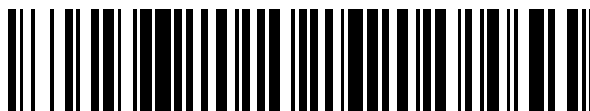


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 552 002**

51 Int. Cl.:

C02F 1/04	(2006.01) C02F 103/20	(2006.01)
C02F 1/26	(2006.01) C02F 101/16	(2006.01)
B01D 5/00	(2006.01) C02F 101/10	(2006.01)
B01D 3/14	(2006.01) C02F 11/02	(2006.01)
B01D 53/14	(2006.01) C02F 1/66	(2006.01)
B01D 3/36	(2006.01)	
B01D 3/40	(2006.01)	
C02F 103/36	(2006.01)	
C02F 103/32	(2006.01)	
C02F 103/28	(2006.01)	

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **26.10.2006 E 06790896 (2)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **05.08.2015 EP 1945573**

54 Título: **Método, proceso y aparato de purificación de agua**

30 Prioridad:

26.10.2005 US 730046 P

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

25.11.2015

73 Titular/es:

**BLANCHETTE, DANIEL (100.0%)
72 PLACE BON-AIR
BREAKEYVILLE, QUEBEC G0S 1E0, CA**

72 Inventor/es:

BLANCHETTE, DANIEL

74 Agente/Representante:

CAMPELLO ESTEBARANZ, Reyes

ES 2 552 002 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, proceso y aparato de purificación de agua.

5 CAMPO TÉCNICO

Las mejoras se refieren generalmente al campo del tratamiento de agua contaminada, y en algunas realizaciones, más específicamente al tratamiento de estiércol líquido.

10 ANTECEDENTES

Se sabe que las granjas de cerdos producen una gran cantidad de estiércol líquido que es difícil de hacer frente medioambientalmente. En la provincia de Québec, Canadá, por ejemplo, la legislación reciente se introdujo para restringir severamente los límites de concentración de contaminantes permisibles para el agua que se libera en el entorno (a través de ríos o regando los campos por ejemplo). La preocupación principal que conduce a esto es que se sabe que los contaminantes en el agua, cuando están en concentraciones suficientemente altas, se abren camino progresivamente hacia abajo en la tierra y contaminan la capa freática. Aunque una parte de estiércol líquido de cerdo puede tratarse por compostaje, el estiércol líquido por lo general incluye un gran porcentaje de agua que debe reducirse antes de la operación de compostaje. El agua se elimina típicamente del estiércol líquido mediante filtración y evaporación, pero muchos contaminantes forman azeótropos con el agua y tienen a evaporarse con ésta. Por lo tanto, los contaminantes tienen a seguir al vapor de agua y tras la condensación, el agua aún incluye concentraciones de contaminantes que exceden los estándares medioambientales más estrictos impuestos por el gobierno para liberar el agua al medio ambiente (en una corriente o por irrigación de un campo, por ejemplo). Por lo tanto, los productores de cerdo se enfrentan a un desafío considerable en la eliminación del estiércol líquido de sus cerdos.

El documento US 5.194.122 describe un proceso para extraer compuestos orgánicos volátiles de un condensado procedente de estiércol líquido. Los compuestos orgánicos volátiles se separan del condensado por extracción líquida usando un agente de extracción. Por lo tanto, el condensado líquido procedente del estiércol líquido se trata por extracción de líquido usando un agente de extracción.

Por lo tanto, existe la necesidad de un proceso mejorado de tratamiento de agua contaminada.

RESUMEN

Un objetivo de las mejoras es aliviar al menos algunas de las insuficiencias que existen relativas al tratamiento de agua contaminada.

De acuerdo con un aspecto, la invención se refiere a un proceso para purificar agua contaminada, preferiblemente procedente de estiércol líquido, que comprende:

- realizar una primera etapa de purificación que incluye exponer el agua contaminada en fase de vapor a un disolvente, preferiblemente alcohol hexílico, en fase líquida para deshacerse sustancialmente de este modo del vapor de agua contaminado de contaminantes por transferencia de los contaminantes al disolvente líquido;
- recuperar el disolvente líquido contaminado mixto y el agua líquida que se condensa durante la primera etapa de purificación, formando el disolvente usado un azeótropo heterogéneo con agua;
- vaporizar los líquidos recuperados en un vapor azeotrópico contaminado y exponer adicionalmente el vapor azeotrópico contaminado al disolvente en fase líquida para deshacerse sustancialmente de este modo del vapor azeotrópico contaminado de los contaminantes por transferencia de los contaminantes al disolvente líquido en la primera etapa de purificación;
- condensar juntos el vapor de agua descontaminada y el vapor del disolvente de la primera etapa de purificación en un líquido heterogéneo; separar sustancialmente el líquido heterogéneo en un constituyente de agua líquida y un constituyente de disolvente líquido y canalizar el constituyente de disolvente líquido separado en la primera etapa de purificación;
- posteriormente a la primera etapa de purificación, realizar una segunda etapa de purificación que incluye exponer el agua descontaminada en fase líquida a agua en fase de vapor para deshacerse sustancialmente de este modo del agua líquida descontaminada del disolvente por transferencia del disolvente en el vapor de agua.

De acuerdo con otro aspecto, la invención se refiere a un aparato de purificación de agua que comprende:

- una primera caldera donde el agua contaminada se vaporiza;
- un depósito de disolvente líquido;
- 5 - una primera columna que tiene una entrada de vapor conectada a la primera caldera, una salida de vapor, una entrada de líquido conectada al depósito de disolvente líquido, una salida de líquido, y medios para exponer el vapor de agua contaminado al disolvente líquido para transferir contaminantes al disolvente líquido;
- 10 - preferiblemente al menos uno de un lavador de ácido y un lavador básico conectado entre la primera caldera y la primera columna;
- una segunda caldera que tiene una entrada de líquido conectada a la salida de líquido de la primera columna, y una salida de vapor conectada a la entrada de vapor de la primera columna;
- un condensador conectado a la salida de vapor de la primera columna; comprendiendo preferiblemente el condensador al menos un intercambiador de calor conectado a al menos una caldera, preferiblemente
- 15 comprendiendo adicionalmente un compresor conectado aguas arriba del condensador;
- un separador conectado aguas abajo del condensador y que tiene el depósito de disolvente líquido y un depósito de agua descontaminada;
- una segunda columna que tiene una entrada de líquido conectada al depósito de agua descontaminada, una salida de agua, una entrada de vapor, una salida de vapor conectada al condensador, y medios para
- 20 hacer reaccionar el agua líquida con vapor de agua; y
- una tercera caldera conectada tanto a la salida de agua como a la entrada de vapor de la segunda columna.

BREVE DESCRIPCIÓN DE LOS DIBUJOS

25 Características y ventajas adicionales de las presentes mejoras se harán evidentes a partir de la siguiente descripción detallada, tomadas junto con los dibujos adjuntos, en los que:

30 La figura 1 es una vista esquemática de un proceso y un aparato de acuerdo con la invención; y la figura 2 es una vista esquemática del proceso y el aparato de la figura 1 que incluye adicionalmente un sistema de intercambio de calor.

35 Se apreciará que a lo largo de los dibujos adjuntos, las características similares se identifican mediante números de referencia similares.

DESCRIPCIÓN DETALLADA

40 Haciendo referencia a la figura 1, se representa esquemáticamente una realización ejemplar de un aparato de purificación de agua 10 que incorpora los principios de las mejoras. Se observará que en este ejemplo, el proceso y el aparato incluyen dos fases de purificación: una primera fase de purificación en la que el vapor contaminado se expone a un disolvente líquido que absorbe algunos contaminantes del vapor; y una segunda fase de purificación en la que el agua condensada se expone a vapor de agua que absorbe algo de disolvente que queda en el agua condensada.

45 El agua contaminada 12, tal como estiércol líquido, se suministra a una primera caldera 14. Al menos una porción del agua descontaminada 12 se vaporiza por la primera caldera 14 y se convierte en vapor contaminado 13. Aunque algunos contaminantes como algunos residuos sólidos no se evaporan con el vapor contaminado 13, otros sí lo hacen y una porción sustancial de los mismos se elimina por el aparato 10. El aparato 10 puede hacerse funcionar en un modo de funcionamiento en estado estable y por ello, durante el modo de funcionamiento ejemplar, el agua

50 contaminada 12 se suministra continuamente a la primera caldera 14, se crea continuamente el vapor contaminado 13, y el residuo concentrado se elimina regular o continuamente de la primera caldera 14. El vapor contaminado 13 se suministra a una primera columna 18 donde se expone a un disolvente líquido 34, en el que se transfieren los contaminantes.

55 En la realización ilustrada, parte del vapor contaminado 13 se condensa en la primera columna 18, y el agua condensada se canaliza hasta una segunda caldera 22 con el disolvente líquido 34. El disolvente y el agua forman una mezcla azeotrópica 20 que se vaporiza por la segunda caldera 22, en un vapor azeotrópico 24. El vapor azeotrópico 24 se suministra a la primera columna 18 y se mezcla con el vapor contaminado 13 de la primera caldera para formar lo que se denominará como un vapor azeotrópico contaminado 26. El vapor azeotrópico

60 contaminado 26 viaja por la primera columna 18, contra un flujo de disolvente líquido 34 y se descontamina

progresivamente en la primera columna 18, en la que los contaminantes se transfieren al disolvente líquido 34 por principios de equilibrio. Al mismo tiempo, parte del disolvente líquido en la columna se evapora y parte del vapor de agua en la columna se condensa, habiendo dado energía en la evaporación del disolvente líquido. A la salida de la primera columna 18, puede decirse que el vapor forma un vapor azeotrópico descontaminado 28 en el que el disolvente y el agua están cerca del equilibrio, y en el que los contaminantes se han reducido o eliminado sustancialmente debido a su transferencia en el disolvente líquido contaminado 38. Esta primera fase de transferencia de contaminantes se denomina como la primera fase del proceso.

El vapor azeotrópico descontaminado 28 se suministra a un condensador 30 en el que se condensa en una mezcla de agua y disolvente descontaminada heterogénea 32 que se suministra a un separador 33 y, por lo tanto, se separa sustancialmente en su constituyente líquido de agua 36 y disolvente 34. Por lo tanto, en la realización ilustrada, éste es el constituyente de disolvente líquido separado 34 que se suministra a la primera columna 18 y se desplaza dentro de ésta, contra el flujo de vapor azeotrópico contaminado 26, como se ha descrito anteriormente. Más adelante se describirán alternativas a esta realización. En la entrada 31 de disolvente líquido 34 de la primera columna 18, que corresponde a la salida para el vapor azeotrópico 28, tanto el disolvente líquido 34 como el vapor azeotrópico 28 están sustancialmente libres de contaminantes. En la salida 29 del disolvente líquido 34 de la primera columna 18, que corresponde a la entrada para el vapor azeotrópico contaminado 26, tanto el disolvente líquido 34 como el vapor azeotrópico contaminado 26 tienen contaminantes. El vapor azeotrópico contaminado 26 se descontamina progresivamente según avanza a lo largo de la altura de la primera columna 18, mientras que el disolvente 34 es progresivamente más rico en contaminantes según avanza hacia la parte baja de la primera columna 18. El disolvente líquido contaminado 38 sale de la primera columna 18 y regresa a la segunda caldera 22 con un porcentaje de agua contaminada condensada.

Posteriormente a la separación en el separador 33, el constituyente de agua separada 36 aún contiene un determinado porcentaje de disolvente que puede hacerlo inapropiado para su vertido al medio ambiente. Ventajosamente, este porcentaje de disolvente puede eliminarse sustancialmente por el uso de una segunda columna 39. En la segunda columna 39, el constituyente de agua separada 36 se expone a vapor de agua 44. El disolvente residual que queda en el agua separada 36 se elimina así progresivamente en la segunda columna 39, en la que se transfiere al vapor de agua 44 por principios de equilibrio. Esta fase de eliminación del disolvente se denomina en el presente documento como la segunda fase.

Por lo tanto, un agua líquida sustancialmente sin disolvente y descontaminada, que se denominará en el presente documento como "agua purificada" 40, sale de la segunda columna 39. El agua purificada 40 puede extraerse en la salida 48. Ventajosamente, al menos una porción del agua purificada 40 se canaliza hasta una tercera caldera 42 que proporciona el vapor de agua 44 en la segunda columna 39. La tercera caldera 42 vaporiza una porción del agua purificada 40, para producir lo que se denominará en el presente documento como "vapor puro" 44, que transcurre a través de la segunda columna 39 contra el flujo del constituyente de agua líquida 36. El disolvente residual en el constituyente de agua líquida 36 se transfiere así sustancialmente al vapor puro 44 en la segunda columna 39, a través de principios de equilibrio, formando progresivamente de este modo un vapor azeotrópico puro 46 de agua y disolvente mezclados, pero sustancialmente sin contaminantes. Posteriormente, este vapor azeotrópico puro 46 también se condensa, y se separa en constituyentes de agua 36 y disolvente 34 que se usarán en la segunda columna 39 y la primera columna 18, respectivamente. Ventajosamente, el vapor azeotrópico puro 46 de la segunda columna 39 puede combinarse con el vapor azeotrópico descontaminado 28 de la primera columna 18 antes de condensarse juntos 32 en el condensador 30. Por lo tanto, la mezcla heterogénea 32 de agua y disolvente que sale del condensador 30 y que se separa de una mezcla de los vapores 28 y 46 de la primera columna 18 y la segunda columna 39 en el ejemplo ilustrado. El constituyente de agua separada 36 y el constituyente de disolvente 34 siguen posteriormente las porciones que se han descrito previamente del ciclo.

El proceso que se ha descrito anteriormente es útil en el tratamiento de diversos tipos de agua contaminada, y es especialmente útil en la extracción de contaminantes neutros que no pueden extraerse por lavadores de ácido o alcalinos tradicionales. Su uso ejemplar se refiere al tratamiento de estiérol líquido en la industria porcina, pero puede usarse fácilmente con o sin adaptación para tratar subproductos de agua contaminada de otros animales, o incluso en el tratamiento de agua contaminada de otras industrias, tales como las industrias papelera, alimentaria o del petróleo, por ejemplo.

En una realización alternativa, la primera caldera 14 y la segunda caldera 22 pueden combinarse en una única caldera. El uso de dos calderas distintas es ventajoso en el caso del tratamiento de estiérol líquido ya que evita que los residuos condensados en la primera caldera 14 reciban el disolvente.

En otras realizaciones alternativas, la segunda caldera puede eliminarse o derivarse. Por ejemplo, un puede usarse

alternativamente un recipiente para recibir el disolvente contaminado 38 de la primera columna 18 y puede usarse un sistema de filtración y una bomba para proporcionar el disolvente líquido 34 a la primera columna 18. El uso de una segunda caldera es ventajoso ya que los vapores del disolvente también se limpian por la acción del disolvente líquido en la primera columna 18. Todavía otras realizaciones alternativas pueden usar una fuente separada de agua distinta del agua pura 40 para proporcionar el vapor de agua 44 en la segunda columna 39. Aún adicionalmente, la segunda columna 39 puede reemplazarse en su totalidad por otro sistema adecuado para eliminar el disolvente del agua líquida, u omitirse en su totalidad en casos en los que se descubre que las concentraciones de disolvente en el constituyente de agua separada 36 son tolerables.

Existen y se conocen muchos tipos de columnas para hacer reaccionar un líquido y un gas. En la realización ilustrada, se usan columnas rellenas como la primera columna 18 y la segunda columna 39. Sin embargo, pueden usarse otros tipos de columnas, como una torre de placas, por ejemplo. Más a continuación se describirán otras posibles adaptaciones, especialmente relacionadas con el uso de las mejoras con otros tipos de contaminantes distintos del estiércol líquido, posteriormente a los detalles de la aplicación de las mejoras con estiércol líquido como la fuente de agua contaminada.

El estiércol líquido procedente del cerdo es altamente contaminante, y típicamente incluye sólidos que se eliminan preferiblemente, tal como por filtración, antes de la etapa de calentamiento. Después, el estiércol líquido filtrado es bastante líquido y aún puede incluir aproximadamente el 3 % de sólidos y aproximadamente el 97 % de líquidos. Como una primera etapa de un proceso de extracción de agua, el estiércol líquido se somete a calor en una caldera y parte del agua contenida en el mismo se evapora.

Típicamente, el agua se evapora hasta que el estiércol incluye aproximadamente el 30 % de sólidos para aproximadamente el 70 % de líquidos. Esta última composición da como resultado ventajosamente una mezcla húmeda que puede moverse con pala, y que puede desecharse por compostaje. Muchos contaminantes se quedan en el líquido, pero algunos contaminantes toman forma gaseosa tras la evaporación y forman azeótropos con el vapor de agua, es decir, se evaporan y forman una mezcla gaseosa con el vapor de agua. Los contaminantes en el vapor de agua contaminado 13 pueden clasificarse en tres tipos diferentes: contaminantes ácidos, contaminantes alcalinos y contaminantes neutros. Aunque pueden usarse lavadores alcalinos y de ácido conocidos para tratar los dos primeros tipos de contaminantes, típicamente son ineficaces en los contaminantes neutros. El aparato 10 puede combinarse ventajosamente con un lavador de ácido 50 y un lavador alcalino 60 para tratar los dos primeros tipos de contaminantes. La concentración de contaminante en el vapor de agua contaminado que sale de los lavadores es relativamente baja, pero aún puede considerarse como no despreciable, en cuyo caso pueden tratarse ventajosamente usando el aparato 10 que se ha descrito anteriormente.

Una fuente de contaminante que es común para el vapor de agua contaminado evaporado del estiércol líquido es un alto nivel de amoníaco (NH_3), un gas que es soluble en agua pero que se disocia del vapor de agua. Los gases que no se condensan a temperatura ambiente y que se mezclan en el vapor contaminado, tal como NH_3 , deben eliminarse preferiblemente antes de la primera fase de purificación. Si no se eliminan, pueden tender a acumularse dentro del condensador 30. Esto es particularmente indeseable cuando se usan intercambiadores de calor, como se analizará más adelante, ya que dichos gases acumulados pueden actuar como aislantes y, por lo tanto, impiden la transferencia de calor. El NH_3 gaseoso tiende a disociarse en NH_4^+ y OH^- (es decir, un ácido y un radical alcalino) en presencia de agua y, por lo tanto, ventajosamente se trata usando un lavador de ácido 50 (figura 1). También se sabe que el estiércol líquido contiene sulfuro ácido (H_2S). El sulfuro ácido puede eliminarse sustancialmente usando un lavador alcalino 60. Por estos y otros motivos, al tratar el estiércol líquido de cerdo, se recomienda el uso tanto de un lavador de ácido 50 como de un lavador alcalino 60 junto con el aparato 10. Típicamente, el lavador de ácido 50 y el lavador alcalino 60 se usan entre la primera caldera 12 y la primera columna 18, y sirven para eliminar sustancialmente la mayor parte de los contaminantes ácidos y alcalinos del vapor de agua contaminado 13.

Los lavadores de ácido y alcalinos 50, 60 son típicamente columnas en las que el vapor de agua contaminado 13 transcurre y se expone a una elevada área de superficie de líquido alcalino 52 o ácido 62 que transcurre en direcciones opuestas. El principio de las columnas se conoce bien en la técnica y varios fabricantes presentan diferentes tipos de columnas para diferentes aplicaciones.

En el lavador de ácido 50, un líquido alcalino 52 reacciona con los ácidos en el vapor de agua contaminado 13, lo que da como resultado la formación de sales. Preferiblemente, se produce sulfato de amonio, que puede usarse ventajosamente como fertilizante en las granjas cercanas. El vapor contaminado 15 que sale del lavador de ácido 50 se deshace así sustancialmente de los contaminantes ácidos. De forma análoga, se suministra un líquido ácido 62 en el lavador alcalino 60 que reacciona con el alcalino en el vapor de agua contaminado 15 y crea sales. El vapor de agua 16 que sale de ambos lavadores 50, 60 se suministra entonces a la primera columna 18, y sigue en las etapas

restantes del proceso según como se ha descrito anteriormente.

Se apreciará aquí que se encontró ventajoso en el caso del tratamiento de estiércol líquido añadir ácido en el agua descontaminada 12 antes de su calentamiento en la primera caldera 14. Esto ha conducido a un aumento de la extracción de amoníaco. En el tratamiento del estiércol líquido, puede usarse ventajosamente ácido sulfúrico como el ácido añadido en el agua descontaminada 12 y/o usarse en el lavador básico 60, ya que el ácido sulfúrico produce sulfato de amonio al reaccionar con amoníaco, un subproducto que puede usarse en fertilizantes.

A partir de lo anterior, puede observarse que una función del disolvente en las aplicaciones con estiércol líquido es absorber los contaminantes que quedan en el vapor de agua contaminado 16 posteriormente al lavado de ácido 50 y alcalino 60, aunque los lavadores pueden no ser esenciales con respecto a otras realizaciones de la invención. Como se ha descrito anteriormente, el proceso separa los constituyentes de disolvente 34 y de agua 36 de la mezcla 32. Por lo tanto, el disolvente tiene preferiblemente las siguientes características: se adapta para formar una mezcla azeotrópica 20 con agua de tal forma que una cantidad suficiente del mismo se evaporará con el agua en la segunda caldera 22; es relativamente insoluble en agua para formar un líquido heterogéneo con agua 32, para que pueda separarse de la misma; no es venenoso; está en estado líquido a temperatura ambiente; y en su estado líquido, tiene las propiedades de absorber los contaminantes gaseosos que se pretenden absorber. Aunque que cree que los hidrocarburos, tales como pentano, heptano y nonano, proporcionan disolventes adecuados en otras aplicaciones, se ha descubierto que los alcoholes proporcionan características de disolvente ventajosas al usarse para tratar los tipos de contaminantes que se encuentran en el estiércol líquido.

Los alcoholes son una gran familia de moléculas caracterizadas típicamente por que contienen uno o más grupos hidrocarburo y uno o más grupos hidroxilo (-OH). La familia de alcohol incluye los siguientes miembros progresivamente más pesados: etanol, butanol, n-amil alcohol, alcohol hexílico y octanol. Las temperaturas de evaporación de los miembros anteriores aumentan progresivamente con su "peso". Además, la relación de peso azeotrópico de la cantidad del miembro que se evapora con una cantidad respectiva de agua disminuye progresivamente con su "peso". Por ejemplo, el butanol tiene una temperatura de evaporación de aproximadamente 118 °C, y al mezclarse con agua, forma una mezcla de vapor azeotrópico que tiene el 55 % de butanol y el 45 % de vapor de agua (relación de 1.22:1). Por el contrario, el octanol se evapora a aproximadamente 195 °C, y forma un azeótropo que tiene el 10 % de octanol y el 90 % de vapor de agua (relación de 0.11:1). El aumento de la cantidad de disolvente que se evapora típicamente da como resultado un mejor lavado (es decir, un porcentaje inferior de contaminantes restantes en el vapor de agua). Sin embargo, también da como resultado una mayor concentración de disolvente que queda en el constituyente de agua separada 36 que debe lavarse en la segunda columna 39. Aunque puede no ser un problema determinante, también se debería considerar el coste energético de la evaporación del disolvente. Típicamente, cuando el disolvente que tiene una primera temperatura de evaporación se calienta con agua que tiene una segunda temperatura de evaporación, el azeótropo formado por la mezcla de los mismos tendrá una tercera temperatura de evaporación que está típicamente por debajo de la primera y segunda temperaturas de evaporación. En el caso del butanol, por ejemplo, la temperatura de evaporación del azeótropo butanol-agua es de 92 °C. Por estos y otros motivos que aparecerán con respecto a la descripción del ciclo termodinámico ejemplar, descrito más adelante, se ha descubierto que el alcohol hexílico proporciona características satisfactorias en aplicaciones con estiércol líquido.

El alcohol hexílico tiene una temperatura de evaporación de aproximadamente 158 °C, y forma un azeótropo heterogéneo con agua que tiene una temperatura de evaporación de aproximadamente 98 °C y una relación de evaporación de aproximadamente 0.5:1. Pueden encontrarse disolventes distintos de alcohol hexílico que proporcionan mejores resultados o que se adaptan mejor para tratar los contaminantes de una fuente diferente. Las aplicaciones, tales como usos industriales con concentraciones superiores de contaminantes, por ejemplo, pueden requerir un disolvente con mayor relación de evaporación, u otras características adecuadas.

A partir de lo anterior, se apreciará sin duda el efecto purificante del aparato 10 sobre el agua contaminada, pero probablemente conducirá a reflexionar en cuanto lo que representan los costes energéticos adicionales relacionados con la evaporación del disolvente y el agua en la segunda 22 y tercera 42 calderas. Cabrá preguntarse si tal aparato será económicamente viable. Como se muestra en la figura 2, los costes energéticos del aparato pueden reducirse en gran medida implementando el siguiente concepto termodinámico.

Volviendo ahora a la figura 2, puede usarse ventajosamente un intercambiador de calor de estiércol líquido 80 para calentar el estiércol líquido 12 usando la energía del agua pura 48 que está caliente al salir de la segunda columna 39. Los vapores azeotrópicos 28 y 46 de la primera columna 18 y la segunda columna 39 pueden combinarse en un vapor azeotrópico combinado 70. Puede usarse ventajosamente un compresor 72 aguas arriba del condensador 30 y comprimir el vapor azeotrópico combinado 70, aumentando de este modo la energía interna y la temperatura de

condensación del mismo y formando un vapor azeotrópico comprimido 74. La energía liberada por la condensación de este vapor azeotrópico comprimido 74 puede usarse entonces en la generación de al menos uno de los vapores usados en el sistema usando intercambiadores de calor.

5 En la realización ilustrada, el vapor azeotrópico comprimido 74 se condensa en tres intercambiadores de calor sucesivos 76, 78 y 79, conectados respectivamente con la tercera caldera 42, la segunda caldera 22 y la primera caldera 14, respectivamente. Los intercambiadores de calor 76, 78 y 79, pueden considerarse como una primera parte 30A, una segunda parte 30B y una tercera parte 30C del condensador. La etapa de compresión por el compresor 72 eleva la temperatura de condensación del vapor azeotrópico comprimido 74 por encima de la temperatura de evaporación del agua (100 °C). La energía liberada por la condensación del vapor azeotrópico se libera así eficazmente en las calderas y se recupera de este modo en la vaporización del agua descontaminada 12, la mezcla azeotrópica 20 y el agua pura 40. Las posibles realizaciones alternativas incluyen el uso de la energía de condensación únicamente con una o dos calderas en lugar de las tres.

15 En la realización en la que se trata el estiércol líquido de la producción porcina, puede usarse ventajosamente alcohol hexílico. El azeótropo agua-alcohol hexílico tiene una temperatura de evaporación de aproximadamente 98 °C. Su vapor puede comprimirse ventajosamente en aproximadamente 34,5 kPa (5 psi) por encima de la presión atmosférica, a aproximadamente 141,8 kPa (1,4 atmósferas), lo que eleva la energía interna y lleva la temperatura de evaporación/condensación a aproximadamente 108 °C. La diferencia en la temperatura ΔT_3 entre la mezcla de azeótropo de condensación y el agua pura de ebullición 40 en la tercera caldera es, por lo tanto, de 8 °C. En la segunda caldera 22, la ΔT_2 es, por lo tanto, de 10 °C (ya que el azeótropo hierve a 98 °C a una atmósfera), y en la primera caldera 14 la ΔT_1 es de 8 °C.

25 Para una velocidad de intercambio de calor deseada determinada, cuanto mayor es la ΔT , menor será la superficie de intercambio de calor necesaria. Por lo tanto, hay un interés en aumentar la temperatura de condensación del azeótropo aumentando la presión. Sin embargo, hay un coste energético en el compresor 72 al aumentar la presión y ha de alcanzarse un compromiso entre el aumento de la presión y el tamaño y eficiencia que puede conseguirse con los intercambiadores de calor. Con fines ejemplares, el consumo de energía total conseguido experimentalmente usando el aparato 10 con los intercambiadores de calor que se describen fue únicamente aproximadamente el 30 % mayor que para la ebullición en solitario (usando alcohol hexílico como disolvente). Usando un aparato prototipo que no tenía ni lavador de ácido y alcalino, usando alcohol hexílico como el disolvente, y funcionando durante cuatro días consecutivos, se obtuvo agua pura 48 que tenía menos de 10 ppm de C.O.D., menos de ,02 ppm de fósforo, menos de 1 ppm de nitrógeno, y menos de 0,1 ppm de potasio. Una vez que el sistema funciona en estado estable, es un objetivo que la energía de entrada se proporciona únicamente por el compresor 72 que compensa todas las pérdidas del sistema. En el funcionamiento en estado estable, por lo tanto, la energía del agua pura caliente 48 se usa para calentar el estiércol líquido 12, antes de la entrada en la primera caldera 14, el agua contaminada 13 se evapora en la primera caldera 14 usando la energía de los vapores comprimidos de condensación 74, y la energía de los vapores comprimidos de condensación 74 también se usa en la evaporación del vapor azeotrópico 24 de la segunda caldera 22 usando el segundo intercambiador de calor 78, y en la evaporación del vapor de agua 44 de la tercera caldera 42 usando el primer intercambiador de calor 76. Dadas las enseñanzas de la presente descripción, se cree que las pérdidas energéticas en el proceso pueden minimizarse mediante una optimización de procesos habituales.

45 Por lo tanto, se ha ilustrado la importancia de las diferencias de temperatura al usar los intercambiadores de calor. Éste se convierte en otro factor más a considerar al seleccionar un disolvente apropiado. De hecho, si se usó dicho butanol en una aplicación particular, se entiende que la diferencia de temperatura ΔT en la primera 14 y tercera 42 calderas para un mismo aumento de presión será menor que al usar alcohol hexílico. La razón es que el butanol crea un azeótropo con agua que hierve a 92 °C en lugar de 98 °C para el alcohol hexílico. Por lo tanto, si se consigue un aumento de 10 °C, el azeótropo únicamente se condensará a 102 °C que deja solamente una diferencia de 2 °C con la primera 14 y tercera 42 calderas. Por lo tanto, en este caso, los intercambiadores de calor tendrán que ser más grandes que si se usó alcohol hexílico. El balance de ventajas de usar butanol como el disolvente aún puede revelarse como ventajoso en ciertas aplicaciones, como cuando es necesario un lavado a fondo.

55 Una manera alternativa que se ha previsto para recuperar la energía se denomina como el principio multi-efecto. En el principio multi-efecto, se usan en paralelo varios procesos de purificación de agua. La presión en las calderas se mantiene sucesivamente inferior de un proceso de purificación al siguiente, manteniendo de este modo la temperatura de evaporación en cada caldera sucesivamente inferior que la temperatura de evaporación en la caldera del proceso anterior. La energía de la condensación de cada proceso sucesivo puede entonces recuperarse en al menos una caldera del proceso siguiente. Esto puede producir resultados satisfactorios en ciertas aplicaciones.

60

5 Las realizaciones de las mejoras que se han descrito anteriormente pretenden ser únicamente ejemplares. Aparecerán otras realizaciones alternativas a las que se contemplan en la presente divulgación, y dichas realizaciones alternativas pretenden estar dentro del alcance de la invención. Por ejemplo, el uso de diferentes tipos de disolvente, el uso de columnas de un tipo apropiado, calderas e intercambiadores de calor, se dejan todos a la elección de los expertos en la técnica que realizan las realizaciones particulares de la invención. El alcance de las mejoras pretende limitarse únicamente por el alcance de las reivindicaciones adjuntas.

REVINDICACIONES

1. Un proceso para purificar agua contaminada, preferiblemente procedente de estiércol líquido, que comprende:
- realizar una primera etapa de purificación (18) que incluye exponer el agua contaminada en fase de vapor a un disolvente (34), preferiblemente alcohol hexílico, en fase líquida para deshacerse sustancialmente de este modo del vapor de agua contaminado de contaminantes por transferencia de los contaminantes al disolvente líquido;
 - recuperar (29, 22) el disolvente líquido contaminado mixto (38) y el agua líquida que se condensa durante la primera etapa de purificación, formando el disolvente usado un azeótropo heterogéneo con agua;
 - vaporizar (22) los líquidos recuperados en un vapor azeotrópico contaminado (26) y exponer adicionalmente el vapor azeotrópico contaminado al disolvente en fase líquida (34) para deshacerse sustancialmente de este modo del vapor azeotrópico contaminado de los contaminantes por transferencia de los contaminantes al disolvente líquido en la primera etapa de purificación;
 - condensar juntos (30) el vapor de agua descontaminada y el vapor del disolvente (28) de la primera etapa de purificación (18) en un líquido heterogéneo (32); separar sustancialmente (33) el líquido heterogéneo (32) en un constituyente de agua líquida (36) y un constituyente de disolvente líquido (34) y canalizar el constituyente de disolvente líquido separado (34) en la primera etapa de purificación (18);
 - posteriormente a la primera etapa de purificación, realizar una segunda etapa de purificación (39) que incluye exponer el agua descontaminada (36) en fase líquida a agua en fase de vapor (44) para deshacerse sustancialmente de este modo del agua líquida descontaminada del disolvente por transferencia del disolvente en el vapor de agua.
2. El proceso de la reivindicación 1, que comprende adicionalmente usar energía liberada durante la condensación (30) para vaporizar al menos uno del agua contaminada y los líquidos recuperados, que comprende preferiblemente comprimir el vapor de agua descontaminada y el vapor del disolvente antes de la condensación.
3. El proceso de la reivindicación 1 o 2, en el que el disolvente usado forma un azeótropo heterogéneo con agua, que comprende adicionalmente: condensar juntos el vapor de agua y el vapor del disolvente (46) de la segunda etapa de purificación (39) en un líquido heterogéneo (32); separar sustancialmente (33) el líquido heterogéneo en un constituyente de agua líquida (36) y un constituyente de disolvente líquido (34); canalizar el constituyente de disolvente líquido separado (34) en la primera etapa de purificación (18); y canalizar el constituyente de agua líquida separada (36) en la segunda etapa de purificación (39).
4. El proceso de la reivindicación 3, que comprende adicionalmente: recuperar el disolvente líquido contaminado mixto y el agua líquida que se condensa (38) en la primera etapa de purificación (18), vaporizar los líquidos recuperados en un vapor azeotrópico contaminado (24); exponer adicionalmente el vapor azeotrópico contaminado al disolvente en fase líquida (34) para deshacerse sustancialmente de este modo del vapor azeotrópico contaminado (24) de los contaminantes por transferencia de los contaminantes al disolvente líquido en la primera etapa de purificación (18); y condensar (30) el vapor de agua descontaminada y el vapor del disolvente (28) de la primera etapa de purificación (18) junto con el vapor de agua y el vapor del disolvente (46) de la segunda etapa de purificación (39) en el líquido heterogéneo.
5. El proceso de la reivindicación 1 o 4, en el que los líquidos recuperados se vaporizan por separado del agua descontaminada (12), que comprende preferiblemente tratar el agua descontaminada con al menos uno de un lavador de ácido (50) y un lavador básico (60) antes de la primera etapa de purificación (18).
6. El proceso de la reivindicación 3 o 4, que comprende adicionalmente usar la energía liberada durante la condensación para vaporizar al menos uno de los vapores usados en el proceso, que comprende preferiblemente comprimir el vapor de agua descontaminada y el vapor del disolvente antes de la condensación.
7. El proceso de la reivindicación 1, que comprende:
- calentar el agua descontaminada (14) para formar un vapor descontaminado (13);
 - transferir los contaminantes del vapor contaminado (16) a un disolvente líquido (34) exponiendo el vapor contaminado con los mismos, proporcionando así un vapor azeotrópico descontaminado (28) que contiene tanto vapor de agua como vapor de disolvente;
 - condensar (30) el vapor azeotrópico descontaminado (28) en un líquido heterogéneo (32) que incluye agua condensada y disolvente condensado; y

- separar (33) el líquido heterogéneo (32) en un constituyente de agua condensada (36) y un constituyente de disolvente condensado (34).

8. El proceso de la reivindicación 7, que comprende adicionalmente:

- recuperar una mezcla heterogénea (38) de disolvente y agua en fase líquida posteriormente a dicha etapa de transferencia;
- calentar (22) la mezcla heterogénea en un vapor azeotrópico (24);
- integrar el vapor azeotrópico (24) en el vapor contaminado antes de la etapa de transferencia; y
- usar al menos una porción del constituyente de disolvente condensado separado (34) como el disolvente líquido en la etapa de transferencia.

9. El proceso de la reivindicación 7 o 8, que comprende adicionalmente, después de la etapa de separación (33) del líquido heterogéneo en un constituyente de agua condensada (36) y un constituyente de disolvente condensado (34):

- calentar el agua líquida en un vapor de agua (44); y
- transferir el disolvente (39) del agua condensada (36) al vapor de agua (44) exponiendo el agua condensada (36) con los mismos;
- integrar el vapor de agua (46) en el vapor azeotrópico descontaminado (28) antes de la etapa de condensación (30) y posteriormente a la etapa de transferencia del disolvente (39).

10. El proceso de una cualquiera de las reivindicaciones 7 a 9, que comprende adicionalmente usar la energía liberada durante la etapa de condensación (30) en la etapa de calentamiento, aumentando preferiblemente la presión del vapor azeotrópico descontaminado (28).

11. Un aparato de purificación de agua, que comprende:

- una primera caldera (14) donde el agua contaminada (12) se vaporiza,
- un depósito de disolvente líquido,
- una primera columna (18) que tiene una entrada de vapor conectada a la primera caldera (14), una salida de vapor, una entrada de líquido conectada al depósito de disolvente líquido, una salida de líquido, y medios para exponer el vapor de agua contaminado al disolvente líquido para transferir contaminantes al disolvente líquido;
- preferiblemente al menos uno de un lavador de ácido (50) y un lavador básico (60) conectado entre la primera caldera (14) y la primera columna (18);
- una segunda caldera (22) que tiene una entrada de líquido conectada a la salida de líquido de la primera columna (18), y una salida de vapor conectada a la entrada de vapor de la primera columna (18);
- un condensador (30) conectado a la salida de vapor de la primera columna (18); comprendiendo preferiblemente el condensador (30) al menos un intercambiador de calor conectado a al menos una caldera, preferiblemente que comprende adicionalmente un compresor conectado aguas arriba del condensador;
- un separador (33) conectado aguas abajo del condensador (30) y que tiene el depósito de disolvente líquido y un depósito de agua descontaminada;
- una segunda columna (39) que tiene una entrada de líquido conectada al depósito de agua descontaminada, una salida de agua, una entrada de vapor, una salida de vapor conectada al condensador (30), y medios para hacer reaccionar el agua líquida con vapor de agua; y
- una tercera caldera (42) conectada tanto a la salida de agua como a la entrada de vapor de la segunda columna (39).

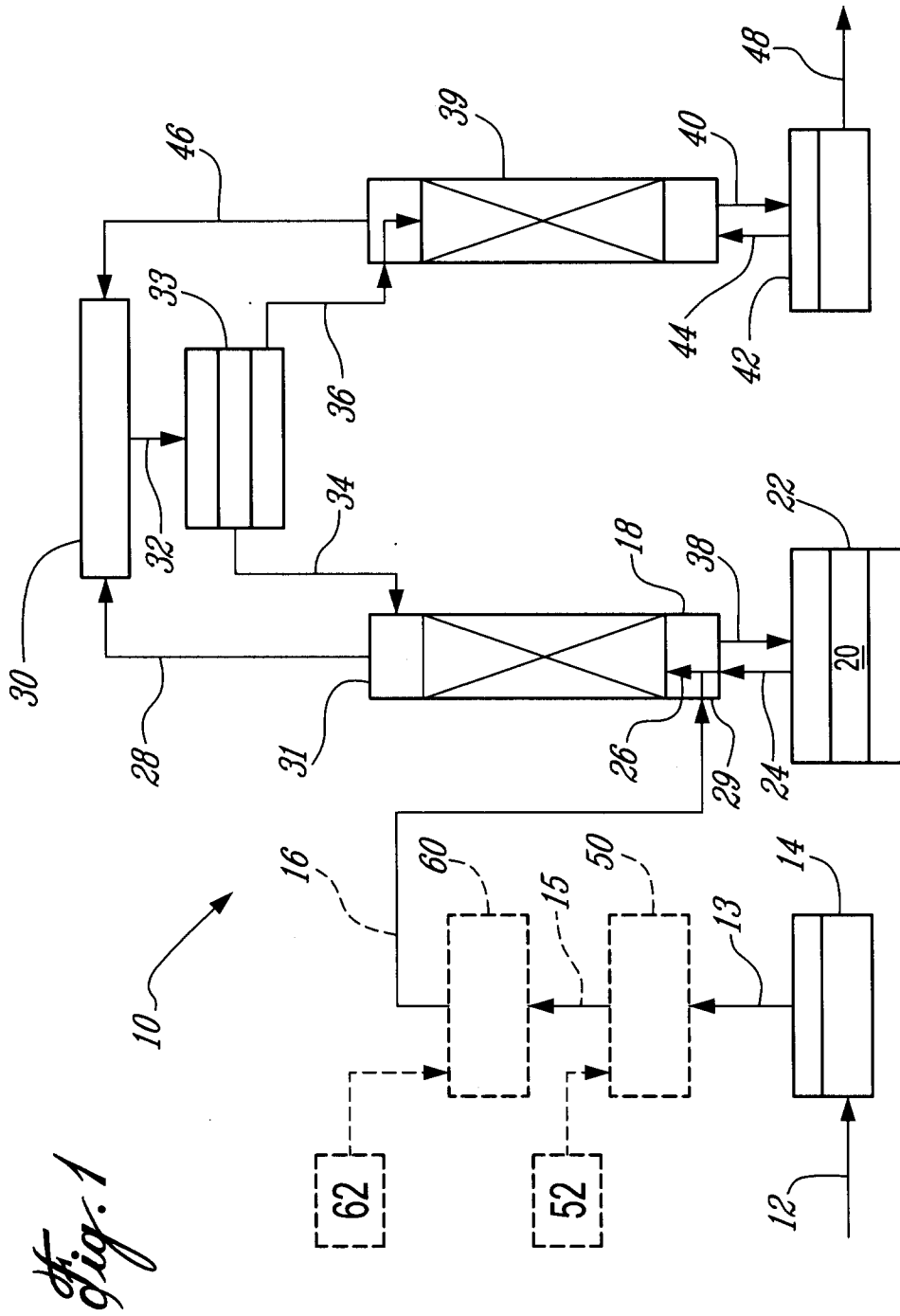


Fig. 2

