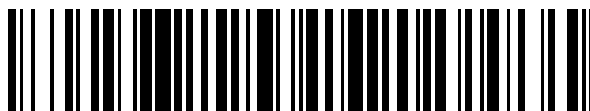


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 798 152**

51 Int. Cl.:

C02F 1/04 (2006.01)

B01D 1/00 (2006.01)

B01D 1/28 (2006.01)

B01D 1/30 (2006.01)

B01D 9/00 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **22.05.2009** **PCT/US2009/045036**

87 Fecha y número de publicación internacional: **03.12.2009** **WO09146295**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **22.05.2009** **E 09755657 (5)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **22.04.2020** **EP 2300373**

54 Título: **Método para eliminar sólidos disueltos de corrientes residuales acuosas**

30 Prioridad:

29.05.2008 US 128871

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la
traducción de la patente:
09.12.2020

73 Titular/es:

VEOLIA WATER TECHNOLOGIES, INC. (100.0%)
Airside Business Park, 250 Airside Drive
Moon Township, Pennsylvania 15108, US

72 Inventor/es:

GALLOT, JEAN-CLAUDE

74 Agente/Representante:

LEHMANN NOVO, María Isabel

ES 2 798 152 T3

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín Europeo de Patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre Concesión de Patentes Europeas).

DESCRIPCIÓN

Método para eliminar sólidos disueltos de corrientes residuales acuosas

5 CAMPO DE LA INVENCION

La presente invención se refiere a un proceso para precipitar sólidos disueltos en una corriente residual usando un sistema de evaporación-cristalización que se hace funcionar a baja presión y baja temperatura. En particular, este proceso es aplicable a sistemas de descarga líquida cero para tratar aguas residuales derivadas de sistemas de recogida de lixiviado usados en vertederos u operaciones de lavado en húmedo tales como las usadas en la desulfuración de gas de combustión y la gasificación de carbón.

ANTECEDENTES

El quemado o la gasificación de carbón o coque de petróleo produce un gas que contiene diversos contaminantes. En centrales eléctricas alimentadas con carbón, la desulfuración de gas de combustión (DGC) se emplea a menudo para lavar la mayor parte del dióxido de azufre del gas de combustión. De manera similar, se utiliza una etapa de lavado de gas en la mayoría de los procesos de gasificación usados para carbón y coque de petróleo para producir gas de síntesis. En los procesos de lavado en húmedo, un agente alcalino disuelto en agua reacciona con y elimina contaminantes del gas de combustión. Los lavadores en húmedo requieren normalmente una purga continua para limitar la acumulación de sales corrosivas y sólidos suspendidos lavados de la corriente de gas.

La mayoría de los lavadores en húmedo pulverizan normalmente el gas de combustión con una suspensión que contiene caliza (CaCO_3). El dióxido de azufre (SO_2) en el gas de combustión reacciona con la caliza para formar sulfito de calcio (CaSO_3). Este producto se oxida adicionalmente para producir yeso ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) introduciendo aire en el lavador. Aunque las composiciones de corrientes residuales de lavador varían dependiendo del tipo de combustible y el reactivo de lavado usado, las corrientes residuales son generalmente una disolución de cloruro saturada con yeso y contienen calcio, magnesio, sodio, potasio y cantidades traza de metales pesados. Estas sales son extremadamente solubles y tienen elevaciones del punto de ebullición altas.

Los contaminantes encontrados en una corriente residual de gas de combustión de un lavador de gas de combustión que usa caliza para eliminar contaminantes se facilitan a continuación en la tabla 1.

Tabla 1:

Contaminante	Concentraciones típicas
Calcio	4250 mg/l
Magnesio	950 mg/l
Sodio	590 mg/l
Potasio	25 mg/l
Hierro	15 mg/l
Cloruro	10.000 mg/l
Sulfato	1320 mg/l
Nitrato	90 mg/l
Fluoruro	12 mg/l
Sílice	28 mg/l
Sólidos suspendidos totales	5.000 mg/l
Alcalinidad m	280 mg/l como CaCO_3

Los contaminantes encontrados en una corriente residual de gas de combustión de un lavador de gas de combustión que usa caliza dolomítica para eliminar contaminantes se facilitan en la tabla 2.

Tabla 2:

Contaminante	Concentraciones típicas
Calcio	1.200 mg/l
Magnesio	9.900 mg/l
Sodio	1.700 mg/l

Contaminante	Concentraciones típicas
Potasio	50 mg/l
Cinc	4,6 mg/l
Cloruro	9.000 mg/l
Sulfato	28.000 mg/l
Bromuro	20 mg/l
Sólidos suspendidos totales	7.000 mg/l

A menudo, estas corrientes residuales no pueden descargarse al entorno sin tratamiento químico. Tradicionalmente, el agua residual de un proceso de lavado con caliza requiere al menos dos fases de precipitación/floculación debido a la amplia variación en los valores de pH óptimos para la precipitación de los metales presentes. Además, la presencia de selenio, nitratos y compuestos orgánicos en la corriente de purga a menudo requiere un tratamiento biológico antes de la descarga. Tales métodos de tratamiento pueden reducir los sólidos suspendidos, los metales, la acidez y la demanda de oxígeno, pero no reducen el cloruro o los sólidos disueltos totales.

Además, a medida que los límites de descarga se vuelven más estrictos, los métodos de tratamiento físico, químico y biológico pueden no reducir las concentraciones hasta los niveles requeridos para la descarga de algunas especies químicas. Cuando los métodos de tratamiento convencionales son incapaces de tratar corrientes residuales de lavador para producir un efluente que cumpla con los requisitos de un permiso de descarga, puede emplearse un proceso de evaporación. Los procesos de evaporación evaporan sustancialmente toda el agua de la corriente residual y eliminan sustancialmente todos los sólidos disueltos de la corriente residual, dando como resultado una descarga líquida cero al entorno.

Existen generalmente dos enfoques que se han usado para conseguir una descarga líquida cero de purga de lavadores en húmedo usando evaporación. El primer enfoque incluye un proceso de clarificación inicial para reducir los sólidos suspendidos en la corriente de agua afluente. El agua clarificada fluye hasta un tanque de evaporador, en el que se neutraliza con ácido antes de que la corriente de agua se precaliente en intercambiadores de calor de placas. El agua precalentada se desairea entonces usando vapor del evaporador. Normalmente, la mayor parte del agua se evapora en un evaporador de película descendente a presión atmosférica. Se usa un secador rotatorio o por pulverización para eliminar el agua restante y producir un sólido seco que se envía a un vertedero.

El segundo enfoque implica ablandar químicamente la purga de lavador tras un proceso de clarificación inicial. Generalmente se añaden cal y ceniza de sosa a la purga de lavador para provocar que sustancialmente todos los iones magnesio y calcio precipiten como hidróxido de magnesio y carbonato de calcio, respectivamente. El precipitado sedimenta y se elimina de la purga de lavador. Normalmente, la purga de lavador ablandada se neutraliza con ácido antes de precalentar y desairear la corriente de agua. La purga de lavador se envía entonces a un evaporador de película descendente o evaporador de efecto múltiple para vaporizar el agua y concentrar la purga de lavador. La purga concentrada se evapora adicionalmente en un evaporador de circulación forzada. Una suspensión de sales precipitadas formada en el evaporador de circulación forzada se envía a una centrífuga o un filtro de presión para separar los sólidos del agua.

Cuando se evaporan disoluciones que contienen sales de alta solubilidad tales como cloruro de calcio, magnesio o amonio a presión atmosférica, la temperatura aumenta a medida que aumenta la concentración. Por tanto, muchos sistemas de evaporación de corrientes residuales funcionan a temperaturas muy altas. Sin embargo, muchas sales se hidrolizan a altas temperaturas conduciendo a la corrosión del sistema de evaporación. Por tanto, muchos evaporadores requieren el uso de aleaciones nobles para resistir a la corrosión.

Los procesos de evaporación-cristalización convencionales para corrientes residuales que contienen sales tienen numerosos inconvenientes y deficiencias. Tal como se comentó anteriormente, muchos procesos requieren la clarificación de la corriente de alimentación antes de la evaporación. Además, los procesos convencionales usan productos químicos para ablandar o acondicionar de otro modo la alimentación antes de la evaporación. Los procesos de clarificación requieren clarificadores y el uso de productos químicos que aumentan la huella del sistema de tratamiento así como los costes de capital y el mantenimiento global. Por tanto, hay una necesidad de un proceso de evaporación-cristalización que sea económico, eficiente y que sea altamente efectivo a la hora de eliminar contaminantes de corrientes residuales sin el uso de clarificación o acondicionamiento químico.

El documento US3028215 da a conocer un proceso para producir carbonato de sodio. Mejora la apariencia de los cristales mediante calcinación.

El documento US4330364 da a conocer un proceso para concentrar ácido fosfórico diluido.

El documento US5474653 da a conocer un método para controlar el flujo de partículas sólidas y por tanto evitar la obstrucción del dispositivo.

El documento EP604718 da a conocer una planta para producir sal de alta pureza con consumo de energía reducido.

El documento DE3029541 da a conocer un proceso para limpiar agua con un evaporador.

SUMARIO DE LA INVENCIÓN

La presente invención se refiere a un método de eliminación de sólidos disueltos de una corriente residual a través de un proceso de evaporación-cristalización según la reivindicación 1.

En una realización, una corriente residual se dirige a un evaporador. La corriente residual se calienta en el evaporador a una temperatura menor de 60°C a una presión menor de la presión atmosférica. El agua que forma una parte de la corriente residual se evapora, lo que provoca que la corriente residual se concentre, dando como resultado que precipiten y cristalicen sólidos disueltos y lo que da como resultado la formación de una corriente de suspensión. La corriente de suspensión se dirige a un separador líquido-sólido, que separa los sólidos cristalizados de la suspensión.

En otra realización se utiliza un proceso de evaporación de fase doble que se hace funcionar a baja temperatura y baja presión para eliminar sólidos disueltos de una corriente residual. En este proceso, la corriente residual se dirige a un primer evaporador que funciona a menos de la presión atmosférica y que calienta la corriente residual hasta una temperatura menor de 60°C. Al menos una parte del agua en la corriente residual se evapora, lo que concentra la corriente residual, lo que a su vez provoca que los sólidos disueltos precipiten a partir de la misma. Esto da como resultado la formación de una suspensión que tiene sólidos cristalizados. La suspensión que tiene los sólidos cristalizados se dirige a un segundo evaporador que se hace funcionar a una presión por debajo de la presión del primer evaporador. La corriente de suspensión se calienta hasta una temperatura de menos de 60°C provocando que se evapore agua de la misma, lo que concentra adicionalmente de manera efectiva la corriente de suspensión y da como resultado que sólidos disueltos adicionales precipiten a partir de la misma y formen un sólido cristalizado en la corriente de suspensión resultante. La corriente de suspensión resultante se dirige a un separador líquido-sólido que separa los cristales sólidos de la suspensión.

Otros objetos y ventajas de la presente invención resultarán evidentes y obvios a partir de un estudio de la siguiente descripción y los dibujos adjuntos, que son meramente ilustrativos de tal invención.

BREVE DESCRIPCIÓN DE LOS DIBUJOS

La Figura 1 es un diagrama de bloques que ilustra la estructura básica de un sistema de cristalización a baja temperatura de una sola fase.

La Figura 2 es un diagrama de bloques que ilustra la estructura básica de un sistema de cristalización a baja temperatura de una sola fase que usa una bomba de calor de ciclo cerrado.

La Figura 3 es un diagrama de bloques que ilustra la estructura básica de un sistema de cristalización a baja temperatura de dos fases que usa una bomba de calor de ciclo cerrado en el evaporador de segundo fase.

La Figura 4 es una proyección de Jänecke a 55°C de la disolución $MgCl_2/CaCl_2/KCl/H_2O$.

DESCRIPCIÓN DETALLADA

La presente invención implica un proceso de evaporación-cristalización para eliminar sólidos disueltos de una corriente residual. Este proceso es apropiado para eliminar varios tipos de sólidos de una corriente residual. En algunas realizaciones, el proceso elimina sólidos altamente solubles tales como los encontrados en corrientes residuales de gas de combustión y otras corrientes residuales similares. Tales sólidos altamente solubles incluyen cloruros, bromuros y nitratos de calcio, magnesio, cinc y amonio. A menudo estos materiales no pueden eliminarse de una corriente residual usando métodos físicos, químicos y biológicos. Sin embargo, el uso del proceso de evaporación-cristalización descrito en el presente documento elimina sustancialmente especies disueltas de la corriente residual.

El proceso de evaporación-cristalización se hace funcionar a relativamente bajas temperaturas y bajas presiones. La disminución de la presión de funcionamiento permite que el agua de la corriente residual se evapore a temperaturas menores. Las sales forman a menudo muchos hidratos y sales dobles que precipitan a concentraciones menores a medida que disminuye la temperatura de la disolución. La elevación del punto de ebullición de las disoluciones es también menor a temperaturas menores. Tras la concentración de la corriente residual a baja temperatura, los sólidos disueltos precipitarán y cristalizarán a una concentración relativamente baja. Estos sólidos se separan del agua no evaporada y se envían a un vertedero para su desecho. El agua restante puede concentrarse adicionalmente para eliminar cualquier sólido disuelto residual.

En una realización, la presente invención incluye un proceso de evaporación de agua residual de fase doble. En un primer evaporador se evapora agua de una corriente residual a una presión sustancialmente menor que la presión atmosférica. Concentrar la corriente residual fomenta la precipitación y la cristalización de especies disueltas a baja temperatura. La suspensión resultante se concentra adicionalmente en un segundo evaporador a una presión sustancialmente menor que la presión en el primer evaporador. Esto produce una suspensión más concentrada. Los sólidos se separan entonces de la suspensión concentrada y se envían para su desecho, mientras que el agua separada se recircula a uno de los evaporadores para una concentración adicional.

La Fig. 1 ilustra un sistema de evaporación a baja temperatura 10 adecuado para tratar corrientes residuales de gas de combustión y otras formas de corrientes residuales. En esta realización, el sistema 10 incluye un evaporador de circulación forzada 14 accionado mediante una fuente de calor 32 tal como vapor a baja presión. El evaporador 14 incluye la entrada de corriente de alimentación 12 para recibir la corriente residual de gas de combustión u otras formas de agua residual. El vapor de la corriente residual producido en el evaporador 14 fluye a través del conducto de salida de vapor 16 que se extiende entre el evaporador y el condensador 18. Un conducto de descarga de condensado 20 se extiende desde el condensador 18. En una realización, el vapor producido en el evaporador 14 fluye hasta el desnebulizador 36, situado aguas arriba del condensador 18, para recuperar gotitas de agua del vapor, antes de que el vapor fluya al interior del condensador, que puede ser de un tipo de mezclado que usa una salmuera por debajo de 0°C como medio de condensación, o de un tipo superficial que usa agua refrigerada por encima de 0°C como medio de condensación. Un sistema de vacío 22 conectado operativamente al condensador 18 descarga vapor no condensable a través del conducto de salida 24.

La suspensión producida en el evaporador 14 se dirige a un separador líquido-sólido 26 a través de un conducto de salida de suspensión 28 que se extiende entre el evaporador y el separador líquido-sólido. En una realización, el separador 26 incluye un dispositivo de deshidratación, tal como un filtro de presión, una centrífuga o cualquier otro tipo de separador convencional. Un conducto de desecho de sólidos 34 conduce desde el separador 26 para descargar los sólidos separados. Además, el conducto de retorno 30 se extiende entre el separador 26 y el evaporador 14 para devolver licor madre desde el separador al evaporador.

Otra realización del sistema de tratamiento de corriente residual 10 se ilustra en la Fig. 2 e incluye una bomba de calor de ciclo cerrado. En esta realización, el evaporador 54 incluye la entrada de corriente de alimentación 52 para recibir la corriente residual. El vapor producido en el evaporador 54 fluye a través del conducto de salida de vapor 56 que se extiende entre el evaporador y el condensador 58. Un conducto de descarga de condensado 20 se extiende desde el condensador 58. Tal como se ha descrito previamente, antes de que el vapor alcance el condensador 58, el vapor puede limpiarse en el desnebulizador 90. Un sistema de vacío 62 conectado operativamente al condensador 58 descarga vapor no condensable a través de un conducto de salida 64. Además, el sistema de vacío 62 está operativo para disminuir la presión en el evaporador 54.

La suspensión producida en el evaporador 54 se dirige a un separador líquido-sólido 66 a través de un conducto de salida de suspensión 68 que se extiende entre el evaporador y el separador. Un conducto de desecho de sólidos 74 conduce desde el separador 66 para descargar sólidos separados. El conducto de retorno 70 se extiende entre el separador 66 y el evaporador 54 para devolver el licor madre desde el separador de vuelta al evaporador para una concentración adicional.

Una bomba de calor de ciclo cerrado proporciona el calor requerido para evaporar la corriente residual en el evaporador 54 y el enfriamiento requerido para condensar el vapor en el condensador 58. La bomba de calor incluye un refrigerante que se calienta a medida que fluye a través del compresor 84. El refrigerante calentado se dirige al evaporador 54 a través del conducto 86 que se extiende entre el compresor 84 y el evaporador. El calor del refrigerante se transfiere a la suspensión para mantener una temperatura de ebullición en el evaporador 54. El refrigerante se dirige entonces desde el evaporador 54 hasta el intercambiador de calor 78, donde se enfría mediante agua de enfriamiento u otro medio de enfriamiento. El refrigerante enfriado se dirige al condensador 58 a través del conducto 88. En una realización, el refrigerante 82 puede dirigirse en primer lugar a la válvula de expansión 80 antes de dirigirse al condensador 58. Cuando el refrigerante pasa a través de la válvula de expansión 80, se expande y en el proceso se vuelve frío. En el condensador 58, el refrigerante provoca que el vapor dirigido desde el evaporador 54 se condense, dando como resultado que el condensado se dirija desde el condensador a través del conducto 20.

Un ejemplo de un sistema de tratamiento de corriente residual de evaporación de fase doble 10 se muestra en la Fig. 3. En esta realización, el sistema 10 incluye un primer evaporador 104, que puede ser de diversos tipos tales como la realización preferida de un evaporador de circulación forzada o un evaporador de película descendente.

El evaporador 104 incluye una entrada de corriente de alimentación 102 para recibir la corriente residual. El vapor producido en el evaporador 104 fluye hasta el compresor 108 a través del conducto de salida de vapor 106 que se extiende entre el evaporador y el compresor. En una realización, el compresor 108 es un compresor de vapor mecánico que usa una máquina con baja relación de compresión tal como un turboventilador de una sola fase. Sin embargo, pueden usarse otros compresores convencionales. El compresor 108 se acciona mediante una fuente de energía 134, tal como un motor eléctrico. El vapor comprimido vuelve al evaporador 104 a través del conducto de vapor comprimido 144 y es efectivo para calentar la suspensión producida por el evaporador. El vapor condensado se descarga desde

el evaporador 104 a través de la salida 146. Un sistema de vacío 112 está conectado operativamente al evaporador 104 y descarga vapor no condensable a través del conducto 114 y también funciona para disminuir la presión en el evaporador.

5 La suspensión producida en el evaporador 104 se dirige a un segundo evaporador de circulación forzada 118, que se acciona mediante una fuente de energía, tal como una bomba de calor de ciclo cerrado. En una realización, la suspensión producida en el evaporador 104 puede dirigirse a un tanque de mezclado 140 antes de dirigirse al segundo evaporador 118. El vapor de la suspensión producida en el evaporador 118 fluye a través del conducto de salida de vapor 142 que se extiende entre el evaporador y el condensador 120, que incluye el conducto de descarga de condensado 122. En una realización, el vapor producido en el evaporador 118 fluye hasta el desnebulizador 144, situado aguas arriba del condensador 120, para recuperar gotitas de agua del vapor, antes de que el vapor fluya al interior del condensador. Un sistema de vacío 22 conectado operativamente al condensador 18 descarga vapor no condensable a través del conducto de salida 24.

15 La suspensión producida en el evaporador 118 se dirige a un separador líquido-sólido 132, tal como un dispositivo de deshidratación, a través de un conducto de salida de suspensión 130. Un conducto de desecho de sólidos 136 conduce desde el separador 132 para descargar sólidos separados. El conducto de retorno 148 se extiende entre el separador 132 y el evaporador 118 para devolver el licor madre desde el separador de vuelta al evaporador para una concentración adicional. En una realización, el licor madre se envía al tanque de mezclado 140, situado aguas arriba de evaporador 118, donde se mezcla con la corriente de suspensión producida en el primer evaporador 104, antes de que se dirija el licor madre al segundo evaporador 118 para una concentración adicional.

25 Una bomba de calor de ciclo cerrado proporciona el calor requerido para evaporar la corriente residual en el evaporador 118 y el enfriamiento requerido para condensar el vapor en el condensador 120. La bomba de calor incluye un refrigerante que se calienta a medida que fluye a través del compresor 128. El refrigerante calentado se dirige al evaporador 118 a través del conducto 156 que se extiende entre el compresor 128 y el evaporador. El calor del refrigerante se transfiere a la suspensión para mantener una temperatura de ebullición en el evaporador 118. El refrigerante se dirige entonces desde el evaporador 118 hasta el intercambiador de calor 150, donde se enfría mediante agua de enfriamiento. El refrigerante enfriado se dirige al condensador 120 a través del conducto 158. En una realización, el refrigerante puede dirigirse en primer lugar a la válvula de expansión 152 antes de dirigirse al condensador 120. Cuando el refrigerante pasa a través de la válvula de expansión 152, se expande y se enfría. En el condensador 120, el refrigerante provoca que el vapor dirigido desde el evaporador 118 se condense, dando como resultado que se dirija el condensado desde el condensador a través del conducto 122.

35 El método puede llevarse a cabo con un único evaporador o una serie de evaporadores. En una realización de un único evaporador, el sistema se hace funcionar preferiblemente a una temperatura por debajo de 60°C. Preferiblemente, el sistema puede funcionar entre un intervalo de 40°C y 60°C. En una realización preferida, el sistema funciona a 55°C. Cuando se hace referencia al intervalo de temperatura en el que funciona el sistema, la temperatura a la que se hace referencia es la temperatura de ebullición de la corriente residual o suspensión en el evaporador. Además, el único evaporador funciona en un intervalo de presión de aproximadamente 0,015 atm a aproximadamente 0,025 atm. En una realización preferida, el sistema funciona a aproximadamente 0,017 atm. En una realización de dos evaporadores, según la invención, ambos evaporadores funcionan a una temperatura por debajo de 60°C. Preferiblemente, ambos evaporadores funcionan entre un intervalo de 40°C y 60°C. En una realización preferida, ambos evaporadores funcionan a aproximadamente 55°C. Además, el primer evaporador en el proceso de evaporación de dos fases funciona en un intervalo de presión de aproximadamente 0,1 atm a aproximadamente 0,2 atm. En una realización preferida, el primer evaporador funciona a aproximadamente 0,14 atm. El segundo evaporador en un proceso de dos fases funciona en un intervalo de presión de aproximadamente 0,015 atm a 0,025 atm. En una realización preferida, el segundo evaporador funciona a una presión de aproximadamente 0,017 atm.

50 Dado que las corrientes residuales a menudo contienen una concentración considerable de sólidos disueltos y suspendidos, puede usarse un evaporador de circulación forzada, que es tolerante a sólidos suspendidos, para concentrar la corriente residual. Los evaporadores de tipo circulación forzada pueden funcionar con hasta el 50% en peso de sólidos suspendidos en la corriente residual. Además, un evaporador de circulación forzada proporciona un tiempo de residencia aumentado para desaturar la suspensión y minimizar la incrustación. Si se usa un evaporador de película descendente como primera fase, puede usarse un proceso de clarificación inicial para reducir los sólidos suspendidos en la alimentación bruta hasta niveles que pueden ir acompañados de un evaporador de este tipo. Sin embargo, se indica que en una realización preferida, no hay un requisito de clarificación o de adición de productos químicos requeridos en procesos de evaporación-cristalización convencionales.

60 Volviendo a una discusión de procesos específicos para tratar una corriente residual de gas de combustión, se hace referencia en primer lugar al sistema y al proceso representados en la Figura 1. En este ejemplo, una corriente residual de gas de combustión de un lavador de caliza tiene los contaminantes descritos en la tabla 1 anterior. Una disolución concentrada con estos contaminantes tiene una elevación de punto de ebullición de aproximadamente 40°C. Por tanto, para hacer funcionar el sistema a 55°C requiere una presión de funcionamiento de 0,017 atm. El funcionamiento a una presión tan baja requiere usar o bien agua refrigerada o bien salmuera como medio de condensación para condensar

el vapor o un potenciador de vapor para elevar la presión del vapor de modo que pueda condensarse con el agua de enfriamiento disponible.

La corriente de agua residual fluye al interior del evaporador 14 a través del conducto 12. El agua de la corriente residual se evapora en el evaporador 14 y forma una corriente de vapor. El vapor puede limpiarse en el desnebulizador 36 para recuperar cualquier gotita de agua antes de que se condense en el condensador 18. El condensado se extrae del condensador 18 a través del conducto de descarga de condensado 20 y el vapor no condensable se descarga mediante el sistema de vacío 22 al conducto de salida 24. A medida que el agua se evapora, la corriente residual se concentra y los contaminantes del gas de combustión precipitan y cristalizan, formando una suspensión.

Tras la concentración, los sólidos que están sobresaturados en la corriente residual son los primeros en precipitar. En este ejemplo, el evaporador se siembra con yeso ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) y, por tanto, el yeso es el primer cristal en precipitar. La mayoría de las corrientes residuales de gas de combustión contienen una alta concentración de sodio y cloruro y, por tanto, generalmente precipitará conjuntamente cloruro de sodio (NaCl) con el yeso cuando se haya alcanzado el límite de saturación de NaCl . La solubilidad del NaCl en una disolución de cloruro de calcio es bastante baja y puede estimarse a partir de una proyección de Jänecke de $\text{CaCl}_2/\text{NaCl}/\text{H}_2\text{O}$ puro (aproximadamente el 1% de NaCl en el 57% de CaCl_2 a 55°C). Tal como se muestra en la Fig. 4, puede usarse una proyección de Jänecke para determinar cuándo precipitará cada una de las especies disueltas restantes en este ejemplo. Los contaminantes precipitados en la disolución pueden determinarse mediante los contaminantes iniciales presentes en el agua residual, lo que se determinará mediante el tipo de combustible y el reactivo de lavado usado en el lavador de gas de combustión.

Tal como se muestra mediante la proyección de Jänecke, una corriente residual que tiene los contaminantes descritos en la tabla 1 anterior tiene una composición de alimentación en el punto (a) (el 72,5% en moles de CaCl_2 , el 27,0% en moles de MgCl_2 y el 0,5% en moles de KCl). Dado que el punto (a) se encuentra en la región de taquihidrita ($\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{MgCl}_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$), tras una concentración adicional, la taquihidrita empieza generalmente a precipitar conjuntamente con el NaCl y el yeso. En este punto, la composición de sales en disolución se muestra a lo largo de una línea que une el punto de taquihidrita (b) con el punto de alimentación (a) alejándose del punto de taquihidrita (b). La línea corta la curva de solubilidad que divide la taquihidrita del cloruro de calcio dihidratado ($\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$). Cuando se alcanza este punto (c), el cloruro de calcio dihidratado empezará a precipitar conjuntamente. La corriente residual se concentrará adicionalmente y la composición de la disolución se moverá a la izquierda a lo largo de la curva de solubilidad hasta que alcanza el punto (d), donde las fases sólidas de taquihidrita ($\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{MgCl}_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$), cloruro de calcio dihidratado ($\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) y carnalita ($\text{KMgCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) existen todas conjuntamente. En la proyección de Jänecke, este punto se conoce como punto invariante. En estado estacionario y a temperatura constante de 55°C , se fija la composición del licor madre. A una temperatura de 55°C y una presión de 0,017 atm, una disolución en equilibrio con taquihidrita, cloruro de calcio dihidratado y carnalita tiene una elevación de punto de ebullición de alrededor de 40°C en comparación con aproximadamente 75°C a presión atmosférica.

El agua restante y los sólidos cristalizados forman una suspensión que se dirige a un separador 26, tal como una centrífuga, a través del conducto de salida de suspensión 28. Estos sólidos cristalizados crecen relativamente grandes, permitiendo que se separen los sólidos con una humedad residual muy baja. Los sólidos cristalizados forman una torta húmeda que puede dirigirse a través del conducto de desecho de sólidos 34 sin secado adicional. Tras el enfriamiento, el cloruro de calcio dihidratado se convierte en cloruro de calcio tetrahidratado ($\text{CaCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$) y absorbe el agua libre residual. El agua separada se recircula desde el separador 26 hasta el evaporador 14 a través del conducto de retorno 30 para una concentración y cristalización adicionales. El conducto de retorno 30 conduce al interior de la entrada de alimentación 12, de modo que la corriente residual bruta se mezcla con la suspensión en recirculación en el evaporador 14.

Tal como se muestra en la Fig. 2, una realización usa una bomba de calor de ciclo cerrado con un refrigerante apropiado como fluido de trabajo para suministrar la energía requerida para evaporar el agua, calentar la suspensión y condensar el vapor de agua. Pueden usarse varios refrigerantes diferentes como fluido de trabajo, incluyendo amoníaco o hidrofluorocarbonos. Un compresor de refrigerante 84 comprime y calienta el fluido refrigerante. El fluido refrigerante calentado fluye entonces a través del conducto de refrigerante calentado 86 hasta el evaporador 54, donde, a través de condensación parcial, el refrigerante transfiere una parte de su calor a la suspensión. El agua de la suspensión se evapora en el evaporador 54 y forma una corriente de vapor que fluye hasta el condensador 58.

Tras abandonar el evaporador 54, el refrigerante fluye hasta el intercambiador de calor 78, donde se enfría y se condensa adicionalmente mediante agua de enfriamiento. El calor eliminado del refrigerante se libera al entorno. El refrigerante enfriado fluye entonces a través de un conducto de refrigerante enfriado 88 hasta la válvula de expansión 80 antes de dirigirse al interior del condensador 58, donde se vaporiza mediante el calor transferido desde el vapor que se condensa. El fluido refrigerante fluye entonces a través del conducto de recirculación de refrigerante 92 hasta el compresor 84, donde vuelve a calentarse. El condensado se extrae del condensador 58 y el vapor no condensable se descarga mediante el sistema de vacío 62.

La suspensión producida en el evaporador 54 se dirige al separador 66, donde los sólidos cristalizados forman una torta húmeda que puede dirigirse a través del conducto de desecho de sólidos 74. El agua separada, o licor madre, se devuelve desde el separador 66 hasta el evaporador 54 a través del conducto de retorno 70 para una concentración

y cristalización adicionales. El licor madre puede dirigirse directamente hasta el evaporador 54 o puede mezclarse con la corriente residual bruta antes de dirigirse al evaporador. En cualquier caso, la suspensión producida por el evaporador 54 se recircula de manera continua hasta y desde el evaporador. Utilizando un divisor de flujo u otro tipo de dispositivo de control de flujo se divide la suspensión en recirculación, volviendo una parte de la suspensión al evaporador 54 y dirigiéndose otra parte al separador 66.

El uso de una bomba de calor de ciclo cerrado reduce el tamaño del compresor requerido de lo contrario para una bomba de calor de recompresión mecánica de vapor (RMV) de ciclo abierto que usa vapor de agua como fluido de trabajo. La separación del fluido de proceso del fluido de trabajo en dos circuitos independientes protege el compresor si se produce espumación en el evaporador.

Como se indicó anteriormente, este proceso es efectivo sin la adición de productos químicos. Además, este ejemplo muestra que todo el calor requerido para impulsar el proceso puede derivarse de la energía mecánica suministrada por el compresor. Dado que la evaporación se realiza cerca de la temperatura ambiental, no hay necesidad de precalentadores que tienden a incrustarse en el servicio de agua residual.

Para disminuir el requisito de energía de la invención, el sistema puede dividirse en dos fases de evaporación, tal como se muestra en la Fig. 3. En este ejemplo, una corriente residual de un lavador de caliza dolomítica tiene los contaminantes descritos en la tabla 2 anterior. Dado que la corriente residual bruta está a menudo diluida, la elevación de punto de ebullición es generalmente de entre 2°C - 3°C. Por tanto, para hacer funcionar el sistema a 55°C se usa una presión de funcionamiento en el primer evaporador de aproximadamente 0,14 atm.

En el proceso mostrado en la Fig. 3, se alimenta una corriente residual a un primer evaporador 104. El vapor producido en el evaporador 104 se dirige al compresor 108, donde se comprime y calienta. En una realización, el compresor 108 es un compresor de vapor mecánico que usa una máquina con baja relación de compresión tal como un turboventilador de una sola fase. El vapor calentado fluye de vuelta hasta el evaporador 104 para calentar la suspensión formada en el evaporador. A medida que el vapor transfiere su calor a la suspensión, el vapor se condensa y el condensado se descarga a través de la salida 146. Un sistema de vacío 112 descarga vapor no condensable a través del conducto de salida 114 y mantiene una baja presión predeterminada en el evaporador 104. Normalmente, la primera fase de evaporación puede eliminar aproximadamente del 60% al 80% del agua de la corriente de agua bruta.

Tal como se comentó anteriormente, el primer evaporador 104 se impulsa mediante un ciclo de RMV convencional, tal como un turboventilador de una sola fase. Podría conseguirse una concentración de suspensión aumentada en el primer evaporador 104, pero requeriría el uso de un ventilador de dos fases para superar la elevación de punto de ebullición mayor de la concentración de suspensión aumentada.

Tras la concentración de una corriente residual en el evaporador 104 que tiene los contaminantes enumerados en la tabla 2 anterior, los sólidos que están sobresaturados en la corriente residual son los primeros en precipitar. Tal como se comentó anteriormente, a menudo el primer evaporador 104 se siembra con yeso ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) y, por tanto, el yeso es el primer cristal en precipitar. Tras una concentración adicional, generalmente precipitará conjuntamente cloruro de sodio con el yeso. Tal como se muestra mediante la proyección de Jänecke en la Fig. 4, el punto (e) es representativo de la composición de la alimentación. Dado que el punto (e) se encuentra en la región de bishofita ($\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$), tras una concentración adicional, empezará a precipitar conjuntamente bishofita con el cloruro de sodio y el yeso.

Para eliminar el agua adicional de la suspensión formada por el primer evaporador 104, la suspensión puede dirigirse a una segunda fase de evaporación. En este ejemplo, la suspensión del evaporador 104 se dirige a un tanque de mezclado 140 antes de dirigirse al segundo evaporador 118. La suspensión que entra en el evaporador 118 está más concentrada que la corriente residual que entra en el primer evaporador 104 y por tanto tiene una elevación de punto de ebullición mayor. Para hacer funcionar el sistema a 55°C requiere una presión de funcionamiento menor que la primera evaporación. En este ejemplo, el en el segundo evaporador funciona a una presión de 0,017 atm.

El segundo evaporador 118 evapora el agua de la suspensión formando una corriente de suspensión más concentrada. La taquihidrita empieza a precipitar conjuntamente con la bishofita, el cloruro de sodio y el yeso, tal como se muestra en el punto (g) en la proyección de Jänecke. Tras una concentración adicional, las fases sólidas de bishofita, taquihidrita y carnalita existen todas conjuntamente en el punto (h).

La corriente de vapor producida en el evaporador 118 fluye a través del conducto de salida de vapor 142 al interior del condensador 108, donde se condensa y se descarga a través del conducto de descarga de condensado 122. El vapor puede limpiarse en el desnebulizador 144 para recuperar cualquier gotita de agua antes de condensarse en el condensador 120. El vapor no condensable se descarga mediante el sistema de vacío 124 a través del conducto de salida 126. En una realización, el vapor se condensa vaporizando un fluido refrigerante tal como amoníaco, en una bomba de calor de ciclo cerrado. Alternativamente, el vapor puede condensarse en un condensador de mezclado con una salmuera a una temperatura por debajo de 0°C, o el vapor puede condensarse sobre un condensador superficial con un medio de condensación de agua refrigerada por encima de 0°C para impedir la formación de hielo.

En una bomba de calor de ciclo cerrado, un compresor de refrigerante 128 comprime y calienta el fluido refrigerante. El fluido refrigerante calentado fluye entonces a través del conducto de refrigerante calentado 156 hasta el evaporador 118, donde, a través de condensación parcial, el refrigerante transfiere una parte de su calor a la suspensión. El agua de la suspensión se evapora en el evaporador 118 y forma una corriente de vapor que fluye hasta el condensador 120.

Tras abandonar el evaporador 118, el refrigerante fluye hasta el intercambiador de calor 150, donde se enfría y se condensa adicionalmente mediante agua de enfriamiento. El calor eliminado del refrigerante se libera al entorno. El refrigerante enfriado fluye entonces a través de un conducto de refrigerante enfriado 158 hasta la válvula de expansión 152 antes de dirigirse al interior del condensador 120, donde se vaporiza mediante el calor transferido desde el vapor que se condensa. El fluido refrigerante fluye entonces a través del conducto de recirculación de refrigerante 154 hasta el compresor 128, donde vuelve a calentarse. El condensado se extrae del condensador 120 y el vapor no condensable se descarga mediante el sistema de vacío 124.

La suspensión producida en el evaporador 118 fluye a través del conducto de salida de suspensión 130 al interior de un separador líquido-sólido 132, tal como una centrífuga. Generalmente, el 20-30% en peso de la suspensión se envía al separador. Los sólidos cristalizados forman una torta húmeda que puede desecharse a través del conducto de desecho de sólidos 136. El agua separada, o licor madre, se devuelve desde el separador 132 hasta el evaporador 118 a través del conducto de retorno 148 para una concentración y cristalización adicionales. El licor madre puede dirigirse directamente hasta el evaporador 118 o puede mezclarse con la corriente residual bruta antes de dirigirse al evaporador. En cualquier caso, la suspensión producida por el evaporador 118 se recircula de manera continua hasta y desde el evaporador. Utilizando un divisor de flujo u otro tipo de dispositivo de control de flujo se divide la suspensión en recirculación, volviendo una parte de la suspensión al evaporador 118 y dirigiéndose otra parte al separador 132.

El mismo principio de concentración a bajas temperaturas y presiones es aplicable a cualquier disolución débil que contenga materiales tales como cloruros o bromuros o nitratos de calcio, magnesio, amonio o cinc. Por tanto, este proceso de evaporación a baja temperatura puede aplicarse a aguas residuales derivadas de lavadores de DGC, lavadores de gas de síntesis en plantas de gasificación y lixiviados de vertedero.

La corrosividad se reduce enormemente desde la que se experimentaría a las temperaturas encontradas cuando se funciona a presión atmosférica. Además, la temperatura de funcionamiento menor da como resultado una tasa de hidrólisis mucho menor para el cloruro de magnesio ($MgCl_2$) y el cloruro de calcio ($CaCl_2$) y produce una disolución menos agresiva con un riesgo reducido de corrosión. Esto permite el uso de una variedad más amplia de materiales en la construcción del sistema.

La presente invención puede, naturalmente, llevarse a cabo de otras maneras a las expuestas específicamente en el presente documento sin apartarse de las características esenciales de la invención. Las presentes realizaciones deben considerarse en todos los aspectos ilustrativas y no restrictivas, y se pretende que todos los cambios que estén dentro del significado y el rango de equivalencia de las reivindicaciones adjuntas estén abarcados en las mismas.

REIVINDICACIONES

1.- Un método para eliminar sólidos disueltos de una corriente residual que comprende:

- 5 evaporar agua de la corriente residual en un primer evaporador a una temperatura de menos de 60°C y a una presión en el intervalo de aproximadamente 0,1 atm a aproximadamente 0,2 atm para formar una primera corriente de vapor y concentrar la corriente residual provocando que los sólidos disueltos precipiten a partir de la misma para formar una primera corriente de suspensión que tiene sólidos cristalizados;
- 10 comprimir al menos una parte de la primera corriente de vapor;
- condensar al menos una parte de la primera corriente de vapor comprimida;
- 15 calentar al menos una parte de la primera corriente de suspensión con al menos una parte de la primera corriente de vapor comprimida;
- eliminar al menos una parte de los sólidos disueltos restantes en la primera corriente de suspensión evaporando agua de la primera corriente de suspensión en un segundo evaporador a una temperatura menor de 60°C y a una presión de aproximadamente 0,015 atm a aproximadamente 0,025 atm para formar una segunda corriente de vapor y
- 20 concentrar la primera corriente de suspensión provocando que los sólidos disueltos precipiten a partir de la misma para formar una segunda corriente de suspensión que tiene sólidos cristalizados;
- condensar al menos una parte de la segunda corriente de vapor;
- 25 calentar al menos una parte de la segunda corriente de suspensión con un refrigerante; y
- separar al menos una parte de los sólidos cristalizados de la segunda corriente de suspensión y formar un licor madre y una torta sólida.
- 30 2.- El método según la reivindicación 1, que comprende además hacer circular dicho refrigerante a través de una bomba de calor de ciclo cerrado, en el que hacer circular el refrigerante a través de la bomba de calor incluye:
- comprimir y calentar el refrigerante en un compresor;
- 35 calentar la segunda suspensión en el segundo evaporador con el refrigerante;
- enfriar el refrigerante con agua de enfriamiento en un intercambiador de calor;
- condensar la segunda corriente de vapor con el refrigerante enfriado; y
- 40 tras condensar la segunda corriente de vapor, calentar el fluido de trabajo comprimiendo el fluido de trabajo en un compresor.
- 45 3.- El método según la reivindicación 2, que comprende además evaporar agua de la corriente residual en el primer evaporador a una temperatura de aproximadamente 55°C y a una presión de aproximadamente 0,14 atm; evaporar agua de la primera corriente de suspensión en el segundo evaporador a una temperatura de aproximadamente 55°C y a una presión de aproximadamente 0,017 atm.
- 50 4.- El método según la reivindicación 1, que comprende además mezclar al menos una parte de la primera corriente de suspensión con al menos una parte del licor madre en un tanque de mezclado antes de evaporar agua de la primera corriente de suspensión en un segundo evaporador.
- 55 5.- El método según la reivindicación 2, que comprende además:
- dirigir la primera corriente de suspensión a un tanque de mezclado;
- separar la segunda corriente de suspensión en un licor madre y sólidos;
- mezclar el licor madre con la primera corriente de suspensión en el tanque de mezclado; y
- 60 dirigir la mezcla de licor madre y el primer vapor de suspensión al segundo evaporador.

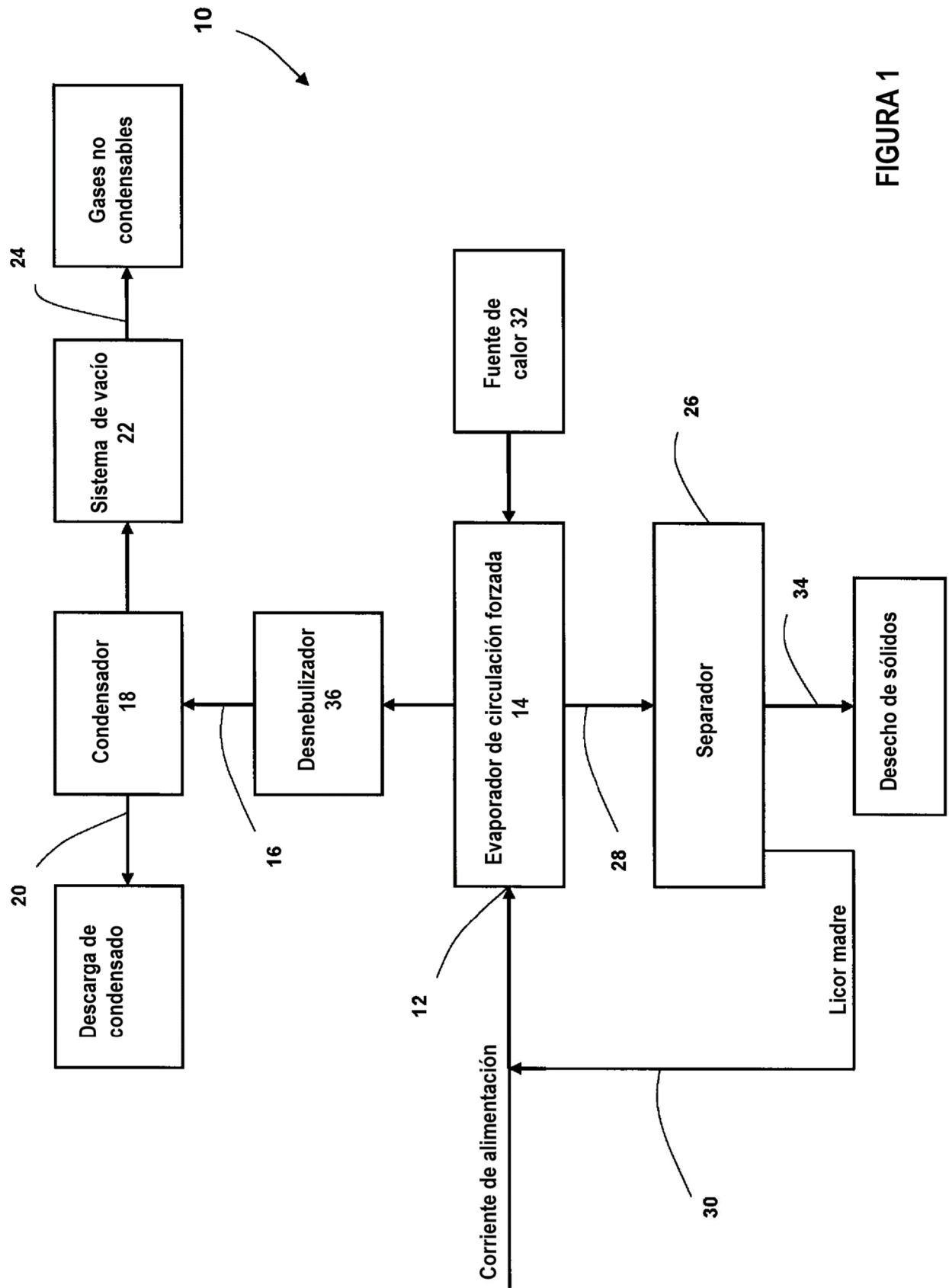


FIGURA 1

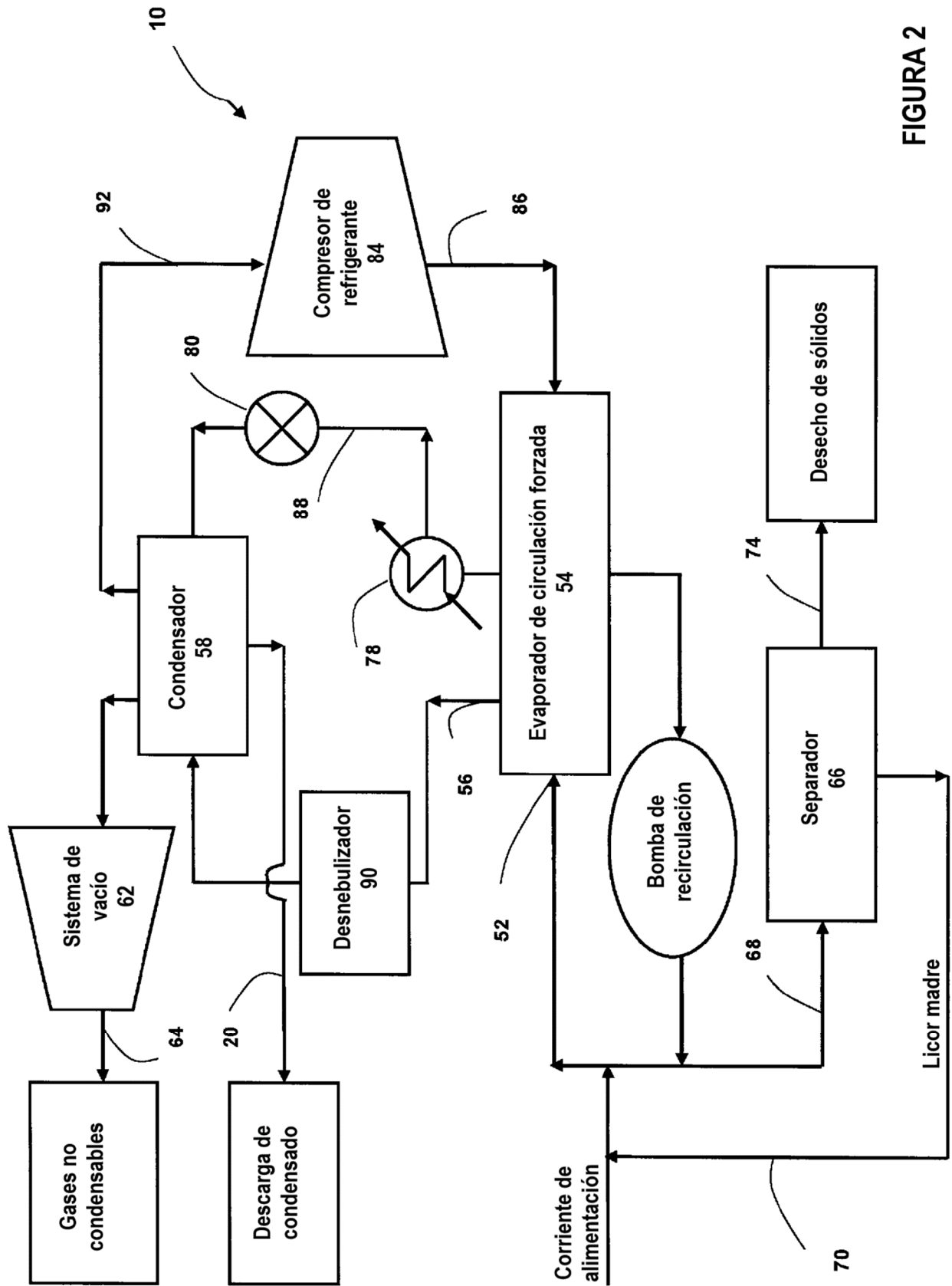


FIGURA 2

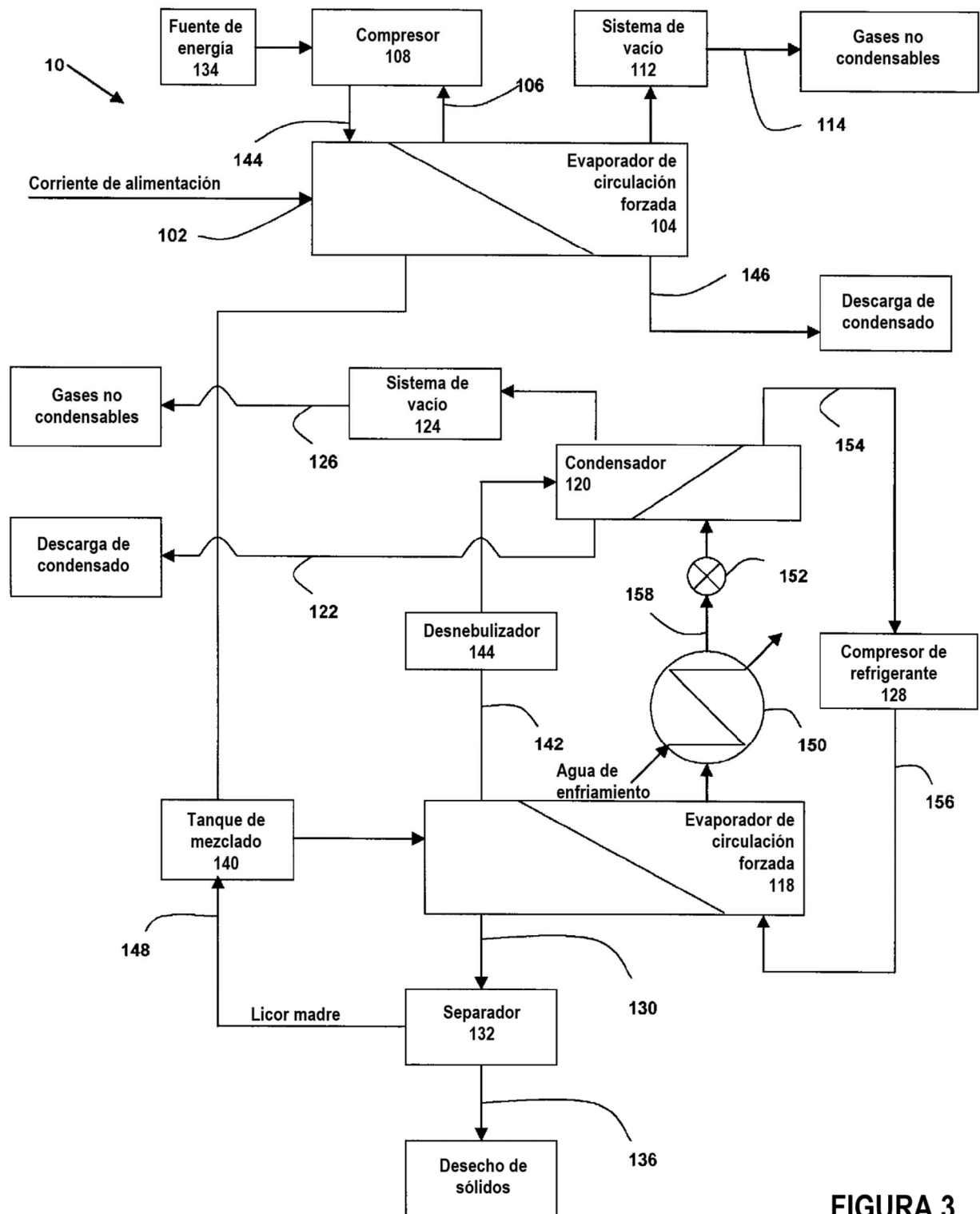


FIGURA 3

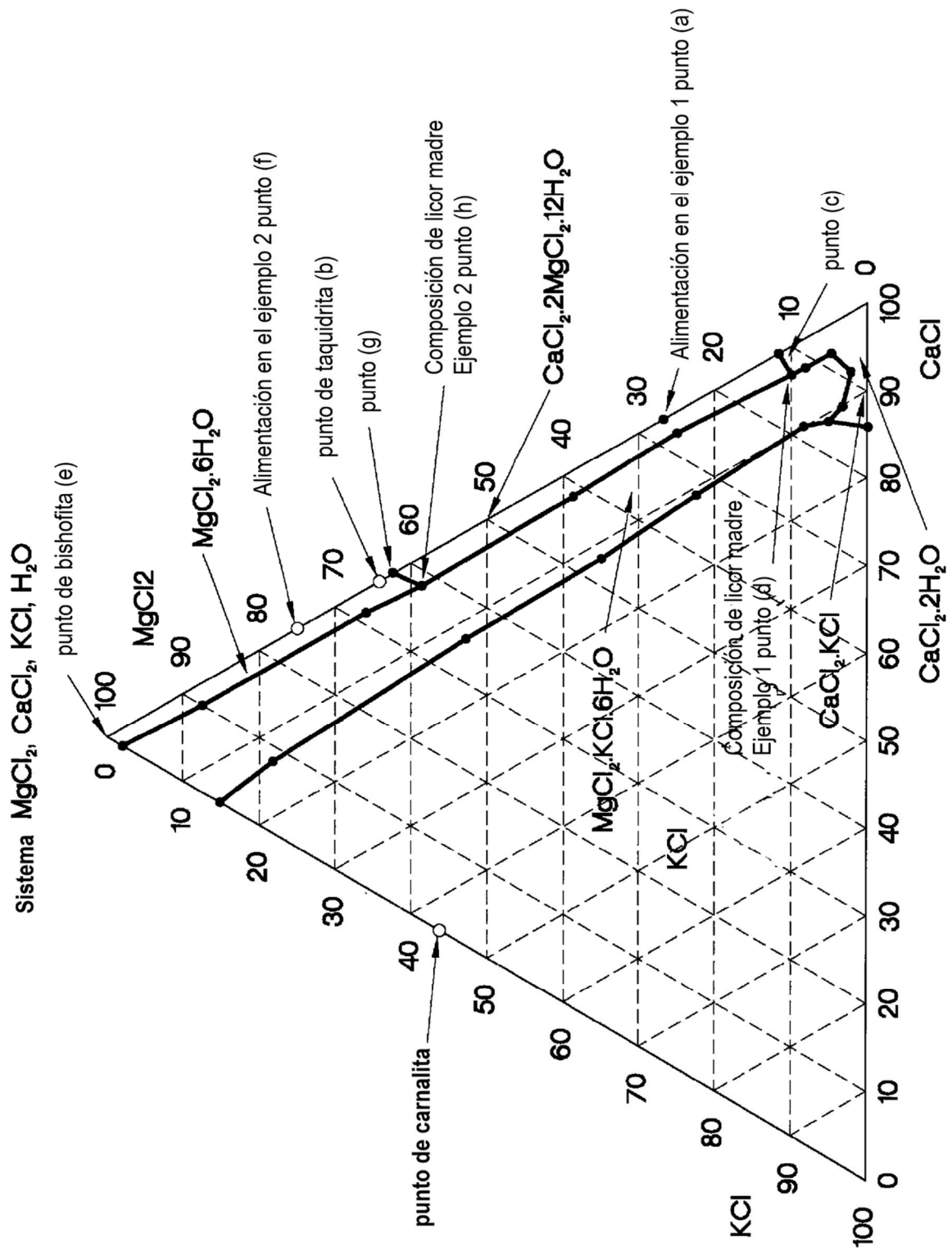


Figura 4