.000 m<sup>3</sup> del agua que contiene agua con tritio se reducen a 800 m<sup>3</sup> en 5,5 años.

(e) De acuerdo con el tratamiento a largo plazo anterior, el agua cruda en una cantidad correspondiente a la cantidad de agua cruda perdida por el tratamiento de electrolisis se suministra continuamente desde el tanque de almacenamiento 1 al tanque de circulación 9. Al mantener la concentración de álcali del electrolito en la concentración inicial y continuar la electrolisis mientras circula el electrolito, se trata la cantidad total de agua cruda que se almacena en una gran cantidad almacenada en el tanque de almacenamiento 1 con la electrolisis.

(f) Como resultado del tratamiento con el sistema de electrolisis en agua alcalina (I) descrito anteriormente, el agua cruda que contiene agua con tritio (HTO) se gasifica y se convierte en gas de tritio (HT) que contiene hidrógeno gas y oxígeno gas. La concentración de tritio en el gas de tritio (HT) que contiene hidrógeno gas se diluye a 1/1244 en comparación con un caso de agua con tritio, y el volumen del agua cruda de 800.000 m<sup>3</sup> se reduce a 800 m<sup>3</sup>.

De acuerdo con el modo de electrolisis continua anterior, el agua con tritio correspondiente a la cantidad de agua que se pierde por la electrolisis se suministra continuamente al proceso, y la operación se realiza mientras las propiedades físicas como la cantidad de líquido en el baño de electrolisis o la cantidad de descarga por la bomba de circulación del proceso se mantienen siempre a nivel constante. En ese momento, el agua con tritio suministrada al proceso corresponde a la concentración de agua cruda.

Cuando el agua se suministra continuamente, es probable que tenga una operación en la que la concentración de tritio en el proceso se mantenga a la concentración del agua cruda y el tritio en el baño de electrolisis no se concentre. Bajo tales condiciones de operación continua, el gas generado por electrolisis se convierte a una relación que corresponde a la relación de concentración entre agua ligera y agua con tritio.

A continuación, se dan explicaciones para el tratamiento en el que la concentración inicial de tritio en el agua cruda es de  $6,3 \times 10^6$  a  $4,2 \times 10^6$  Bq/l, y esta concentración se cambia a  $4,2 \times 10^6$  Bq/l después del tratamiento.

Es decir, cuando se ignora la selectividad de la reacción de electrolisis del agua ligera y el agua con tritio, la generación de gas a partir del agua ligera y el agua con tritio se basa en la relación de concentración de cada una de ellas. En 1 l de "agua de tratamiento", están presentes aproximadamente 55,6 moles de molécula de agua H<sub>2</sub>O, y están contenidos  $4,2 \times 10^6$  Bq/l de agua con tritio (HTO). La conversión de gas de hidrógeno se produce de acuerdo con esta tasa.

El coeficiente de separación a obtener es el siguiente.

Después de comenzar la operación, cuando el agua cruda se reduce solo a la cantidad de líquido de circulación (800 m<sup>3</sup>) después de 5,5 años, es como sigue.

$$\text{Coeficiente de separación} = \frac{\text{Concentración de tritio contenido en agua cruda antes del tratamiento}}{\text{Concentración de tritio contenido en producto gasificado de agua cruda después del tratamiento}} = \frac{4,2 \times 10^6 \text{ Bq/l}}{(4,2 \times 10^6 / 1244 \text{ Bq/l})} = 1244$$

Mientras tanto, cuando el coeficiente de dosis efectivo se considera como el grado de influencia del tritio (HT) que presenta una influencia en los organismos vivos, es como sigue.

$$\text{Coeficiente de separación} = 12.440.000.$$

Como tal, de acuerdo con la electrolisis de circulación anterior, una gran cantidad de agua con tritio (HTO) en el agua cruda que contiene agua con tritio se convierte en gas de tritio (HT), de modo que el grado de influencia del tritio en organismos vivos se puede reducir significativamente. Es decir, la concentración de tritio se diluye a 1/1244 en comparación con la concentración de tritio en agua cruda antes del tratamiento. Dado que esta concentración es de 1/20 del patrón de descarga permisible del gas de tritio, se lleva al aire libre y se lleva a grandes alturas separadas de cualquier organismo vivo.

Además, cuando se supone que la tasa de conversión a gas de tritio es del 40 %, la cantidad de gas de tritio generada contenida en el gas de hidrógeno es menor, de modo que el coeficiente de separación que se obtiene es mayor.

En tal caso, el coeficiente de separación es el siguiente.

## ES 2 705 617 T3

Coeficiente de separación = Concentración de tritio contenido en agua cruda antes del tratamiento/Concentración de tritio contenido en fluido crudo después del tratamiento =  $(4,2 \times 10^6 \text{ Bq/l}) / (4,2 \times 10^6 \times 0,4/1244 \text{ Bq/l}) = 3110$ .

5 Mientras tanto, cuando se considera el coeficiente de dosis efectivo, el coeficiente de separación es 31.100.000.

10 Cuando la tasa de conversión a gas de tritio es del 40 %, la concentración de tritio se produce en base a la relación restante (1 - tasa de conversión) del tritio en el proceso de electrolisis, pero como la concentración de tritio en el proceso de electrolisis se calcula por una serie infinita ( $\sum a_n = A \{1/(1-r)\}$ ) de modo que sea solo 2,5 veces la concentración de tritio en "agua de tratamiento" que la relación restante r de 0,6.

15 Esto permite tener menos exposición a la radiación por tritio incluso cuando se realiza una operación cerca del proceso, incluido el mantenimiento del proceso de electrolisis. Se cree que dicha característica es una característica excelente como planta de electrolisis además de una operación en campo fácil.

20 Como se ha descrito anteriormente, debido a que 1 mol de gas molecular tiene un volumen de 22,4 l en el estado estándar, cuando 1 l (aproximadamente 1000 g) de agua cruda se descompone y gasifica por electrolisis, el contenido de tritio en 1 l del agua cruda se diluye a aproximadamente 1/22,4 en comparación con 1 l de volumen de gas después de la gasificación. Incluso si se supone que 1 l de volumen de líquido  $\rightarrow$  sobre la concentración máxima,  $0,4 \times 4,2 \times 10^6 \text{ Bq/l} / (1000/18 \times 22,4 \text{ l}) = 1,350 \times 10^3 \text{ Bq/l}$ . Tiene un volumen de gas de  $1000/18 \times 22,4 \text{ l}$  de descarga, y la concentración de la molécula de tritio en el gas descargado es inferior al límite de concentración por 1 l de volumen de gas o aire, es decir,  $7 \times 10^4 \text{ Bq/l}$ .

25 Un ejemplo de las principales especificaciones y resultados de la primera etapa de electrolisis en agua alcalina (electrolisis continua en agua alcalina) en el sistema de electrolisis en agua alcalina (I) explicado anteriormente es como se describe a continuación.

### [Especificaciones]

- 30 1) Agua cruda que incluye agua contaminada con tritio: 800.000 m<sup>3</sup>  
2) Capacidad de tratamiento de electrolisis: cantidad de tratamiento de 400 m<sup>3</sup>/día  
3) Alkali: sosa cáustica, concentración de alkali: 20 % en masa  
4) Concentración de tritio descargado:  $1,350 \times 10^3 \text{ Bq/l}$   
35 5) Baño de electrolisis en agua alcalina: 48 baños (1 baño con 75 elementos)  
6) Densidad de corriente: 40 A/dm<sup>2</sup>  
7) Proceso de electrolisis: proceso de electrolisis de tipo circulación + suministro continuo de agua cruda al proceso de electrolisis

### [Rendimientos]

40 En general, la tasa de conversión de tritio en el agua cruda depende principalmente de la concentración de tritio, pero es de 1,0 a 0,6 (cuando el fraccionamiento se realiza con gas molecular de tritio).

45 Cuando la concentración de tritio contenida en el agua cruda es de  $4,2 \times 10^6 \text{ Bq/l}$ , la concentración de tritio contenida en el fluido crudo después del tratamiento con el sistema de electrolisis anterior es como se describe a continuación.

$$4,2 \times 10^6 \times 0,4/1244 \text{ Bq/l} = 1,350 \times 10^3 \text{ Bq/l}$$

50 En este documento, el límite de concentración en el gas descargado o en el aire es de  $7 \times 10^4 \text{ Bq/l}$  o menos, y el estándar de efluente de agua con tritio es de  $6 \times 10^4 \text{ Bq/l}$  o menos.

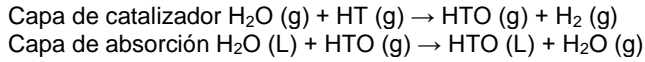
### (2) Segunda realización

55 De acuerdo con una segunda realización de la presente invención, el gas de oxígeno se genera en la cámara de ánodo 16, y después de someterse a una separación gas-líquido de un electrolito, el gas de oxígeno separado se descarga al aire libre. Simultáneamente, el gas de tritio (HT) que contiene hidrógeno gas se genera en la cámara del cátodo 17. Después de someterse a la separación de gas-líquido de un electrolito, se convierte en gas de tritio (HT) para que el grado de influencia del tritio en organismos vivos se reduzca a 1/10.000. Es decir, se puede decir que el coeficiente de separación es de 12.440.000 cuando se considera el coeficiente de dosis efectivo. Como gas de tritio  
60 del agua con tritio, se extrae al aire libre para que tenga 1/20 o menos del patrón de descarga permisible y también un 0,047 % o menos/año de la cantidad de tritio acumulada en el mundo y a continuación se lleva a grandes alturas separadas de cualquier organismo vivo.

(3) Tercera realización

De acuerdo con una tercera realización de la presente invención, el hidrógeno gas que contiene gas de tritio gasificado puede reaccionar, en lugar de descargarse al aire libre, con vapor de agua y recuperarse como agua que contiene agua con tritio concentrada (HTO).

La fórmula de reacción es la siguiente.



(4) Cuarta realización

La Fig. 2 ilustra una cuarta realización. La cuarta realización se relaciona con el sistema de electrolisis en agua alcalina (II) para realizar el tratamiento discontinuo del electrolito que permanece en la primera etapa de electrolisis en agua alcalina después de tener una electrolisis continua en agua alcalina por el sistema de electrolisis en agua alcalina (I) que se ha descrito en la primera realización anterior. Específicamente, de acuerdo con el sistema de electrolisis en agua alcalina (II), la segunda etapa de destilación en la cual el componente alcalino en el electrolito que permanece en la primera etapa de electrolisis en agua alcalina se recupera como una suspensión de sal alcalina y se extrae agua cruda que contiene agua con tritio destilada por el evaporador y se realiza la segunda etapa de electrolisis en agua alcalina en la que se realiza la electrolisis, mientras que la capacidad de electrolisis de un dispositivo de electrolisis en agua alcalina se ajusta a la capacidad correspondiente a una cantidad de tratamiento del agua cruda que se ha extraído. Además, si es necesario, una etapa en la que la segunda etapa de destilación y la segunda etapa de electrolisis en agua alcalina, que constituyen el sistema de electrolisis en agua alcalina (II), se repiten varias veces hasta que se completa el tratamiento discontinuo.

La Fig. 2 es un diagrama de flujo que ilustra la cuarta realización del sistema de electrolisis en agua alcalina de acuerdo con la presente invención que consiste en el sistema de electrolisis en agua alcalina (II), en el cual se emplean la segunda etapa de destilación para recuperar el componente alcalino del electrolito que permanece en la primera etapa de electrolisis en agua alcalina del sistema de electrolisis en agua alcalina (I) que se muestra en la Fig. 1 y la segunda etapa de electrolisis en agua alcalina para realizar un tratamiento de electrolisis mientras se ajusta la capacidad de electrolisis del dispositivo de electrolisis en agua alcalina a la capacidad correspondiente a la cantidad de tratamiento de la solución de electrolito que permanece en la primera etapa de electrolisis en agua alcalina.

En la Fig. 2, cuando el tratamiento se repite hasta completar el tratamiento discontinuo como se describe anteriormente, la segunda etapa de destilación se convierte en un sistema de destilación que se utiliza para la tercera, la cuarta,... y las siguientes etapas de destilación. El sistema de destilación de la segunda etapa de destilación está compuesto por el tanque de almacenamiento 19 para almacenar el electrolito que permanece en la primera etapa de electrolisis en agua alcalina, un baño de tratamiento 20, un evaporador 3, un baño receptor de suspensión 4, un evaporador de pequeño tamaño 5, un condensador 6, y la bomba 7.

Además, cuando el tratamiento se repite hasta la finalización de un tratamiento discontinuo como se describe anteriormente, la segunda etapa de electrolisis en agua alcalina del sistema de electrolisis en agua alcalina (II) se convierte en un sistema de electrolisis en agua alcalina que se utiliza para la tercera, cuarta,... y las etapas siguientes de electrolisis en agua alcalina. El sistema de electrolisis en agua alcalina de la segunda etapa de electrolisis en agua alcalina está compuesto por el baño de electrolisis en agua alcalina 8, el tanque de circulación 9, los tubos de circulación de electrolito 10, 11, las bombas de suministro 12,13 y los refrigeradores 14, 15. El baño de electrolisis en agua alcalina 8 está compuesto por la cámara de ánodo 16 para alojar un ánodo, la cámara de cátodo 17 para alojar un cátodo y el diafragma 18 para separar la cámara de ánodo 16 de la cámara de cátodo 17.

La Fig. 3 es un diagrama de flujo que ilustra el diagrama de proceso del sistema de electrolisis en agua alcalina (II) que se realiza como una realización llevada a cabo después del tratamiento, como agua cruda que contiene agua con tritio, agua cruda que contiene solo una pequeña cantidad de impurezas como los iones de cloruro por la primera etapa de electrolisis en agua alcalina en la que se realiza la electrolisis continua del sistema de electrolisis en agua alcalina (I) que se muestra en la Fig. 1. El sistema de electrolisis en agua alcalina (II) trata el electrolito que permanece en la primera etapa de electrolisis en agua alcalina. El sistema de electrolisis en agua alcalina (II) debe realizar un tratamiento discontinuo del electrolito que permanece en la primera etapa de electrolisis en agua alcalina realizando la segunda etapa de destilación y la segunda etapa de electrolisis en agua alcalina mostrada en la Fig. 2 y también realizando esas etapas de tratamiento repetidamente.

Como se muestra en la Fig. 3, el método para tratar agua cruda que contiene agua con tritio de acuerdo con esta realización incluye:

- (i) Después de la primera etapa de electrolisis en agua alcalina (electrolisis continua en agua alcalina) del sistema de electrolisis en agua alcalina (I) para agua cruda, realizar un tratamiento para que el electrolito

permanezca en la primera etapa de electrolisis en agua alcalina, el tratamiento que se realiza por el sistema de electrolisis en agua alcalina (II) que consta de cada etapa que se muestra a continuación;

(ii) La segunda etapa de destilación para el electrolito que permanece en la primera etapa de electrolisis en agua alcalina (separación y recuperación de la primera suspensión de sal alcalina);

(iii) La segunda etapa de electrolisis en agua alcalina para el agua que contiene agua con tritio obtenida en la segunda etapa de destilación;

(iv) La tercera etapa de destilación para el electrolito que permanece en la segunda etapa de electrolisis en agua alcalina (separación y recuperación de la segunda suspensión de sal alcalina);

(v) La tercera etapa de electrolisis en agua alcalina para el agua que contiene agua con tritio obtenida en la tercera etapa de destilación;

(vi) La cuarta etapa de destilación para el electrolito que permanece en la tercera etapa de electrolisis en agua alcalina (separación y recuperación de la tercera suspensión de sal alcalina);

(vii) La cuarta etapa de electrolisis en agua alcalina obtenida en la cuarta etapa de destilación; y

(viii) La quinta etapa de destilación para el electrolito que permanece en la tercera etapa de electrolisis en agua alcalina (separación y recuperación de la cuarta suspensión de sal alcalina).

Para cada etapa de destilación descrita anteriormente, se usó un sistema de destilación que consiste en la segunda etapa de destilación que se muestra en la Fig. 2. Para cada una de las etapas anteriores de electrolisis en agua alcalina, se utilizó un sistema de electrolisis en agua alcalina que consiste en la segunda etapa de electrolisis en agua alcalina mostrada en la Fig. 2, aunque la capacidad de electrolisis disminuye gradualmente.

A continuación, mediante un tratamiento de 800.000 m<sup>3</sup> de agua cruda que contiene agua con tritio como agua cruda en gran volumen que contiene agua con tritio, que contiene solo una pequeña cantidad de impurezas como los iones de cloruro, como ejemplo, se explica en detalle cada etapa para llevar a cabo el tratamiento de acuerdo con el diagrama del proceso que se muestra en la Fig. 3.

(i) Primera etapa de electrolisis en agua alcalina

De acuerdo con esta realización, con respecto a la primera etapa de electrolisis en agua alcalina, 800.000 m<sup>3</sup> de agua cruda que contiene agua con tritio almacenada en el tanque de almacenamiento de agua cruda 1, en la que solo se contiene una pequeña cantidad de impurezas como los iones de cloruro, primero se reduce a 800 m<sup>3</sup> por el método descrito en la primera realización anterior con el sistema de electrolisis en agua alcalina (I) que se muestra en la Fig. 1.

(ii) Segunda etapa de destilación

A continuación, después de completar la primera etapa de electrolisis en agua alcalina del sistema de electrolisis en agua alcalina (I), la cantidad total de 800 m<sup>3</sup> de la solución de electrolito que permanece en la primera etapa de electrolisis en agua alcalina se trata de la siguiente manera por el sistema de electrolisis del agua (II) se muestra en la Fig. 2. El electrolito que permanece en la primera etapa de la electrolisis del agua alcalina se suministra al evaporador 3 del sistema de destilación a través del baño de tratamiento 20. El agua que contiene agua con tritio destilada por el evaporador 3 se condensa por el condensador 6, y se extrae. El agua que contiene tritio se suministra al tanque de circulación 9 del sistema de electrolisis en agua alcalina (II) por medio de la bomba 7. Además, el agua alcalina en el electrolito que permanece en la primera etapa de electrolisis en agua alcalina se extrae como suspensión de sal alcalina por el baño receptor de la suspensión 4. La suspensión resultante se envía al evaporador de pequeño tamaño 5, y al realizar la evaporación, la cristalización/secado y similares, se separa y se recupera como una materia sólida. La evaporación adicional, la cristalización/secado de la suspensión salina según este proceso es una operación para reducir el volumen como se describe a continuación. Además, a medida que los residuos se solidifican, la probabilidad de tener daños corrosivos en un contenedor para almacenar los residuos es particularmente baja en comparación con los líquidos. La realización de la solidificación bajo este objeto es altamente significativa en términos de almacenamiento de residuos de sustancias radiactivas.

Como se ha descrito anteriormente, la cantidad de líquido restante del electrolito después de completar la primera etapa de electrolisis en agua alcalina en el sistema de electrolisis en agua alcalina (I) es de 800 m<sup>3</sup>. Como la concentración de álcali es del 20 % en masa, la suspensión de sal alcalina recuperada en el sistema de electrolisis en agua alcalina (II) es de 160 m<sup>3</sup> (aproximadamente 160 toneladas). La suspensión salina recuperada se envía al evaporador de pequeño tamaño 5. Después de la evaporación, la cristalización/secado y similares, se concentra y a continuación se separa y se recupera como una materia sólida.

(iii) Segunda etapa de electrolisis en agua alcalina

El electrolito extraído por la segunda etapa de destilación y suministrado continuamente al tanque de circulación 9 para un tratamiento por la segunda etapa de electrolisis en agua alcalina consiste solo en agua que contiene agua con tritio con una cantidad de 640 m<sup>3</sup>, de los cuales 160 m<sup>3</sup> de la suspensión de sal alcalina se recupera y se elimina. En la segunda etapa de electrolisis en agua alcalina, se suministra agua alcalina nueva al tanque de circulación 9, y al mezclar el agua que contiene agua con tritio y el agua alcalina recién añadida en el tanque de

circulación 9, se preparan y suministran aproximadamente 800 m<sup>3</sup> de electrolito al dispositivo de electrolisis en agua alcalina 8.

5 Con respecto al dispositivo de electrolisis en agua alcalina 8 utilizado para la electrolisis de la segunda etapa de electrolisis en agua alcalina, para el tratamiento inicial, el tratamiento de electrolisis se lleva a cabo utilizando el mismo número de baños utilizado para la primera etapa de electrolisis en agua alcalina, para ejemplo, 48 baños (75 elementos para 1 baño) para el ejemplo anterior. En cuanto al agua alcalina, se preparó primero el 5 % en masa o más del electrolito de agua alcalina. La densidad de corriente se establece en 20 A/dm<sup>2</sup>. Es lo mismo para la tercera y cuarta etapas de electrolisis en agua alcalina.

10 En la segunda etapa de electrolisis en agua alcalina del sistema de electrolisis en agua alcalina (II), a diferencia de la primera etapa de electrolisis en agua alcalina, no hay suministro adicional de agua cruda y el agua que contiene agua con tritio se descompone y se elimina. Como tal, el agua alcalina se concentra simultáneamente con una disminución en la cantidad del electrolito. Por lo tanto, se realiza una operación con menos líneas operativas de un baño de electrolisis controlando una válvula de proceso. Cuando el electrolito se concentra 6 veces, la concentración de álcali es del 5 % en masa al 30 % en masa, de modo que el baño de electrolisis se controla para que funcione con 8 baños (75 elementos para 1 baño).

15 Es decir, según la segunda etapa de electrolisis en agua alcalina, se lleva a cabo la electrolisis hasta que aproximadamente 800 m<sup>3</sup> del electrolito se concentran 6 veces y la concentración de álcali es del 30 % en masa y el baño de electrolisis se controla para que tenga una operación de 8 baños (75 elementos para 1 baño). Como resultado de este tratamiento, 800 m<sup>3</sup> del electrolito se reducen a 133 m<sup>3</sup>. Además, la operación de la segunda etapa de electrolisis en agua alcalina se lleva a cabo de la misma manera que la primera etapa de electrolisis en agua alcalina mencionada anteriormente.

25 [Etapa de repetición]

30 En la etapa de repetición que consiste en la segunda etapa de destilación y la segunda etapa de electrolisis en agua alcalina para constituir el sistema de electrolisis en agua alcalina (II), el tratamiento se repite adicionalmente mientras se reduce gradualmente la capacidad del dispositivo de electrolisis en agua alcalina. Al gasificar el agua con tritio (HTO) en el agua que contiene agua con tritio, el agua con tritio (HTO) se convierte en gas de tritio (HT), y también se reduce el volumen del agua que contiene agua con tritio. Las explicaciones específicas se dan a continuación.

35 (iv) Tercera etapa de destilación (segunda separación y recuperación de la suspensión alcalina)

40 Según la tercera etapa de destilación que sigue a la segunda etapa de electrolisis en agua alcalina, la suspensión de sal alcalina (133 m<sup>3</sup> x 30 % en masa = 40 m<sup>3</sup>) se recupera y se separa. Para reducir el volumen, la suspensión de sal alcalina puede enviarse adicionalmente al evaporador de pequeño tamaño 5 seguido de evaporación, cristalización/secado y similares, y a continuación puede usarse de nuevo.

(v) Tercera etapa de electrolisis en agua alcalina

45 El tratamiento de electrolisis del agua que contiene agua con tritio obtenida por la tercera etapa de destilación se realiza de la misma manera que la segunda etapa de electrolisis en agua alcalina, excepto por que se reduce la capacidad del dispositivo de electrolisis en agua alcalina. Es decir, de acuerdo con la tercera etapa de electrolisis en agua alcalina, se utilizan 8 baños del baño de electrolisis en agua alcalina 8 para iniciar la electrolisis, y se realiza una operación con menos líneas operativas de un baño de electrolisis hasta que se produce la solución de electrolito de 4 veces controlando una válvula de proceso. A continuación, cuando el electrolito se concentra 4 veces, la concentración de álcali aumenta del 5 % en masa al 20 % en masa, de modo que el baño de electrolisis se controla para que funcione con 2 baños. Como resultado de este tratamiento, 133 m<sup>3</sup> del electrolito se reducen a 22,17 m<sup>3</sup>.

(vi) Cuarta etapa de destilación y (vii) cuarta etapa de electrolisis en agua alcalina

55 Posteriormente, de la misma manera que en el tercer caso, la sal alcalina (22,17 m<sup>3</sup> x 20 % en masa = 4,4 m<sup>3</sup>) se separó y recuperó mediante la cuarta etapa de destilación. El tratamiento de electrolisis del agua que contiene agua con tritio obtenida de la cuarta etapa de destilación se realiza de la misma manera que la segunda etapa de electrolisis en agua alcalina, excepto por que se reduce la capacidad del dispositivo de electrolisis en agua alcalina. Es decir, el dispositivo de electrolisis en agua alcalina 8 se opera después de modificar 1 baño con 75 elementos a 1 baño con 8 elementos, y después de realizar la cuarta etapa de electrolisis en agua alcalina, se añadió un 5 % en masa de álcali cáustico para preparar el electrolito a 23 m<sup>3</sup>. Como resultado de este tratamiento, el electrolito se concentró 19,17 veces (23/1,2 = 19,17) y el volumen se redujo de 23 m<sup>3</sup> a 1,2 m<sup>3</sup>.

## (viii) Quinta etapa de destilación

Finalmente, la propiedad cáustica del electrolito de agua alcalina obtenida en una cantidad de aproximadamente 1,2 m<sup>3</sup> se separó y eliminó con el evaporador 3 durante la quinta etapa de destilación. Como resultado, se obtiene agua destilada que contiene aproximadamente 1 m<sup>3</sup> de tritio. Las operaciones que siguen a la segunda etapa de electrolisis en agua alcalina pueden completarse con una operación de aproximadamente 1 mes, incluso si se aplica un intervalo de operación suficiente.

Además, 1 m<sup>3</sup> de agua con tritio, que se obtiene finalmente, se puede convertir casi completamente en gas de tritio por electrolisis si se repite el mismo tratamiento con un dispositivo de electrolisis más pequeño. Es decir, la cantidad de residuos de agua con tritio se puede reducir a casi cero.

Para la operación de repetición de la etapa de repetición, se estableció el 32 % en masa como límite superior de la operación real de la planta. Sin embargo, la operación se puede realizar del 40 al 50 % en masa. Por ejemplo, cuando el hidrógeno ligero y el gas de tritio que se generan simultáneamente se descargan, sin tener ningún proceso fraccional particular, al exterior del proceso a través del sistema de sello de agua, la tasa de conversión del gas de tritio cambia delicadamente en vista de la relación entre la disminución en el electrolito y el aumento de la concentración de álcali. Sin embargo, al confirmar la tasa de conversión a lo largo del tiempo basada en la tasa de conversión inicial relativa al cambio de concentración de 10 veces y la tasa de cambio en la concentración final, se obtiene la tasa de conversión del gas de tritio en cada estado. Un ejemplo se muestra a continuación.

Por ejemplo, cuando el agua de tratamiento de 1 l (55,6 moles de agua) se electroliza en modo discontinuo hasta que el álcali se concentra 10 veces (es decir, 1 l → 0,1 l), el gas de hidrógeno generado en el cátodo tiene un volumen que se incrementa en 1120 veces (55,6 x 0,9 x 22,4 l) en el estado estándar. Esto significa que el tritio se diluye por el gas generado en el cátodo. Por lo tanto, con dicha relación de dilución, 4,2 x 10<sup>6</sup> Bq/l de tritio contenido en agua cruda puede producir por sí sola una concentración de tritio de 3,37 x 10<sup>3</sup> Bq/l (= 4,2 x 10<sup>6</sup> Bq/l x 0,9/1120), y es una concentración que es inferior a 1/20 del patrón de descarga permisible de gas de tritio.

$$\text{Coeficiente de separación} = \frac{\text{Concentración de tritio contenido en el "agua de tratamiento" antes del tratamiento}}{\text{Concentración de tritio contenido en el "gas de tratamiento" después del tratamiento}} = \frac{4,2 \times 10^6 \text{ Bq/l}}{4,2 \times 10^6 / 1120 \text{ Bq/l}} = 1120$$

Mientras tanto, debido a que la conversión se realiza de la forma de agua con tritio (HTO) a la forma de gas de tritio (HT), y el coeficiente de dosis como indicador de radiación que muestra una influencia en los organismos vivos es de 1/10.000, y el coeficiente de separación considerando el coeficiente de dosis efectivo es como sigue.

$$\text{Coeficiente de separación} = 11.200.000.$$

Para acortar el período requerido para la reducción de volumen, el período puede reducirse relativamente en proporción al aumento de la densidad de corriente. Mientras tanto, considerando la cantidad de consumo de energía del proceso y el funcionamiento estable y seguro, naturalmente hay un límite para que tenga una alta densidad de corriente. Para la electrolisis en agua alcalina, alrededor de 60 A/dm<sup>2</sup> es una región superior en el momento actual.

## (5) Quinta realización y sexta realización

Con respecto al agua que contiene agua con tritio según una quinta realización, se muestra un método para tratar una gran cantidad de agua cruda que contiene agua con tritio que contiene una gran cantidad de impurezas como los iones de cloruro. Como se muestra en la Fig. 4, como etapa previa a la primera etapa de electrolisis en agua alcalina (electrolisis continua con álcali) del sistema de electrolisis en agua alcalina (I) mencionado anteriormente, se realiza la primera etapa de destilación (eliminación de la suspensión salina). En la Fig. 4, el sistema de destilación utilizado para la primera etapa de destilación se muestra en la esquina superior izquierda, y el sistema de electrolisis en agua alcalina (I) para realizar la primera etapa de electrolisis en agua alcalina se muestra en la esquina superior derecha. Como se muestra en la Fig. 4, la quinta realización es la misma que la primera realización mencionada anteriormente, excepto por que la etapa de destilación se proporciona como una etapa previa para eliminar una gran cantidad de impurezas del agua cruda antes de la primera etapa de electrolisis en agua alcalina. Dado que los detalles de la primera etapa de destilación son los mismos que en la sexta realización, las explicaciones se darán más adelante.

Al igual que la quinta realización, una sexta realización incluye realizar la primera etapa de destilación (eliminación de la suspensión salina) como una etapa previa a la primera etapa de electrolisis en agua alcalina (electrolisis continua en agua alcalina) del sistema de electrolisis en agua alcalina (I) mencionado anteriormente, y después de la primera etapa de electrolisis en agua alcalina como etapa previa (I), realizar repetidamente la segunda etapa de destilación y la segunda etapa de electrolisis en agua alcalina que constituyen el sistema de electrolisis en agua alcalina (II) que se muestra en la Fig. 2 que se explica en la cuarta realización para un tratamiento discontinuo del electrolito que permanece en la primera etapa de electrolisis en agua alcalina. Específicamente, la sexta realización consiste en cada una de las siguientes etapas como se muestra en la Fig. 5, es decir, (0) la primera etapa de



destilación (eliminación de la suspensión salina) como etapa previa,

- (i) (I) la primera etapa de electrolisis en agua alcalina (electrolisis continua en agua alcalina) para el agua cruda de la que se han eliminado las impurezas,
- 5 (ii) la segunda etapa de destilación (separación y recuperación de la primera suspensión de sal alcalina) para el electrolito que permanece en la primera etapa de electrolisis en agua alcalina como el sistema de electrolisis en agua alcalina (I),
- (iii) la segunda etapa de electrolisis en agua alcalina para el agua que contiene agua con tritio obtenida de la segunda etapa de destilación,
- 10 (iv) la tercera etapa de destilación (separación y recuperación de la segunda suspensión de sal alcalina) para el electrolito que permanece en la segunda etapa de electrolisis en agua alcalina como el sistema de electrolisis en agua alcalina (II),
- (v) la tercera etapa de electrolisis en agua alcalina para el agua que contiene agua con tritio obtenida de la tercera etapa de destilación,
- 15 (vi) la cuarta etapa de destilación (separación y recuperación de la tercera suspensión de sal alcalina) para que el electrolito permanezca en la tercera etapa de electrolisis en agua alcalina,
- (vii) la cuarta etapa de electrolisis en agua alcalina obtenida de la cuarta etapa de destilación, y
- (viii) la quinta etapa de destilación (separación y recuperación de la cuarta suspensión de sal alcalina) para el electrolito que permanece en la cuarta etapa de electrolisis en agua alcalina.

20 A continuación, la realización 6 se explica como un ejemplo para tratar 800.000 m<sup>3</sup> de agua cruda que contiene agua con tritio como una gran cantidad de agua cruda que contiene agua con tritio que contiene una gran cantidad de impurezas como los iones de cloruro. La Fig. 4 es un diagrama de flujo que ilustra la sexta realización del sistema de electrolisis en agua alcalina de acuerdo con la presente invención, que se usa, cuando el agua cruda que contiene una gran cantidad de impurezas como los iones de cloruro se usa como agua cruda que contiene agua cruda, para  
 25 la primera etapa de destilación como una etapa previa de la electrolisis realizada para eliminar las impurezas, la primera etapa de electrolisis en agua alcalina como el sistema de electrolisis en agua alcalina (I) en el que se realiza la electrolisis continua mientras se mantiene la concentración constante de álcali, la segunda destilación en la que, como sistema de electrolisis en agua alcalina (II), se recupera el componente alcalino de la solución de electrolito que permanece en la primera etapa de electrolisis en agua alcalina y la segunda etapa de electrolisis en agua  
 30 alcalina para que tenga un tratamiento de electrolisis mientras se ajusta la capacidad de electrolisis del dispositivo de electrolisis en agua alcalina a la capacidad correspondiente a la cantidad de tratamiento de la solución de electrolito que permanece en la primera etapa de electrolisis en agua alcalina. Además, la Fig. 5 es un diagrama de flujo que ilustra la sexta realización como un método de tratamiento para tratar el agua cruda que contiene una gran  
 35 cantidad de impurezas, como los iones de cloruro, como agua cruda que contiene agua con tritio, como se ha descrito anteriormente.

(0) Primera etapa de destilación como etapa previa

40 Cuando se trata el agua cruda que contiene una gran cantidad de impurezas, como los iones de cloruro, se suministra una gran cantidad de agua cruda, incluida el agua contaminada que contiene agua con tritio, desde el tanque de almacenamiento de agua cruda 1 hasta la primera etapa de destilación a través del baño de tratamiento de agua cruda 2 como se muestra en la Fig. 4. El agua cruda suministrada al baño de tratamiento de agua cruda 2 se envía al evaporador 3. A continuación, la suspensión salina incluye todas las impurezas como las sales, el calcio,  
 45 el magnesio y otras especies nucleares radiactivas, que están contenidas en el agua cruda, se almacenan colectivamente en el baño 4 de recepción de la suspensión. La suspensión salina se puede almacenar durante un largo período de tiempo en el tanque de Ti. Sin embargo, como el material de Ti es caro, también es posible almacenar la suspensión salina con un material en el que se aplica un recubrimiento de caucho a una base de acero inoxidable de bajo costo.

50 La suspensión salina se envía al evaporador de pequeño tamaño 5, y con el fin de reducir aún más el volumen, es preferible realizar la concentración y la semisolidificación de la suspensión mediante evaporación, cristalización/secado. Además, está constituido de tal manera que el agua que contiene agua con tritio evaporada del evaporador de pequeño tamaño 5 se condensa en el condensador 6 junto con el agua que contiene agua con tritio evaporada del evaporador 3 utilizada para obtener la suspensión salina anterior, y a continuación se suministra  
 55 al tanque de circulación 9 por medio de la bomba 7. Mientras tanto, es necesario que la suspensión que contiene materiales radioactivos se maneje lo máximo posible mediante la operación sin personal con respecto a la obtención de sal sólida que contiene materiales radioactivos, el almacenamiento de la sal sólida, el mantenimiento de un dispositivo y aparatos para la concentración, y similares. Por ejemplo, la sal sólida que contiene materiales radiactivos se almacena en un recipiente de acero inoxidable con recubrimiento de caucho que no tiene problemas en términos de resistencia a la corrosión a largo plazo. Como se describe a continuación, la propiedad de corrosión se reduce significativamente y el efecto de tener una notable reducción de volumen es enorme por la semisolidificación de la sal.

65 Por ejemplo, cuando las impurezas se eliminan tratando agua contaminada que contiene 800.000 m<sup>3</sup> de agua con tritio como agua cruda, si se utiliza un baño de tratamiento con una capacidad de proceso de 400 m<sup>3</sup>/día como baño

de tratamiento de agua cruda 2, la suspensión salina obtenida por un tratamiento de la primera etapa de destilación como etapa previa tendrá un volumen de  $40 \text{ m}^3$ , de modo que se obtenga un estado que tenga 10 veces más condensación que la suspensión salina.

- 5 En la primera etapa de destilación, los residuos como impurezas de  $400 \text{ m}^3/\text{día}$  se pueden descartar como sal sólida de aproximadamente  $8 \text{ m}^3/\text{día}$ . Como tal, en comparación con los  $800.000 \text{ m}^3$  de agua contaminada que contiene agua con tritio, el volumen del residuo como impurezas se reduce a  $16.000 \text{ m}^3$  de un residuo de sal sólida (reducción de 1/50). Esto significa que, aunque no hay tritio presente en el residuo de sal sólida, si está presente un material radioactivo como una cantidad traza de Co, el material radioactivo también se concentra 50 veces en comparación con la concentración original.

(i) Primera etapa de electrolisis en agua alcalina (electrolisis alcalina continua) como sistema de electrolisis en agua alcalina (I)

- 15 Como se ha descrito anteriormente, de acuerdo con la sexta realización (y también para la quinta realización), la suspensión salina eliminada del agua cruda tratada a  $400 \text{ m}^3/\text{día}$  es de  $40 \text{ m}^3/\text{día}$ , y el agua cruda que contiene agua con tritio que excluye las impurezas que se eliminan a medida que esta suspensión de sal se condensa con el condensador 5. El agua cruda se suministra al tanque de circulación 9 de un sistema de electrolisis en agua alcalina que se utiliza para la primera etapa de electrolisis en agua alcalina como etapa siguiente a  $360 \text{ m}^3/\text{día}$  por medio de la bomba 7. Como se ha descrito anteriormente, cuando la suspensión salina se destila y se cristaliza en un evaporador de pequeño tamaño 5 y a continuación el agua destilada y el agua con tritio se recuperan de la suspensión salina, el agua que contiene agua con tritio condensada por el condensador 6 es de  $392 \text{ m}^3/\text{día}$ .

25 De acuerdo con la sexta realización (y también para la quinta realización), se suministra agua que contiene agua con tritio al tanque de circulación 9 de la primera etapa de electrolisis en agua alcalina de  $360 \text{ m}^3/\text{día}$  a  $392 \text{ m}^3/\text{día}$  por medio de bomba 7. Al mismo tiempo, se suministra agua alcalina y se mezcla en ella para que el electrolito a  $400 \text{ m}^3/\text{día}$  se ajuste a una concentración de álcali del 20 % en masa. El electrolito en el baño de electrolisis en agua alcalina 8 es de  $400 \text{ m}^3$ , y la cantidad de electrolito en el tanque de circulación 9, tubería o similar es de  $400 \text{ m}^3$ . Así, toda la capacidad del proceso de electrolisis es de  $800 \text{ m}^3$ .

30 El electrolito controlado para que tenga una concentración de álcali del 20 % en masa de acuerdo con la mezcla en el tanque de circulación 9 se suministra a la cámara de ánodo 16 del baño de electrolisis en agua alcalina 8 a través de la tubería de circulación 10 por medio de la bomba de suministro 13 y el refrigerador 14. De la misma manera, se suministra a la cámara de cátodo 17 del baño de electrolisis en agua alcalina 8 a través de la tubería de circulación 35 11 por medio de la bomba de suministro 13 y el refrigerador 15.

40 El electrolito preparado como agua alcalina con la concentración deseada se suministra a  $400 \text{ m}^3/\text{día}$  al interior del baño de electrolisis en agua alcalina 8 para la electrolisis. El electrolito es electrolizado por un diafragma. En la cámara de ánodo 16, se genera gas oxígeno. El oxígeno generado y el electrolito se separan. El electrolito separado circula hacia el tanque de circulación 9 a través de la tubería de circulación de electrolito 10.

45 Al mismo tiempo, en la cámara del cátodo 17, se genera gas de hidrógeno. El hidrógeno generado y el electrolito se separan. El electrolito separado circula hacia el tanque de circulación 9 a través de la tubería de circulación de electrolito 11. Al establecer una alta densidad de corriente en ese momento, el tiempo requerido para el tratamiento de electrolisis se puede acortar. La densidad de corriente es preferiblemente de  $20 \text{ A/dm}^3$  o más y  $60 \text{ A/dm}^3$  o menos. La cantidad de líquido de circulación de la solución de electrolito es de  $800 \text{ m}^3$  para todo este proceso de electrolisis. Esta cantidad se basa simplemente en el diseño del proceso, y la presente invención no se limita a él. En particular, si la cantidad a gasificar por electrolisis del agua se diseña para que sea pequeña, la cantidad del proceso también es pequeña. Por otro lado, si se lleva a cabo una descomposición a gran escala, la cantidad del proceso generalmente aumenta. Con respecto a la electrolisis del agua alcalina, la electrolisis es posible incluso a una concentración del 32 % en masa. Sin embargo, cuando la electrolisis se lleva a cabo a una concentración mayor que eso, la viscosidad de la solución de electrolito aumenta, no se produce la liberación rápidamente del gas generado al exterior del sistema, el voltaje de la celda se vuelve alto y se produce un alto consumo de energía, y por lo tanto no es un método deseable. Por lo tanto, la electrolisis continua se termina en este momento, y con el propósito de descomponer el electrolito en álcali y agua, el electrolito que permanece en la primera etapa de electrolisis en agua alcalina a medida que el sistema de electrolisis en agua alcalina (I) se transfiere a la segunda etapa de destilación, la segunda etapa de electrolisis en agua alcalina, y la etapa final de disminución de volumen como sistema de electrolisis en agua alcalina (II), como se ha descrito anteriormente para la cuarta realización.

60 Cuando la cantidad del tratamiento de electrolisis es de  $400 \text{ m}^3/\text{día}$ , la cantidad total de  $800.000 \text{ m}^3$  de agua cruda, incluida el agua contaminada que contiene agua con tritio, se tratará durante 5,5 años ( $800.000 \text{ m}^3/400 \text{ m}^3/\text{día}/365 \text{ días} = 5,5 \text{ años}$ ). Además, la cantidad de circulación del electrolito en ese momento es de  $800 \text{ m}^3$ , y  $800.000 \text{ m}^3$  del agua que contiene agua con tritio se reducirá a  $800 \text{ m}^3$  en 5,5 años.

65 De acuerdo con las realizaciones quinta y sexta, las impurezas en una gran cantidad de agua cruda que contiene agua con tritio, que contiene impurezas como los iones de cloruro, se eliminan como una suspensión salina por el

método que se muestra en la Fig. 4, y se realiza la electrolisis en la primera etapa de electrolisis en agua alcalina para descomponer el agua cruda en oxígeno e hidrógeno. De este modo, el tritio presente como molécula de agua en el agua cruda se convierte en una molécula de tritio y se fracciona a partir del agua cruda.

- 5 Como se muestra en las Figs. 4 y 5, en la sexta realización, después de completar la primera etapa de electrolisis en agua alcalina, la cantidad total del electrolito que permanece en la primera etapa de electrolisis en agua alcalina se suministra al evaporador 3 de un sistema de destilación como la cuarta realización mencionada anteriormente, y se trata de manera similar a través de las siguientes etapas, es decir,
- 10 (ii) como sistema de electrolisis en agua alcalina (II), la segunda etapa de destilación (separación y recuperación de la primera suspensión de sal alcalina) para el electrolito que permanece en la primera etapa de electrolisis en agua alcalina,  
 (iii) la segunda etapa de electrolisis en agua alcalina para el agua que contiene agua con tritio obtenida en la segunda etapa de destilación,
- 15 (iv) la tercera etapa de destilación (separación y recuperación de la segunda suspensión de sal alcalina) para el electrolito que permanece en la segunda etapa de electrolisis en agua alcalina,  
 (v) la tercera etapa de electrolisis en agua alcalina para el agua que contiene agua con tritio obtenida en la tercera etapa de destilación,  
 (vi) la cuarta etapa de destilación (separación y recuperación de la tercera suspensión de sal alcalina) para el electrolito que permanece en la tercera etapa de electrolisis en agua alcalina,
- 20 (vii) la cuarta etapa de electrolisis en agua alcalina obtenida en la cuarta etapa de destilación, y  
 (viii) la quinta etapa de destilación (separación y recuperación de la cuarta suspensión de sal alcalina) para el electrolito que permanece en la cuarta etapa de electrolisis en agua alcalina.
- 25 El volumen del electrolito que permanece después de la cuarta etapa de electrolisis en agua alcalina se reduce a 1,2 m<sup>3</sup>. Durante la quinta etapa de destilación, el electrolito de agua alcalina finalmente obtenido en una cantidad de aproximadamente 1,2 m<sup>3</sup> se separa y se elimina como una suspensión de sal alcalina por el evaporador 3 a recuperar, y al mismo tiempo, se obtiene agua destilada que contiene tritio en una cantidad de 1 m<sup>3</sup>.

30 Las operaciones que siguen a la segunda etapa de electrolisis en agua alcalina pueden completarse con una operación durante aproximadamente 1 mes, incluso cuando se aplica un intervalo de operación suficiente. 1 m<sup>3</sup> del agua con tritio se puede convertir casi completamente en gas de tritio por electrolisis si se repite el mismo tratamiento con un dispositivo de electrolisis más pequeño. Es decir, la cantidad de residuo de agua con tritio se puede reducir a casi cero.

35 Además, de acuerdo con la sexta realización anterior, en cuanto a las instalaciones para las etapas de destilación de la segunda, la tercera y las etapas siguientes, también se pueden usar las instalaciones utilizadas para la primera etapa de destilación como etapa previa para eliminar las impurezas como una gran cantidad de iones de cloruro en el agua que contiene agua con tritio, y así se puede lograr un ahorro significativo de instalaciones.

#### 40 Ejemplos

A continuación, se explican los ejemplos de la presente invención, pero la presente invención no se limita a esos ejemplos.

45 <Ejemplo 1> (Ejemplo de la primera realización)

Como líquido simulado de agua cruda que contiene agua con tritio que no contiene impurezas (a continuación, se denomina líquido simulado), se utilizó el líquido simulado con los siguientes componentes.

50 Líquido simulado: 180 l  
 Concentración inicial de tritio en el líquido simulado: 4,2 x 10<sup>6</sup> Bq/l

55 Como se muestra en la Fig. 1, se preparó el tanque de almacenamiento de agua cruda 1 con 180 l del líquido simulado. En el presente ensayo, el líquido se suministró desde el tanque de almacenamiento de agua cruda 1 al tanque de circulación 9 a través del baño de tratamiento 2. Específicamente, el líquido simulado se suministró a 9,67 l/día desde el tanque de almacenamiento de agua cruda 1 al tanque de circulación 9 a través del baño de tratamiento 2 por medio de la bomba 7. En el presente ensayo, el electrolito que incluye el líquido simulado se suministró continuamente en la primera etapa de electrolisis en agua alcalina, y se realizó una electrolisis continua mientras circulaba el electrolito.

60 Específicamente, al tanque de circulación 9, el líquido simulado se suministra a 9,60 l/día por medio de la bomba 7 y, al mismo tiempo, se suministra agua alcalina y se mezcla para obtener un electrolito de 9,67 l/día cuya concentración de álcali se ajusta al 20 % en masa, y se realizó una electrolisis continua mientras circulaba este electrolito.

65

El electrolito en el baño de electrolisis en agua alcalina 8 es de 30 l (2 celdas de 15 dm<sup>2</sup> de celda (15 l)), y la cantidad de electrolito en el tanque de circulación 9, tubería o similar es de 12 l. De este modo, todo el volumen del proceso de electrolisis es de 42 l. El electrolito cuya concentración de álcali se controla al 20 % en masa, como se obtiene mezclando álcali en el tanque de circulación 9, se suministró a la cámara de ánodo 16 del baño de electrolisis en agua alcalina 8 a través de la tubería de circulación 10 a través de la bomba de suministro 13 y el refrigerador 14. Al mismo tiempo, el electrolito se suministra a la cámara del cátodo 17 del baño de electrolisis en agua alcalina 8 a través de la tubería de circulación 11 a través de la bomba de suministro 13 y el refrigerador 15. El electrolito ajustado para que tenga una concentración del 20 % en masa de agua alcalina se electroliza por medio de un diafragma. El gas de oxígeno se genera a partir de la cámara del ánodo 16, y se realiza la separación de gas-líquido en el gas de oxígeno generado y el electrolito. El electrolito separado circula hacia el tanque de circulación 9 a través de la tubería de circulación de electrolito 10. Al mismo tiempo, se genera gas de hidrógeno dentro de la cámara del cátodo 17, y se realiza la separación gas-líquido en el gas de hidrógeno generado y el electrolito. El electrolito separado circula hacia el tanque de circulación 9 a través de la tubería de circulación de electrolito 11.

Como se ha descrito anteriormente, en este ejemplo, el líquido simulado como agua cruda se electrolizó mediante la electrolisis del agua alcalina según el método que se muestra en la Fig. 1, de modo que el agua cruda se descompone en oxígeno e hidrógeno. De este modo, el tritio presente como molécula de agua en el agua cruda se fracciona como molécula de tritio a partir del agua cruda. El agua se descompuso por electrolisis solo en hidrógeno y oxígeno gas. Por lo tanto, después de ajustar la concentración de álcali inicial, se realizó la electrolisis mientras al electrolito circulante se suministra agua cruda (agua simulada) en una cantidad correspondiente al agua perdida por electrolisis. Además, si es necesario, se puede añadir agua destilada o agua pura al agua cruda para mantener la concentración de álcali en la concentración inicial.

En el presente ejemplo, la electrolisis alcalina continua en la primera etapa de electrolisis en agua alcalina se llevó a cabo de acuerdo con las siguientes condiciones.

Célula de electrolisis: se utilizaron 2 celdas (30 l) de 15 dm<sup>2</sup> de celda (15 l).

Densidad de corriente para operación: 40 A/dm<sup>2</sup>.

Concentración cáustica: NaOH, 20 % en masa.

Membrana: diafragma

Ánodo/cátodo: base de Ni + recubrimiento activo

Circulación: Sistema de circulación externa

Sello de agua: sistema de sello de agua para controlar la presión del gas

Presión de cátodo: H<sub>2</sub>O 50-100 mm.

Volumen de electrolito: 42 l (celda de electrolisis: 15 x 2 = 30 l, tubería de circulación o similar: 12 l)

La corriente de electrolisis fue de 600 A (15 dm<sup>2</sup> x 40 A/dm<sup>2</sup>).

De acuerdo con la electrolisis continua, como se ha descrito anteriormente, la operación se realiza mientras que el agua cruda (agua simulada) en una cantidad correspondiente al agua descompuesta y perdida por electrolisis se suministra continuamente al proceso y se mantiene un entorno físico de operaciones, como una cantidad de líquido en un baño de electrolisis o la cantidad de descarga por una bomba de circulación, a un nivel constante durante el proceso. Cuando el agua cruda se suministra continuamente, la operación se realiza de tal manera que la concentración de tritio en el proceso se mantiene a la concentración de líquido simulado mientras que el tritio dentro del baño de electrolisis no se concentra. Como tal, de acuerdo con las condiciones de esta operación continua, el gas generado por la electrolisis se convierte a la relación que corresponde a la relación de concentración entre agua ligera y agua con tritio.

La cantidad de circulación de la electrolisis en ese momento era de 42 l, y 180 l de agua que contiene agua con tritio se redujeron a 42 l durante 15,2 días (365 horas).

Cuando la operación continua se realiza durante 15,2 días (365 horas) después de comenzar la operación, la eliminación del tritio se describe a continuación.

Coeficiente de separación = Concentración de tritio contenido en agua cruda antes del tratamiento/Concentración de tritio contenido en la gasificación de la materia prima después del tratamiento =  $(4,2 \times 10^6 \text{ Bq/l}) / (4,2 \times 10^6 / 1244 \text{ Bq/l}) = 1244$

Mientras tanto, cuando el coeficiente de dosis efectivo se considera como el grado de influencia del tritio (HT) que presenta una influencia en los organismos vivos, es como sigue.

Coeficiente de separación = 12.440.000.

Por lo tanto, a medida que el agua con tritio (HTO) en el gran volumen de agua que contiene agua con tritio se convierte en gas de tritio (HT), la concentración de tritio se diluye a 1/1244 y la influencia del tritio en los organismos vivos se reduce significativamente.

<Ejemplo 2> (Ejemplo de la segunda realización)

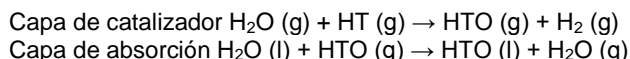
El gas de tritio diluido se extrajo al aire libre en una cantidad de 1/20 del patrón de descarga permisible, y se llevó a grandes alturas separadas de cualquier organismo vivo.

5

<Ejemplo 3> (Ejemplo de la tercera realización)

El gas de hidrógeno que contiene gas de tritio gasificado se hizo reaccionar con vapor de agua en lugar de descargar al aire libre. Por consiguiente, se recuperó como agua con tritio (HTO) que contenía agua. La fórmula de reacción es como se describe a continuación.

10



15 &lt;Ejemplo 4&gt; (Ejemplo de la cuarta realización)

(i) Primera etapa de electrolisis en agua alcalina (electrolisis continua con álcali)

20 La electrolisis continua se realizó de la misma manera que en el Ejemplo 1, y 180 l de agua que contiene tritio como líquido simulado se redujeron a 42 l durante 15,2 días (365 horas).

(ii) Segunda etapa de destilación

Después de completar la primera etapa de electrolisis en agua alcalina, como se muestra en las Figs. 2 y 3, la cantidad total del electrolito que quedaba en la primera etapa de electrolisis en agua alcalina se suministró al evaporador 3 de un sistema de destilación, y el condensador 6 condensó el agua que contenía agua de tritio destilada por el evaporador 3. Después de extraer el agua, se suministró al tanque de circulación 9 de un sistema de electrolisis de agua alcalina por medio de la bomba 7. Además, el agua alcalina en el electrolito que quedaba en la primera etapa de electrolisis en agua alcalina se recuperó como una suspensión salina cáustica alcalina del baño receptor de la suspensión 4. Además, para reducir el volumen, la suspensión se envió al evaporador de pequeño tamaño 5 y se sometió a evaporación, cristalización/secado y similares para que dé la concentración y semisolidificación de la suspensión.

25

30

Como se ha descrito anteriormente, la cantidad líquida del electrolito es de 42 l, y la concentración de álcali es del 20 % en masa. Por lo tanto, la suspensión salina cáustica alcalina recuperada en la segunda etapa de destilación es de 8,4 l. La suspensión salina cáustica recuperada se concentró y a continuación se separó como una materia sólida. Además, para reducir el volumen, se envió al evaporador de pequeño tamaño 5 para la evaporación, cristalización/secado. En consecuencia, se pueden recuperar alrededor de 5 l (peso específico de 2,13) de 10,5 kg  $(10,5/(42 + 10,5) \times 100 = 20 \%$  en masa) de un álcali solidificado en una cantidad que corresponde a la cantidad de álcali preparada antes de la electrolisis.

35

40

(iii) Segunda etapa de electrolisis en agua alcalina

El electrolito extraído en la segunda etapa de destilación y suministrado al tanque de circulación 9 se recupera y se extrae en forma de 8,4 l de una suspensión salina cáustica alcalina, y contiene solo agua que contiene agua con tritio. La cantidad de agua que contiene agua con tritio es de  $42 - 8,4 = 33,6$  l. Mientras esta agua con tritio se suministra al tanque de circulación 9, se añade agua alcalina fresca al tanque de circulación 9. El electrolito en el que el agua que contiene agua con tritio se mezcla con agua alcalina se ajustó a 42 l en el tanque de circulación 9, y el electrolito ajustado se suministró al dispositivo de electrolisis en agua alcalina 8.

45

50

El dispositivo de electrolisis en agua alcalina 8 utilizado para la electrolisis se usa primero con la misma capacidad que la capacidad utilizada para la primera etapa de electrolisis en agua alcalina y a continuación se llevó a cabo la electrolisis. En cuanto al agua alcalina, se preparó en primer lugar aproximadamente un 5 % en masa de electrolito de agua alcalina. La densidad de corriente fue de 20 A/dm<sup>2</sup>, y sigue siendo la misma para la tercera y cuarta etapas de electrolisis en agua alcalina.

55

Para la segunda etapa de electrolisis en agua alcalina del sistema de electrolisis en agua alcalina (II), dado que no se realizó una adición suplementaria de agua cruda y el agua en el agua cruda (líquido simulado) se descompone y se retira, la cantidad de electrolito se reduce y al mismo tiempo se concentró el agua alcalina. Por lo tanto, al controlar una válvula de proceso, se realizó una operación con menos líneas operativas de un baño de electrolisis. Cuando el electrolito se concentra 5,25 veces, la concentración de álcali fue del 5 % en masa al 26,25 % en masa, de modo que el volumen del electrolito (42 l) se redujo de la siguiente manera:  $42/5,25 = 8$  l.

60

La operación de la segunda etapa de electrolisis en agua alcalina se realizó de la misma manera que la primera etapa de electrolisis en agua alcalina.

65

(iv) Tercera etapa de destilación, etapa de repetición

Según la etapa de repetición, la segunda etapa de destilación y la segunda etapa de electrolisis en agua alcalina se repitieron mientras se reducía gradualmente la capacidad del dispositivo de electrolisis en agua alcalina, de modo que el agua con tritio (HTO) en el agua cruda se gasifica y se convierte en gas de tritio (HT) y el volumen del agua que contiene agua con tritio se reducen aún más.

Después de la segunda etapa de electrolisis en agua alcalina, la suspensión salina cáustica alcalina se recuperó y se separó mediante la tercera etapa de destilación. Para reducir aún más el volumen, la suspensión salina cáustica alcalina se envió al evaporador de pequeño tamaño 5 y se sometió a evaporación, cristalización/secado y a continuación se recuperó como un álcali sólido. Después de eso, de acuerdo con la tercera etapa de electrolisis en agua alcalina, la electrolisis se inició con 8 l utilizando el electrolito en el baño de electrolisis 8 con agua alcalina. La prueba se llevó a cabo mientras se reducía el número de elementos hasta que el electrolito se concentró 4 veces. Debido a que la concentración de álcali era del 5 % en masa al 20 % en masa, el baño de electrolisis se controló para que funcionara a 2 l. Como resultado del tratamiento, el volumen de 8 l de la electrolisis se redujo a 2 l.

Las operaciones que siguen a la segunda etapa de electrolisis en agua alcalina pueden completarse con una operación durante aproximadamente 1 mes, incluso si se considera un intervalo de operación suficiente, aunque la influencia de la densidad de la corriente de operación es significativa.

<Ejemplo 5> (Ejemplo de la quinta realización)

(0) Primera etapa de destilación como etapa previa

Como líquido simulado de agua cruda que incluye agua contaminada que contiene agua con tritio que contiene una gran cantidad de impurezas, se utilizó el líquido simulado con los siguientes componentes.

Líquido simulado: 180 l  
 Concentración inicial de tritio en agua cruda:  $4,2 \times 10^6$  Bq/l  
 Componentes y concentración de impurezas:

Sal de mesa: 10 g/l  
 Calcio: 2 ppm  
 Magnesio: 5 ppm

Como se muestra en el panel superior de la Fig. 4, se suministraron 180 l del líquido simulado desde el tanque de almacenamiento de agua cruda 1 al baño de tratamiento de agua cruda 20. Como baño de tratamiento de agua cruda 20, se utilizó un baño de tratamiento con una capacidad de tratamiento de 9,67 l/día. El líquido simulado suministrado al baño de tratamiento de agua cruda 20 se envió al evaporador 3, y las impurezas como las sales, el calcio y el magnesio en el líquido simulado se eliminaron colectivamente como 18 l de suspensión salina.

Mientras tanto, se enviaron 18 l de la suspensión salina al evaporador de pequeño tamaño 5 y se sometieron a evaporación, cristalización/secado para reducir aún más el volumen. Por consiguiente, se realizaron la concentración y la semisolidificación de la suspensión para dar 0,9 l de una sal solidificada.

Por lo tanto, 180 l del líquido simulado se redujeron a 0,9 l de residuos de sal sólida como residuo de impurezas.

El agua que contiene agua con tritio evaporada del evaporador de pequeño tamaño 5 para el agua cruda fue condensada por el condensador 6 junto con agua que contenía agua con tritio evaporada por el evaporador 3, y suministrada al tanque de circulación 9 a través de la bomba 7. El agua que contenía agua con tritio fue de 9,60 l/día.

(1) Primera etapa de electrolisis en agua alcalina como sistema de electrolisis en agua alcalina (I)

El agua que contiene agua con tritio a 9,60 l/día como se ha tratado anteriormente se suministró al tanque de circulación 9 de un sistema de electrolisis en agua alcalina que se utiliza para la primera etapa de electrolisis en agua alcalina como etapa siguiente a través de la bomba 7. Según hasta la primera etapa de electrolisis en agua alcalina, el agua que contenía tritio se suministró continuamente mediante el método descrito en el Ejemplo 1, de modo que el electrolito se electroliza bajo circulación.

<Ejemplo 6> (Ejemplo de la sexta realización)

Después de completar (i) la primera etapa de electrolisis en agua alcalina, se llevaron a cabo (ii) la segunda etapa de destilación, (iii) la segunda etapa de electrolisis en agua alcalina, y también la etapa de repetición de la misma manera que el método descrito en el Ejemplo 4, como se muestra en las Figs. 4 y 5.

**Aplicabilidad industrial**

5 Según la presente invención, se gasifica el agua con tritio (HTO) en agua que contiene agua con tritio para su conversión en gas de tritio (HT) y gas de oxígeno y al diluir la concentración de tritio a 1/1244 puede reducirse particularmente el grado de influencia del tritio en un organismo vivo, por lo que el tritio puede ser llevado a grandes alturas separadas de cualquier organismo vivo. También es posible que el hidrógeno gas que contiene gas de tritio gasificado reaccione con vapor de agua y se recupere como agua que contiene agua con tritio (HTO). Además, de acuerdo con la presente invención, incluso para el agua cruda que contiene agua con tritio que contiene una gran cantidad de impurezas como los iones de cloruro, se puede hacer una electrólisis continua eliminando las impurezas en agua cruda como una suspensión de sal, y por lo tanto también se obtiene el efecto mencionado anteriormente. 10 Además, debido a que las impurezas en el agua cruda se pueden recuperar como una suspensión de sal alcalina, también se puede realizar considerando el área de una planta y el costo que implica la construcción y el funcionamiento de la planta, y por lo tanto la contribución industrial es muy alta.

15 **Lista de signos de referencia**

- 1: Tanque de almacenamiento de agua cruda
- 2: Baño de tratamiento de agua cruda
- 3: Evaporador
- 20 4: Baño receptor de suspensión
- 5: Evaporador de pequeño tamaño
- 6: Condensador
- 7: Bomba
- 8: Baño de electrólisis en agua alcalina
- 25 9: Tanque de circulación
- 10, 11: Tubería de circulación de electrolito
- 12, 13: Bomba de suministro
- 14, 15: Refrigerador
- 30 16: Cámara del ánodo para alojar el ánodo
- 17: Cámara del cátodo para alojar el cátodo
- 18: Diafragma para separar la cámara del ánodo 16 de la cámara del cátodo 17
- 19: Tanque de almacenamiento para almacenar electrolito que permanece en la primera etapa de electrólisis en agua alcalina
- 35 20: Baño de tratamiento

**REIVINDICACIONES**

1. Un método para tratar agua cruda que contiene agua con tritio mediante el cual el agua cruda que contiene agua con tritio se trata mediante una primera etapa de electrólisis de agua alcalina que comprende las etapas de:

- 5 (1) suministrar una parte de agua cruda que contiene agua con tritio y agua alcalina a un tanque de circulación (9);
- (2) mezclar el agua cruda con el agua alcalina en el tanque de circulación (9) para obtener un electrolito ajustado de modo que tenga una concentración alcalina deseada, suministrar el electrolito a un dispositivo de electrólisis de agua alcalina (8) y realizar un tratamiento de electrólisis;
- 10 (3) suministrar el agua cruda continuamente al tanque de circulación (9) en una cantidad que corresponde al agua cruda perdida por el tratamiento de electrólisis anterior para mantener la concentración de álcali en una concentración inicial ajustada, y continuar el tratamiento de electrólisis mientras circula el electrolito a fin de realizar continuamente el tratamiento de electrólisis en agua alcalina;
- 15 (4) gasificar el agua cruda en hidrógeno gas que contiene tritio y gas oxígeno para que la concentración de tritio se diluya a 1/1244 en relación con la concentración de tritio en el agua cruda; y
- (5) reducir el volumen del agua cruda.

20 2. El método para tratar agua cruda que contiene agua con tritio de acuerdo con la reivindicación 1, en el que el gas hidrógeno que contiene tritio generado por la primera etapa de electrólisis de agua alcalina se extrae al aire libre.

25 3. El método para tratar agua cruda que contiene agua con tritio de acuerdo con la reivindicación 1, en la que el gas hidrógeno que contiene tritio generado por la primera etapa de electrólisis de agua alcalina se envía a una torre de catalizador, el gas de hidrógeno que contiene tritio se hace reaccionar con vapor de agua en un catalizador cargado en la torre de catalizador, y el tritio se recupera como agua concentrada que contiene agua con tritio.

4. El método para tratar agua cruda que contiene agua con tritio de acuerdo con la reivindicación 1, el método que comprende:

- 30 la primera etapa de electrólisis en agua alcalina para realizar continuamente el tratamiento de electrólisis en agua alcalina;
- una segunda etapa de destilación en la cual, después de completar la primera etapa de electrólisis en agua alcalina, la cantidad total del electrolito que permanece en la primera etapa de electrólisis en agua alcalina se suministra a un evaporador, un componente alcalino en el electrolito se recupera como una suspensión de sal
- 35 alcalina, y simultáneamente, se extrae el agua que contiene agua con tritio destilada por el evaporador; y
- una segunda etapa de electrólisis en agua alcalina en la que el agua que contiene tritio se extrae con la segunda etapa de destilación y se suministra agua alcalina nueva a un tanque de circulación, el agua que contiene agua con tritio se mezcla con el agua alcalina nueva en el tanque de circulación para que se obtenga una solución electrolítica con una concentración de álcali deseada, la capacidad de electrólisis de un dispositivo de electrólisis
- 40 en agua alcalina se ajusta a la capacidad adecuada para una cantidad de tratamiento del electrolito, se realiza un tratamiento de electrólisis en agua alcalina seguido de un tratamiento discontinuo, el agua que contiene agua con tritio se gasifica y se convierte en hidrógeno gas que contiene tritio y oxígeno gas, de modo que la concentración de tritio se diluye a 1/1244 en relación con la concentración de tritio en el agua que contiene agua con tritio, y se reduce el volumen de agua cruda,
- 45 si es necesario, que comprende además la etapa de repetir varias veces la segunda etapa de destilación y la segunda etapa de electrólisis en agua alcalina hasta la finalización del tratamiento discontinuo en el cual, en el momento de repetir varias veces, se reduce gradualmente la capacidad del dispositivo de electrólisis en agua alcalina utilizado para la segunda etapa de electrólisis en agua alcalina y se repite el tratamiento.

50 5. El método para tratar agua cruda que contiene agua con tritio de acuerdo con la reivindicación 1, en la que, cuando se usa agua cruda que contiene impurezas que incluye una gran cantidad de iones de cloruro como agua cruda que contiene agua con tritio, además se proporciona una primera etapa de destilación para eliminar impurezas como etapa previa de la primera etapa de electrólisis en agua alcalina, y en la primera etapa de destilación, el agua cruda que contiene impurezas que incluyen los iones de cloruro se suministra al evaporador y las impurezas se eliminan como una suspensión salina, y simultáneamente, se extrae el agua cruda que contiene agua con tritio

55 después de eliminar las impurezas y a continuación se suministra continuamente para ser tratada por la primera etapa de electrólisis en agua alcalina.

60 6. El método para tratar agua cruda que contiene agua con tritio de acuerdo con la reivindicación 4, en el que, cuando se usa agua cruda que contiene impurezas que incluye una gran cantidad de iones de cloruro como agua cruda que contiene agua con tritio, se realiza una primera etapa de destilación para eliminar las impurezas como etapa previa a la primera etapa de electrólisis de agua alcalina, y en la primera etapa de destilación, se suministra el agua cruda que contiene impurezas que incluyen los iones de cloruro al evaporador y las impurezas se eliminan como una suspensión salina, y simultáneamente, se extrae el agua cruda que contiene agua con tritio después de eliminar las

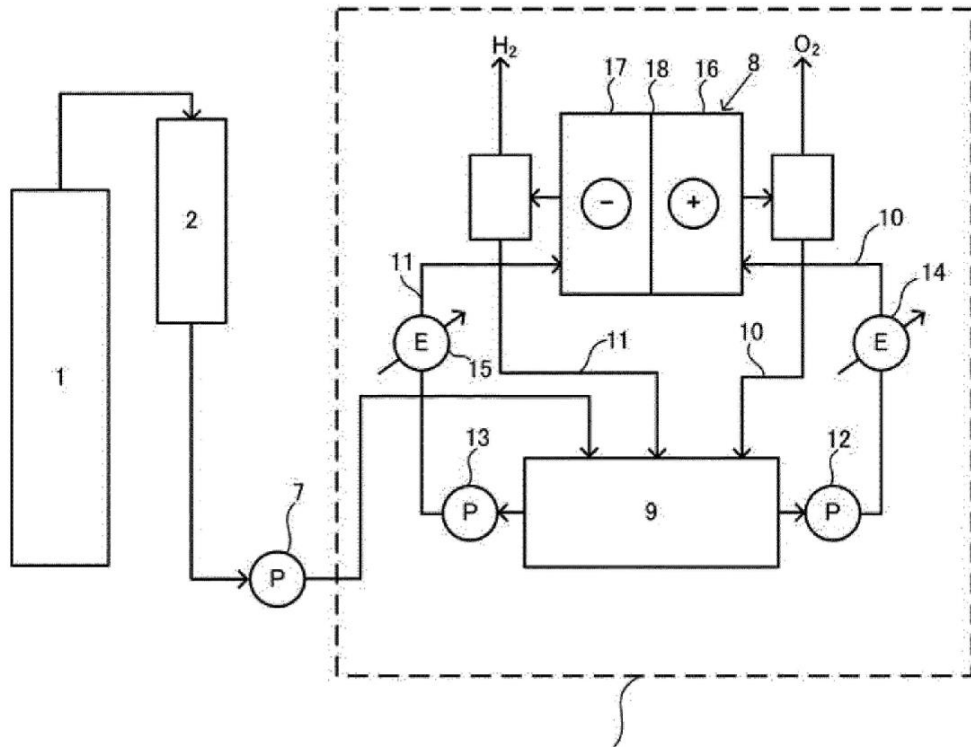
65 impurezas y entonces se suministra continuamente para ser tratada por la primera etapa de electrólisis en agua alcalina.



7. El método para tratar agua cruda que contiene agua con tritio de acuerdo con la reivindicación 5 o 6, en el que, en la primera etapa de destilación, la suspensión salina se concentra y a continuación se separa y se recupera como una materia sólida.
- 5 8. El método para tratar agua cruda que contiene agua con tritio de acuerdo con la reivindicación 4, en el que, en la segunda etapa de destilación, la suspensión de sal alcalina se concentra y a continuación se separa y se recupera como una materia sólida.
- 10 9. El método para tratar agua cruda que contiene agua con tritio de acuerdo con la reivindicación 4, en el que, en la primera etapa de electrolisis en agua alcalina, se usa agua alcalina con una concentración relativamente alta como agua alcalina y el tratamiento de electrolisis se realiza a una densidad de corriente relativamente alta, y en la segunda etapa de electrolisis en agua alcalina, se usa agua alcalina con una concentración relativamente baja como agua alcalina y el tratamiento de electrolisis se realiza a una densidad de corriente relativamente baja.
- 15 10. El método para tratar agua cruda que contiene agua con tritio de acuerdo con la reivindicación 1, en el que, en la primera etapa de electrolisis en agua alcalina, se usa el 15 % en masa o más de agua alcalina como agua alcalina, y el tratamiento de electrolisis se realiza a una densidad de corriente de  $15 \text{ A/dm}^2$  o superior.
- 20 11. El método para tratar agua cruda que contiene agua con tritio de acuerdo con la reivindicación 4, en el que, en la segunda etapa de electrolisis en agua alcalina, se usa del 2 al 10 % en masa de agua alcalina como agua alcalina, y el tratamiento de electrolisis se realiza a una densidad de corriente de 5 a  $20 \text{ A/dm}^2$ .

[FIG. 1]

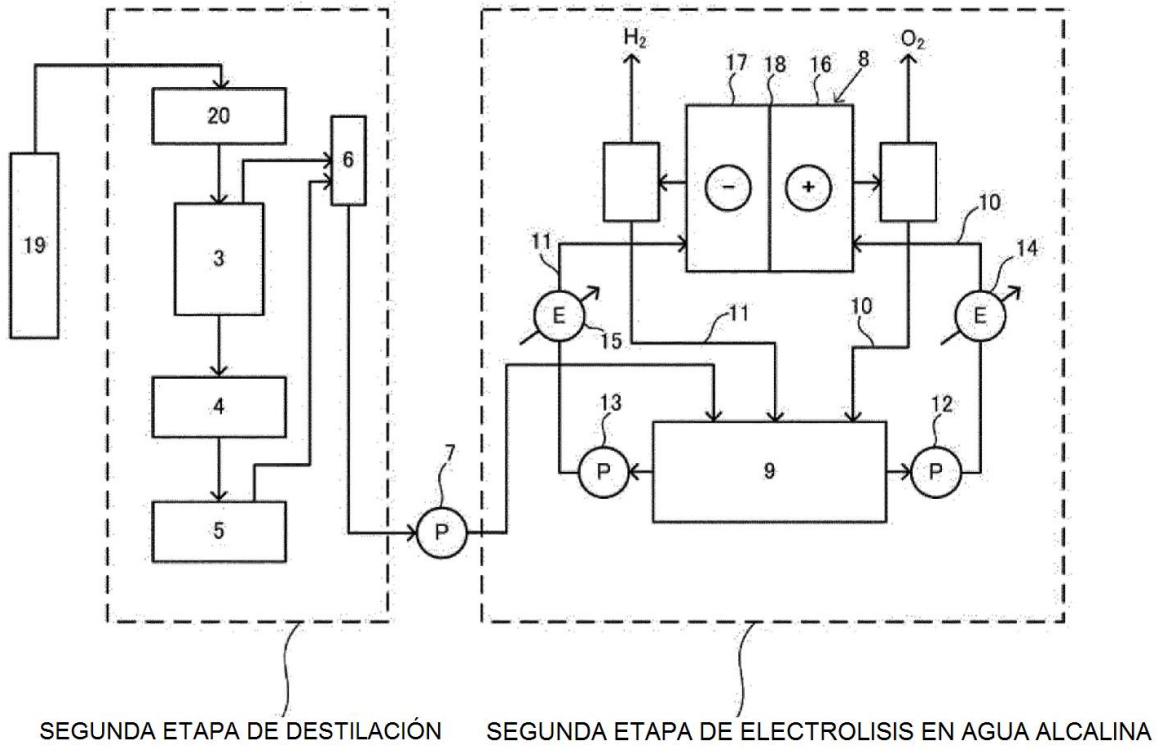
SISTEMA DE ELECTROLISIS EN AGUA ALCALINA (I)



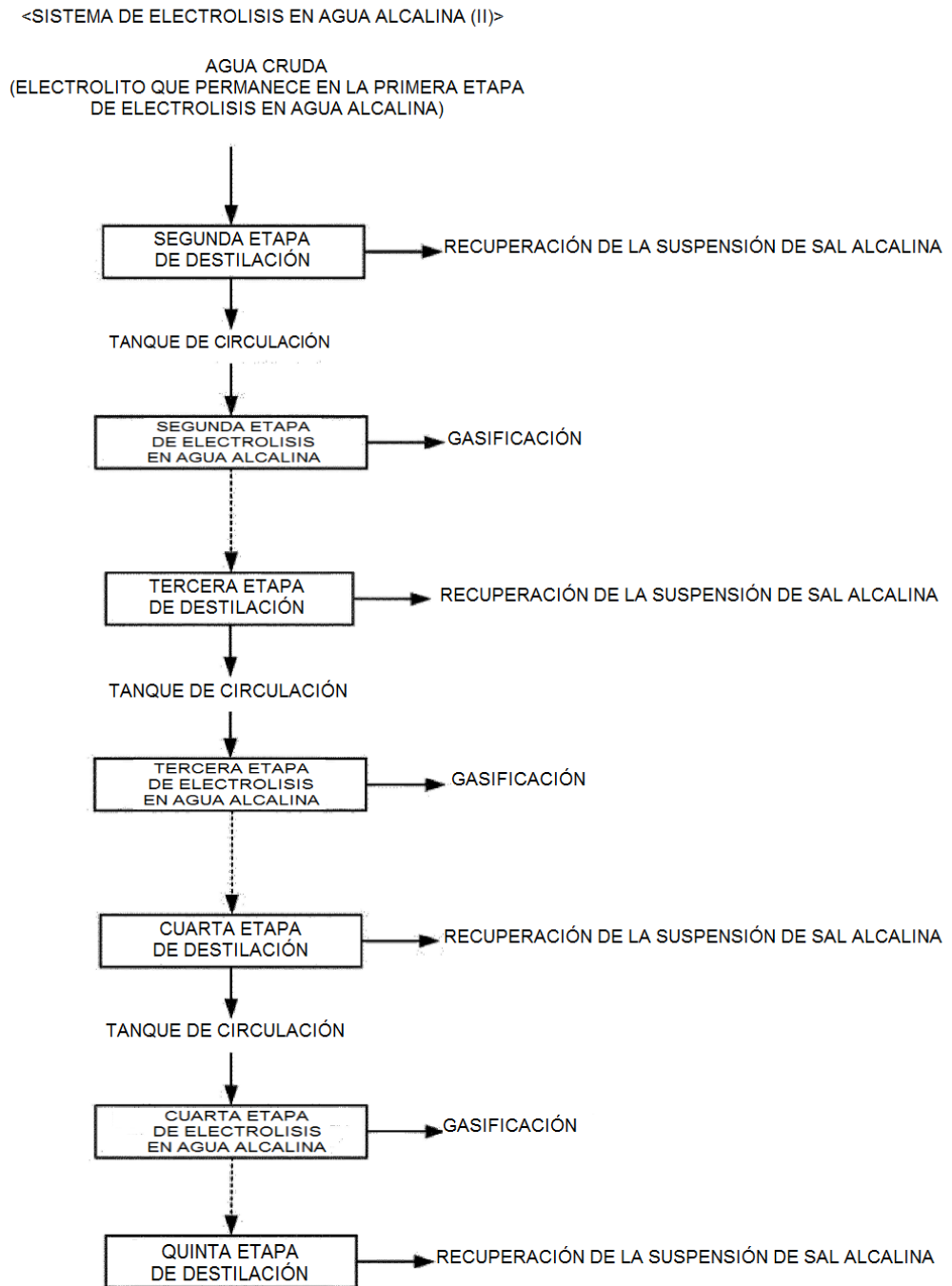
PRIMERA ETAPA DE ELECTROLISIS EN AGUA ALCALINA

[FIG. 2]

SISTEMA DE ELECTROLISIS EN AGUA ALCALINA (II)

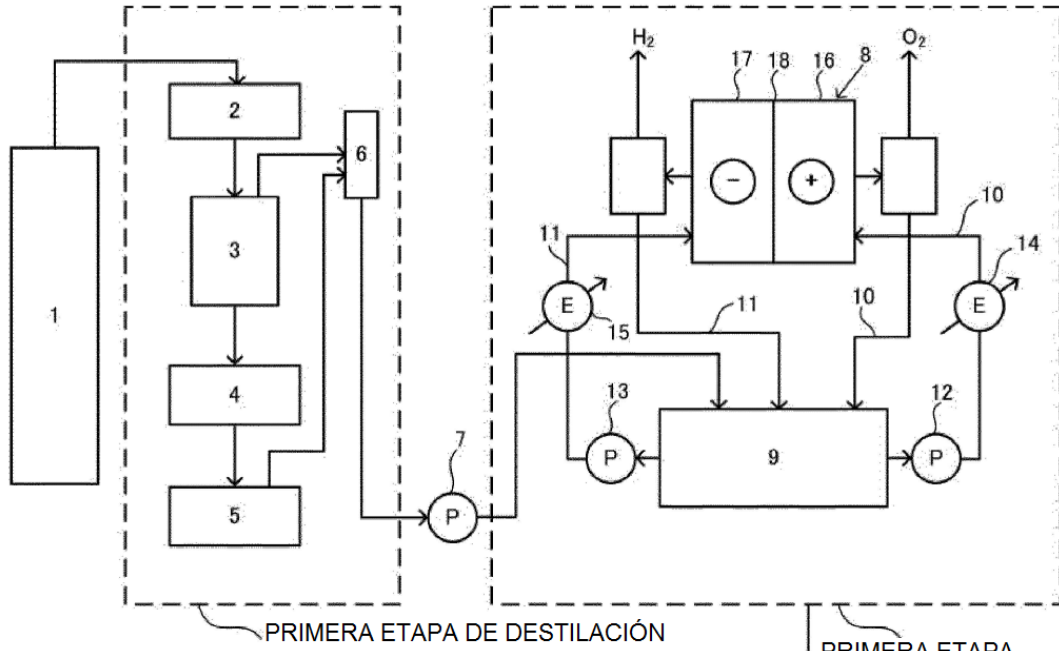


[FIG. 3]

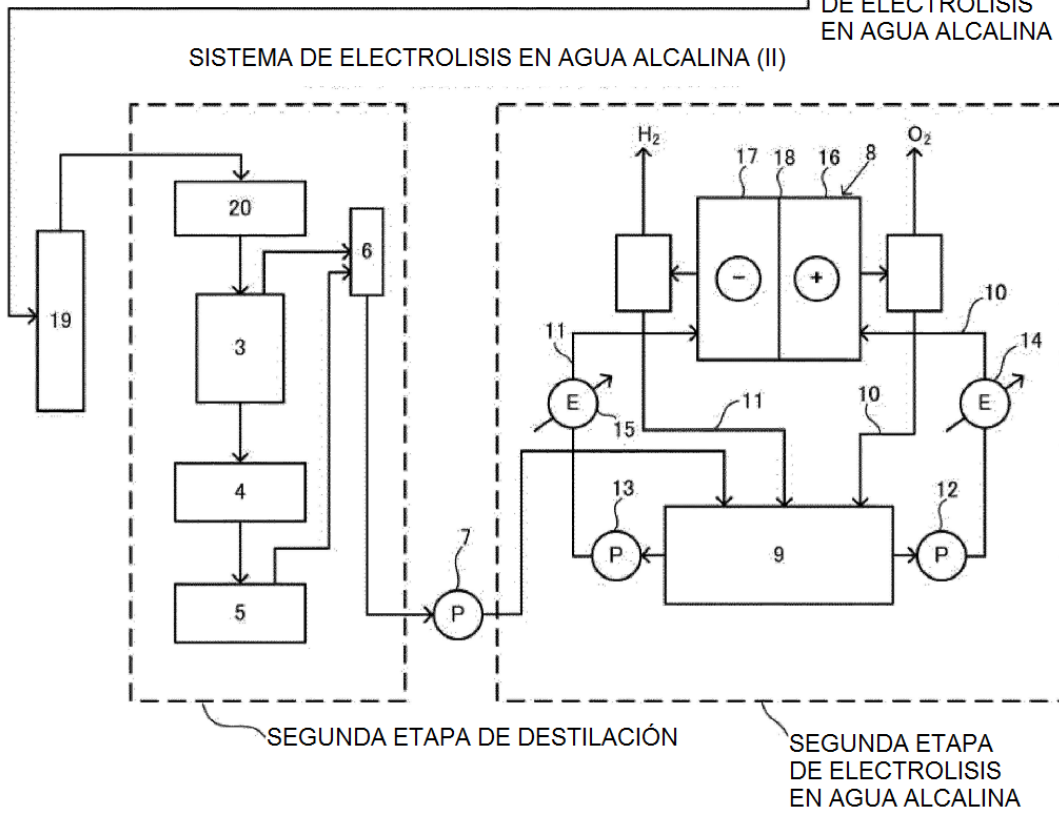


[FIG. 4]

SISTEMA DE ELECTROLISIS EN AGUA ALCALINA (I)



SISTEMA DE ELECTROLISIS EN AGUA ALCALINA (II)



[FIG. 5]

