

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **3 029 752**

51 Int. Cl.:

B03D 1/08	(2006.01) C02F 1/74	(2013.01)
B03D 1/24	(2006.01) C02F 1/42	(2013.01)
C02F 1/24	(2013.01) C02F 1/28	(2013.01)
C02F 9/00	(2013.01)	
B03D 1/14	(2006.01)	
B03D 1/02	(2006.01)	
C02F 101/14	(2006.01)	
C02F 101/36	(2006.01)	
C02F 103/06	(2006.01)	
C02F 101/20	(2006.01)	

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **10.12.2018** **PCT/IB2018/059830**

87 Fecha y número de publicación internacional: **13.06.2019** **WO19111238**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **10.12.2018** **E 18886120 (7)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **23.04.2025** **EP 3720610**

54 Título: **Método de separación de una sustancia del agua**

30 Prioridad:

09.12.2017 AU 2017904954
25.10.2018 AU 2018904046

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la
traducción de la patente:
25.06.2025

73 Titular/es:

**OPEC REMEDIATION TECHNOLOGIES PTY
LIMITED (100.00%)
Suite 4, Level 3, 20 George Street
Hornsby, New South Wales 2077, AU**

72 Inventor/es:

**PHILLIPS, STEVEN EDWARD y
BURNS, DAVID JOHN**

74 Agente/Representante:

UNGRÍA LÓPEZ, Javier

ES 3 029 752 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 de separación de una sustancia del agua

Campo técnico

- 5 Esta divulgación se refiere a un método para separar una sustancia del agua utilizando un aparato de separación. En una forma, el método puede aplicarse a la eliminación de material orgánico contaminante presente en aguas subterráneas que se han extraído de una masa de suelo. Sin embargo, el método también puede aplicarse a la eliminación de materiales no orgánicos o contaminantes de todo tipo de fuentes de agua contaminadas.

Antecedentes de la divulgación

- 10 Las sustancias perfluoroalquiladas o polifluoroalquiladas (PFAS) comprenden un intervalo de sustancias alquiladas polifluoradas (incluidos, entre otros, los ácidos carboxílicos, los sulfonatos de alquilo, los compuestos sulfonamidados de alquilo y los compuestos fluoro teleéricos de diferentes longitudes de cadena de carbono y sus precursores). Los PFAS se han utilizado en una gran variedad de aplicaciones, como productos especializados contra incendios, para la impregnación o el revestimiento de textiles, cuero y alfombras, o para compuestos de limpieza de alfombras, así como en fluidos hidráulicos de aviación, revestimientos metálicos, agricultura (trampas de insectos para ciertos tipos de hormigas), fotoimagen, fabricación de productos electrónicos y utensilios de cocina antiadherentes.

- 15 Los PFAS de orden superior se degradan a productos químicos PFAS de punto final específico (incluidos, entre otros, el sulfonato de perfluorooctano (PFOS), el ácido perfluorooctanoico (PFOA) y el sulfonato de perfluorohexano (PFHxS). Estos compuestos prioritarios preocupantes son resistentes a la degradación biótica o abiótica y, por tanto, son persistentes en el medio ambiente. Son recalcitrantes, bioacumulativos y se sabe que han contaminado suelos, aguas subterráneas y suministros de agua potable.

- 20 Se sabe que los PFAS han contaminado las aguas subterráneas, incluidos los suministros de agua potable. Los PFOS, PFHxS y PFOA han publicado criterios reguladores de la salud humana y el medio ambiente en la mayoría de las jurisdicciones del mundo desarrollado. Se espera que se identifiquen otros compuestos de PFAS como contaminantes preocupantes a medida que los nuevos datos toxicológicos de la investigación indiquen posibles asociaciones de riesgo. Se necesitan métodos de reparación para tratar los compuestos PFAS prioritarios.

- 25 La tecnología utilizada para eliminar compuestos orgánicos volátiles (VOC) mediante burbujeo de aire a través de aguas subterráneas o en pozos de aguas subterráneas (también conocida como "destilación por aire") es conocida en varias publicaciones. Sin embargo, también se sabe que esas técnicas no funcionan para tratar las aguas subterráneas contaminadas con PFAS. En un estudio reciente, se presentan datos de una localización US contaminada por PFAS en la que se había utilizado anteriormente la destilación por aire para eliminar los VOCs, pero más de 25 años después de esa actividad, el lugar investigado aún tenía una contaminación elevada y persistente por PFAS que requería una descontaminación (Environ. Sci. Pollut. Res (2013) 20:1977-1992pp). Aunque son solubles, la mayoría de los PFAS de cadena larga (incluidos los PFOS y PFOA) tienen una presión de vapor de baja a muy baja, lo que significa que no se volatilizan fácilmente, por lo que la destilación por aire no es un tratamiento corrector eficaz.

- 35 La tecnología conocida utilizada para tratar las aguas subterráneas contaminadas con PFAS se basa en dos enfoques: "bombear y tratar" y "tratamiento químico in situ".

- 40 El "bombeo y tratamiento" es un enfoque convencional que consiste en bombear las aguas subterráneas a través de pozos de extracción perforados en el suelo hasta la superficie y, a continuación, tratar el agua recogida. A continuación, el agua tratada se dirige a un punto final adecuado, por ejemplo, para el riego o la reinyección en el suelo (que en muchas localizaciones no está permitida), o mediante su vertido a un alcantarillado o a una instalación de tratamiento de residuos. Esta técnica es costosa debido al gasto que supone transportar grandes cantidades de agua de un lugar a otro.

- 45 En ese enfoque, hay una amplia variedad de tecnologías utilizadas por las instalaciones de desechos para tratar el agua que contiene PFAS, incluida cualquiera o una combinación de las siguientes: (a) absorción por paso a través de medios de carbón activado, más comúnmente en forma de carbón activado granular (GAC); (b) absorción por paso a través de un medio a base de arcilla; (c) filtración por membranas de ósmosis inversa (RO), y (d) absorción por paso a través de resina de intercambio iónico. En general, los agentes de tratamiento utilizados en estas tecnologías son sensibles a las incrustaciones de sustancias no compatibles o no pueden regenerarse fácilmente y requieren su eliminación (normalmente en vertederos) una vez alcanzada su capacidad máxima.

- 50 Actualmente no se dispone de tecnologías comercialmente viables que utilicen enfoques químicos capaces de degradar o destruir muchos de los compuestos PFAS clave que suscitan preocupación cuando están presentes en bajas concentraciones en grandes volúmenes de agua.

Por lo general, los sistemas de bombeo y tratamiento deben funcionar durante largos periodos de muchos años y los volúmenes de tratamiento son muy grandes, por lo que el equipo de la planta de tratamiento también es grande. Los

costes de capital y funcionamiento suelen elevarse debido al tamaño de la planta de tratamiento y a los largos periodos de funcionamiento (años, o incluso décadas).

El "tratamiento químico in situ" suele implicar la aplicación bajo la superficie de un agente reactivo que desnaturaliza o neutraliza el contaminante diana (PFAS). La aplicación subsuperficial del agente puede incluir la inyección directa como líquido concentrado, lodo o gas, o la excavación/construcción de un muro de barrera subsuperficial. El agente reactivo puede ser oxidante (por ejemplo, peróxido de hidrógeno, persulfato o permanganato), reductor (por ejemplo, hierro de valor cero) o adsorbente (por ejemplo, lodo de GAC superfino, arcilla). Sin embargo, los PFAS son recalcitrantes, y los estudios de laboratorio han tenido un éxito limitado con el rendimiento de estos reactivos. Los estudios de laboratorio también han descubierto que la adsorción de PFAS por el GAC es reversible (es decir, no permanente).

Los pozos de agua subterránea son conocidos en la técnica por permitir la circulación por debajo del subsuelo moviendo el agua subterránea mediante métodos de bombeo dentro de una cámara de pozo. Tales pozos pueden implicar complejas secciones de pantallas múltiples en las paredes laterales, que puede ser necesario separar mediante obturadores o barreras de baja permeabilidad. Tradicionalmente, estos pozos se han utilizado para tratar aguas subterráneas que contienen compuestos volátiles, seguidas de extracción de vapores, o para oxigenar el suelo que rodea un pozo, por ejemplo, con fines de biorremediación aeróbica in situ, o para introducir otras sustancias líquidas o coloidales en las aguas subterráneas. WO 2017/098401 A1, US 5 330 655 A y DE 10 2012 200958 A1 divulgan métodos para la eliminación de sustancias del agua mediante separación por espuma.

Se ha puesto de manifiesto que no existen tecnologías adecuadas que superen el coste, la escala y el riesgo de las técnicas conocidas a la hora de aplicarlas para intentar neutralizar los PFAS.

Sumario

En un primer aspecto se proporciona un método según la reivindicación 1.

La operación se realiza en modo lote para situaciones de tratamiento específicas, como se describirá para los ejemplos experimentales de este documento.

En algunas realizaciones, la etapa de controlar un parámetro físico del flujo de gas introducido comprende el uso de un controlador de flujo y una válvula de entrada para controlar el flujo de dicho gas introducido en la cámara. Si se introduce demasiado gas en la cámara, el flujo de agua puede alejarse de su condición ideal de tratamiento de flujo quiescente y volverse turbulento. En situaciones turbulentas, la capa de espuma puede alterarse y también humedecerse mucho, provocando así la dilución de la concentración de la sustancia que se está eliminando del agua.

En algunas realizaciones, la etapa de controlar un parámetro físico del flujo de gas introducido comprende el uso de uno o más tubos de flujo de entrada de gas que están dispuestos para extenderse en el interior de la cámara y adaptados para inducir un flujo generalmente rotacional o de remolino de dicho gas y agua introducidos, dicho flujo de remolino que tiene un eje de rotación alineado con un eje de elongación de la cámara.

En algunas realizaciones, el flujo generalmente rotacional o en remolino de dicho gas y agua introducidos dentro de la cámara es laminar en la pared circunferencial interior de la cámara.

En algunas realizaciones, la etapa de control de un parámetro físico del flujo de gas introducido comprende el uso de un dispositivo de generación de burbujas situado antes de, o en el punto, en que dicho gas introducido entra en el agua situada en la cámara. Los dispositivos de generación de burbujas pueden incluir burbujeadores de aire (o nomenclatura equivalente tal como rociadores, fritas, aireadores, difusores de aireación, piedras de aire y tal) situados dentro de la cámara y en contacto con el agua. Otro tipo de dispositivo de generación de burbujas puede consistir en inducir aire en un flujo de agua que pasa a través de un expansor venturi, por ejemplo, para crear finas burbujas de aire in situ, y luego pasar este flujo aireado a la cámara. El presente inventor emplea esta última realización por su facilidad y sencillez y como forma de maximizar la entrada de aire en la cámara.

El flujo ascendente de gas se introduce en una porción inferior de la cámara, aunque por supuesto es posible que el gas también se introduzca en varias posiciones a lo largo de la profundidad de la cámara. Como se mostrará en los ejemplos de la presente divulgación, el número de puntos de entrada para que las burbujas de aire entren en contacto con el agua en el interior de la cámara puede estar en cualquier número de posiciones a través de tuberías a través de la pared de la cámara.

Según la invención, la etapa de controlar un parámetro físico de la capa de espuma comprende el uso de un dispositivo de regulación de la profundidad de la espuma para mantener una profundidad de la capa de espuma por encima de la interfase, estando el dispositivo de regulación de la profundidad de la espuma dispuesto en una localización fija dentro de la cámara, y respondiendo la localización de la interfase al menos a uno de los flujos del gas introducido, y a un flujo de entrada del agua. Esto resulta especialmente cómodo y sencillo cuando se realiza un procedimiento por lotes.

En una alternativa según la invención, la etapa de controlar un parámetro físico de la capa de espuma comprende el uso de un dispositivo de regulación de la profundidad de la espuma para mantener una profundidad de la capa de espuma por encima de la interfaz, estando el dispositivo dispuesto para ser posicionable de forma móvil dentro de la cámara en respuesta al movimiento de la localización de la interfaz. Los dispositivos de regulación de la profundidad de la espuma que son móviles dentro de la cámara en respuesta al movimiento de la localización de la interfaz tienen la ventaja de funcionar con una profundidad constante de la capa de espuma que se sabe que proporciona unas características adecuadas de drenaje de la capa de espuma. Dichos dispositivos están dispuestos de forma que floten y se localicen por sí mismos en la interfaz agua/capa de espuma, independientemente del nivel general de agua en la cámara. Sin embargo, en situaciones de flujo de fluido turbulento, la estabilidad del control de nivel proporcionado por un dispositivo flotante puede ser más incierta.

En ciertas realizaciones, la etapa de control de un parámetro físico de la capa de espuma comprende además el uso de un dispositivo para confinar la ruta de flujo transversal de la espuma en la parte superior de la cámara, lo que da lugar al drenaje de dicha capa de espuma. Los aparatos diseñados para confinar o comprimir una capa de espuma ascendente pueden provocar un drenaje adicional de la capa de espuma, y pueden incluir cambios en el área abierta de la sección transversal del flujo de espuma, por ejemplo, mediante el uso de aglomeradores de espuma, pasajes o canales de cuello estrecho o capilares, embudos cónicos, espumaderas, etc.

En algunas realizaciones, la capa de espuma se colapsa durante dicha etapa de eliminación de la parte superior de la cámara, y antes de someterse a una etapa de tratamiento secundario. En una de estas formas, la capa de espuma se colapsa durante dicha etapa de eliminación de la parte superior de la cámara, y antes de someterse a una etapa de tratamiento secundario. En algunos ejemplos específicos, la capa de espuma se colapsa utilizando aparatos mecánicos del grupo que comprende: un rompedor de espuma, un dispositivo de extracción al vacío y un cabezal de extracción de espuma.

Los dispositivos de regulación de la profundidad de la espuma que están dispuestos en una localización fija dentro de la cámara requieren un ajuste constante de la localización de la interfase, que se cambia fácilmente alterando, por ejemplo, el caudal del gas introducido o alterando las tasas relativas de las entradas/salidas de agua (en un sistema de procedimiento continuo). Un sensor de nivel de líquido puede señalar si el nivel de agua es demasiado alto o bajo, y controlar el flujo de las entradas/salidas de gas o agua introducidos para desplazar una cantidad de agua a fin de elevar la altura estática del nivel de agua hasta una altura dinámica (de funcionamiento) deseable y una profundidad de la capa de espuma que se sabe que proporciona unas características de drenaje de la capa de espuma adecuadas.

En algunas realizaciones, el método comprende además la etapa de eliminación de al menos parte de la capa de espuma de la parte superior de la cámara. Esta etapa puede realizarse de forma intermitente en lugar de continua, por ejemplo, en operaciones por lotes.

En algunas realizaciones, la etapa de tratamiento secundario para tratar la capa de espuma colapsada que incluye la sustancia concentrada utiliza al menos uno de los procedimientos del grupo que comprende: absorción (utilizando carbón activado, arcilla o resinas de intercambio iónico), filtración (utilizando membranas de ósmosis inversa); destilación al vacío; secado en tambor; e introducción de una cantidad adicional de gas en un aparato de contención separado para producir otra capa de espuma que comprenda una cantidad adicional concentrada de la sustancia, siendo esta última etapa esencialmente una repetición de la etapa de concentración que tuvo lugar en la cámara, con el fin de reducir aún más el volumen de concentrado que debe transportarse desde el lugar de tratamiento, o tratarse de otro modo.

La sustancia es orgánica, en el que la sustancia orgánica es al menos una de las sustancias perfluoroalquiladas o una sustancia polifluoroalquilada (PFAS). Más específicamente, la sustancia perfluoroalquil o polifluoroalquil (PFAS) incluye una o más del grupo que comprende: sulfonato de perfluoro-octano (PFOS); ácido perfluoro-octanoico (PFOA); ácido perfluoro-n-hexano sulfónico (PFHxS); ácido perfluorononanoico (PFNA); ácido perfluoro-decanoico (PFDA/Ndfda); Compuestos de sulfonato de 6:2-fluorotelómero (6:2 FTS); compuestos de sulfonato de 8:2-fluorotelómero (8:2 FTS); y ácido perfluoro-octanoico (PFHpA); ácidos carboxílicos polifluorados, sulfonatos de alquilo y compuestos de alquilsulfonamido; y compuestos fluoroteliméricos, cada uno de los cuales tiene diferentes longitudes de cadena de carbono; e incluyendo precursores de los mismos.

Los siguientes aspectos segundo y cuarto a octavo y sus respectivas realizaciones no son conformes a la invención y se presentan únicamente a título ilustrativo.

En un segundo aspecto, allí está proporcionado un aparato para separar una cantidad de una sustancia de agua que está contaminado con la sustancia, el aparato comprendiendo: un cuarto que tiene una entrada el cuál está arreglado en uso para admitir dentro una cantidad del agua contaminada que incluye una concentración inicial de la sustancia; un dispositivo de introducción del gas que dentro uso admite gas al cuarto, el gas introducido para inducir agua para fluir dentro del cuarto, y para producir una capa de espuma que está formado en, y cuál sube por encima de un interfaz con el flujo dicho de agua y gas introducido en el cuarto, la capa de espuma que incluye una cantidad de agua y también una cantidad concentrada de la sustancia cuándo comparado con su concentración inicial; en el que el aparato está dispuesto para contener la capa de espuma cerca de una parte superior de la cámara y controlar el contenido de

agua de la capa de espuma que se eleva por encima de la interfaz, para influir en la concentración de la sustancia en la misma; y un dispositivo para eliminar al menos parte de la capa de espuma de la parte superior de la cámara.

En algunas realizaciones, la entrada está dispuesta en uso para la admisión del agua contaminada a la cámara en una región superior de la misma.

- 5 En algunas realizaciones, se dispone una salida para la salida de agua de la cámara en o cerca de una región más baja de la misma, estableciendo así un flujo de agua en la cámara que es contracorriente al flujo de aire ascendente.

En algunas realizaciones, dicha salida puede estar en comunicación fluida con una entrada de una cámara adicional, estando dicha entrada situada en una región superior respectiva de la misma.

- 10 En algunas realizaciones alternativas, dicha salida está en comunicación fluida con una entrada de un tanque de alimentación del procedimiento posterior para una etapa de barrido de absorción superficial que utiliza carbón activado o resina de intercambio iónico, o similares.

En algunas realizaciones, la cámara comprende un recipiente cilíndrico alargado, pero hay muchas formas posibles de tanques de cámara, tales como cubos, columnas o incluso diseños cilíndricos básicos de cualquier sección transversal: redonda, ovalada, cuadrada, por ejemplo.

- 15 En algunas realizaciones, un dispositivo de generación de burbujas se localiza antes o en el punto en el que el flujo de gas introducido entra en el agua situada en la cámara.

- 20 En algunas realizaciones, dicho dispositivo de introducción de gas comprende una o más tuberías de flujo de entrada de gas que están dispuestas aproximadamente alrededor de una pared periférica circunferencial de la cámara y que se extienden hacia el interior de la cámara a través de una abertura respectiva en dicha pared periférica, en uso para admitir gas en la cámara.

- 25 En una realización particular de esto, el extremo distal del uno o más tubos de flujo de entrada de gas que se extienden en el interior de la cámara está adaptado para inducir un generalmente rotacional o arremolinado flujo de dicho gas introducido y agua con un eje de rotación alineado con un eje alargado de la cámara, dicho flujo arremolinado que es generalmente laminar a lo largo de la pared periférica interior de la cámara. En una forma de esto, la adaptación del extremo distal del o cada flujo de entrada de gas para inducir dicho flujo rotacional o arremolinado dentro de la cámara es un codo de tubo de 90 grados de ángulo que descarga el flujo de entrada de gas en una dirección que es generalmente tangencial a la pared lateral interior de la cámara en cualquier localización del tubo de entrada de gas.

- 30 En algunas realizaciones, el aparato utilizado para proporcionar control del contenido de agua de la capa de espuma comprende aparatos para al menos uno de: controlar un parámetro físico del flujo de gas introducido; y controlar un parámetro físico de la capa de espuma.

En algunas realizaciones, el aparato utilizado para el control de un parámetro físico del flujo de gas introducido en la cámara comprende el uso de un controlador de flujo y una válvula de entrada en una línea de suministro de gas, en respuesta a una medición de uno del grupo que comprende: contenido de agua de la capa de espuma; estabilidad de la espuma de la capa de espuma; localización de la interfaz en la cámara.

- 35 En algunas realizaciones, el aparato utilizado para el control de un parámetro físico de la capa de espuma, comprende el uso de un dispositivo de regulación de la profundidad de la espuma para mantener una profundidad de la capa de espuma por encima de la interfaz, en el que el dispositivo de regulación de la profundidad de la espuma está seleccionado del grupo que comprende: un dispositivo que es posicionable de forma móvil dentro de la cámara en respuesta al movimiento de la localización de la interfaz; y un dispositivo que está dispuesto en una localización fija dentro de la cámara, y la localización de la interfaz responde al menos a uno de los flujos del gas introducido, y a un flujo de entrada del agua.

- 40 En algunas realizaciones, el dispositivo de regulación de la profundidad de la espuma está dispuesto para confinar la ruta de flujo transversal de la espuma en la cámara, dando como resultado el confinamiento de la espuma y el drenaje de dicha capa de espuma. Los aparatos diseñados para confinar o comprimir una capa de espuma ascendente pueden provocar un drenaje adicional de la capa de espuma, y pueden incluir cambios en el área abierta de la sección transversal del flujo de espuma, por ejemplo, mediante el uso de aglomeradores de espuma, pasajes o canales de cuello estrecho o capilares, embudos cónicos, espumaderas, etc.

- 45 En algunas realizaciones, el dispositivo de regulación de la profundidad de la espuma está dispuesto para confinar la ruta de flujo transversal de la espuma en la cámara, dando como resultado el confinamiento de la espuma y el drenaje de dicha capa de espuma. Los aparatos diseñados para confinar o comprimir una capa de espuma ascendente pueden provocar un drenaje adicional de la capa de espuma, y pueden incluir cambios en el área abierta de la sección transversal del flujo de espuma, por ejemplo, mediante el uso de aglomeradores de espuma, pasajes o canales de cuello estrecho o capilares, embudos cónicos, espumaderas, etc.
- 50 En algunas realizaciones, el aparato comprende además un dispositivo de eliminación de la capa de espuma en el que al menos parte de la capa de espuma se colapsa durante la eliminación de al menos parte de la capa de espuma de la región superior de la cámara, y antes de una etapa de tratamiento secundario. En algunas realizaciones particulares, el dispositivo de colapso de la capa de espuma incluye aparatos mecánicos del grupo que comprende: un rompedor de espuma, un dispositivo de extracción al vacío y un cabezal de extracción de espuma.

En algunas realizaciones, el aparato comprende además un dispositivo de tratamiento secundario en uso para tratar la capa de espuma colapsada para la eliminación de la sustancia concentrada, en el que el dispositivo de tratamiento

- incluye al menos uno del grupo que comprende: absorción (utilizando carbón activado, arcilla o resinas de intercambio iónico), filtración (utilizando membranas de ósmosis inversa); destilación al vacío; secado en tambor; e introducción de una cantidad adicional de gas en un aparato de contención separado para producir otra capa de espuma que comprenda una cantidad concentrada adicional de la sustancia, siendo esta última etapa esencialmente una repetición de la etapa de concentración que tuvo lugar en la(s) cámara(s) de separación de la primera etapa, para las ventajas anteriormente recitadas en relación con el método de uso del aparato.
- En algunas realizaciones, el dispositivo de regulación de la profundidad de la espuma comprende: un cuerpo principal que se coloca en uso dentro de la cámara de dicho aparato, el cuerpo principal incluye una cavidad que tiene una boca abierta que está dispuesta en uso para mirar hacia abajo en la cámara tal que la boca abierta recibe una capa de espuma que se eleva dentro de la cámara por encima de la interfaz con el agua; una periferia exterior de la boca abierta, o de una superficie exterior del cuerpo principal, dimensionada para estar en una relación próxima a una pared interior de la cámara, de modo que la capa de espuma se dirija sustancialmente hacia la boca abierta; y la cavidad del cuerpo principal que tiene una abertura de salida superior en uso a través de la cual la capa de espuma se desplaza o se retira para su posterior procesamiento a través de un conducto de salida.
- A lo largo de esta memoria descriptiva, el término "estrechamente orientadas" significa dos superficies que cooperan estrechamente de forma superficial similar, pero separadas funcionalmente para permitir una pequeña brecha entre la pared interior de la cámara y una periferia exterior del cuerpo del dispositivo de regulación de la profundidad de la espuma. Esta brecha será necesaria para que el vacío aspire el aire ambiente de la zona superior de la cámara y arrastre la espuma hacia arriba, hacia el dispositivo de regulación de la profundidad de la espuma.
- En algunas realizaciones, la cavidad tiene una forma interna que se estrecha hacia el interior cuando se desplaza desde la región de la boca abierta hacia la abertura de salida para facilitar el apiñamiento y drenaje o colapso de la capa de espuma. En otras formas, dependiendo de la aplicación, la longitud de la cavidad dentro del cuerpo del dispositivo puede ser de varios tamaños para modificar la distancia entre la interfaz y la abertura de salida. La mayor distancia entre la abertura de salida y la capa de espuma es otra forma de ajustar el grado de sequedad de la espuma, mediante el drenaje y la exclusión del agua de arrastre que puede diluir la concentración de PFAS en la espuma. En realizaciones adicionales, puede haber una serie de dispositivos de regulación de la profundidad de la espuma que tienen diversas formas de bocas abiertas, y/o diversas formas de cavidad interna, con esos múltiples dispositivos espaciados a lo ancho de la cámara alargada, en situaciones en las que se contemplan cámaras de flotación de mayor diámetro.
- En algunas realizaciones, el conducto de salida se conecta operativamente a dicho dispositivo de tratamiento secundario.
- En algunas realizaciones, el dispositivo de regulación de la profundidad de la espuma incluye un sistema de guiado del movimiento, de modo que el dispositivo es posicionable de forma móvil en relación con la cámara a lo largo de un eje vertical de movimiento.
- En algunas realizaciones, el sistema de guía de movimiento incluye un bastidor que se recibe en, y que se desliza a lo largo de, una o más pistas alargadas dispuestas en la pared interior de la cámara, y el cuerpo principal y/o el conducto de salida están conectados operativamente a dicho bastidor.
- En algunas realizaciones, el sistema de guía de movimiento está localizado dentro de la cámara.
- En algunas realizaciones, el armazón está provisto de uno o varios elementos de flotación que, al utilizarlo, hacen que flote en el agua de la cámara y, de este modo, posicionan el cuerpo principal en relación con la interfaz.
- En algunas realizaciones, el armazón está provisto de uno o varios elementos de lastre que, al ser utilizados, hacen que se hunda por debajo del agua de la cámara y, de este modo, posicionan el cuerpo principal en relación con la interfaz.
- En algunas realizaciones, la entrada que se dispone en uso para admitir agua contaminada en la cámara es un conducto que está conectado al bastidor y que se extiende por debajo del cuerpo principal.
- En realizaciones alternativas, el sistema de guía de movimiento incluye un montaje accionado mecánica o eléctricamente que se recibe en la parte superior de la cámara, a través del cual el conducto de salida, y por tanto el cuerpo principal al que está conectado operativamente el conducto de salida, puede elevarse o bajarse en relación con la cámara.
- En una realización alternativa, el aparato utilizado para controlar el contenido de agua de la capa de espuma está dispuesto en una localización fija dentro de la cámara, y la localización de la interfaz es ajustable en función del flujo del gas introducido, de modo que la profundidad de la espuma puede posicionarse de forma estable en relación con el aparato. En una realización particular, el aparato utilizado para controlar el contenido de agua de la capa de espuma comprende un controlador de flujo y una válvula de entrada en una línea de suministro de gas para controlar el flujo del gas introducido. En otra realización particular, el aparato utilizado para controlar el contenido de agua de la capa de espuma comprende además un dispositivo de generación de burbujas situado antes o en el punto en que el flujo

de gas introducido en la línea de suministro de gas entra en el agua situada en la cámara. En otra realización particular (adaptada únicamente a un tratamiento de flujo continuo), la interfaz de localización se gestiona mediante válvulas en las líneas de entrada y salida que se ajustan para cambiar las tasas relativas de entrada y salida de agua de la cámara.

En algunas realizaciones, el aparato utilizado para controlar el contenido de agua de la capa de espuma puede comprender realizaciones adicionales para controlar un parámetro físico de la capa de espuma. En una de sus formas, dicho dispositivo controla la ruta de flujo transversal de la espuma en la cámara, lo que resulta en el confinamiento y drenaje de la espuma. Los aparatos diseñados para confinar o comprimir una capa de espuma ascendente pueden provocar un drenaje adicional de la capa de espuma, y pueden incluir cambios en el área abierta de la sección transversal del flujo de espuma, por ejemplo, mediante el uso de aglomeradores de espuma, pasajes o canales de cuello estrecho o capilares, embudos cónicos, espumaderas, etc.

En un tercer aspecto, se proporciona un método según la reivindicación 1.

En un cuarto aspecto, allí está proporcionado un aparato para separar una cantidad de una sustancia de agua que está contaminado con la sustancia, el aparato comprendiendo: una cámara que tiene una entrada que se arregla en uso para admitir el agua contaminada dentro; un dispositivo de la introducción del gas localizado en una región más inferior de la cámara que en uso admite el gas en la cámara, el gas introducido para inducir el agua para circular a partir de una región cerca de la región más inferior hacia una región más superior de la cámara, y para producir una capa de la espuma que se levanta sobre un interfaz con el agua, una capa que incluya una cantidad concentrada de la sustancia; y por lo menos uno de: (i) un dispositivo de regulación de la profundidad de la espuma, en uso para mantener la profundidad de la capa de espuma por encima de la interfaz, y (ii) un dispositivo de regulación de la profundidad del agua, en uso para mantener la profundidad del agua en la cámara, siendo dichos dispositivos de regulación sensibles al movimiento en la localización de la interfaz, en el que el sistema está dispuesto en uso para contener la capa de espuma cerca de la región más superior de la cámara y para controlar el contenido de agua de la capa de espuma, para influir en la concentración de la sustancia en la misma.

En algunas realizaciones, el sistema de regulación de la profundidad de la espuma comprende: un cuerpo principal que se coloca en uso dentro de la cámara de dicho aparato, incluyendo el cuerpo principal una cavidad que está dispuesta en uso para orientarse hacia abajo en la cámara tal que la cavidad recibe una capa de espuma que se eleva dentro de la cámara por encima de la interfaz con el agua; una periferia exterior de la cavidad, y/o de una superficie exterior del cuerpo principal, dimensionada para estar en una relación de proximidad con una pared interior de la cámara, de manera que la capa de espuma se dirija sustancialmente hacia la cavidad; y dicha cavidad que tiene una abertura de salida superior en uso, a través de la cual la capa de espuma se desplaza o se retira para su posterior procesamiento a través de un conducto de salida.

En algunas realizaciones, el sistema de regulación de la profundidad del agua comprende además una bomba que responde al movimiento de la localización de la interfase, en uso para mantener la profundidad del agua por debajo de la interfase introduciendo líquido en la cámara para reemplazar el líquido que, con el tiempo, se elimina en la capa de espuma.

En algunas realizaciones, el aparato del cuarto aspecto tiene rasgos que son, por lo demás, los definidos para el segundo aspecto.

En un quinto aspecto, se proporciona un método para separar una cantidad de una sustancia orgánica primaria del agua que está contaminada inicialmente con dicha sustancia orgánica primaria y una sustancia orgánica secundaria mediante el uso de un método de separación por espuma aireada, durante el cual la mayor parte de la sustancia orgánica primaria se elimina del agua y la mayor parte de la sustancia secundaria no, en el que la sustancia orgánica primaria comprende al menos una del grupo: sulfonato de perfluoro-octano (PFOS); ácido perfluoro-octanoico (PFOA); ácido perfluoro-n-hexano sulfónico (PFHxS); ácido perfluorononanoico (PFNA); ácido perfluorodecanoico (PFDA/Ndfda); Compuestos de sulfonato de 6:2-fluorotelómero (6:2 FTS); compuestos de sulfonato de 8:2-fluorotelómero (8:2 FTS); y ácido perfluoro-octanoico (PFHpA); y en el que la sustancia orgánica secundaria comprende al menos una del grupo: ácido perfluoro-hexanoico (PFHxA); ácido perfluoro-butano sulfónico, (PFBS); y ácido perfluoro-pentano sulfónico (PFBeS).

En algunas realizaciones, las etapas del método del quinto aspecto son, por lo demás, las definidas para el primer aspecto.

En un sexto aspecto, se proporciona un método para separar una cantidad de una sustancia orgánica de una cantidad de agua que está contaminada inicialmente con dicha sustancia orgánica primaria, el método comprende la etapa de: (i) introducir un flujo de gas en un recipiente que contiene el agua para producir una capa de espuma que se eleva por encima de una interfase con el agua, incluyendo la capa de espuma una cantidad concentrada de la sustancia orgánica primaria que se elimina a continuación, y (ii) continuar introduciendo dicho gas en el agua hasta que dicha sustancia orgánica presente en el agua se reduzca a un nivel por debajo de una concentración de aproximadamente 5.0µg/l, en el que la sustancia orgánica comprende al menos una del grupo: sulfonato de perfluoro-octano (PFOS); ácido perfluoro-octanoico (PFOA); ácido perfluoro-n-hexano sulfónico (PFHxS); ácido perfluorononanoico (PFNA); ácido

perfluorodecanoico (PFDA/Ndfda); Compuestos de sulfonato de 6:2-fluorotelómero (6:2 FTS); compuestos de sulfonato de 8:2-fluorotelómero (8:2 FTS); y ácido perfluoro-octanoico (PFHpA).

En algunas realizaciones, dicha sustancia orgánica presente en el agua se reduce a un nivel inferior a una concentración de aproximadamente 2.0µg/l. En algunas realizaciones más específicas, dicha sustancia orgánica presente en el agua se reduce a un nivel inferior a una concentración de aproximadamente 1.0µg/l.

En algunas realizaciones, las etapas del método del sexto aspecto son, por lo demás, las definidas para el primer aspecto.

En un séptimo aspecto, se proporciona un método para separar una cantidad de una sustancia orgánica primaria del agua que está contaminada inicialmente con dicha sustancia orgánica primaria y una sustancia orgánica secundaria, mediante el uso de un método de separación por espuma aireada en el que el método comprende las etapas de: (i) introducir un flujo de gas en un recipiente que contiene el agua para producir una capa de espuma que se eleva por encima de una interfase con el agua, la capa de espuma incluye una cantidad concentrada de la sustancia orgánica primaria que se elimina a continuación, y también (ii) eliminar la sustancia orgánica secundaria mediante: (a) inclusión en dicha capa de espuma, o (b) volatilización a la atmósfera por encima del agua y la fase de espuma, en el que la sustancia orgánica primaria comprende al menos una del grupo: sulfonato de perfluoro-octano (PFOS); ácido perfluoro-octanoico (PFOA); ácido perfluoro-n-hexano sulfónico, (PFHxS); ácido perfluorononanoico (PFNA); ácido perfluorodecanoico (PFDA/Ndfda); Compuestos de sulfonato de 6:2-fluorotelómero (6:2 FTS); compuestos de sulfonato de 8:2-fluorotelómero (8:2 FTS); y ácido perfluoro-octanoico (PFHpA); y en el que la sustancia orgánica secundaria es al menos una del grupo que comprende: Hidrocarburos Totales del Petróleo (HTP), incluidos benceno, tolueno, etilbenceno y xileno (BTEX); Compuestos Orgánicos Volátiles halogenados, incluidos el 1,2-dicloroetano (DCE), el 1,1-dicloroetano, el ácido tricloroacético (TCA), el tetracloroetileno (PCE) y el tricloroetileno (TCE); e Hidrocarburos No Derivados del Petróleo, incluidos el metanol y el éter isopropílico.

En algunas realizaciones, dicha sustancia orgánica primaria presente en el agua se reduce a un nivel inferior a una concentración de aproximadamente 5.0µg/l. En algunas realizaciones más específicas, dicha sustancia orgánica presente en el agua se reduce a un nivel inferior a una concentración de aproximadamente 2.0µg/l. En algunas realizaciones aún más específicas, dicha sustancia orgánica presente en el agua se reduce a un nivel inferior a una concentración de aproximadamente 1.0µg/l.

En algunas realizaciones, las etapas del método del séptimo aspecto son, por lo demás, las definidas para el primer aspecto.

En un octavo aspecto, se proporciona un método de separación de capa de espuma de dos etapas para la eliminación de una cantidad de una sustancia del agua que está contaminada con la sustancia, el método que comprende las etapas de una primera etapa de: - admitir una cantidad inicial de agua, que incluye una concentración inicial de la sustancia, en una primera cámara a través de una entrada en la misma; - introducir un flujo de gas en la primera cámara, en el que dicho gas introducido induce un flujo de agua en la primera cámara; - producir una capa de espuma que se forma en, y que se eleva por encima de, una interfaz con dicho flujo de agua y de gas introducido en la primera cámara, la capa de espuma incluyendo una cantidad de agua y también una cantidad concentrada de la sustancia en comparación con su concentración inicial; - retirar al menos parte de la capa de espuma de una porción superior de la primera cámara, y transferir dicha capa de espuma a una segunda cámara, tal que durante o después de dicha etapa de transferencia, la capa de espuma se colapsa sustancialmente; con lo cual, cuando se ha transferido una cantidad suficiente de capa de espuma colapsada a la segunda cámara, el método comprende entonces las etapas de una segunda etapa de: - introducir un flujo de gas en la segunda cámara, en el que dicho gas introducido induce un flujo de agua en la segunda cámara; - producir una capa de espuma que se forma en, y que se eleva por encima de, una interfaz con dicho flujo de agua y de gas introducido en la segunda cámara, la capa de espuma incluyendo una cantidad de agua y también una cantidad concentrada adicional de la sustancia en comparación con su concentración inicial en la segunda cámara; - retirar al menos parte de la capa de espuma de una porción superior de la segunda cámara, y transferir dicha capa de espuma a otro recipiente, antes de someterse a otra etapa de tratamiento.

En algunas realizaciones, la sustancia comprende una sustancia perfluoroalquilada o polifluoroalquilada (PFAS), tal que la capa de espuma en la primera cámara incluía una cantidad de agua inferior a aproximadamente el 10 % de la cantidad inicial de agua en dicha cámara, y la cantidad concentrada de PFAS era superior a aproximadamente 10 veces su concentración inicial en el agua. En algunas realizaciones, después de producir la capa de espuma, la concentración de PFAS en el agua que permanece en la primera cámara era inferior a aproximadamente 5µg/l.

En algunas realizaciones adicionales, la capa de espuma en la primera cámara incluía una cantidad de agua inferior a aproximadamente el 5 % de la cantidad inicial de agua en dicha cámara, y la cantidad concentrada de PFAS era superior a aproximadamente 20 veces su concentración inicial en el agua. En algunas realizaciones, después de producir la capa de espuma, la concentración de PFAS en el agua que permanece en la primera cámara era inferior a aproximadamente 1µg/l.

En algunas realizaciones, la capa de espuma producida en la segunda cámara incluía una cantidad de agua inferior a aproximadamente el 5 % de la cantidad inicial del agua en dicha segunda cámara, y la cantidad concentrada de PFAS

era superior a aproximadamente 20 veces su concentración inicial en el agua en dicha segunda cámara. En algunas realizaciones, después de producir la capa de espuma, la concentración de PFAS en el agua que permanece en la segunda cámara era inferior a aproximadamente 4µg/l.

5 En algunas realizaciones adicionales, la capa de espuma en la segunda cámara incluía una cantidad de agua inferior a aproximadamente el 3 % de la cantidad inicial de agua en dicha segunda cámara, y la cantidad concentrada de PFAS era superior a aproximadamente 35 veces su concentración inicial en el agua de la segunda cámara. En algunas realizaciones, después de producir la capa de espuma la concentración de PFAS en el agua que permanece en la primera cámara era inferior a aproximadamente 2µg/l.

10 Los siguientes aspectos adicionales y realizaciones respectivas no son conformes a la invención y se presentan únicamente a título ilustrativo.

15 En otro aspecto más, se proporciona un método para separar una cantidad de una sustancia del agua contaminada con la sustancia, método que comprende las etapas de: (i) admitir dicha agua contaminada en una cámara a través de una entrada en la misma; (ii) introducir un flujo de gas en una región más baja de la cámara, en el que el gas introducido induce un flujo ascendente de agua en la cámara, y produce una capa de espuma que se eleva por encima de una interfaz con el agua en una porción superior de la cámara, la capa de espuma incluyendo una cantidad concentrada de la sustancia; y (iii) mantener la profundidad de la capa de espuma por encima de la interfaz mediante un dispositivo de regulación de la profundidad de la espuma que se puede posicionar de forma móvil en respuesta al movimiento de la localización de la interfaz; tal como se controla el contenido de agua de la capa de espuma cerca de la región superior de la cámara, para influir en la concentración de la sustancia en la misma.

20 En algunas realizaciones, el flujo ascendente de gas y la producción de la capa de espuma son continuos. La operación también puede realizarse por lotes para situaciones de tratamiento específicas.

En algunas realizaciones, la etapa de controlar el contenido de agua de la capa de espuma en la región superior de la cámara se realiza mediante al menos uno del grupo que comprende: controlar un parámetro físico del flujo de gas introducido; y controlar un parámetro físico de la capa de espuma.

25 En algunas realizaciones, la etapa de controlar un parámetro físico del flujo de gas introducido comprende el uso de un controlador de flujo y una válvula de entrada para controlar el flujo de dicho gas introducido en la cámara.

En algunas realizaciones, la etapa de control de un parámetro físico del flujo de gas introducido comprende el uso de un dispositivo de generación de burbujas situado antes de, o en el punto, en que dicho gas introducido entra en el agua situada en la cámara.

30 En algunas realizaciones, el dispositivo de regulación de la profundidad de la espuma está seleccionado del grupo que comprende: un dispositivo que es móvil dentro de la cámara en respuesta al movimiento de la localización de la interfaz; y un dispositivo que está dispuesto en una localización fija dentro de la cámara, y la localización de la interfaz responde al flujo del gas introducido.

35 En algunas realizaciones, la etapa de control de un parámetro físico de la capa de espuma comprende además el uso de un dispositivo para confinar la ruta de flujo transversal de la espuma en la región superior de la cámara, lo que da lugar al drenaje de dicha capa de espuma.

En algunas realizaciones, el método comprende además la etapa de eliminación de al menos parte de la capa de espuma de la región superior de la cámara. En una de estas formas, la capa de espuma se colapsa durante dicha etapa de eliminación de la región superior de la cámara, y antes de someterse a una etapa de tratamiento secundario.

40 En algunos ejemplos específicos, la capa de espuma se colapsa utilizando aparatos mecánicos del grupo que comprende: un rompedor de espuma, un dispositivo de extracción al vacío y un cabezal de extracción de espuma.

45 En algunas realizaciones del método, la etapa de tratamiento secundario para tratar la capa de espuma colapsada, incluyendo la sustancia concentrada, utiliza al menos uno de los procedimientos del grupo que comprende: absorción (utilizando carbón activado, arcilla o resinas de intercambio iónico), filtración (utilizando membranas de ósmosis inversa); e introducción de una cantidad adicional de gas en un aparato de contención separado para producir otra capa de espuma que comprende una cantidad concentrada adicional de la sustancia.

50 En algunas realizaciones del método, la sustancia es orgánica. En una forma, la sustancia orgánica es al menos una de las sustancias perfluoroalquiladas o polifluoroalquiladas (PFAS). En otras formas particulares, la sustancia perfluoroalquil o polifluoroalquil incluye una o más del grupo que comprende: sulfonato de perfluorooctano (PFOS); ácido perfluorooctanoico (PFOA); sulfonato de perfluorohexano (PFHxS); ácidos carboxílicos polifluorados, sulfonatos de alquilo y compuestos sulfonamidos de alquilo; y compuestos fluoroteliméricos, cada uno de los cuales tiene diferentes longitudes de cadena de carbono; e incluye precursores de los mismos.

55 En un aspecto aún más lejano, allí está proporcionado un aparato para separar una cantidad de una sustancia del agua que es contaminada con la sustancia, el aparato que comprende: (i) una cámara que tiene una entrada que se arregla en el uso para admitir el agua contaminada dentro; (ii) un dispositivo de la introducción del gas localizó en una

- región más inferior de la cámara que en el uso admite el gas en la cámara, el gas introducido para inducir el agua para circular a partir de una región cerca de la región más inferior hacia una región más superior de la cámara, y para producir una capa de la espuma que se levanta sobre un interfaz con el agua, una capa que incluya una cantidad concentrada de la sustancia; y (iii) un dispositivo de regulación de la profundidad de la espuma que se puede posicionar de forma móvil en respuesta al movimiento de la localización de la interfaz, en uso para mantener la profundidad de la capa de espuma por encima de la interfaz, en el que el aparato está dispuesto en uso para contener la capa de espuma cerca de la región más superior de la cámara y para controlar el contenido de agua de la capa de espuma, para influir en la concentración de la sustancia en la misma.
- En algunas realizaciones, la entrada está dispuesta en uso para la admisión del agua a la cámara en la región superior de la misma.
- En algunas realizaciones, se dispone una salida en uso para la salida de agua de la cámara en la región más baja de la misma, estableciendo así un flujo de agua en la cámara que es contracorriente al flujo de aire ascendente.
- En algunas realizaciones, dicha salida está en comunicación fluida con una entrada de una cámara adicional, estando dicha entrada situada en una región superior respectiva de la misma.
- En algunas realizaciones, la cámara comprende un recipiente cilíndrico alargado.
- En algunas realizaciones, el flujo de gas introducido en la cámara se controla mediante un controlador de flujo y una válvula de entrada en una línea de suministro de gas, en respuesta a una medición de uno del grupo que comprende: contenido de agua de la capa de espuma; estabilidad de la espuma de la capa de espuma; localización de la interfaz en la cámara.
- En algunas realizaciones, un dispositivo de generación de burbujas se localiza antes o en el punto en el que el flujo de gas introducido entra en el agua situada en la cámara.
- En algunas realizaciones, el dispositivo de regulación de la profundidad de la espuma está seleccionado del grupo que comprende: un dispositivo que es móvil dentro de la cámara en respuesta al movimiento de la localización de la interfaz; y un dispositivo que está dispuesto en una localización fija dentro de la cámara, y la localización de la interfaz responde al flujo del gas introducido.
- En algunas realizaciones, el dispositivo de regulación de la profundidad de la espuma está dispuesto para confinar la ruta de flujo transversal de la espuma en la cámara, dando como resultado el confinamiento de la espuma y el drenaje de dicha capa de espuma. Los aparatos diseñados para confinar o comprimir una capa de espuma ascendente pueden provocar un drenaje adicional de la capa de espuma, y pueden incluir cambios en el área abierta de la sección transversal del flujo de espuma, por ejemplo, mediante el uso de aglomeradores de espuma, pasajes o canales de cuello estrecho o capilares, embudos cónicos, espumaderas, etc.
- En algunas realizaciones, el aparato comprende además un dispositivo de eliminación de la capa de espuma en el que al menos parte de la capa de espuma se colapsa durante la eliminación de al menos parte de la capa de espuma de la región superior de la cámara, y antes de una etapa de tratamiento secundario. En una forma, el dispositivo de colapso de la capa de espuma incluye aparatos mecánicos del grupo que comprende: un rompedor de espuma, un dispositivo de extracción al vacío y un cabezal de extracción de espuma.
- En algunas realizaciones, el aparato comprende además un dispositivo de tratamiento secundario en uso para tratar la capa de espuma colapsada para la eliminación de la sustancia concentrada, en el que el dispositivo de tratamiento incluye al menos uno del grupo que comprende: absorción (utilizando carbón activado, arcilla o resinas de intercambio iónico), filtración (utilizando membranas de ósmosis inversa); e introducción de una cantidad adicional de gas en un aparato de contención separado para producir otra capa de espuma que comprende una cantidad concentrada adicional de la sustancia.
- Otros aspectos, rasgos y ventajas resultarán más evidentes a partir de la siguiente descripción detallada cuando se lea junto con los dibujos adjuntos que forman parte de esta divulgación y que ilustran, a modo de ejemplo, principios de las invenciones divulgadas.

Descripción de las figuras

Los dibujos adjuntos facilitan la comprensión del aparato, el sistema y el método divulgados en el presente documento.

- La Figura 1 muestra una vista esquemática lateral, en sección y en alzado de un aparato para separar una cantidad de una sustancia del agua contaminada con dicha sustancia, que incluye un dispositivo de regulación de la profundidad de la espuma situado en una cámara y que es móvil dentro de la cámara;

La Figura 2 muestra una vista esquemática lateral, en sección y en alzado de un aparato para separar una cantidad de una sustancia del agua contaminada con dicha sustancia, que incluye un dispositivo de regulación de la profundidad de la espuma situado en una cámara y que es móvil dentro de la cámara;

- La Figura 2A muestra una vista esquemática lateral, seccional y en alzado de las partes componentes del dispositivo regulador de la profundidad de la espuma y de la cámara de la Figura 2 cuando están en uso;
- La Figura 2B muestra una vista en sección transversal, en planta, del conjunto de las partes componentes del dispositivo regulador de la profundidad de la espuma y de la cámara de la Figura 2, vista en el plano de sección transversal X-X;
- La Figura 3 muestra una vista esquemática lateral, en sección y en alzado de un aparato para separar una cantidad de una sustancia del agua contaminada con dicha sustancia, que incluye un dispositivo de regulación de la profundidad de la espuma situado en una cámara y que es móvil dentro de la cámara;
- La Figura 3A muestra una vista esquemática lateral, seccional y en alzado de las partes componentes del dispositivo regulador de la profundidad de la espuma y de la cámara de la Figura 2 cuando están en uso;
- La Figura 4 muestra una vista esquemática lateral, seccional y en alzado de un sistema para separar una cantidad de una sustancia del agua contaminada con dicha sustancia, el aparato incluye múltiples cámaras dispuestas en serie y en comunicación fluida con una cámara adyacente, cada cámara respectiva tiene un dispositivo regulador de la profundidad de la espuma localizado en la misma, siendo cada dispositivo móvil dentro de cada una de dichas cámaras;
- La Figura 5 muestra una vista esquemática lateral, seccional y en alzado de una planta completa de tratamiento de aguas (WTP) para la eliminación de PFAS de aguas subterráneas impactadas en un emplazamiento de aviación a lo largo de 16 Etapas, incluyendo el aparato múltiples cámaras de lotes dispuestas en paralelo entre sí y cada una dispuesta para producir una capa de espuma que se forma en, y que se eleva por encima de, una interfaz con dicho flujo de agua y de gas introducido en cada cámara, controlándose el agua de la capa de espuma de modo que incluya una cantidad concentrada de la sustancia en comparación con su concentración inicial;
- La Figura 6 muestra una vista esquemática lateral, seccional y en alzado de las partes componentes de la planta de tratamiento de aguas (WTP) de la Figura 5, en forma de diagrama de control del sistema;
- La Figura 7 muestra una vista esquemática en perspectiva de un aparato de separación por flotación de espuma para la eliminación de una sustancia del agua contaminada con dicha sustancia; el aparato muestra la forma del recipiente y el sistema de entrada de aire;
- La Figura 7A muestra una vista lateral en alzado del aparato de separación por flotación de espuma para la eliminación de una sustancia del agua de la Figura 7;
- La Figura 8 muestra una vista esquemática en perspectiva y en sección del aparato de separación por flotación de espuma para la eliminación de una sustancia del agua de la Figura 7, mostrando la vista en sección detalles de los tubos de entrada de aire que están provistos de un venturi para crear burbujas, estando los extremos de los tubos localizados en el interior de la cámara;
- La Figura 8A muestra una vista lateral en alzado y en sección del aparato de separación por flotación de espuma para la eliminación de una sustancia del agua de la Figura 8;
- La Figura 8B muestra una vista en detalle de una parte de la cara exterior del aparato de separación por flotación de espuma para la eliminación de una sustancia del agua de las Figuras 8 y 8A;
- La Figura 9 muestra una vista esquemática en perspectiva y en sección del aparato de separación por flotación de espuma para la eliminación en la etapa secundaria (reconcentración, o hiperconcentración) de una sustancia del agua después de que ya se haya concentrado utilizando el aparato de la etapa primaria mostrado en la Figura 7 y en la Figura 8. El aparato de la Figura 9 muestra la forma del recipiente y el sistema de entrada de aire;
- La Figura 10 muestra un diagrama de flujo esquemático de los resultados experimentales obtenidos utilizando el aparato de separación por flotación de espuma a escala piloto de laboratorio para la eliminación de una sustancia del agua en las etapas primaria y secundaria. El diseño de algunos de los aparatos se muestra en la Figura 7, la Figura 8 y la Figura 9.
- La Figura 11 muestra una vista esquemática en planta superior de los componentes de la planta de tratamiento de aguas (WTP) de la Figura 5, en forma de diagrama de disposición del emplazamiento; y
- La Figura 12 muestra una vista esquemática en perspectiva de las partes componentes de la planta de tratamiento de aguas (WTP) de las Figuras 5 y 11.

Descripción detallada

La presente divulgación se refiere a los rasgos de una celda 10 de flotación y su uso para la eliminación de un contaminante orgánico de un suministro de agua que se bombea a dicha celda 10. Típicamente, dicha agua contaminada se ha obtenido mediante bombeo de extracción de un acuífero o almacenamiento de agua cercano que tiene un cierto nivel de contaminante(s) orgánico(s) que se han disuelto o dispersado en el mismo. También puede haber una pequeña cantidad de sólidos en suspensión, por lo que el agua puede tener cierta turbidez.

Refiriéndose a la Figura 1, la celda 10 de flotación tiene la forma de una columna 16 alargada y cilíndrica que tiene una cámara 18 interior. La columna 16 es de sección circular y se coloca verticalmente sobre el suelo 12 circundante. La columna 16 puede ser un tubo o una pluralidad de elementos 14 de carcasa de plástico duro o metal, para que sea suficiente para soportar la presión hidráulica de las profundidades de agua que debe contener, y no se colapse ni se corra.

La cámara interior de la cámara 18 tiene una entrada que está dispuesta para admitir material de alimentación de agua en la cámara 18 más cerca hacia el extremo 24 superior en uso de la celda 10 de flotación. En las Figuras 2 y 3, la entrada tiene la forma de un orificio 22, dispuesto en la pared exterior de la carcasa de la columna 16, y en cuyo interior se localiza un conducto 21, y orientado ortogonalmente al eje de elongación de la columna 16. En uso, el conducto o conductos 21 transportan un flujo de líquido que se bombea a través de los mismos desde un tanque de retención fuente (u otro tipo de depósito), a la cámara 18, y esto puede hacerse de forma continua o intermitente dependiendo de si la celda 10 de flotación está siendo operada en un modo de flujo continuo o por lotes.

En otras alternativas, por ejemplo, como se muestra en las Figuras 2A y 2B, la línea de suministro de agua de alimentación puede ser un tubo 21A que está colocado para extenderse desde arriba de la columna 16, y dispuesta para acceder a la cámara 18 en o cerca del extremo 24 superior de la columna 16. En ese ejemplo, el tubo 21A se une a la pared interior de la columna 16 mediante soportes o fijaciones similares.

En la Figura 1, la cámara 18 también tiene un dispositivo de introducción de gas en forma de rociador 26 o burbujeador (normalmente de metal sinterizado o de material cerámico) que está localizado en la cámara 18 cerca del extremo 25 más bajo. El rociador 26 está colocado alrededor del eje central de la columna 16, y está conectado a una línea 28 de suministro de gas que puede ser un tubo que se utiliza para cargar gas en la cámara 18 a través del rociador 26, el gas normalmente se hace fluir por medio de una bomba o alguna otra fuente de gas comprimido o presurizado que se encuentra cerca (no se muestra). El rociador 26 está localizado a una altura cercana al extremo inferior de la cámara 18 para desalentar la sedimentación de material particulado en ese extremo de la cámara 18.

Durante el uso, el gas se carga en la cámara 18 a una presión y una tasa de flujo que hace que se formen burbujas en el rociador 26 y luego, debido a la flotabilidad, asciendan a lo largo de la cámara 18. Normalmente, el gas utilizado es aire comprimido, pero pueden emplearse otros gases en función de las necesidades del emplazamiento. Por ejemplo, para oxigenar el agua, el gas introducido podría ser oxígeno y/u ozono, quizás mezclado con aire. Otra forma de introducir un gas consiste en instalar un dispositivo generador de burbujas en un tubo a través del cual se recircula una parte del agua de la cámara 18 mediante bombeo. El dispositivo de generación de burbujas puede ser algún tipo de dispositivo de inducción de gas en línea, tal como un restrictor venturi, en el que el gas se introduce en el flujo de líquido en movimiento por inducción, y luego el paso de flujo se expande inmediatamente, provocando así la formación de burbujas.

Cualquiera que sea la forma de conseguirlo, una vez formadas las burbujas de gas, subirán a la cámara 18 y se mezclarán con el agua que ha entrado en la cámara 18 a través del conducto 21, y ha llenado la cámara 18. Las burbujas subirán hacia el extremo 24 superior de la cámara 18 dentro de la columna 16, y durante este tiempo de residencia han tenido muchas oportunidades de interactuar con el agua, y para que las burbujas entren en contacto con contaminante(s) orgánico(s) presente(s). La cámara 18 está dispuesta de forma que dicha mezcla sea a contracorriente debido al encuentro del flujo ascendente de burbujas de aire con el flujo descendente de agua en la cámara 18.

En el extremo 24 superior de la cámara 18, la interacción de las burbujas y el contaminante orgánico en el agua da lugar a la formación de una capa 32 de espuma, que se desarrolla inmediatamente por encima de una interfaz localizada en el nivel 37 de agua dinámico elevado (DWL, o H) del agua que se encuentra dentro de la cámara 18. El nivel 34 de agua estático (o Hs) sube hasta el nivel 37 de agua dinámico (o H) una vez que se añade el flujo de aire durante el procedimiento de tratamiento. El nivel 37 dinámico del agua puede controlarse por diversos medios, incluido el diseño de la cámara y la salida, aunque el control principal se realiza mediante variaciones en la tasa de suministro de gas de entrada o en las tasas de entrada y salida de agua. En un ejemplo, la tasa de entrega de gas de entrada puede regularse utilizando información de un sensor de interfaz de nivel de agua que se encuentra dentro de la cámara 18, donde las señales de dicho sensor de nivel pueden enviarse a un sistema de control conectado a una válvula ajustable en la línea de entrega de gas, o las tasas de entrada y salida de agua.

En las Figuras 2, 3 y 4, la salida de la cámara está dispuesta para permitir que el agua salga de la cámara 18 más cerca hacia el extremo 25 inferior en uso de la celda 10 de flotación.

En dichas Figuras, la salida de la cámara adopta la forma de un orificio 36, dispuesto en la pared exterior de la carcasa de la columna 16, y en cuyo interior se localiza un conducto 23, y orientado ortogonalmente al eje de elongación de la columna 16. El conducto 23 está diseñado para permitir el flujo de líquido a través de él.

La capa 32 de espuma formada por encima de la interfaz con el nivel 37 dinámico de agua en la cámara 18 se elevará dentro de la columna 16 y aún más en el extremo 24 superior de la misma. La porción más húmeda de la capa 32 de espuma está más cerca de la interfase que se forma en la superficie superior del nivel 37 dinámico de agua en la cámara 18, y se drena progresivamente y se vuelve más seca a medida que la capa 32 de espuma se eleva más por encima de la interfase dentro de la columna 16. El material activo superficial transportado a la capa 32 de espuma incluye el contaminante orgánico. De este modo, el contaminante se concentra mucho más en la capa 32 de espuma en comparación con su concentración inicial en el agua de alimentación. La fase de espuma también tiene un volumen considerablemente menor para preparar el procesamiento secundario, en comparación con el volumen de agua de alimentación.

Una vez que la capa 32 de espuma drenada asciende hasta el extremo 30 superior de la columna 16, se utiliza un dispositivo de eliminación de espuma para retirar la capa 32 de espuma de la cámara 18. En la realización mostrada en la Figura 1, un dispositivo de eliminación de espuma en forma de campana 38 de succión de vacío cónica suspendida se baja hasta, y se coloca a, una distancia óptima por encima del nivel 37 dinámico del agua interfaz con la capa 32 de espuma en el pozo 14. Ahora también se debe hacer referencia a la cámara mostrada en la Figura 3 (y a los dibujos detallados de esta configuración de pozo mostrados en la Figura 3A) que también utiliza un sistema con una campana de succión de vacío cónica suspendida. (En la Figura 3, las partes funcionales similares a las mostradas en la Figura 1 reciben números de pieza similares).

En la Figura 1, y en la Figura 3, la espuma asciende por la campana 38 de concentración cónica y sale por una salida abierta situada en la parte superior (o vértice) de la campana 38. La espuma, que ahora está más seca como resultado de haberse escurrido al estar confinada por el paso de flujo cónico dentro de la campana 38, pasa entonces a un tratamiento posterior.

En el ejemplo de la Figura 4, la campana 38 de aspiración se utiliza para colapsar la espuma concentrada y hacer que fluya hacia arriba a través de un conducto 50 de vacío y hacia un recipiente 51 de recepción de concentrado líquido como parte del conjunto 40 de tubos conectado a un sistema de vacío accionado por una bomba 52. Este sistema permite preparar la espuma colapsada para su posterior procesamiento. La succión de vacío en la campana 38 se ajusta a un nivel mínimo suficiente para provocar el colapso de la capa 32 de espuma escurrida en forma líquida. Los experimentos han demostrado que la localización de la campana 38 de aspiración al vacío (que actúa como dispositivo de regulación de la profundidad de la espuma) controla la cantidad de agua en la capa 32 de espuma, lo que por tanto influye en la concentración de la sustancia contaminante alcanzada en la capa 32 de espuma.

En otro ejemplo de cómo optimizar el funcionamiento del sistema, la tasa de suministro de gas de entrada en la cámara 18 puede regularse utilizando la información de un medidor de conductividad, o un sensor de nivel de agua, que puede estar situado en o debajo de la campana 38 de aspiración de vacío, por ejemplo, en una pared interior de la cámara 18. Las señales del sensor de nivel de agua pueden proporcionar información sobre el contenido de agua de la capa 32 de espuma, y pueden enviarse a un sistema de control conectado a una válvula ajustable en la línea de suministro de gas. En tal ejemplo, si la capa 32 de espuma está insuficientemente seca, puede ser necesario disminuir el flujo de gas introducido en la cámara, porque se está moviendo demasiada agua en la capa 32 de espuma y el procedimiento no está concentrando suficientemente el contaminante. Por el contrario, si la producción de espuma es escasa o nula, puede ser necesario aumentar el caudal de gas introducido en la cámara 18.

En los casos en los que la campana de succión de vacío está dispuesta en una localización fija dentro de la cámara 18, es la localización de la interfaz en el nivel 37 dinámico de agua la que responde a los cambios en el flujo del gas introducido, y/o las tasas de entrada y salida de agua.

En el ejemplo de la Figura 3, en el que la campana de aspiración de vacío no se encuentra en una posición vertical fija con respecto a la columna, los sensores de nivel antes mencionados pueden informar a un sistema 60 de posicionamiento vertical para que la campana 38 de aspiración de vacío la desplace en dirección axial dentro de la columna 16 para alcanzar una posición adecuada con respecto a la interfaz en el nivel 37 dinámico de agua. El sistema de posicionamiento puede ser un accionamiento motorizado o algún tipo de sistema de poleas accionado mecánicamente para ajustar la altura de la campana 38 de aspiración.

En el ejemplo de la Figura 2, el dispositivo de regulación de la profundidad de la espuma incluye tanto la campana 38 de aspiración como un sistema de guía del movimiento en forma de un bastidor 62 que está acoplado a la campana 38 de aspiración y también está provisto de uno o más flotadores 64 de boya en su extremo inferior que, en uso, harán que el bastidor flote sobre el agua en la cámara 18. Estos flotadores 64 hacen que el bastidor 62 flote siempre a cualquier altura vertical de la interfaz 37 del agua tratada en la columna 16, y proporciona así una distancia fija y óptima entre el extremo inferior 66 de la boca abierta de la campana 38 de aspiración y la interfaz 37.

En este ejemplo, sea cual sea el nivel 37 dinámico del agua en la cámara, la campana 38 de aspiración puede mantener su posición vertical en relación con esa interfaz de capa de espuma sin necesidad de un sensor y un sistema

de control de nivel, ni de la intervención del operador. No se requiere ninguna etapa discreta de elevación o descenso de la campana dentro de la cámara 18 para mover la posición vertical de la campana 38 en relación con la interfaz 37 de espuma (como es el caso del ejemplo 38 de la Figura 3), y no se requiere ningún cambio del caudal de gas para mover la posición vertical de la interfaz 37 de espuma en relación con una campana 38 de aspiración (como es el caso del ejemplo de la Figura 1 con una campana de aspiración de posición vertical fija en la cámara 18).

El sistema de guiado del movimiento de la campana de aspiración 38 representado en la Figura 2 incluye tres carriles 70 en forma de barra en T, alargados y alineados axialmente en sentido vertical, que se ajustan a la pared interior de la cámara 18. Las porciones 68 respectivas de la ranura del marco se arreglan para recibir uno respectivo de estas pistas de la T-barra, y para resbalar libremente a lo largo de una lengüeta en el arreglo del estilo de la ranura. A su vez la campana 38 de aspiración está conectada operativamente a dicho bastidor mediante el conducto 72 de salida.

En diversos trabajos experimentales con este sistema, en el caso de fluidos que contienen altas concentraciones (>1000ug/l) de tensioactivos PFAS, la densidad de la espuma y el contenido de agua son elevados y es necesario que la campana de extracción se eleve a alturas que a veces superan los 0.5 m por encima del nivel dinámico del agua. Para concentraciones más bajas, la campana puede bajarse a menos de 0.1 m.

En funcionamiento, la celda 10 de flotación puede utilizarse para eliminar una sustancia tal como un contaminante orgánico del agua que se está tratando. La presente divulgación se refiere principalmente a la eliminación de una sustancia orgánica conocida generalmente como sustancia perfluoroalquilada o sustancia polifluoroalquilada (PFAS). Esto puede incluir uno o más del grupo que comprende: sulfonato de perfluorooctano (PFOS); ácido perfluorooctanoico (PFOA); ácido sulfónico de perfluoro-n-hexano, (PFHxS); ácidos carboxílicos polifluorados, sulfonatos de alquilo y compuestos sulfonamido de alquilo; y compuestos fluorotelméricos, cada uno de los cuales tiene diferentes longitudes de cadena de carbono; e incluyendo precursores de los mismos. Las principales sustancias de interés de este grupo son los PFOS, PFHxS y PFOA, que pueden persistir en el agua durante mucho tiempo.

A medida que se carga gas en la cámara 18 y se forman burbujas en el rociador 26, las burbujas ascienden a lo largo de la cámara 18 y se acumulan en la capa 32 de espuma localizada por encima de la interfase que se forma en la superficie superior del nivel 37 dinámico de agua.

Cuando el concentrado de espuma colapsado que contiene el contaminante o contaminantes orgánicos se ha descargado en un recipiente de recepción de concentrado líquido separado, o recipiente de eliminación, se pasa a un tratamiento secundario que implica una mayor concentración, destrucción o eliminación del contaminante.

En una opción de tratamiento secundario, se trata un líquido concentrado final para eliminar el contaminante o contaminantes orgánicos concentrados, por ejemplo, mediante absorción en sustratos sólidos o semisólidos (utilizando carbón activado, arcilla, resinas de intercambio iónico u otros materiales orgánicos), o mediante filtración (utilizando membranas de ósmosis inversa para filtrar y aumentar la concentración del contaminante o contaminantes y reducir los volúmenes de tratamiento). Una vez superada la capacidad de absorción de un sustrato, éste puede regenerarse o destruirse.

Otra opción para el tratamiento secundario es la concentración adicional de la espuma colapsada, que puede llevarse a cabo mediante un procedimiento similar al utilizado para la etapa de separación inicial y puede realizarse en un aparato de tratamiento en superficie donde la espuma colapsada se somete a una pulverización adicional de gas y a la concentración de espuma. Con este enfoque se pueden llevar a cabo varias etapas de concentración para minimizar el volumen de fluidos que requieren tratamiento. Los fluidos residuales producidos durante las etapas de concentración pueden reintroducirse al inicio del procedimiento o, en su caso, liberarse a un sistema de eliminación/tratamiento de residuos líquidos o al medio ambiente. A continuación, se describe con más detalle el sistema que se muestra en la Figura 4.

La Figura 4 ilustra una serie de columnas 16 de fraccionamiento de espuma, para favorecer la generación rápida de espuma mediante la aireación del agua que se está tratando en las columnas 16. El sistema mostrado puede funcionar mediante flujo continuo o como un procedimiento por lotes en función de la concentración y naturaleza de los contaminantes y co-contaminantes PFAS.

En una aplicación de flujo continuo, el aire se introduce en la base de cada columna 16 a través de un difusor/rociador y el agua contaminada se introduce cerca del extremo superior de cada columna de agua, saliendo continuamente a través de una salida en la base por debajo del difusor/rociador. Con este enfoque se establece un sistema de contracorriente dentro de la columna que permite el máximo contacto entre las burbujas de aire y el agua impactada, al tiempo que permite alcanzar una tasa de procesamiento continua.

En una aplicación por lotes, la columna se llena hasta un nivel predeterminado y este lote se trata dentro de los confines de la columna durante un periodo fijo antes de pasar a la siguiente fase del procedimiento de fraccionamiento. Este enfoque suele utilizarse cuando se requieren tiempos de retención más largos.

El difusor/rociador está diseñado para crear un espectro a medida de burbujas de tamaño óptimo, que ascienden por el agua dentro de la columna 16. La densa corriente de burbujas que se produce y la elevada área de superficie interfacial de las burbujas proporcionan tanto una agitación de mezcla suficiente como una fuerte atracción para los

PFAS que puedan estar presentes en solución en el agua de alimentación. Las moléculas de PFAS son barridas rápidamente del agua y arrastradas a la parte superior de la columna de agua. La espuma que se forma en la parte superior de la columna de agua está muy enriquecida en PFAS y, utilizando el cabezal de extracción al vacío, la espuma puede apiñarse y drenarse. Antes de que la espuma tenga la oportunidad de colapsar y disolverse de nuevo en el agua, es recogida por el cabezal de extracción por vacío y conducida a un tanque de recogida centralizado.

Estableciendo tasas de caudal adecuadas (y, por tanto, tiempos de detención), el agua que viaja a través de la columna (ahora deplecionada en PFAS) se descarga a través del conducto de salida cerca de la base de la columna y, a continuación, en una columna de fraccionamiento secundaria para su posterior tratamiento. Las aguas residuales fraccionadas que fluyen de la columna de tratamiento secundario se dirigen a un tanque de retención temporal y, sólo después de una evaluación posterior y la confirmación del cumplimiento de las directrices reglamentarias, se redirigen de nuevo a un sistema de eliminación/tratamiento de residuos líquidos o se liberan al medio ambiente.

El concentrado/espuma de PFAS extraído de las columnas de fraccionamiento primaria 16 y secundaria 16A se almacena temporalmente en un recipiente 51 "eliminador". Este material se sigue procesando en una tercera columna 16B de fraccionamiento especialmente diseñada para concentrados, con el fin de preparar un hiperconcentrado. El hiperconcentrado/espuma extraído de la tercera columna 16B de fraccionamiento se destina al almacenamiento y, finalmente, a la destrucción externa. El agua tratada que fluye por el conducto 76 desde la base de la columna 16B de fraccionamiento de concentrado se devuelve al tanque 74 de alimentación primario para su reprocesamiento o, en su caso, se redirige a un sistema de eliminación/tratamiento de residuos líquidos o se libera al medio ambiente. El aire de escape de vacío de todas las columnas de fraccionamiento se dirige a través de filtros absorbentes antes de su liberación a la atmósfera.

Resultados experimentales

Los inventores han producido resultados experimentales utilizando una configuración tanto de laboratorio (por lotes) como a escala piloto (continua) del nuevo aparato y método divulgados en el presente documento, para observar cualquier resultado beneficioso durante el funcionamiento del procedimiento de concentración de PFAS a partir de muestras de aguas subterráneas.

(1) Los inventores han descubierto que ciertos PFAS específicos pueden tratarse mediante esta técnica

Se ha eliminado con éxito mediante fraccionamiento de espuma (por debajo de los criterios para el agua potable o por debajo del nivel de notificación)		
Nombre del Compuesto	Abreviaturas	Nivel de Preocupación (Prioritario/Secundario/Otro)
Ácido perfluorohexano sulfónico	PFHxS	Prioridad
Ácido perfluorooctano sulfónico	PFOS	Prioridad
Ácido perfluorooctanoico	PFOA	Secundarios
Ácido Perfluorononanoico	PFNA	Otros
Ácido Perfluorodecanoico	PFDA/Ndfda	Otros
6:2 Sulfonato de Fluorotelómero	6:2 FTS	Otros
8:2 Sulfonato de Fluorotelómero	8: 2 FTS	Otros

Reducción Moderada por Fraccionamiento de Espuma		
Ácido Perfluoroheptanoico	PFHpA	Otros

Poco efecto del Fraccionamiento de Espuma		
Ácido perfluorohexanoico	PFHxA	Secundarios
ácido perfluorobutano sulfónico	PFBS	Secundarios
ácido perfluoropentano sulfónico	PFPeS	Secundarios

Los dos compuestos PFAS prioritarios más preocupantes (PFOS y PFHxS) pueden eliminarse con éxito mediante el fraccionamiento de espuma (FF). Del mismo modo, el FF resultó eficaz para eliminar físicamente el PFOA (un compuesto secundario prioritario) y otros cuatro compuestos de PFAS analizados habitualmente.

El ácido perfluoroheptanoico (PFHPA) se redujo moderadamente con FF. Se demostró que los otros tres compuestos prioritarios secundarios (PFHxA, PFBS y PFPeS) se ven afectados mínimamente, o no se ven afectados, por el FF, por lo que pueden separarse de los compuestos prioritarios primarios utilizando la separación por espuma que se ha desarrollado.

En resumen, el FF es idóneo para eliminar físicamente las moléculas PFAS prioritarias (incluidos otros co-contaminantes teóricos no PFAS), lo que permite reservar técnicas más sofisticadas (y costosas) como tratamientos de pulido para alcanzar concentraciones inferiores a los criterios de eliminación o vertido regulados.

(2) Los inventores han descubierto el intervalo de concentración de diferentes sustancias PFAS en el agua que puede tratarse eficazmente

Se ha demostrado que la técnica de separación física descrita en el presente documento puede utilizarse para tratar agua y concentrados contaminados por PFAS con un intervalo de concentración de tan sólo 0.05µg/l hasta 50,000µg/l.

(3) Los inventores han descubierto que otros contaminantes pueden tratarse con este sistema

La técnica de separación física descrita en el presente documento está diseñada para optimizar la creación de una espuma extraíble rica en contaminantes dentro de una columna de fraccionamiento. Entre los co-contaminantes que pueden tratarse eficazmente mediante este mismo procedimiento se incluyen:

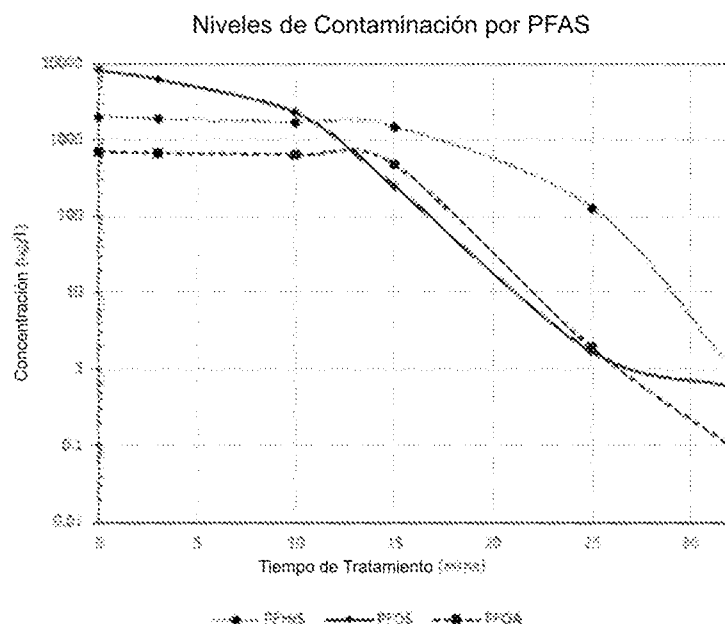
- Hidrocarburos Totales del Petróleo (HTP), incluidos benceno, tolueno, etilbenceno y xileno (BTEX);
- Compuestos Orgánicos Volátiles Halogenados, incluidos el 1,2-dicloroetano (DCE), el 1,1-dicloroetano, el ácido tricloroacético (TCA), el tetracloroetileno (PCE) y el tricloroetileno (TCE)
- Hidrocarburos no petrolíferos (metanol y éter isopropílico)

Otros contaminantes que también se reducirán son: Acetona, PAHs (naftaleno y PAHs de 2- y 3- anillos), MTBE, MIBK, MEK. Los detalles de la reducción de los co-contaminantes con el FF se están evaluando en ensayos de laboratorio y de campo.

(4) Los inventores han medido la eficacia de este sistema para tratar los PFAS

Los inventores recogieron 960 l de aguas subterráneas contaminadas en el Emplazamiento 1 y 40 l de agua almacenada en un tanque sobre el suelo situado en el Emplazamiento 2. Estas aguas se combinaron finalmente en un IBC y aproximadamente 550 l de la mezcla resultante se pasaron por una columna de fraccionamiento para crear un concentrado. A continuación, este concentrado se sometió a una columna de fraccionamiento secundaria para crear un hiperconcentrado. Las concentraciones inicial y final del fraccionado se muestran en la tabla y el gráfico siguientes:

Tiempo de Tratamiento (min)	Concentración de PFAS (ug/l)		
	PFHxS	PFOS	PFOA
0	2000	8400	700
3	1900	6400	680
10	1700	2300	640
15	1500	250	480
25	130	1.7	1.9
32	1.1	0.6	0.1



Eliminación Prioritaria de Compuestos PFAS: Los datos del estudio demuestran que los compuestos prioritarios pueden tratarse hasta niveles cercanos o inferiores a las directrices recreativas a partir de concentrados fuente altamente contaminados. Las dianas de agua potable de 0.07 µg/l podrán alcanzarse ampliando los tiempos de detención dentro de la columna o redirigiendo los fluidos a través de un procedimiento alternativo de "pulido".

Reducción del Volumen Global: Al utilizar un segundo fraccionador para tratar el concentrado, la OPEC pudo crear un flujo de residuos (hiperconcentrado) con un volumen x400 inferior al del agua original.

Huella y necesidad de energía

En la tabla siguiente se presenta la huella estimada y el consumo de energía de tres sistemas de tratamiento de distinto tamaño:

Tamaño del Sistema	Consumo de Energía	Huella	Método de Transporte
500 l/h	4 kW	3.5m ²	Montado sobre Patines
2000 l/h	12 kW	8.0m ²	Montado sobre Patines
5000 l/h	21.5 kW	14.4m ²	Recipiente de 20 pies

Ms 1213

Tiempo de Ejecución	A = Caudal de Aire (l/min)	H = Columna de Agua (mm)	F = Vol Concentrado (ml)	Muestra ID	PFHxS	PFOS	PFOA	Observaciones
0	0.5	1250		08-01	2000	8400	700	
Tiempo de Ejecución	A = Caudal de Aire (l/min)	H = Columna de Agua (mm)	F = Vol Concentrado (ml)	Muestra ID	PFHxS	PFOS	PFOA	Observaciones
3	0.5	1150		08-02	1900	6400	680	Cabezal de aspiración ajustado a 1635 mm
5	1			-				Cabezal de espuma resistente
10	1.5	1070		08-03	1700	2300	640	

(continuación)

Tiempo de Ejecución	A= Caudal de Aire (l/min)	H= Columna de Agua (mm)	F= Vol Concentrado (ml)	Muestra ID	PFHxS	PFOS	PFOA	Observaciones
15	2.5			08-04	1500	250	480	Debilitamiento de la cabeza de espuma, aumento del caudal de aire
18	3.5							La cabeza de espuma sigue debilitándose, puede correr más aire
20	4							
22	4							Altura de aspiración rebajada a 1330 mm, Hd=1070 mm
24	4							Cabezal de aspiración rebajado a 1200
25	4			08-05	130	1.7	1.9	
26	4							Altura de aspiración reducida a 1100, Hd = 970 mm
32	4		250	08-06	1.1	0.58	0.1	Experimento Detenido tras 32 minutos, sin espuma visible
				08-07	8600	47000	4200	Hiperconcentrado Muestreado

99.95% Eliminació n	99.99% Eliminació n	99.99% Eliminació n
---------------------------	---------------------------	---------------------------

A partir de lo anterior, se entenderá que al menos algunas realizaciones de aparatos y métodos de acuerdo con las presentes invenciones proporcionan una o más de las siguientes ventajas, en comparación con los métodos de tratamiento convencionales:

- Se produce un menor volumen de licor concentrado de PFAS para las etapas de tratamiento secundario;
- Se requiere una planta de tratamiento secundario más pequeña;
- Se consigue un menor tiempo total de tratamiento en comparación con los sistemas estándar de "bombeo y tratamiento";
- Un menor volumen de licor concentrado significa que es factible utilizar un procedimiento de destrucción completo (no eliminación en vertedero);
- Tiene la capacidad de extraer el contaminante del agua bombeada del suelo contaminado en lugar de realizar un tratamiento químico in situ, que puede no funcionar (o ser reversible), y puede no alcanzar todos los niveles de contaminación de las aguas subterráneas.
- El aparato puede configurarse para su uso en muchos tipos diferentes de situaciones de remediación, incluyendo zonas de origen, puntos calientes, rutas de migración - es posible ajustar unas pocas variables simples tales como la succión de vacío, la distancia desde el aparato de succión a la interfaz líquido-fango, y la tasa de flujo de aire de flotación, y hacer frente a cualquier concentración de contaminante.
- El sistema puede ampliarse fácilmente para satisfacer las necesidades específicas del emplazamiento, ya que las columnas de fraccionamiento, las bombas, los sistemas de vacío, las tuberías y las conexiones están formados por componentes estándar; la ampliación es simplemente una cuestión de replicar los sistemas en

paralelo, y los tamaños de las bombas y los soplantes pueden ajustarse (hacia arriba o hacia abajo) para satisfacer los requisitos modificados.

- Un procedimiento de separación física externo al suelo evita el uso de sustancias químicas potencialmente peligrosas como parte de los enfoques de tratamiento químico *in situ*, y no genera subproductos ni residuos.
- Dependiendo de las concentraciones iniciales, los experimentos de extracción al vacío han creado concentrados de entre 1/10 y 1/45 del volumen de fluido original y un agua de procesamiento residual esencialmente desprovista de PFAS.
- El refraccionamiento posterior de los concentrados (y la amalgamación de las aguas limpias del procedimiento) crea hiperconcentrados que reducen la relación total a aproximadamente 1/400 del volumen de fluido original.
- El enfoque de extracción por vacío también permite las siguientes mejoras de rendimiento:
 - La espuma de PFAS se rompe durante el procedimiento de extracción y crea un fluido con pocas burbujas.
 - La altura de la campana de extracción puede ajustarse fácilmente para minimizar la extracción de espuma "húmeda", dando demasiada agua de arrastre y dilución.
 - La campana de aspiración transporta el concentrado líquido rico en PFAS resultante fuera del recipiente de fraccionamiento, que a diferencia de la flotación de partículas convencional u otro fraccionamiento de espuma no transporta directamente un flujo volumétrico fuera del recipiente primario.

Detalles de diseño de la planta piloto

Los inventores se contrataron para diseñar, suministrar, construir, poner en marcha y explotar una planta de tratamiento de aguas (WTP) para la eliminación de PFAS de las aguas subterráneas afectadas en una base de aviación.

El alcance de las obras de este proyecto implica la extracción de aguas subterráneas que hayan sido afectadas por PFAS, el tratamiento del agua *in situ*, la prueba del agua para calificar la eliminación de PFAS y la reinyección/desembalse de nuevo al suelo. Los pozos de extracción y los pozos de reinyección/equipos de desembalse no se incluyeron en el alcance de los trabajos, sin embargo, el suministro, la instalación y la gestión de las bombas de los pozos de aguas subterráneas, la potencia de las bombas y el control de las bombas forman parte del procedimiento.

Entre los rasgos principales de las obras figuran:

- Diseño, desarrollo, fabricación y puesta en servicio previa de una Planta de Tratamiento de Agua (WTP) fuera de las instalaciones.
- Movimiento de tierras, obra civil y constructo de un área de acopio para la WTP, incluyendo caminos de acceso, terraplenes y vallado perimetral.
- Suministro, instalación y puesta en marcha de hasta 20 bombas para pozos de aguas subterráneas en diversas localizaciones.
- Entrega en obra, montaje, constructo y puesta en marcha de la WTP.

Las condiciones climáticas utilizadas para el proyecto se basan en datos meteorológicos de la Oficina de Meteorología. Las estadísticas de temperatura y precipitaciones se toman de las estaciones meteorológicas más cercanas al emplazamiento.

Tabla 1: Condiciones generales del Emplazamiento

Condición	Valor	Unidades
Temperatura Máxima más Alta	42.8	°C
Temperatura Mínima más Baja	-7.5	°C
Temperatura Media Máxima	31.0	°C
Temperatura Mínima Media	2.9	°C
Máxima Precipitación Diaria Registrada	130.0	mm
Velocidad Máxima de la Ráfaga de Viento	161	km/h
Velocidad Media del Viento	18.6	km/h

Las bases del diseño de la WTP se identifican en la Tabla 2: -

Tabla 2: Parámetros de Diseño

Condición	Valor	Unidades
-----------	-------	----------

Volumen de Tratamiento de Aguas Subterráneas (requisito contractual)	1.5	MI/semana
Volumen de Tratamiento de Diseño de la WTP	250	kl/día
Número de pozos de Extracción de agua gruesa Desarrollados (Concepto Diseño del campo de pozos)	Hasta 20	ea
Tasa de Extracción de Diseño	2.9	l/s
Distancia de los Pozos de Extracción a la WTP	~650	m
Memoria Descriptiva del Diseño de la Bomba de Extracción - Tasa de Caudal para el Diseño del Campo de Pozos de Concepto Desarrollado.	0.14 a 0.2 @ 20	l/s mbgs
Número de Pozos de Reinyección de Agua Tratada	Hasta 8	ea
Diseño Tasa de Reinyección / Dispersión	2.9	l/s
Distancia de la WTP a los Pozos de Reinyección Cantidad contractual Hasta 150 m de poliducto por encima del suelo.	~430	m
Máximo PFOS +PFHxS	<0.07	µg/l
PFOA Máximo	<0.56	µg/l
Media Aritmética Móvil de Cinco Muestras Consecutivas de PFOS + PFHxS	<0.02	µg/l
Parámetros Preliminares de Calidad del Agua del Acuífero en Recuperación	Parámetros bajo evaluación	

Filosofía del diseño

La WTP requerirá una capacidad de funcionamiento 24/7, excluyendo el mantenimiento programado y reactivo, con periodos con personal de lunes a sábado durante el día. El sistema se ha diseñado teniendo en cuenta los siguientes criterios: -

- Diseño de sistemas con base en el rendimiento con minimización de residuos.
- Selección de equipos con base en un funcionamiento robusto y continuo.
- Diseño modular de la planta que reduce la dependencia entre los procedimientos unitarios de cada fase de tratamiento.
- Diseño de la planta que permita la flexibilidad para la derivación, ampliación o reducción de ciertas etapas según sea necesario.
- Estructura del procedimiento que permite una interrupción mínima de las operaciones de mantenimiento, rejuvenecimiento o sustitución de la resina.
- Diseño del procedimiento que utiliza el carrusel "Adelanto - Retraso - Espera" para pulir la resina y minimizar el riesgo de que se rompa.
- Sistema de control que proporciona una visión completa del procedimiento con alarmas y protección funcional.
- Sistema de control que permite la notificación remota de alarmas del sistema en los puntos de ajuste de Nivel Alto y Nivel Bajo.
- Sistema de control que cierra automáticamente cualquier electroválvula de etapa asociada y/o detiene el funcionamiento de la bomba cuando se han activado los puntos de ajuste de Nivel Alto-Alto y Nivel Bajo-Bajo.
- Diseño del sistema para reducir al mínimo la exposición potencial al agua o los residuos afectados por PFAS.

La Figura 5 ilustra el Esquema del Sistema WTP / Diagrama de Flujo del Proceso que identifica todas las etapas desde la extracción del agua subterránea (Etapa 1) hasta el retorno / reinyección del agua tratada (Etapa 16). A continuación, se describe cada etapa.

El diagrama de flujo del procedimiento WTP se ha elaborado de manera que las etapas sean independientes entre sí para garantizar que el rendimiento de cada una de ellas sea óptimo. Siempre que sea posible, cada etapa tiene su propio tanque de almacenamiento / alimentación que permite el control de nivel para proporcionar protección contra el sobrellenado de la etapa anterior y también la protección de la bomba para la etapa actual. Esto también permite

que las bombas funcionen con los parámetros de diseño especificados utilizando un sencillo control de nivel para el funcionamiento de encendido/apagado. El diagrama de control de flujo del procedimiento WTP para el sistema se muestra en la **Figura 6**.

Fase 1 - Fuente de agua subterránea

- 5 El alcance de los trabajos de la fase 1 incluye el suministro, la instalación, la puesta en marcha y la explotación de las bombas de los pozos de aguas subterráneas y la conducción desde la localización de los pozos de aguas subterráneas hasta la WTP.

El diseño del campo de pozos incluye hasta 20 pozos de extracción que requieren aproximadamente 650 m de tubería; y hasta 8 pozos de reinyección que requieren aproximadamente 430 m de tubería desde la localización de la WTP. Los pozos de extracción se han clasificado como de prioridad alta, media y baja con base en sus rendimientos previstos y los niveles de concentración de PFAS. Hay 9 pozos de extracción de prioridad alta, 7 de prioridad media y 4 de prioridad baja, todos ellos localizados dentro de áreas de servicio subterráneas muy densamente pobladas y con 6 de los pozos de extracción localizados en áreas con riesgo de extraer contaminación por hidrocarburos de una pluma líquida ligera en fase no acuosa. Del mismo modo, los pozos de reinyección se han clasificado en 4 de prioridad alta, 15 2 de prioridad media y 2 de prioridad baja.

El objetivo principal de la clasificación de la red de pozos es explotar primero los pozos prioritarios y probar sus características de rendimiento inmediatamente después de la perforación para determinar si es necesario explotar los pozos menos prioritarios y ahorrar costes al proyecto.

- 20 La WTP está preparada para procesar 250 kl diarios, lo que permitirá cumplir el volumen contractual de 1.5 Ml/semana. Los 250 kl diarios que requiere el procedimiento equivalen a 174 l/min o 2.9 l/s si funciona las 24 horas del día, los 7 días de la semana.

Todas las tuberías entre el colector del pozo de aguas subterráneas y la WTP serán tubos de HDPE enterrados. El tamaño y la memoria descriptiva actuales serán los de un tubo de presión según AS/NZS 4130, DN63 SDR11 PN16 PE 100 (negro con raya azul) que experimentará una velocidad de flujo de aproximadamente 1.5 m/s con un caudal 25 total de 2.9 l/s y tiene una presión nominal de 1,600 kPa a 20 °C. Se utilizará una zanja común para el tubo de agua, los conductos/cables eléctricos y el cableado de comunicaciones/control.

Etapas 2 - Almacenamiento Previo al Procesamiento y Sedimentación de Sólidos

La **etapa 2** de la WTP se identifica como almacenamiento previo al procesamiento y sedimentación de sólidos. El objetivo principal de esta etapa es permitir la sedimentación de los sólidos en suspensión de las aguas subterráneas 30 extraídas antes del procedimiento WTP. Se ha seleccionado un tanque de fondo inclinado de 16 kl para poder retirar los lodos de sólidos en suspensión de un desagüe de punto bajo sin tener que vaciar el tanque, o detener el procedimiento y entrar en el tanque. La salida del agua de tratamiento de este tanque se situará muy por encima del fondo del tanque para garantizar que los sólidos sedimentados no se alteren ni se mezclen durante su envío a las etapas siguientes. Los lodos residuales de este tanque se retirarán, secarán y eliminarán.

- 35 Se ha incluido un punto de muestreo (SP2-01) en la **Etapas 2** para permitir el análisis de las aguas subterráneas entrantes antes de cualquier procedimiento por parte de la WTP. Esta etapa también incluye un caudalímetro que se utilizará para medir y registrar las tasas totales de caudal del agua de origen y los volúmenes de caudal acumulados.

Etapas 3 - Separación y Eliminación de Hidrocarburos

La **etapa 3** de la WTP se identifica como separación y eliminación de hidrocarburos. Los hidrocarburos se encuentran 40 con frecuencia en las aguas subterráneas de una base aérea militar y pueden tener un efecto nocivo en los procedimientos posteriores, tales como la flotación por espuma, así como contaminar las resinas de intercambio iónico.

Esta etapa incluye un Separador de Aguas Aceitosas Baldwin (OWS) o un separador de placas coalescentes (CPS). El Separador de Agua Aceitosa Baldwin elimina cualquier hidrocarburo en fase libre del agua subterránea con base en la Ley de Stokes, que es la ley física que rige la tasa de sedimentación/subida de una partícula/gotas en una corriente 45 de fluido. El agua subterránea se extrae del tanque a través de una bomba de diafragma no emulsionante hasta el separador de placas coalescentes situado en la superficie. La CPS está diseñada para eliminar los hidrocarburos no disueltos y los sólidos en suspensión hasta un nivel adecuado para su vertido a las aguas pluviales. El agua pasa por las placas coalescentes y luego por una cámara de pulido antes de almacenarse en una cámara de descarga. Habrá tres flujos de residuos procedentes del CPS. Los residuos sólidos se recogerán del desagüe del punto bajo situado 50 bajo la placa coalescente del CPS. Los hidrocarburos en fase libre se separarán en un tanque de recogida dentro de la CPS y se drenarán por el desagüe del punto bajo. Los filtros de pulido de tejido se sustituirán según sea necesario cuando se saturan de hidrocarburos. Todos los residuos se retirarán, se secarán (cuando proceda) y se eliminarán.

Etapas 4 - Preproceso de Almacenamiento y Aireación

La etapa 4 incluye un tanque de almacenamiento de 10 kl con fines de aireación antes de la etapa 5. Los cálculos determinaron que el Fe (el principal analito de interés) podía oxidarse eficazmente por aireación y se decidió que el procedimiento mecánico era el más práctico. Un procedimiento mecánico que utilice venturis o difusores, sólo añade aire y oxígeno disuelto a las aguas subterráneas y elimina la necesidad de almacenamiento, manipulación y tratamiento de productos químicos peligrosos, y también es menos probable que tenga efectos más amplios en la composición de las aguas subterráneas.

La oxidación se logrará utilizando una bomba de gran caudal conectada a varios venturis, que introducirán burbujas de aire y oxígeno en el agua. El aire introducido facilitará la oxidación del Hierro (Fe) y Manganeseo (Mn) disueltos, cuyos óxidos precipitarán de la solución para permitir la eliminación por filtración en la etapa 6. La eliminación de estos iones depende de las aguas subterráneas del lugar y del alcance de los efectos posteriores en las etapas de fraccionamiento de la espuma.

El tanque se ha dimensionado para 10 kl y se equipará con una sola bomba con 2 venturis de 50 mm que proporcionarán una aireación adecuada para el volumen. Este tanque también proporcionará un almacenamiento adicional equivalente a 1 hora de funcionamiento de la WTP a pleno caudal para reducir la dependencia de la WTP del Separador de Aguas Aceitosas o del mantenimiento de la filtración.

El tanque de la Etapa 4 incluirá sensores de nivel alto y bajo para el control del funcionamiento de la bomba del Separador de Aguas Aceitosas de la Etapa 3 y también para proporcionar protección a la bomba de la etapa siguiente, respectivamente. Se ha incluido un punto de muestreo (SP4-01) en la **Etapa 4** para permitir el análisis del tratamiento del separador de aguas oleosas previo al reactor de flujo tapón de oxidación.

Etapa 5 - Reactor de Flujo de Tapón de Oxidación

La etapa 5 de la WTP se identifica como un reactor de flujo tapón de oxidación y permite que el agua aireada de la etapa 5 amplíe el tiempo de permanencia para la oxidación y precipitación de Fe y Mn. El procedimiento consiste en un sencillo método mecánico para ampliar la ruta del agua manteniendo el mismo tapón o volumen de agua, lo que permite la reacción con el oxígeno disuelto durante más tiempo. El reactor de flujo tapón se fabricará con bobinas de tubo de polietileno que producirán un recorrido de 800 m de largo para el paso del agua. El agua estará sometida a una temperatura elevada por el tubo de polietileno negro, lo que contribuirá aún más al procedimiento de oxidación.

Etapa 6 - Eliminación de Sólidos en Suspensión

La etapa 6 incluye una serie de filtros de mangas para la eliminación de partículas sólidas finas en suspensión. La primera etapa de filtración utilizará bolsas filtrantes de 5 micras para eliminar las partículas más grandes. La segunda etapa utilizará dos filtros absolutos de 1 micra en paralelo para mantener el caudal requerido. Se han incluido alarmas diferenciales de presión en todos los filtros para supervisar los niveles de los medios filtrantes y emitir alarmas a través del PLC antes de que se apague la bomba.

Los residuos recogidos en los filtros se retirarán, secarán y eliminarán. Se ha incluido un punto de muestreo (SP7-01) después de la **Etapa 6** para permitir el análisis del agua tratada después de esa etapa.

Etapa 7 - Fraccionamiento Activo de Espuma en Superficie (SAFF)

La etapa 7 de la WTP se identifica como fraccionamiento de espuma tensioactiva (SAFF) y consiste inicialmente en bombear las aguas subterráneas pretratadas a una serie de cinco recipientes de fraccionamiento de 2 kl. El llenado, fraccionamiento y vaciado de los recipientes se realizará en un procedimiento por lotes y por etapas, de modo que cuando se llene el quinto recipiente, se habrá completado el fraccionamiento del primero y se habrá vaciado ese recipiente. Este procedimiento permite utilizar una bomba de alimentación para llenar los cinco recipientes y una bomba de descarga para vaciarlos. El procedimiento funcionará de forma continua 24/7, y el fraccionamiento sólo se interrumpirá para realizar tareas de mantenimiento o cuando el caudal de las aguas subterráneas sea bajo, lo que introduce retrasos en el procesamiento entre etapas.

Debido a las bajas concentraciones de PFAS en las aguas subterráneas, utilizar un sistema primario de extracción de espuma al vacío en cada recipiente en esta etapa del procedimiento consumiría mucha energía para extraer muy poca espuma. El trabajo de prueba demostró que el uso de un dispositivo de succión de fraccionamiento como parte de un procedimiento por etapas era bastante satisfactorio para eliminar los PFAS del agua en concentraciones relativamente altas.

El procedimiento por etapas adoptado consiste en llenar inicialmente el recipiente hasta una altura inicial que se establece para garantizar que no se expulse demasiada agua/espuma a través de la campana durante la aireación de arranque. Una vez que la carga inicial de PFAS tensioactivos ha atravesado la campana en forma de espuma (normalmente en menos de 5 min), el operador introduce en el tanque principal una alimentación por rebosamiento de bajo caudal de la misma fuente de agua original, lo que hace que los PFAS residuales mínimos que se acumulan en la superficie del agua rebosen por la parte superior de la chimenea cónica/tapa transparente situada en la parte superior de la tapa de cada tanque. Esta tapa superior del tanque permite una inspección visual de lo que está

ocurriendo en el interior de los tanques, permite al operario estudiar el estado de la espuma y también da una rápida indicación visual del nivel de agua.

En relación con este procedimiento de desbordamiento, los inventores descubrieron que orientando en una dirección los codos de 90 grados de ángulo situados en el extremo de los tubos de aire que llevan el aire a los tanques a través de la boquilla venturi y al interior del tanque, se producía una acción de arremolinado circular. Esto había tenido algún beneficio positivo al reducir la turbulencia aparente de la superficie del agua en la campana. Si todas las salidas venturi del tanque apuntaban en una dirección tangencial a la pared interior del tanque, se introducía un remolino circular que reducía la turbulencia aparente de la superficie del agua dentro del tanque, al tiempo que reducía la coalescencia de las burbujas (observada por la cámara subacuática) para crear un vórtice de remolino generalmente suave dentro del tanque. Al tener un flujo laminar alrededor de las paredes interiores, esto ayuda a la reducción general del flujo turbulento en el tanque y, por lo tanto, contribuye a un flujo mucho más estable de la capa de espuma por encima de la interfaz, para ayudar a que se mueva de forma estable fuera del recipiente de fraccionamiento de espuma.

Las Figuras 7, 7A, 8, 8A y 8B son dibujos del recipiente de fraccionamiento SAFF en los que se muestran los anillos de colectores de tuberías de agua y aire, que dan servicio a los venturis que se encuentran en la base del tanque y también la campana. Estas unidades SAFF funcionan eficazmente en modo lote, para extraer la máxima recuperación de PFAS en los concentrados de espuma.

El trabajo ha demostrado que, en la primera etapa de tratamiento de 250,000 l de líquido contaminado enviado a lote SAFF producirá 12500 l de concentrado (que contiene una concentración de PFAS de 581µg/l), y 237,500 l de subflujo con orgánicos eliminados con una concentración de PFAS de 1µg/l. Esto representa una reducción de volumen del 95 % y un factor de concentración de $581/30 = 19.3$.

El concentrado de espuma/líquido rico en PFAS generado desde la parte superior de los cinco recipientes de fraccionamiento se dirigirá a un tanque de almacenamiento de 5 kl en la Etapa 8, donde se recogerá para llenar el recipiente de fraccionamiento de hiperconcentrado.

La Tabla 7 ilustra la reducción prevista del volumen de agua y el aumento asociado de la concentración de niveles de PFAS en todo el procedimiento WTP.

El agua tratada drenada de los recipientes de fraccionamiento de la Etapa 7 (que representa aproximadamente el 95 % de la afluencia total) se bombeará a las etapas de tratamiento de resina de la WTP con una concentración estimada de PFAS inferior a 1 µg/l.

El concentrado enriquecido con PFAS procedente de los fraccionadores de la Etapa 7 (que representa aproximadamente el 5 % del caudal total) se dirigirá a la unidad de hiperconcentración de la Etapa 8.

Se ha incluido un punto de muestreo (SP8-01) en el tanque de almacenamiento (T8-01) después de los recipientes SAFF de la Etapa 7 para permitir el análisis de las aguas residuales concentradas en PFAS antes de la hiperconcentración. Se ha incluido un punto de muestreo (SP12-01) en el tanque de almacenamiento (T12-01) en la etapa 12 para permitir el análisis del agua tratada tras el fraccionamiento y antes del tratamiento con resina.

Etapa 8 - Hiper-concentrador

La Etapa 8 de la WTP consiste en un tanque de almacenamiento de concentrado de PFAS de 5 kl (T8-01) y un recipiente de fraccionamiento de hiperconcentrado. El hiper-concentrador funcionará independientemente de los recipientes de fraccionamiento de la Etapa 7 y podrá encenderse y apagarse según sea necesario, ya que trabaja con un volumen mucho menor de agua afectada por PFAS.

El hiper-concentrador utilizará un método similar al de los recipientes de fraccionamiento de la Etapa 7 con la adición de extracción de espuma rica en PFAS al vacío y enviada al tambor de eliminación de la siguiente etapa. El agua tratada del recipiente hiperconcentrador se devolverá al tanque de almacenamiento de la Etapa 7 para su reprocesamiento.

En la parte superior del recipiente hiper-concentrador hay un sistema de extracción de espuma por succión al vacío. Este recipiente tomará la espuma y el agua de desbordamiento producida por los recipientes primarios y refraccionará este fluido utilizando un enfoque por etapas. Sin embargo, en el recipiente hiper-concentrador, después de la formación inicial de espuma (~5min), se introduce una alimentación superior de bajo caudal para elevar el nivel del agua en el recipiente de modo que se sitúe justo por debajo (~50mm) de un dispositivo de extracción al vacío. En una de las formas mostradas en el dibujo, se utiliza una placa plana como dispositivo de la campana de aspiración, que se fija dentro del cuello más estrecho en la parte superior de la sección de la campana del tanque de fraccionamiento de espuma. A medida que se retira el fluido/espuma del recipiente, la alimentación superior sigue funcionando durante el procedimiento de fraccionamiento (aproximadamente 25 minutos), pero se regula mediante un sistema de detección de nivel de flotador alto/bajo para garantizar que la placa de vacío se mantiene a una distancia óptima de la superficie del agua/menisco/interfaz con la espuma.

La acción de remolino también se está adoptando en el hiper-concentrador, ya que parece que también reduce la turbulencia en la interfaz superior del agua y, como consecuencia, produce un espumado más seco (véase la Figura 9). La segunda etapa de tratamiento para volver a separar el primer concentrado para producir un hiperconcentrado tiene una entrada de 12,500 l al SAFF por lotes para producir 312.5 l de concentrado (que contiene una concentración de PFAS de 21,162 µg/l), y 12187.5 l de subflujo con PFAS de 2 µg/l (que se envía de nuevo a la flotación por lotes de la etapa primaria). Esto representa una reducción de volumen del 97.5 % y un factor de concentración de 21,162/581 = 36.

Etapas 9 - Tambor de Eliminación

La etapa 9 del WTP se identifica como un tambor de eliminación. El espumógeno de PFAS hiper-concentrado extraído de la campana del recipiente de hiperconcentrado se introduce en el tambor de eliminación al vacío. A continuación, el líquido hiper-concentrado se bombea al sistema de destilación al vacío para reducir aún más su volumen.

Etapas 10 - Destilación al Vacío

El sistema de destilación al vacío es un procedimiento de destilación al vacío de bajo consumo energético que hierve el contenido de agua del flujo de residuos al vacío a unos 37 °C. El principio de la fase de destilación al vacío es que todas las sustancias que tienen puntos de ebullición más altos que el agua permanecen en el residuo de evaporación. Esto incluye metales pesados, sales, aceites y grasas. El PFOS tiene un punto de ebullición de 259 °C y el PFOA hierve a 192.4 °C. A medida que se evapora el agua limpia, el volumen del residuo de evaporación (es decir, el hiperconcentrado de PFAS) se reduce a entre el 0.5 y el 5 por ciento del volumen original de las aguas residuales. El vapor emergente está prácticamente libre de impurezas. A medida que este vapor limpio pasa por las columnas de destilación del evaporador, se enfría hasta convertirse en un líquido puro.

Se ha incluido un punto de muestreo (SP10-01) en el tanque de almacenamiento (T10-01) para permitir el análisis del agua destilada tras ese procedimiento de destilación al vacío.

El agua destilada del evaporador de vacío se transferirá al tanque de almacenamiento (T7-01) para su reprocesamiento. Se espera que el volumen de agua destilada producida diariamente sea del orden de 300 litros al día. Se ha incluido un punto de muestreo (SP10-01) en el tanque de almacenamiento (T11-01) para permitir el análisis del agua destilada producida por el procedimiento de destilación al vacío.

Etapas 11 - Secadora de Tambor

La etapa 11 representa el último de los procedimientos de minimización de residuos y tiene como objetivo reducir aún más el contenido de humedad en el líquido procedente de la unidad de destilación. Los líquidos se bombearán a un tambor de eliminación de 200 l encapsulado dentro del secador de tambor que se calienta desde el exterior del tambor. Dado que los elementos calefactores no entran en contacto con el líquido, no es necesario limpiar la superficie de transferencia de calor. Las temperaturas se controlan con un sistema de termopar y temporizador para proporcionar un calentamiento constante y un nivel preciso de sequedad. El motor de alto par con engranaje reductor proporciona un procedimiento de agitación suave y constante, incluso cuando las soluciones se vuelven más viscosas y sólidas. Un sistema neumático de elevación permite retirar fácilmente la tapa y el sistema agitador al finalizar esta fase de secado. Las paredes con bisagras y el sistema de elevación neumática permiten retirar fácilmente el tambor y la plataforma móvil para cargar y descargar.

Etapas 12 - Resina de Eliminación de Hidrocarburos

Para proteger y prolongar la vida útil de las resinas de pulido de PFAS al final del tren de tratamiento (Etapa 13), los inventores instalarán un sistema Servicio de Guardia que contendrá una resina de intercambio iónico "barredora" de hidrocarburos. La frecuencia de sustitución de la resina de barrido está aún por determinar y dependerá de la concentración y el tipo de exposición a los hidrocarburos. Las resinas caducadas se retirarán, secarán y eliminarán.

Etapas 13 - Resina de Pulido Absorbente de PFAS

La etapa 13 de la WTP se identifica como resina de pulido de PFAS y se utiliza para eliminar cualquier PFAS residual en el agua tratada. La resina de pulido absorbente PFAS es una parte crítica del procedimiento y, como tal, se decidió ampliar la infraestructura de lo que se ofrecía en el DCAP para incluir tres recipientes de resina en una configuración "Adelanto-Retraso-Espera".

Las tuberías se han diseñado para permitir un funcionamiento tipo carrusel en el que el Recipiente A comenzará como en Adelanto, el Recipiente B en Retraso en serie y el Recipiente C en Espera. El recipiente en Adelanto será el que reciba el flujo inicial y, como tal, realizará la mayor parte del trabajo y se agotará o ensuciará primero. Una vez que la resina se rompa o se ensucie en el Recipiente A, las tuberías se reconfigurarán de modo que el Recipiente B se convierta en Adelanto, el Recipiente C en Retraso y el Recipiente A en el de Espera. Mientras un recipiente esté en modo de espera, se lavará a contracorriente. Las resinas caducadas se retirarán, secarán y eliminarán.

Etapas 14 - Lavado con Sosa Cáustica/Salmuera y Recuperación

- 5 La etapa 14 incorpora un lavado a contracorriente de agua tratada para eliminar las impurezas, seguido de una inmersión en salmuera para minimizar la bioincrustación. Se utiliza un tanque de almacenamiento de suministro (T14-01) para generar y mezclar la solución de salmuera. Periódicamente, el recipiente de plomo se desconectará y se someterá a un lavado a contracorriente desde el tanque de agua tratada (T14-02). El agua de retrolavado tratada circulará a través de un filtro (F14-01) para eliminar cualquier suciedad antes de devolverse a su tanque de almacenamiento. Una vez finalizado el procedimiento de retrolavado, el recipiente se llenará con agua salada para inhibir la formación de bioincrustantes durante el periodo de espera.

Etapas 15 - Almacenamiento de Flujos de Salida

- 10 La etapa 15 de la WTP se identifica como almacenamiento de salida. Esta etapa consiste en cinco tanques de 10,000 l en un sistema de colectores para permitir el almacenamiento y la descarga de tanques individuales en lotes de 10,000 l, o el almacenamiento y la descarga combinados de 50,000 l. Durante la fase de puesta en servicio, los tanques se utilizarán en su configuración individual, lo que permitirá su tratamiento, prueba y almacenamiento durante un máximo de cinco días consecutivos antes de verter el agua tratada para su reinyección si resulta aceptable o devolverla a la WTP si resulta inaceptable. Una vez finalizada la fase de puesta en servicio y comprobado el "Funcionamiento Normal" de la WTP, el almacenamiento de salida se agrupará en un gran recipiente de almacenamiento antes de la reinyección.

Se han incluido puntos de muestreo (SP15-01 a SP15-05) en todos los tanques de almacenamiento de salida para permitir la prueba del agua tratada en tanques individuales. La etapa 15 también incluye un caudalímetro que se utilizará para medir y registrar las tasas de caudal del agua tratada de retorno y los volúmenes de caudal acumulados.

Etapas 16 - Retorno o Reutilización de Aguas Subterráneas Tratadas

- La etapa 16 de la WTP se identifica como el retorno o reutilización de las aguas subterráneas tratadas. Existen alternativas para la reutilización o reinyección de las aguas subterráneas tratadas. En cuanto a la reinyección, la WTP tiene 8 pozos de reinyección que se han clasificado como 4 de prioridad alta, 2 de prioridad media y 2 de prioridad baja.
- 25 Los inventores han permitido instalar 150 m de tubo de polietileno por encima del suelo entre la WTP y los puntos de reinyección para permitir la alimentación por gravedad de agua a los pozos.

Gestión de Residuos

- La WTP se ha diseñado para minimizar la producción de residuos. Siempre que ha sido posible, se han empleado medios mecánicos para extraer y concentrar los residuos con el fin de minimizar los costes de gestión y eliminación.
- 30 La tabla siguiente resume los residuos producidos y el método de eliminación propuesto para cada etapa pertinente de la WTP.

Etapas	Tipo de Residuo	Volumen Aprox. / Masa	Gestión	Método de Eliminación
2,3	Sedimentos y partículas sólidas	Desconocido. Depende del rendimiento del pozo.	Hemos instalado un tanque de fondo inclinado para permitir la eliminación de sólidos.	Reducido a través de la Etapa 11 (Secador de Tambor) y eliminado.
3	Hidrocarburos Líquidos y filtros de pulido	Desconocido. Depende de la fuente de agua subterránea.	Hidrocarburos líquidos vaciados del OWS en un recipiente. Filtros de pulido retirados y sustituidos	Reducido a través de la Etapa 11 (Secador de Tambor) y eliminado.
6	Precipitados de Fe y Mn en Filtros de Mangas	50 kg/día en húmedo, reducido a 12.5 kg/día en seco	Bolsas Filtrantes retiradas y sustituidas cuando se dispara la alarma de presión diferencial.	Reducido a través de la Etapa 11 (Secador de Tambor) y eliminado.
7	Agua afectada por PFAS (Bajo Nivel de PFAS)	237,500 l/día	Transferencia a la Etapa 12, 13 para la eliminación de hidrocarburos y PFAS mediante resina	No hay residuos externos

(continuación)

Etapas	Tipo de Residuo	Volumen Aprox. / Masa	Gestión	Método de Eliminación
7	Concentrado de PFAS (Nivel Moderado de PFAS)	12,500 l/día	Traslado a la Etapa 8 para Tratamiento adicional	No hay residuos externos
8	PFAS afectados Agua Bajo Nivel PFAS)	12,188 l/día	Volver a la Etapa 7 para el nuevo procesamiento	No hay residuos externos
8	Concentrado de PFAS (PFAS de Alto Nivel)	312 l/día	Transferencia a la Etapa 9, 10	No hay residuos externos
10	Destilado afectado por PFAS	297 l/día	Volver a la Etapa 7 para el nuevo procesamiento	No hay residuos externos
10	Hiperconcentrado de PFAS	15 l/día	Traslado a la Etapa 11	Reducido a través de la Etapa 11 (Secador de Tambor) y eliminado.
12	PFAS / Resina impactada por Hidrocarburos	4000 l/proyecto	Traslado a la Etapa 11	a través de la Etapa 11 (Secadora de Tambor) y se elimina.
13	Resina de Pulido con impacto de PFAS	6000 l/proyecto	Traslado a la Etapa 11	Reducido a través de la Etapa 11 (Secador de Tambor) y eliminado.
14	Suciedad de retrolavado	2 kg/día en húmedo, reducido a 0.5 kg/día en seco	Bolsas Filtrantes retiradas y sustituidas cuando se dispara la alarma de presión diferencial.	Reducido a través de la Etapa 11 (Secador de Tambor) y eliminado.

La **Tabla 7** que figura a continuación indica la reducción del volumen de residuos de diseño y los niveles de concentrado de PFAS previstos mediante el procedimiento de la WTP. Estas cifras se basan en un volumen de tratamiento diario de 250 kl.

5

Tabla 3: Reducción del Volumen de Residuos y Niveles de Concentración de PFAS

Etapas	Descripción	Volumen en - l/día (Nivel de PFAS)	Volumen Procesado - l/día (Nivel PFAS)	Concentrado / Residuos - l/día (Nivel PFAS)	Volumen Reducido - %	Tiempo de Funcionamiento - Hrs/día
7	Primera etapa (5 x recipientes)	250,000 (30 µg/l)	225,000 (~1 µg/l)	12,500 (581 µg/l)	5 %	24
8	Hiper-concentrador	12,500 (581 µg/l)	12,187.5 (~2 µg/l) Devuelto a la Etapa 7 anterior	312.5 (23,162 µg/l)	2.5 %	8
10	Tambor de Eliminación	250		250	100 %	4
10	Destilación al Vacío	312.5 (23,162 µg/l)	296.9 (42 µg/l) Vuelta a la Etapa 7 anterior	15.6 (600,000 µg/l)	5 %	4
11	Secadora de Tambor	12.5 (600,000 µg/l)	10 (0 µg/l)	3.125 (2,312,210 µg/l)		4

La figura 10 ilustra la reducción prevista del volumen y el aumento de la concentración de PFAS a lo largo de las distintas etapas de la WTP, con base en las pruebas realizadas en el laboratorio. Las etapas dentro de la WTP se han agrupado del siguiente modo: -

- 5
 - Pretratamiento
 - SAFF
 - Destilación al Vacío / Secado
 - Resinas de Pulido PFAS

El procedimiento SAFF es fundamental en el tratamiento de aguas a granel para reducir significativamente el nivel de PFAS, lo que da como resultado que aproximadamente el 99 % de las aguas subterráneas se reduzcan a un nivel de PFAS de aproximadamente 1 µg/l y menos del 1 % del volumen inicial se concentre hasta un factor de 200 veces los niveles originales de PFAS. La siguiente etapa de destilación al vacío y secado reduce aún más el volumen del flujo de residuos SAFF de 1,250 l a aproximadamente 6,000 µg/l a 2.5 l a aproximadamente 3,000,000 µg/l, lo que equivale a un factor de concentración adicional de 500 veces.

A continuación, el agua tratada con SAFF se hace pasar por las resinas de pulido de PFAS, reduciendo el nivel de aproximadamente 1 µg/l a niveles que satisfacen el requisito contractual. La WTP se beneficia del procedimiento SAFF que gestiona la mayor parte de la eliminación / reducción de PFAS para garantizar que la resina de pulido de PFAS pueda trabajar de forma eficaz y eficiente, minimizando al mismo tiempo los residuos generados.

Diseño de la Planta Depuradora de Aguas Residuales (WTP)

La WTP se ha diseñado para que ocupe una superficie total de 35 m x 25 m que estará vallada y protegida del acceso general. El diseño también incluye un área cubierta de 25 m x 15 m, donde se alojará todo el equipo que contenga PFAS. Se pensó en el asfalto como material de construcción, pero se seleccionó el hormigón porque soporta las altas temperaturas sin deformarse y es más resistente al tráfico de carretillas elevadoras y grúas. El hormigón también está sujeto a la absorción de PFAS y la superficie del terraplén se sellará/pintará para reducir este riesgo.

En la huella de la WTP se colocará una base de carretera para elevar el nivel de todo el emplazamiento de la WTP. A continuación, se construirá un terraplén de hormigón sobre la base dura para aumentar aún más la elevación respecto al nivel normal del suelo y evitar la entrada de agua estancada en caso de lluvia. La superficie de la balsa tendrá una caída hasta un sumidero de punto bajo que permitirá la retención de la primera descarga y su procesamiento a través de la WTP. El sumidero se localizará en las proximidades de los tanques de almacenamiento de la Etapa 2 para facilitar el trasvase del agua de lluvia a la WTP en primera instancia y su posterior desvío al sistema de drenaje de aguas superficiales circundante tras la primera descarga. Se utilizará el control del nivel del sumidero para establecer un volumen adecuado para la primera descarga.

Las Figuras 11 y Figura 12 ilustran el trazado de la WTP con base en el diseño actual y el flujo del procedimiento.

Descripción Funcional

La WTP funcionará desde un PLC central que se utilizará para gestionar, registrar según sea necesario e informar de las operaciones desde la Etapa 1 hasta la Etapa 16. Como ya se ha indicado anteriormente en este informe, el sistema se ha diseñado para garantizar la independencia entre etapas con el fin de simplificar el proceso de control y lograr un diseño sólido y adecuado a los fines perseguidos. Muchas de las etapas utilizarán una lógica similar y simple para las operaciones de esa etapa, como se identifica a continuación:

- 40
 - La operación de bombeo de una etapa requerirá la confirmación de que el nivel alto (H) del tanque de almacenamiento de la etapa receptora no se ha disparado para garantizar que hay capacidad disponible antes de que comience dicha operación.
 - Si se alcanza la capacidad de almacenamiento del tanque receptor durante el funcionamiento, la alarma de nivel alto (H) proporcionará una advertencia y, si el operador no la detiene, el punto de ajuste de alto-alto nivel (HH) detendrá automáticamente el funcionamiento de esa bomba.
- 45
 - La bomba sólo se volverá a poner en marcha después de que el nivel alto (H) de ese tanque de almacenamiento se haya restablecido automáticamente como resultado de la reducción del volumen en el tanque receptor por las operaciones posteriores.
 - La bomba también tendrá protección del control de nivel del tanque de almacenamiento de suministro, mediante el cual la alarma de nivel bajo (L) del tanque de suministro proporcionará una advertencia y, si el operador no la detiene, el punto de ajuste de bajo-bajo nivel (LL) detendrá automáticamente el funcionamiento de esa bomba para garantizar que la bomba no funcione en seco.
- 50
 - Las carcasas de los filtros tendrán un indicador de presión diferencial a través del medio filtrante que indicará una caída de presión cuando el filtro se bloquee o se llene. Se utilizará un punto de ajuste diferencial de presión para activar una alarma. Se utilizará otro punto de ajuste para interrumpir el funcionamiento de la bomba de suministro si el operador no lo corrige.
- 55
 - Los recipientes SAFF tendrán interruptores de nivel para identificar los límites de llenado y vaciado. Los recipientes también utilizarán válvulas de accionamiento neumático (POV) para las operaciones de llenado y

vaciado. Se utilizará una bomba común para llenar las cuatro columnas SAFF y otra bomba común para vaciar todas las columnas respectivamente. La POV del lado de llenado no podrá abrirse si se ha alcanzado el punto de consigna de nivel alto (H). Del mismo modo, el POV del lado del desagüe sólo podrá abrirse si no se ha alcanzado el nivel bajo (L). Del mismo modo, la bomba de vaciado sólo podrá funcionar cuando la válvula POV de vaciado esté abierta.

- El procedimiento SAFF seguirá una secuencia de llenado, procesamiento y vaciado. La válvula POV de llenado se abrirá, permitiendo que la bomba de llenado funcione y llene el recipiente. Cuando el nivel de agua alcance la alarma de nivel alto (H), la bomba se detendrá. Esto también iniciará el ciclo de procesamiento que pondrá en funcionamiento las bombas venturi. Después de un tiempo predeterminado, las bombas venturi se detendrán y la válvula POV de drenaje se abrirá, permitiendo que la bomba de drenaje funcione hasta que se alcance el nivel bajo (L) que detendrá la bomba de drenaje. Se seguirá la misma secuencia para los cuatro recipientes del SAFF de forma continua.

Medidas de seguridad en el diseño

La WTP se construirá y operará en una superficie de contención que tendrá la capacidad de retener el mayor volumen combinado de recipientes de 50,000 l más un 5 %, lo que resulta en una altura de contención de ~120mm con base en una superficie de 25m x 15m. Para ofrecer una mayor protección, los recipientes también estarán protegidos para garantizar que cualquier fuga potencial del procedimiento quede contenida inicialmente dentro del recipiente. Se instalarán sensores en los recipientes para alertar en caso de fuga, teniendo en cuenta que la planta funcionará 24/7, pero sólo contará con personal 5-1/2 días a la semana.

El procedimiento de control emitirá una alarma cuando se alcance un límite y, a continuación, detendrá las operaciones cuando se alcance el segundo punto de consigna. El procedimiento de alarma también enviará un mensaje al operador para permitir la revisión o la movilización al lugar si no se encuentra in situ. Pueden introducirse cámaras de vigilancia para la supervisión operativa y para permitir la inspección a distancia de cualquier notificación de alarma.

La instalación se ha diseñado con una distribución que favorece el flujo del procedimiento y también reduce al mínimo el acceso a áreas que no requieren atención. Se facilitará el acceso a los recipientes para facilitar su construcción, inspección y mantenimiento. Se ha tenido en cuenta la accesibilidad para el acceso con carretilla elevadora/carretilla a las plantas que requieren cambio de medios o manipulación manual. Las etapas que contienen los mayores concentrados de PFAS se han agrupado y estarán separadas de otras áreas de trabajo siempre que sea factible.

Se implantará un sistema de parada de emergencia para permitir la parada inmediata de las operaciones. Las E-paradas estarán situadas a poca distancia de las zonas de trabajo generales de la instalación y se ha incluido una estación lavajos/ducha de emergencia en las proximidades de las áreas de mayor concentración de PFAS, como se indica en el esquema de la WTP anterior.

A lo largo de esta memoria descriptiva, las palabras "espumoso" y "espuma" pueden utilizarse indistintamente, pero se entienden en el mismo sentido, que comprende esencialmente un concentrado líquido húmedo que tiene bajas cantidades de materiales particulados o contaminantes orgánicos concentrados, y que se extrae mediante diversos diseños de dispositivos cuyo objetivo es proporcionar el mayor control y reducción posibles del contenido de agua en la capa de espuma.

En la descripción anterior de determinadas realizaciones, se ha recurrido a terminología específica en aras de la claridad. Sin embargo, la divulgación no pretende limitarse a los términos específicos así seleccionados, y debe entenderse que cada término específico incluye otros equivalentes técnicos que operan de manera similar para lograr un propósito técnico similar. Términos tales como "superior" e "inferior", "por encima" y "por debajo" y similares se utilizan como palabras de conveniencia para proporcionar puntos de referencia y no deben interpretarse como términos limitativos.

La referencia en esta memoria descriptiva a cualquier publicación o información anterior no es, y no debe tomarse como, un reconocimiento o admisión o cualquier forma de sugerencia de que la publicación o información anterior forma parte del conocimiento general común en el campo de actividad al que se refiere esta memoria descriptiva.

En esta memoria descriptiva, la palabra "que comprende" debe entenderse en su sentido "abierto", es decir, en el sentido de "que incluye", y por lo tanto no se limita a su sentido "cerrado", es decir, el sentido de "que consiste únicamente en". Debe atribuirse un significado equivalente a las palabras "comprende", "compuesto" y "que comprende" cuando aparezcan.

Además, lo anterior sólo describe algunas realizaciones, que son ilustrativas y no restrictivas.

REIVINDICACIONES

1. Un método de separación de una cantidad de una sustancia orgánica del agua contaminada con la sustancia orgánica, siendo dicha sustancia orgánica al menos una de las sustancias perfluoroalquiladas o polifluoroalquiladas (PFAS), comprendiendo el método las etapas de:

- 5 - admitiendo dicha agua contaminada en una cámara (18) a través de una entrada (22) a la misma;
 - introducir un flujo de gas en una región (25) inferior de la cámara (18), en el que el gas introducido induce un flujo ascendente de agua en la cámara (18), y produce una capa (32) de espuma que se eleva por encima de una interfaz (37) con el agua en una porción (24) superior de la cámara (18), incluyendo la capa (32) de espuma una cantidad concentrada de la sustancia en comparación con su concentración en el agua contaminada admitida por primera vez en la cámara (18);
 - 10 - recoger una cantidad suficiente de dicha capa (32) de espuma y, después de permitir que se colapse de nuevo a una forma líquida, pasar dicho líquido a una segunda cámara a través de una entrada en la misma;
 - introducir un flujo de gas en una región más baja de la segunda cámara, en el que el gas introducido induce un flujo ascendente de agua en dicha cámara, y produce una capa de espuma que se eleva por encima de una interfase con el agua en una porción superior de la segunda cámara, la capa de espuma incluye una cantidad concentrada adicional de la sustancia; y en el que
 - 15 - en dicha segunda cámara, regulando:
 - (i) profundidad de la capa de espuma por encima de la interfase, controlando un parámetro físico de la capa de espuma mediante un dispositivo de regulación de la profundidad de la capa (38) de espuma para mantener una profundidad de la capa de espuma por encima de la interfase, estando el dispositivo dispuesto para ser posicionable de forma móvil dentro de la cámara (18) en respuesta al movimiento de la localización de la interfase o en una localización fija dentro de la cámara (18), y respondiendo la localización de la interfase a al menos uno de los flujos del gas introducido, y un flujo de entrada del agua, y
 - 20 (ii) profundidad del agua en la cámara, mediante al menos uno del grupo que comprende: controlar un parámetro físico del flujo de gas introducido; y controlar un flujo de entrada de agua adicional;
 - 25 dicha regulación responde al movimiento de la localización de la interfaz (37)
 - tal que se controle el contenido de agua de la capa (32) de espuma cerca de la región más superior de la segunda cámara, para influir en la concentración de la sustancia en la misma, y en el que, para al menos una de las cámaras primera o segunda, el flujo ascendente de gas y la producción de la capa de espuma se produzcan de manera operativa por lotes.
 - 30
2. Un método como el reivindicado en la reivindicación 1, en el que la etapa de controlar un parámetro físico del flujo de gas introducido comprende el uso de un controlador de flujo y una válvula de entrada para controlar el flujo de dicho gas introducido en la cámara.
- 35 3. Un método como el reivindicado en cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en el que la etapa de controlar un parámetro físico del flujo de gas introducido comprende utilizar uno o más tubos de flujo de entrada de gas que están dispuestos para extenderse en el interior de la cámara y adaptados para inducir un flujo generalmente rotacional o arremolinado de dicho gas y agua introducidos, dicho flujo arremolinado tiene un eje de rotación alineado con un eje elongado de la cámara.
 - 40 4. Un método como el reivindicado en la reivindicación 3, en el que el flujo generalmente rotacional o arremolinado de dicho gas y agua introducidos dentro de la cámara es laminar en la pared circunferencial interior de la cámara.
 5. Un método como el reivindicado en cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que la etapa de control de un parámetro físico del flujo de gas introducido comprende el uso de un dispositivo de generación de burbujas situado antes de, o en el punto, en que dicho gas introducido entra en el agua situada en la cámara.
 - 45 6. Un método como el reivindicado en cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en el que la etapa de control de un parámetro físico de la capa de espuma comprende además el uso de un dispositivo para confinar la ruta de flujo transversal de la espuma en la porción (24) superior de la cámara (18), dando como resultado el drenaje de dicha capa de espuma.
 7. Método según la reivindicación 6, en el que la capa de espuma se colapsa durante dicha etapa de eliminación de la parte superior de la cámara, y antes de someterse a una etapa de tratamiento secundario.
 - 50 8. Un método como el reivindicado en la reivindicación 7, en el que la capa de espuma se colapsa utilizando aparatos mecánicos del grupo que comprende: un rompedor de espuma, un dispositivo (38) de extracción al vacío, y un cabezal de extracción de espuma.

9. Un método según se reivindica en la reivindicación 7 o en la reivindicación 8, en el que la etapa de tratamiento secundario para tratar la capa de espuma colapsada que incluye la sustancia concentrada utiliza al menos uno de los procedimientos del grupo que comprende: absorción tal como el uso de carbón activado, arcilla o resinas de intercambio iónico, filtración tal como el uso de membranas de ósmosis inversa; e introducción de una cantidad adicional de gas en un aparato de contención separado para producir otra capa de espuma que comprende una cantidad adicional concentrada de la sustancia.
10. Un método como el reivindicado en cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en el que la sustancia perfluoroalquilo o polifluoroalquilo (PFAS) incluye una o más del grupo que comprende: sulfonato de perfluoro-octano (PFOS); ácido perfluoro-octanoico (PFOA); ácido perfluoro-n-hexano-sulfónico (PFHxS); ácido perfluoro-nonanoico (PFNA); ácido perfluoro-decanoico (PFDA/Ndfda); Compuestos de sulfonato de 6:2-fluorotelómero (6:2 FTS); compuestos de sulfonato de 8:2-fluorotelómero (8:2 FTS); y ácido perfluoro-octanoico (PFHpA); ácidos carboxílicos polifluorados, sulfonatos de alquilo y compuestos de alquilsulfonamido; y compuestos fluoroteliméricos, cada uno de los cuales tiene diferentes longitudes de cadena de carbono; e incluyendo precursores de los mismos.

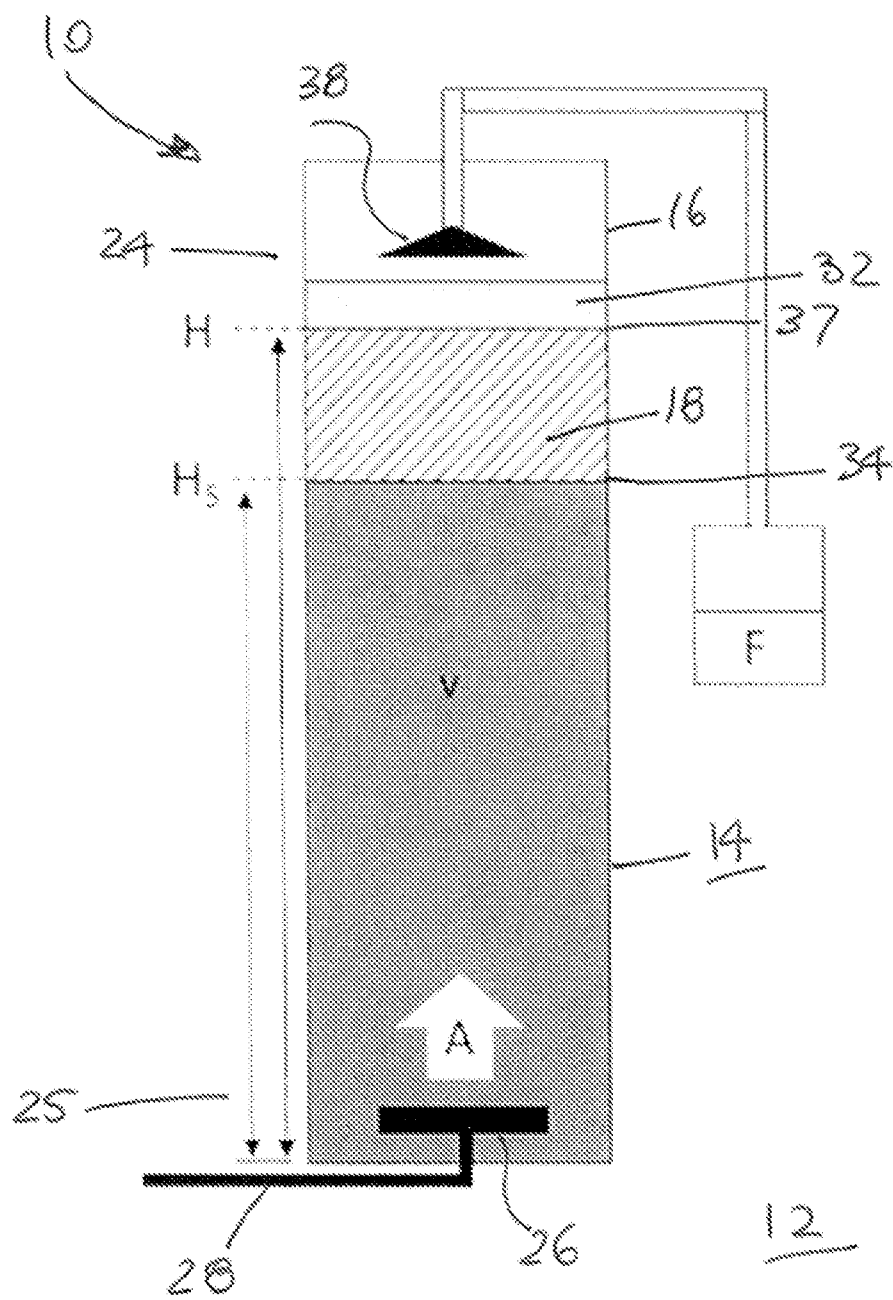


Figura 1

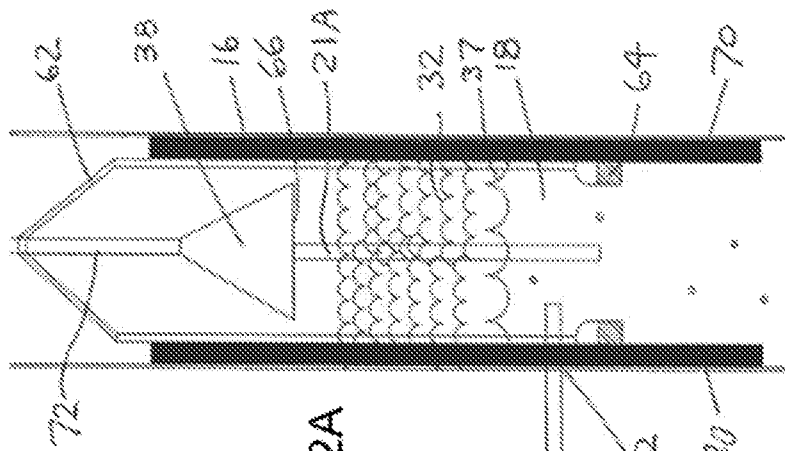


Figura 2A

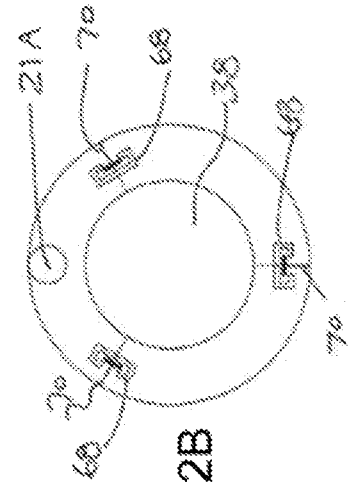


Figura 2B

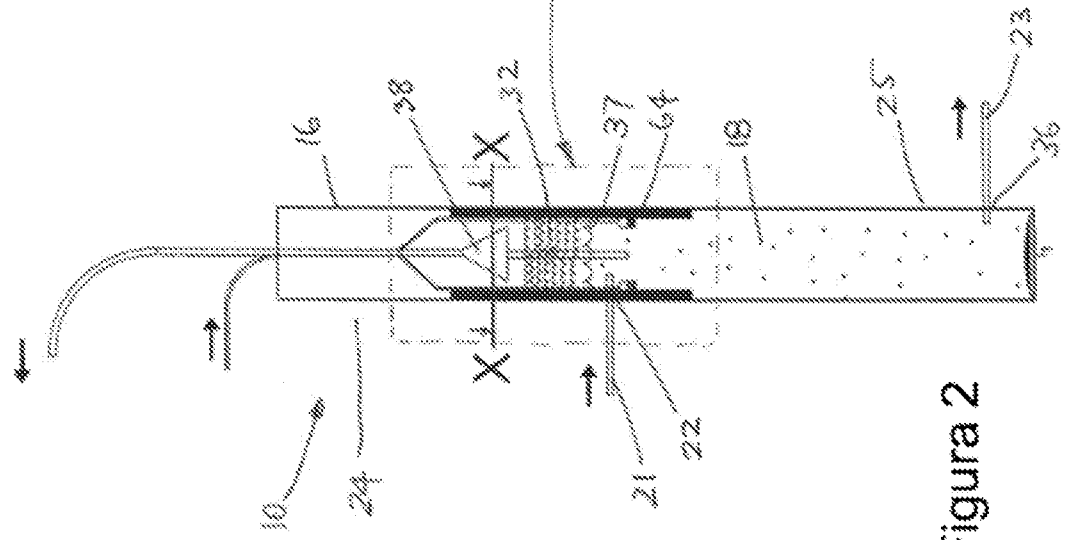


Figura 2

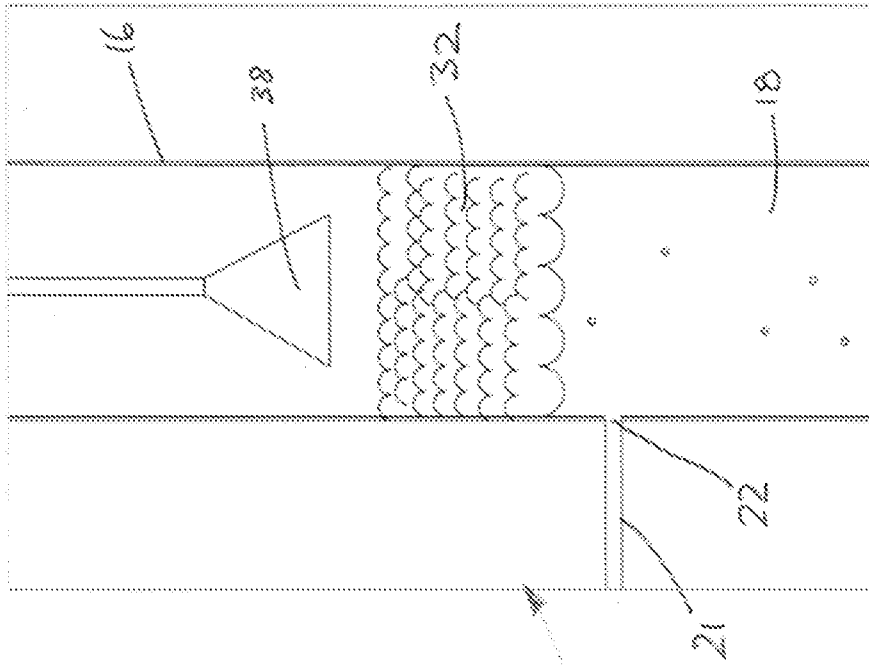


Figure 3A

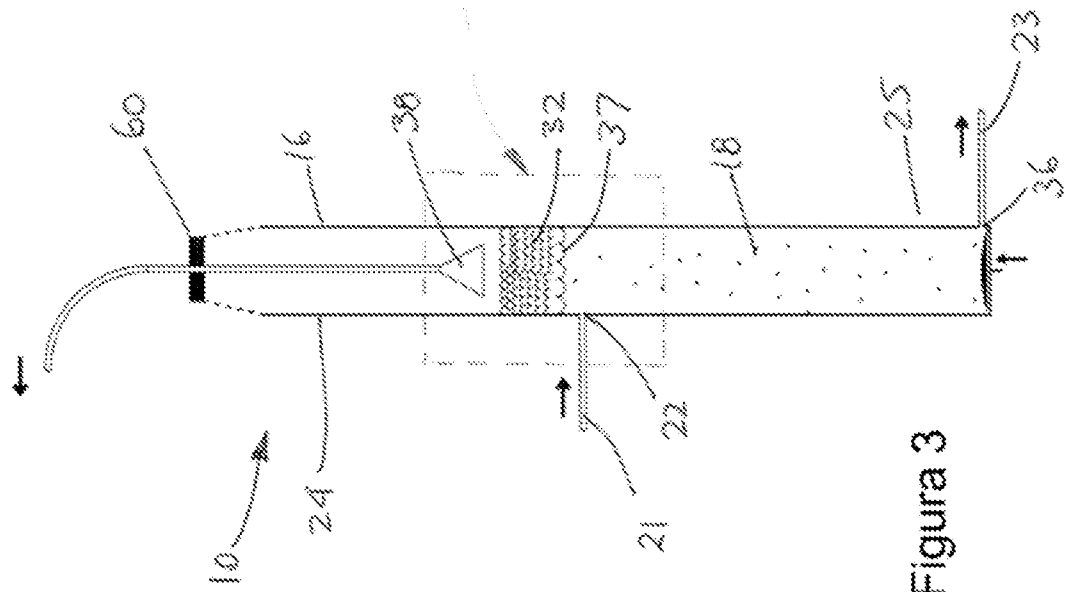


Figure 3

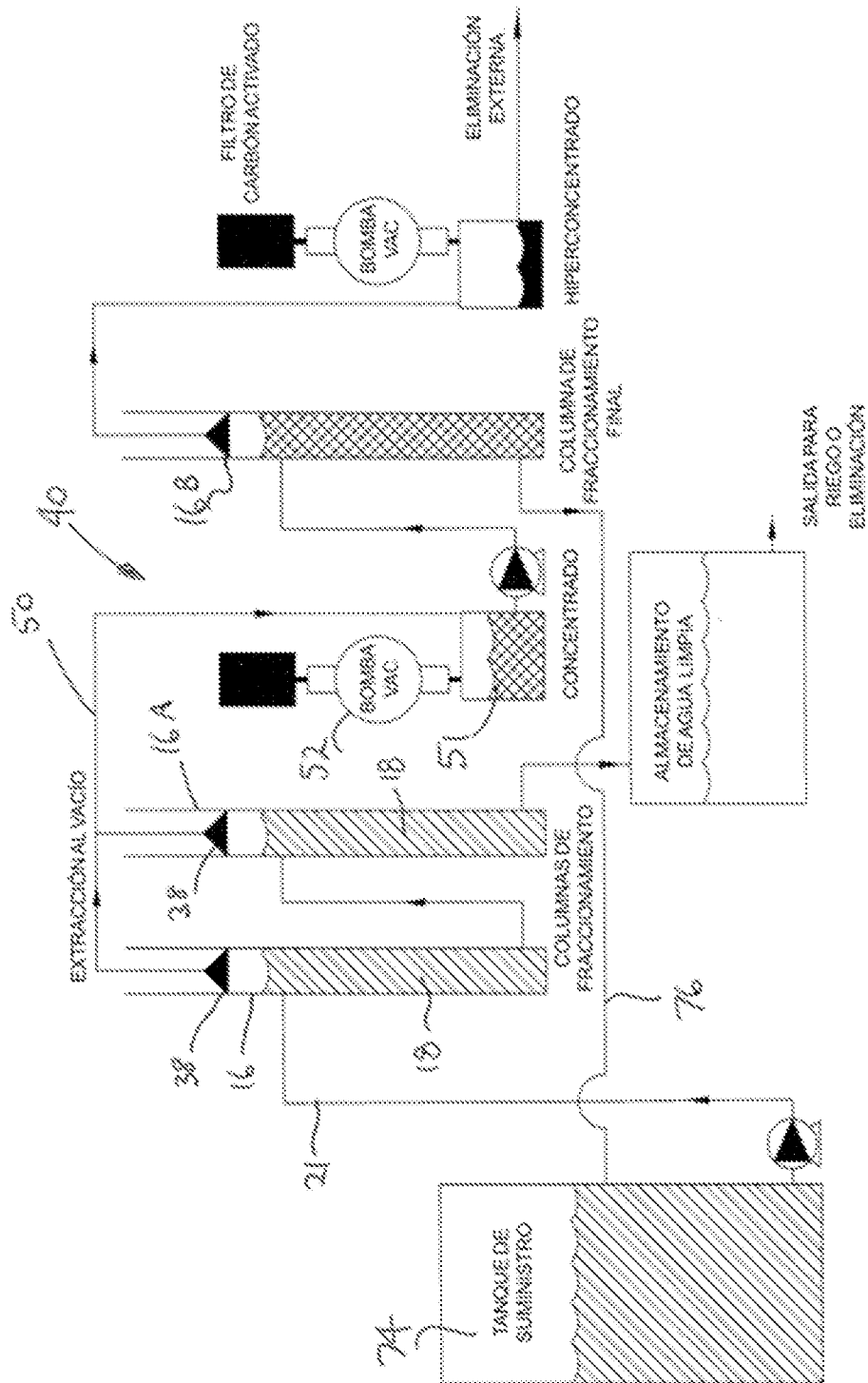


Figura 4

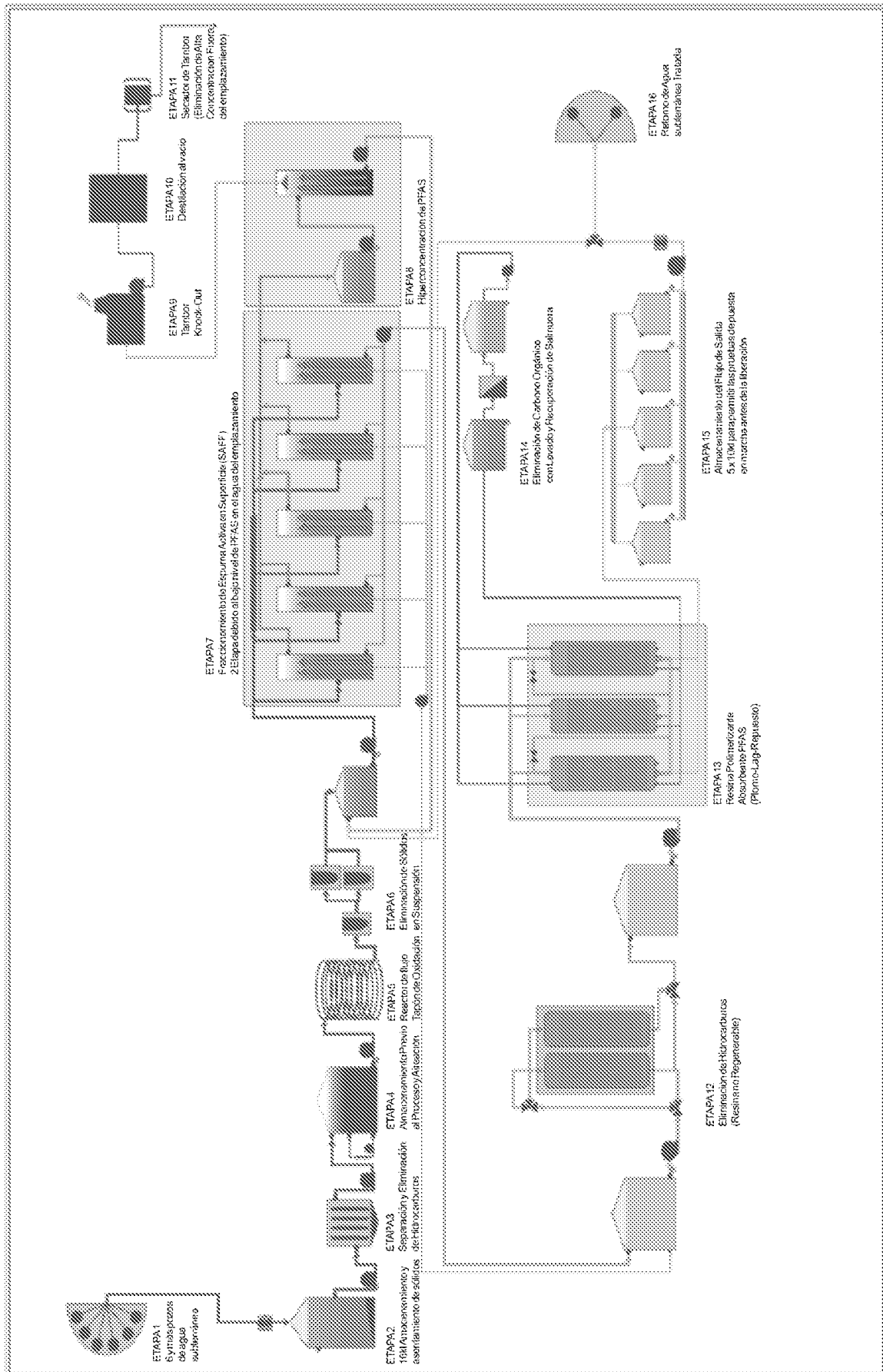


Figura 5

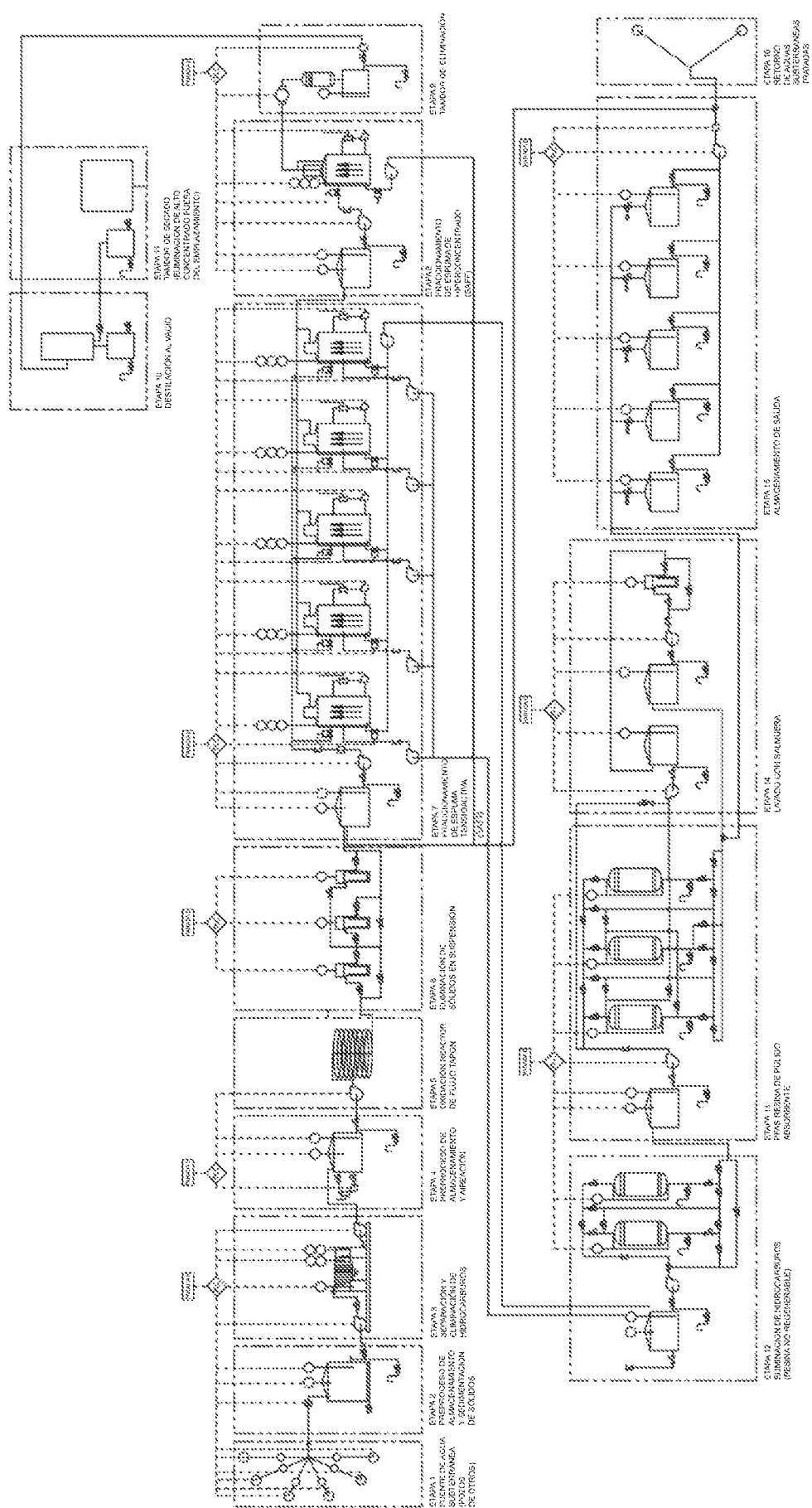
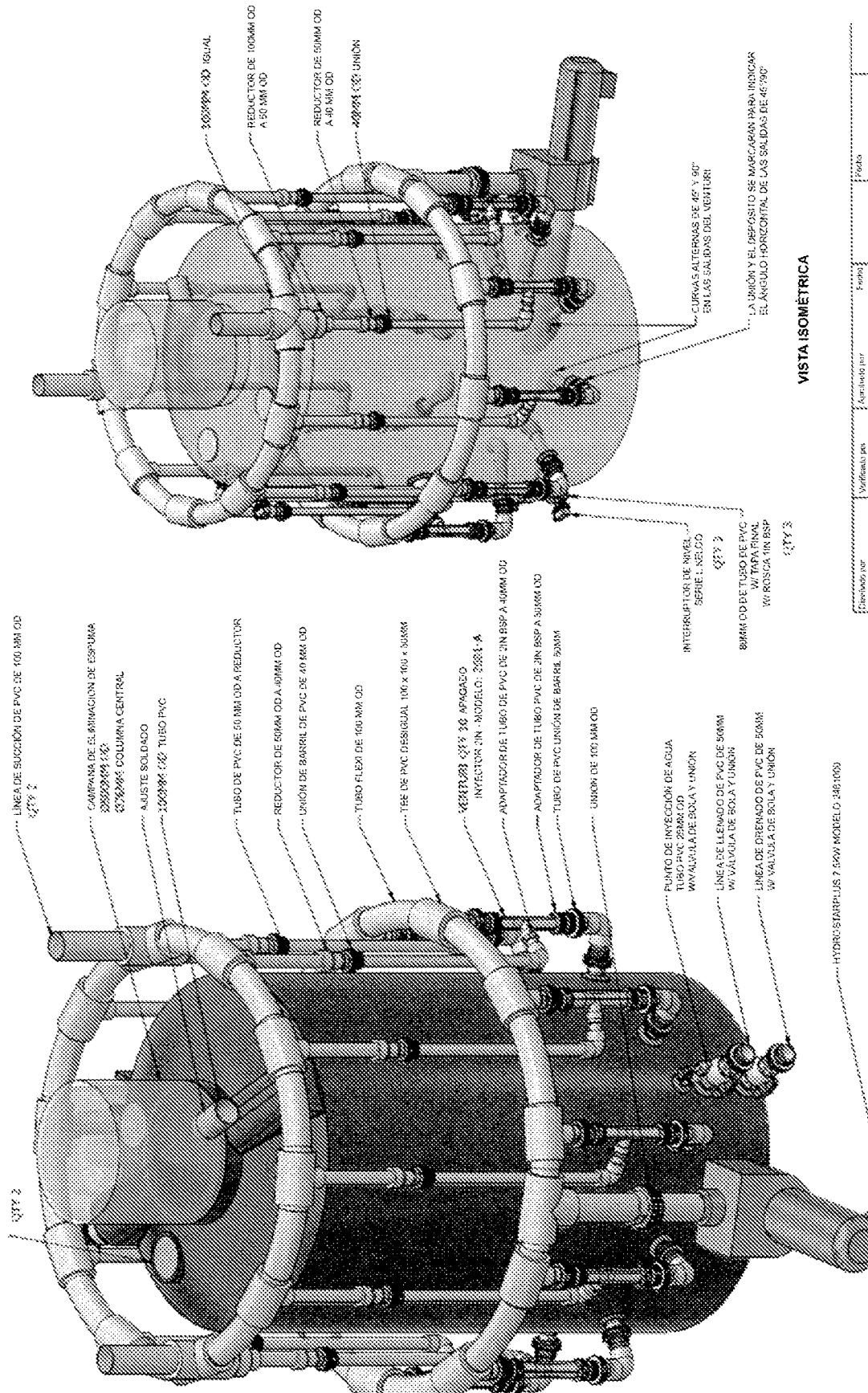


Figura 6:



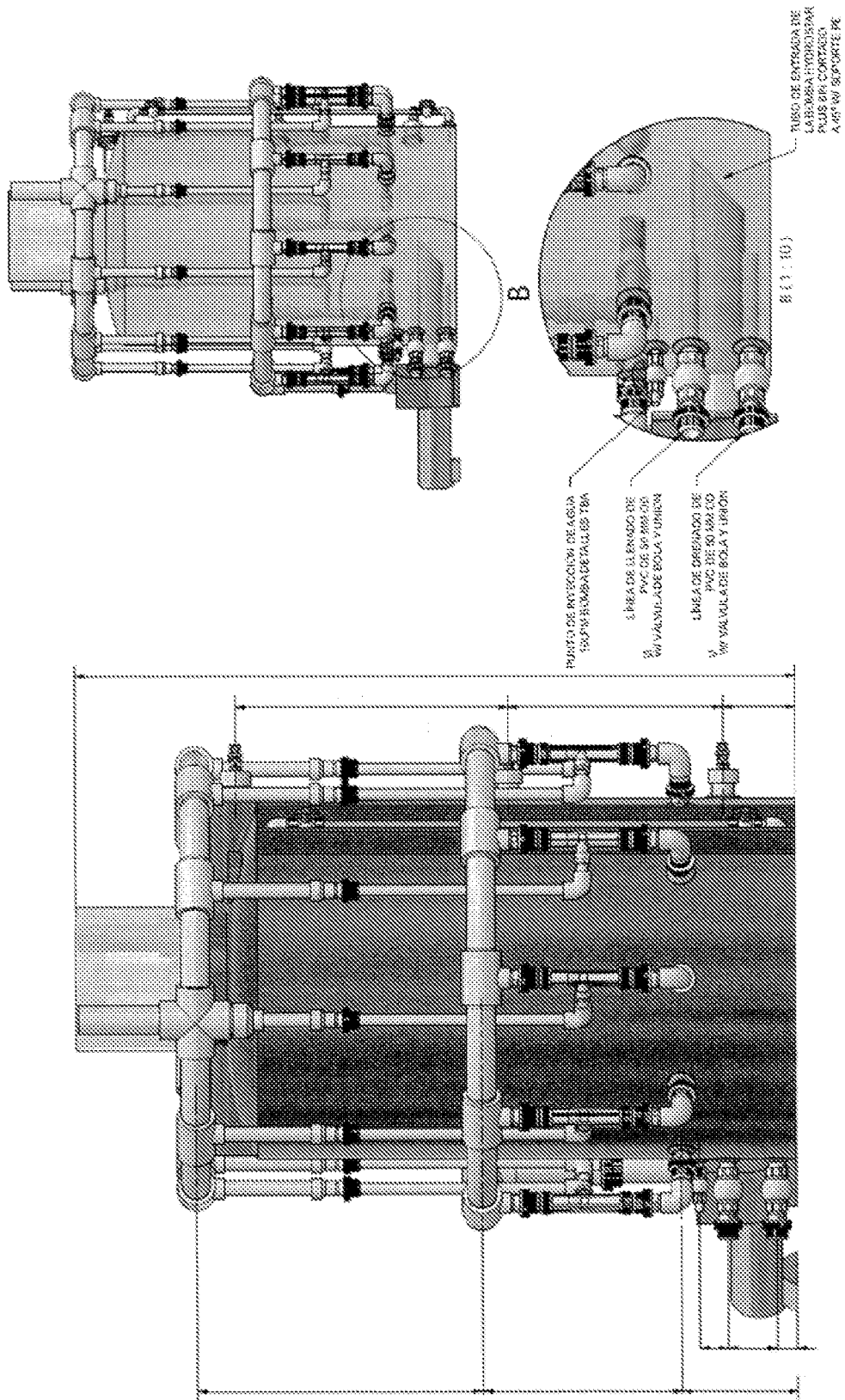


Figura 7A

Figura 8A (arriba) y Figura 8B (abajo, detalle en recuadro)



Figura 9

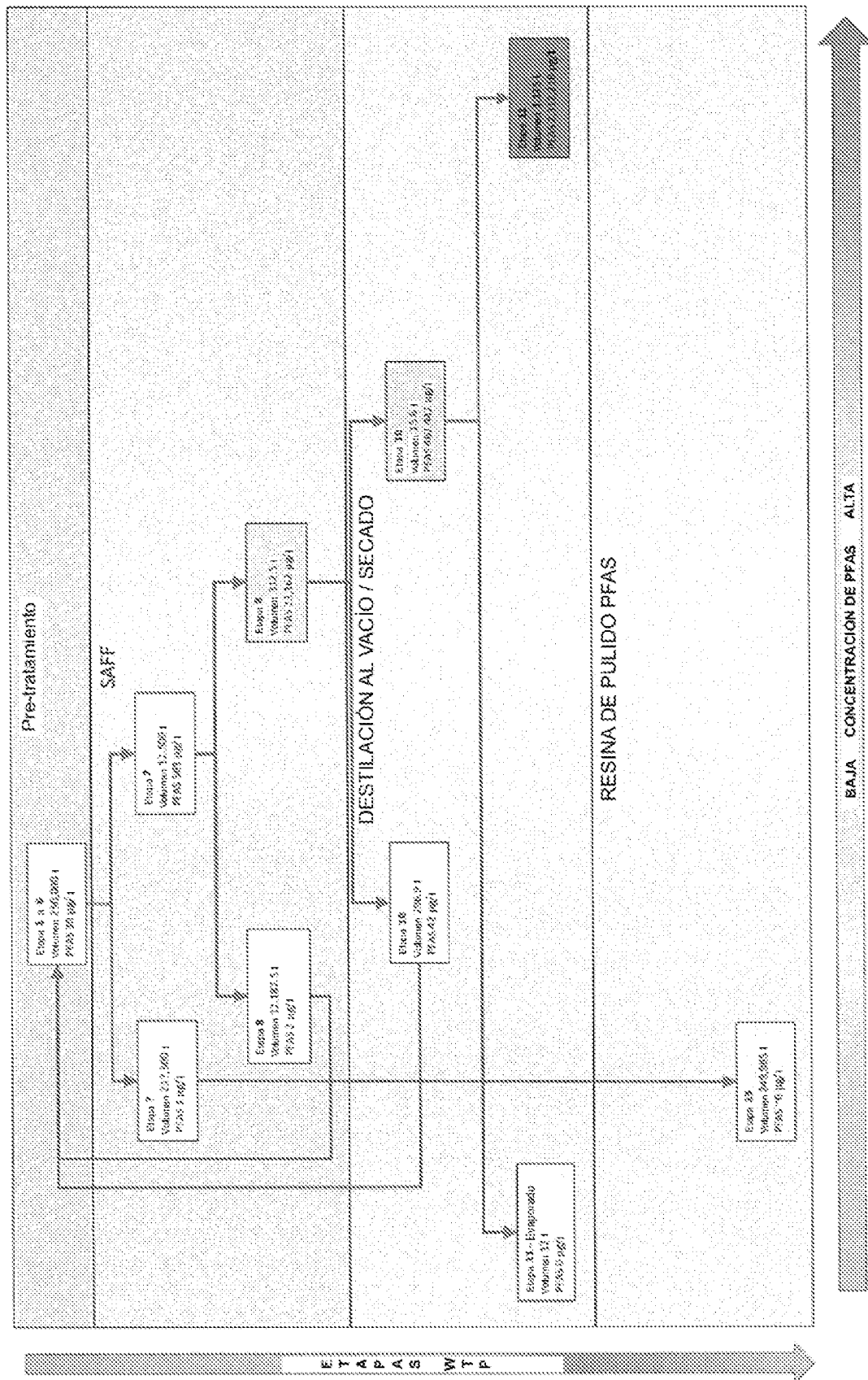


Figura 10

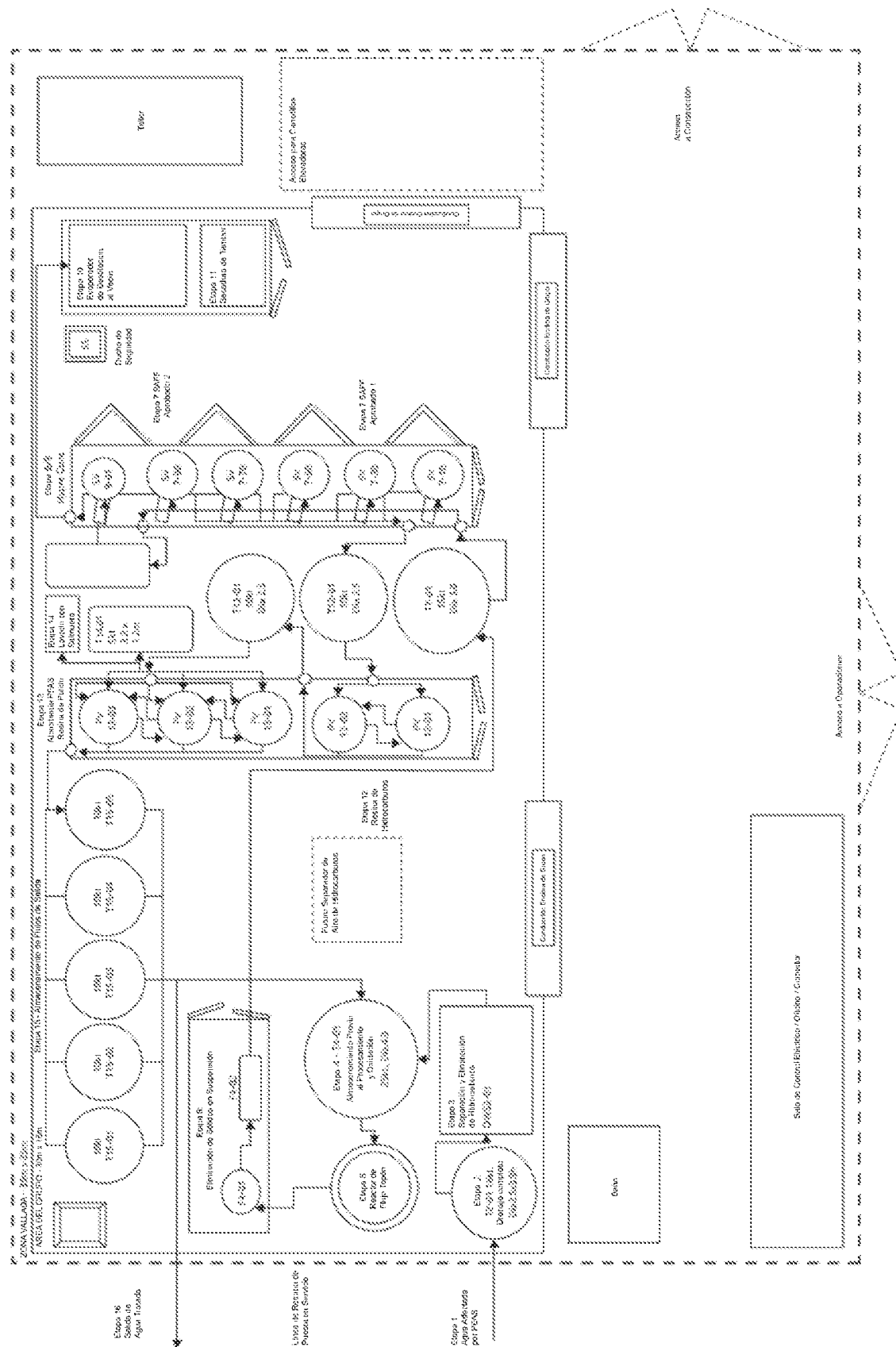


Figura 11

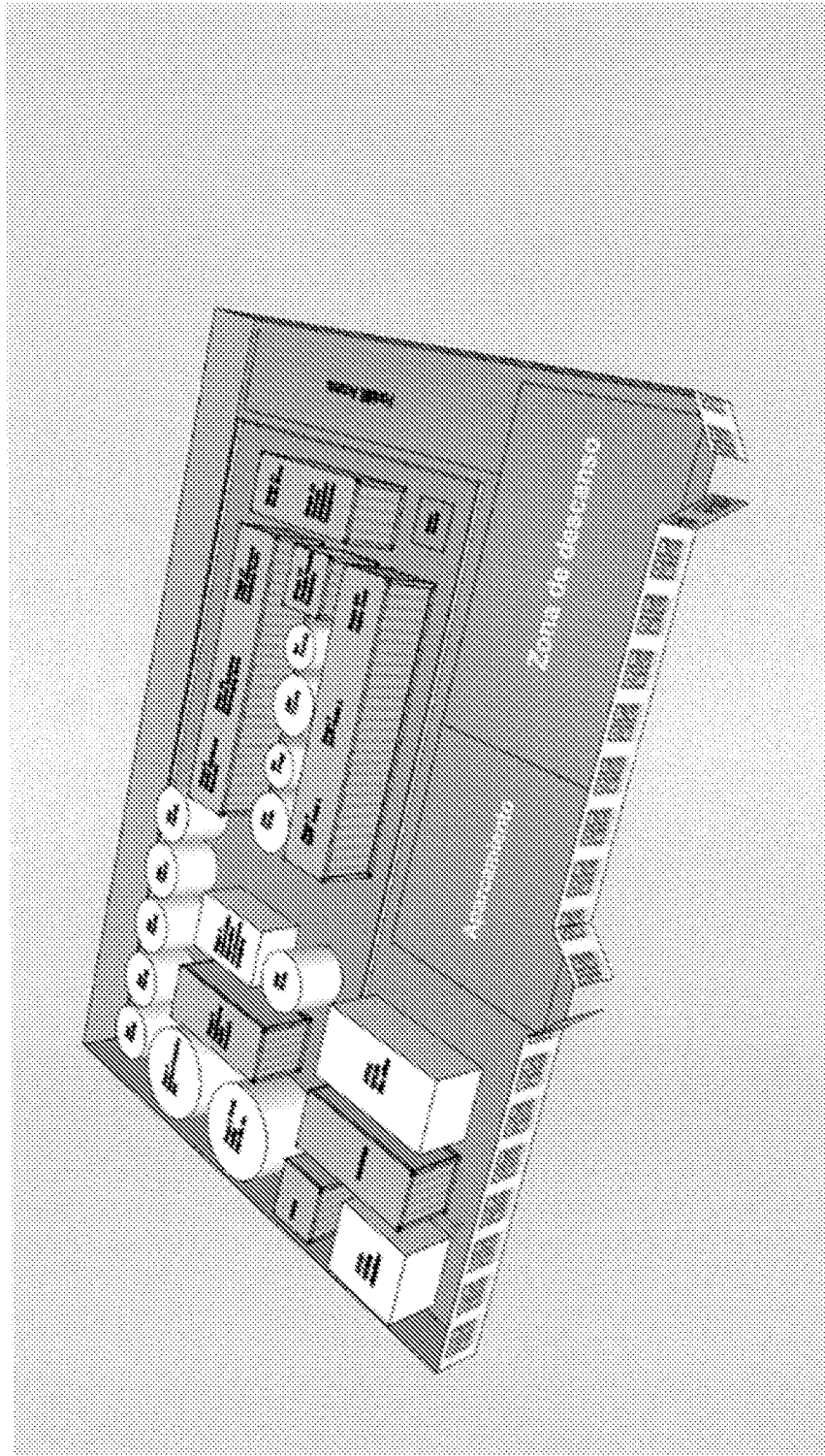


Figura 12