

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 922 483**

51 Int. Cl.:

B01D 53/26

(2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **12.07.2010** **PCT/CA2010/001087**

87 Fecha y número de publicación internacional: **20.01.2011** **WO11006242**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **12.07.2010** **E 10790507 (7)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **20.04.2022** **EP 2365852**

54 Título: **Procedimiento para retirar componentes condensables a partir de un fluido**

30 Prioridad:

13.07.2009 US 225101 P

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

15.09.2022

73 Titular/es:

DEXPRO CORPORATION (100.0%)
2749 39th Avenue NE
Calgary AB T1Y 4T8, CA

72 Inventor/es:

MCKAY, WAYNE N. y
MADDOCKS, JAMES

74 Agente/Representante:

LINAGE GONZÁLEZ, Rafael

ES 2 922 483 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

Procedimiento para retirar componentes condensables a partir de un fluido

5 Campo técnico

La presente invención se refiere a la retirada de productos condensables a partir de mezclas fluidas que muestran un efecto de Joule-Thomson positivo y, más particularmente, la presente invención se refiere a la retirada, por ejemplo, de agua a partir de corrientes de gas ácido, para minimizar o eliminar sustancialmente la formación de agua líquida en las mismas para minimizar la corrosión y formación de hidratos en la corriente de gas, transportada e inyectada para secuestro.

Antecedentes de la técnica

Las corrientes de gas, tales como las que resultan de procedimientos de combustión o procesamiento de petróleo, contienen con frecuencia un gas o gases que forman un ácido cuando se mezclan con agua. Tales gases se denominan normalmente "gases ácidos". Los gases ácidos que se producen de manera natural más habituales resultantes del procesamiento de petróleo son ácido sulfhídrico (H_2S) y dióxido de carbono (CO_2). Los gases ácidos típicos derivados de procedimientos de combustión/oxidación/pirólisis son dióxido de carbono (CO_2), dióxido de azufre (SO_2) y óxidos de nitrógeno (NO , NO_2).

Normalmente los gases ácidos contienen agua. Con frecuencia los gases ácidos que se producen de manera natural están saturados con agua en el depósito y gases derivados de combustión coexisten con el agua formada a partir de la reacción de hidrógeno y oxígeno durante la combustión. Prácticamente todos los gases ácidos terminan al final por saturarse con vapor de agua en algún punto durante el procedimiento de retirada o purificación del gas ácido. Reducir la temperatura o aumentar la presión, a lo largo de un intervalo definido, de un gas ácido que contiene agua, tal como el que se produce cuando se hace pasar el gas ácido a través de un compresor, dará como resultado la condensación de parte del agua desde una fase gaseosa hasta una líquida. A alguna temperatura, todavía por encima del punto de congelación del agua, el agua y el gas ácido pueden comenzar a formar una estructura "de tipo sólido" denominada hidrato de gas. La temperatura a la que pueden comenzar a formarse los hidratos se denomina temperatura de formación de hidratos (HFT) que varía según la presión, composición y contenido en agua de la mezcla. Los hidratos son la combinación física de agua y pequeñas moléculas que producen un compuesto que tiene un aspecto "de tipo hielo", pero que presenta propiedades y estructura diferentes del hielo. Los hidratos también pueden conocerse como clatrato de gas. Los hidratos son problemáticos porque pueden provocar una transferencia de calor reducida, exceso de caídas de presión, bloqueos, interrupciones en la producción y son una preocupación de seguridad.

Los documentos US 5 927 103 y WO 99/35455 dan a conocer la retirada de agua de una corriente de gas mediante compresión y enfriamiento, usando enfriamiento por expansión (efecto de Joule-Thompson) y recirculación de corriente de gas fría.

La formación de una fase acuosa en cualquier sistema de gas es indeseable ya que fomenta la corrosión, puede provocar que se formen hidratos de gas y puede provocar problemas mecánicos y de funcionamiento. Una fase acuosa es particularmente indeseable en un sistema de gas ácido ya que la fase acuosa resultante será ácida, dando como resultado un aumento significativo de la tasa de corrosión y dando habitualmente como resultado una HFT superior a los gases no ácidos.

La tabla A ilustra los niveles de corrosión que se producen en acero blando a concentraciones variables de componentes de gas ácido en agua.

Tabla A

Corrosión de acero blando mediante dióxido de carbono y otros gases en agua*			
Conc. de O_2 , ppm	Conc. de H_2S , ppm	Corrosión, mils/año, conc. de CO_2 de 200 ppm	Corrosión, mils/año, conc. de CO_2 de 600 ppm
8,8	0	28	60
4,3	0	18	44
1,6	0	12	34
0,4	0	17	27
<0,5	35	6	6
<0,5	150	15	16
<0,5	400	17	21
*Temperatura de 27°C (80°F), exposición durante 72 h. Fuente: datos de Watkins y Kincheloe (1958) y Watkins y Wright (1953)			

Aunque la discusión se ha centrado en gas ácido, los expertos en la técnica apreciarán que la metodología y el concepto son aplicables para retirar componentes condensables a partir de cualquier corriente de fluido que muestre un coeficiente de Joule-Thomson positivo.

5 Sumario de la invención

Un objetivo de una realización de la presente invención es proporcionar un protocolo mejorado para la retirada de componentes condensables a partir de un fluido con un coeficiente de Joule-Thomson positivo que contiene componentes condensables.

10

Un objetivo adicional de una realización de la invención es proporcionar un método para retirar componentes condensables a partir de un fluido que contiene dichos componentes condensables, que comprende:

15

proporcionar una mezcla fluida con un coeficiente de Joule-Thomson positivo que contiene componentes condensables como corriente de alimentación inicial;

tratar dicha corriente de alimentación inicial para condensar líquidos a partir de la misma y retirar dichos líquidos para formar una corriente de gas;

20

comprimir y enfriar dicha corriente de gas para formar una corriente a alta presión;

expandir al menos una porción de dicha corriente a alta presión para formar una corriente a baja presión enfriada; y mezclar dicha corriente a baja presión enfriada con dicha corriente de alimentación inicial para aumentar el enfriamiento y la condensación de componentes condensables en dicha corriente de alimentación inicial.

25

Aún otro objetivo de una realización es proporcionar un aparato para retirar componentes condensables a partir de un fluido con un coeficiente de Joule-Thomson positivo que contiene dichos componentes condensables, que comprende;

30

medios de condensación para tratar una mezcla fluida con un coeficiente de Joule-Thomson positivo que contiene componentes condensables como corriente de alimentación inicial para producir líquidos a partir de la misma y retirar dichos líquidos para formar una corriente de gas;

35

medios de compresor y medios de enfriamiento posterior para dicha corriente de gas para formar una corriente a alta presión;

un circuito de expansión para expandir al menos una porción de dicha corriente a alta presión para formar una corriente a baja presión enfriada;

40

un circuito de recirculación en comunicación de fluido con dicho circuito de expansión para mezclar dicha corriente a baja presión enfriada con dicha corriente de alimentación inicial para aumentar el enfriamiento y la condensación de componentes condensables en dicha corriente de alimentación inicial.

45

Un objetivo todavía adicional de la presente realización de la presente invención es proporcionar un sistema para prevenir la formación de hidrato de gas en un gas que contiene agua condensable durante la retirada de dicha agua condensable, que comprende:

50

una etapa de tratamiento, que comprende:

una corriente de fluido con un coeficiente de Joule-Thomson positivo que contiene agua condensable;

55

medios de separador en comunicación de fluido con dicha corriente de fluido para separar líquido que contiene agua condensada a partir de dicha corriente de fluido para formar una corriente de gas parcialmente deshidratada;

medios de compresor y medios de enfriador posterior para comprimir y enfriar dicha corriente de gas parcialmente deshidratada que surge a partir de dichos medios de separador;

60

medios de salida para descargar una corriente de gas parcialmente deshidratada;

un circuito de medios de expansión para expandir y enfriar una corriente de gas;

65

estando dicho circuito posicionado para recircular una porción de dicha corriente de gas parcialmente deshidratada a través de dichos medios de expansión a dicha etapa de tratamiento.

Haciendo referencia a las figuras 1 y 2, el contenido de agua en un gas ácido es proporcional a la temperatura y, hasta aproximadamente 27,6 bara (400 psia) para H₂S y 62 bara (900 psia) para CO₂, es inversamente proporcional a la presión. Dentro de estos límites, presiones superiores y temperaturas inferiores favorecen un bajo contenido de agua en los gases ácidos.

5

La deshidratación es el procedimiento de retirar agua para minimizar o prevenir la formación de hidrato y agua libre. En un gas ácido con una concentración relativamente alta de H₂S, normalmente se retira agua suficiente durante el enfriamiento entre etapas de compresión convencional en múltiples etapas para dar una fase densa (algo de presión por encima de la presión crítica del fluido) de tal manera que no se requiere un procedimiento de deshidratación independiente. A medida que aumenta el contenido en CO₂ del gas ácido, la retirada de agua suficiente mediante compresión por sí sola se vuelve menos probable y habitualmente se requiere un procedimiento de deshidratación independiente.

10

Los medios convencionales de deshidratación de gases son la adsorción por desecante sólido, absorción por desecante líquido, refrigeración, separación con membrana y separación de gas seco. Los métodos más habitualmente usados son la adsorción por desecante sólido y la absorción por desecante líquido.

15

La deshidratación de glicol, un procedimiento de absorción por desecante líquido, se considera generalmente como el preferido operativamente y más económico para la mayoría de las aplicaciones. Tales procedimientos de deshidratación por desecante líquido tienen varios inconvenientes:

20

- las pérdidas de glicol en un servicio de CO₂ a alta presión pueden ser significativas;
- el exceso de oxígeno, normalmente encontrado en gases ácidos formados por combustión, aumenta significativamente la corrosión y acelera la degradación del glicol a temperaturas de regeneración superiores, necesitando la adición de regeneración de glicol continua;
- el equipo de deshidratación debe fabricarse de metales de alto coste, resistentes a la corrosión, tales como acero inoxidable para resistir los líquidos ácidos producidos;
- el glicol se calienta normalmente hasta 204°C (400°F) para la regeneración dando como resultado la vaporización de agua y ventilación a la atmósfera de cualquier otro contaminante también absorbido por el glicol, tal como compuestos orgánicos volátiles (VOC), normalmente benceno, tolueno, etilbenceno y xileno (BTEX) y cualquier gas de separación. El control de estas emisiones fugitivas requiere generalmente la adición de equipos de recuperación de vapor costosos e introduce la posibilidad de contaminación de oxígeno adicional;
- los requisitos de servicios públicos de tales procedimientos son altos e incluyen el combustible usado para la regeneración de glicol y la potencia requerida para bombear el glicol y hacer funcionar el equipo de recuperación de vapor;
- se genera una huella de carbono total significativa como resultado de la fabricación del equipo de deshidratación, y el CO₂ producido a partir de las demandas de servicios públicos y de la formulación del glicol usado en el procedimiento de deshidratación.

25

30

35

40

45

La deshidratación mediante refrigeración hace uso de una capacidad reducida del gas para contener agua a medida que disminuye su temperatura. La reducción de temperatura puede lograrse indirectamente mediante intercambio de calor a partir de "refrigeración" externa u otro procedimiento de reducción de temperatura, o directamente mediante expansión del propio gas. La expansión directa del gas es o bien una expansión isentrópica, tal como en un turboexpansor, o bien una expansión isentálpica, tal como a través de una válvula de Joule-Thomson (JT) usada en una planta de coque convencional o a través de un procedimiento de refrigeración de compresión de gas. El coste de instalar una unidad de refrigeración indirecta dedicada únicamente con el fin de deshidratación resulta normalmente prohibitivo.

50

Los métodos de deshidratación por refrigeración tanto isentálpica como isentrópica usan un dispositivo de expansión, un separador a baja temperatura y al menos un intercambiador de calor para recuperar tanta energía del procedimiento como sea posible. En su forma más sencilla, se expande la totalidad del gas, o bien de manera isentálpica o bien de manera isentrópica, desde una presión superior hasta una presión inferior, dando como resultado una temperatura de fluido lo suficientemente baja como para que se produzca la condensación de agua. El agua condensada se retira a partir del procedimiento en un separador a baja temperatura y el gas residual a baja temperatura, sustancialmente seco, se usa para enfriar previamente el fluido entrante para mejorar la eficiencia térmica del procedimiento.

55

60

En el caso de la expansión isentrópica, la expansión se logra con un expansor y el trabajo extraído por el expansor se usa normalmente para volver a comprimir parcialmente el gas seco de salida.

65

La elección de si usar expansión isentrópica o isentálpica depende de la cantidad de retirada de agua requerida, y por tanto de la cantidad de reducción de temperatura requerida. La expansión isentrópica puede lograr temperaturas más bajas. Desde un punto de vista de coste de capital, el procedimiento isentrópico es significativamente más costoso, pero la capacidad de recuperar trabajo tiene una ventaja que contrarresta.

5 Desde un punto de vista de funcionamiento y mantenimiento, el procedimiento isentálpico tiene una ventaja de ser mecánica y operativamente más sencillo y adecuado para la mayoría de las aplicaciones. La desventaja que contrarresta del procedimiento isentálpico es el requisito de consumir trabajo adicional a través de requisitos de compresión aumentados.

10 El inconveniente común de cualquiera de los procedimientos de deshidratación por refrigeración es que la mayoría de las aplicaciones requieren enfriar la corriente de gas hasta una temperatura que está cerca o por debajo de la HFT para lograr el nivel deseado de deshidratación. Para un funcionamiento fiable, habitualmente se requiere la adición continua de un inhibidor de hidratos termodinámico, tal como glicol o metanol, para reducir la temperatura de formación de hidratos. Si se desea, tanto glicol como metanol pueden recuperarse, pero esto

15 requiere un procedimiento de regeneración independiente junto con todos los problemas anteriormente comentados en la deshidratación por desecante líquido. Con frecuencia se elige usar metanol sin recuperación ya que el metanol es relativamente benigno y tiene un impacto sobre procedimientos aguas abajo menor que el glicol.

20 Evidentemente, existe una necesidad de un procedimiento de deshidratación para corrientes de gas ácido que sea eficiente y rentable y que evite los problemas observados con procedimientos de deshidratación convencionales.

Breve descripción de los dibujos

25 Las características de la invención se volverán más evidentes en la siguiente descripción detallada en la que se hace referencia a los dibujos adjuntos, en los que:

la figura 1 es una ilustración gráfica del contenido en agua saturada de diversos fluidos, gases ácidos y metano (CH_4) a $37,8^\circ\text{C}$ (100°F) a lo largo de un intervalo de presiones;

30

la figura 2 es una ilustración gráfica del contenido en agua saturada de mezclas ricas en CO_2 y metano (CH_4) a $37,8^\circ\text{C}$ (100°F) a lo largo de un intervalo de presiones;

35 la figura 3 es una ilustración gráfica de las pérdidas de glicol en un servicio de CO_2 a alta presión de la técnica anterior;

la figura 4A es un esquema de un procedimiento de deshidratación isentálpica según una realización de la invención para una corriente de fluido saturada con agua que comprende el 100% de CO_2 ;

40

la figura 4B es un esquema de un procedimiento de deshidratación isentálpica según la figura 4A para una corriente de fluido que comprende el 80% de CO_2 y el 20% de H_2S ;

45 las figuras 5A y 5B son esquemas de un procedimiento de deshidratación isentálpica según las figuras 4A y 4B que incorpora un intercambiador de calor para calentar una corriente de retorno parcialmente expandida para prevenir la formación de hidratos en la corriente de alimentación de procedimiento principal antes de la expansión adicional de la corriente de retorno para lograr la reducción de temperatura deseada;

50 las figuras 6A y 6B son esquemas de un procedimiento de deshidratación isentálpica según las figuras 4A y 4B, que incorpora un separador a baja temperatura para retirar agua a partir de la corriente de fluido antes de la reintroducción de la corriente de retorno a la misma y la inyección continua de inhibidor de hidratos;

la figura 7 es un esquema de un procedimiento isentálpico de múltiples etapas según una realización de la invención; y

55

la figura 8 es un esquema de un procedimiento isentrópico de múltiples etapas según una realización de la invención en el que una de las válvulas de Joule-Thomson se sustituye por un expansor de fluido isentrópico.

Números similares usados en las figuras designan elementos similares.

60

Mejor modo de llevar a cabo la invención

Realizaciones de la invención aprovechan la propiedad termodinámica de gases ácidos típicos que hace que sean útiles como "refrigerantes". Tales gases muestran una reducción de temperatura relativamente grande para una reducción de presión dada dentro de la región de funcionamiento del procedimiento. La gran disminución de temperatura se usa para enfriar una corriente de retorno de la corriente de alimentación que posteriormente se

65

recircula aguas arriba para enfriar la corriente de alimentación. De esta manera, el método usa la recirculación para "autorrefrigerarse". El efecto de Joule-Thomson se logra permitiendo que el gas se expanda de manera isentálpica a través de un dispositivo de estrangulación, normalmente un control. No se extrae nada de trabajo externo a partir del gas durante la expansión isentálpica. La tasa de cambio de temperatura con respecto a la presión en un procedimiento de Joule-Thomson es el coeficiente de Joule-Thomson (Kelvin). Por ejemplo, el coeficiente de Joule-Thomson (JT) para el dióxido de carbono a 50°C y 60 atm es aproximadamente 5,6 veces mayor que el de nitrógeno en las mismas condiciones. Por tanto, la reducción de temperatura para CO₂ será aproximadamente 5,6 veces mayor que para nitrógeno para la misma reducción de presión en esas condiciones. También hay datos de coeficiente de JT disponibles para H₂S y SO₂.

Los gases ácidos procesados para aplicaciones comerciales, tales como aplicaciones de recuperación mejorada de petróleo (EOR) o aplicaciones de captura y secuestro de carbono (CCS), se comprimen normalmente hasta presiones supercríticas, denominadas habitualmente "fase densa", para su transporte y/o secuestro. Para alcanzar la fase densa, la compresión se logra normalmente en más de una etapa, ya sea usando compresión centrífuga, alternativa o de choque, dependiendo de la presión inicial. El diferencial de presión entre etapas proporciona una oportunidad para aprovechar las propiedades de coeficiente de JT favorables del vapor.

La compresión se descompone en dos regiones diferenciadas con respecto al punto crítico del fluido que está comprimiéndose. Las etapas de compresión en la primera región son subcríticas y las etapas en la segunda región llevan el fluido por encima de su presión crítica. Una corriente de entrada entra en la primera región de compresión, que es subcrítica, y se supone que está saturada con agua. Algo de agua se retira de manera natural mediante compresión a través de diversas etapas en la primera región.

En realizaciones de la invención, una corriente de retorno de fluido procedente de la descarga posteriormente enfriada de una etapa de compresión, normalmente cerca o por encima de la presión crítica, se expande hasta la presión de succión de esa misma etapa, o hasta una etapa anterior si se requiere una reducción de temperatura adicional. La temperatura reducida resultante de la corriente de retorno expandida se usa para enfriar la corriente de fluido principal aguas arriba, primero mediante intercambio de calor, si se requiere, y finalmente mediante mezclado directo de la corriente de retorno con la corriente de fluido principal. La reducción resultante de temperatura de la corriente mezclada condensa agua adicional a partir del gas. La cantidad de enfriamiento requerida es función del contenido en agua mínimo requerido para que la composición de corriente cumpla los criterios de diseño para la temperatura de punto de rocío del agua y/o la temperatura de formación de hidratos.

Los siguientes son ejemplos que ilustran realizaciones de la invención, más particularmente

Ejemplo 1 - una realización básica;

Ejemplo 2 - que usa un recipiente de separador a baja temperatura (LTS);

Ejemplo 3 - que incorpora un intercambiador de calor (HEX);

Ejemplo 4 - una realización isentálpica de múltiples etapas; y

Ejemplo 5 - una realización isentrópica e isentálpica de múltiples etapas.

Los ejemplos 1-3 se muestran usando diferentes composiciones de corriente; más particularmente una corriente que tiene el 100% de CO₂ y una corriente que tiene el 80% de CO₂ y el 20% de H₂S. Sin embargo, se observará que realizaciones de la invención son aplicables a corrientes que tienen cantidades variables de H₂S y que incluyen SO₂, NO_x y cualquier otra mezcla gaseosa con coeficientes de JT relativamente grandes.

Los ejemplos 4 y 5 ilustran las capacidades de baja temperatura de realizaciones de la invención así como las diferencias entre procedimientos isentálpicos e isentrópicos.

Ejemplo 1 - BÁSICO

Haciendo referencia a las figuras 4A y 4B, en una realización de la invención, una corriente 10 de alimentación de gas ácido saturada con agua entra en una etapa 12 de succión en la que se comprime 14 hasta la presión de succión de la siguiente etapa 16. El vapor 14 comprimido caliente se enfría 18 con un enfriador 20 posterior dando como resultado la condensación de algo del agua y otros productos condensables en la corriente de alimentación. El líquido condensado que contiene agua se retira 22 en un separador 24 aguas arriba de la etapa de compresión final. El gas 26 saturado procedente del separador 24 se comprime adicionalmente en 28 y vuelve a someterse a enfriamiento posterior en 30.

Una corriente 32 de retorno a partir de la corriente de fluido comprimida y posteriormente enfriada se retira y se expande de manera isentálpica 34 a través de una válvula 36 de Joule-Thomson (TCV) hasta la presión de succión inferior de la misma etapa 16 de compresión. La expansión da como resultado una reducción de

temperatura, cuya magnitud depende de la magnitud de la reducción de presión y la composición de la corriente de fluido. La corriente 38 más fría se combina con la corriente 18 posteriormente enfriada, que sale de la etapa de compresión anterior, dando como resultado una corriente 40 combinada que tiene una temperatura reducida de manera suficiente como para condensar la cantidad requerida de agua.

Tal como se muestra en la figura 4A para una corriente de alimentación que tiene el 100% de CO₂, la temperatura se reduce hasta aproximadamente 30,6°C (87°F) y el contenido en agua final se reduce hasta aproximadamente 1,17 g/m³ (73 lb/MMscf) para dar como resultado una temperatura de formación de hidratos (HFT) de -1,1°C (30°F).

Haciendo referencia a la figura 4B, en la que la corriente de alimentación contenía el 80% de CO₂ y el 20% de H₂S, sólo se necesita reducir la temperatura hasta aproximadamente 33,9°C (93°F) para un contenido en agua final de aproximadamente 1,43 g/m³ (89 lb/MMscf) para lograr la misma temperatura de formación de hidratos (HFT) de -1,1°C (30°F).

Ejemplo 2 - Intercambiador de calor (HEX)

En casos en los que la composición de la corriente de alimentación, en combinación con una gran reducción de presión, crea una temperatura de corriente que está por debajo de la temperatura de formación de hidratos de la corriente de alimentación no deshidratada principal, la realización mostrada en las figuras 4A y 4B puede modificarse para incluir un intercambiador de calor (HEX).

Haciendo referencia a las figuras 5A y 5B, la realización básica se modifica para evitar la necesidad de inyección continua de inhibidor de hidratos, tal como se usa en procedimientos de refrigeración convencionales.

En las figuras 5A y 5B, la corriente 34 de retorno se expande parcialmente 42 a través de una segunda válvula 44 de Joule-Thomson (JTV). Después se aumenta la temperatura de la corriente parcialmente expandida en un intercambiador 46 de calor antes de la expansión adicional de la corriente 48 a través de la válvula 50 de Joule-Thomson (TCV). Por tanto, las temperaturas de las corrientes 42, 48 parcial y totalmente expandidas se mantienen por encima de las temperaturas de formación de hidratos respectivas de la corriente de alimentación no deshidratada principal.

Para los fines del ejemplo 2, la temperatura de formación de hidratos de diseño se estableció a -9,4°C (15°F).

Tal como se muestra en la figura 5A, para una corriente de alimentación que tiene el 100% de CO₂, la temperatura debe reducirse hasta aproximadamente 22,8°C (73°F) para dar como resultado un contenido en agua final de aproximadamente 0,82 g/m³ (51 lb/MMscf) para lograr la temperatura de formación de hidratos de diseño de -9,4°C (15°F).

Haciendo referencia a la figura 5B, y en el caso en el que la corriente de alimentación comprende el 80% de CO₂ y el 20% de H₂S, la temperatura se redujo hasta aproximadamente 26°C (79°F) para dar como resultado un contenido en agua de aproximadamente 1,03 g/m³ (lb/MMscf) para lograr la temperatura de formación de hidratos de diseño de -9,4°C (15°F).

Ejemplo 3 - Separador a baja temperatura (LTS).

Haciendo referencia a las figuras 6A y 6B, una realización de la invención usa un separador adicional en el que la reducción de temperatura es significativa, como alternativa a la realización descrita en el ejemplo 2.

Tal como se muestra en las figuras 6A y 6B, el elemento 46 y la JTV 44 de las figuras 5A y 5B se sustituyen por un segundo separador 52 a baja temperatura (LTS). Una corriente 54 de retorno se expande 56 a través de una válvula 44 de Joule-Thomson (TCV). El primer separador 24 está posicionado para retirar la mayor cantidad de agua posible a partir de la corriente de alimentación antes de la reintroducción de la corriente 48 de retorno expandida. La adición de inhibidor de hidratos en la corriente 48 de retorno expandida se considera cuando el diseño de procedimiento requiere que la temperatura de la corriente de retorno expandida esté por debajo de 0°C (32°F). La retirada temprana del agua reduce la cantidad de enfriamiento requerido para cumplir con las condiciones de diseño y, si las condiciones lo justifican, reduce la cantidad de inhibidor de hidratos requerido.

La temperatura de formación de hidratos de diseño para el ejemplo 3 se estableció a -18,8°C (0°F).

Tal como se muestra en la figura 6A, cuando la corriente de alimentación comprendía el 100% de CO₂, la temperatura tenía que reducirse hasta 16,7°C (62°F) para dar como resultado un contenido en agua final de aproximadamente 0,58 g/m³ (36 lb/MMscf) para cumplir con la temperatura de formación de hidratos de diseño de -18,8°C (0°F).

Haciendo referencia a la figura 6B, cuando la corriente de alimentación comprendía el 80% de CO₂ y el 20% de

H₂S, la temperatura tenía que reducirse hasta aproximadamente 19,4°C (67°F) para dar como resultado un contenido en agua final de aproximadamente 0,72 g/m³ (45 lb/MMscf) para lograr la temperatura de formación de hidratos de diseño de -18,8°C (0°F).

5 Ejemplo 4 - ISENTÁLPICO DE MÚLTIPLES ETAPAS

Haciendo referencia a la figura 7, se emplea una realización de múltiples etapas de la invención en la que la reducción de temperatura requerida es muy grande. La realización se diseñó para lograr una temperatura de formación de hidratos de -42,8°C (-45°F).

10

Tal como se muestra en la figura 7, esta realización comprende un intercambiador 46 de calor, un separador 52 a baja temperatura e inyección 56 continua de inhibidor de hidratos. El primer separador 24 está posicionado entre el intercambiador 46 de calor y la reintroducción de la corriente de temperatura reducida. La retirada temprana de agua a partir de la corriente de alimentación reduce la cantidad de enfriamiento y de inhibidor de hidratos

15

requeridos para cumplir los criterios de diseño. Para obtener una temperatura inferior, la reducción de presión que resulta de la expansión de la corriente 58 de retorno a través de la válvula 44 de Joule-Thomson se produce a lo largo de al menos dos etapas de compresión. Por tanto, la corriente 60 de retorno parcialmente expandida se calienta en el intercambiador 46 de calor y se expande completamente 62 a través de la válvula 64 de Joule-Thomson para reintroducirse, junto con la inyección de inhibidor de hidratos, en la corriente de alimentación dos o más etapas 66, 68 aguas arriba desde la retirada de la corriente 58 de retorno para enfriar la corriente 28 de alimentación. Se retira agua condensada a partir de la corriente 28 de alimentación enfriada en el segundo separador 52 antes de la compresión adicional de la corriente 28 de alimentación enfriada.

20

25

En este ejemplo, la baja temperatura lograda en la corriente 56 de retorno completamente expandida y la corriente 28 de alimentación enfriada necesita la adición del inhibidor de hidratos, sin embargo la cantidad de inhibidor de hidratos se minimiza como resultado de la retirada aguas arriba de una porción significativa de agua en el primer separador 24.

30

Un beneficio adicional de la baja temperatura lograda en la corriente de alimentación enfriada en este ejemplo es la capacidad de reducir el número de etapas de compresión desde cinco etapas hasta cuatro etapas, dando como resultado una reducción del coste global.

35 Ejemplo 5 - ISENTRÓPICA DE MÚLTIPLES ETAPAS

Haciendo referencia a la figura 8, una realización de múltiples etapas de la invención usa un expansor 66 de fluido isentrópico, tal como una turbina de expansión radial convencional o un turboexpansor (tal como el disponible de Mafi-Trench, Santa Maria, CA, EE. UU.) para sustituir a la válvula 44 de Joule-Thomson de la figura 7 para la expansión de la corriente 58 de retorno.

40

En esta realización, el expansor de fluido isentrópico puede lograr una temperatura en la corriente 60 de retorno expandida menor de lo que es posible usando una válvula de Joule-Thompson (expansión isentálpica) para la misma reducción en presión. Adicionalmente, la fracción de corriente de retorno requerida es menor de lo que es en el ejemplo 4.

45

Los requisitos de potencia para la etapa 3 (66) y la etapa 4 (68) para esta realización, en comparación con los del ejemplo 4, son aproximadamente un 2% más bajos. El expansor de fluido isentrópico produce potencia, aproximadamente el 1,8% de la etapa 3 (66) y la etapa 4 (68) para otros usos. Además, se minimizan los requisitos de inhibidor de hidratos.

50

Las realizaciones de la invención descritas en el presente documento tienen ventajas y diferencias notables con respecto a procedimientos de deshidratación por desecante líquido y refrigeración isentálpica convencionales.

55

En comparación con procedimientos de deshidratación por desecante líquido, realizaciones de la invención permiten la eliminación de equipos de deshidratación convencionales mediante sustitución por las válvulas de expansión (TCV, JTV) a una pequeña fracción del coste de capital de los equipos de deshidratación convencionales.

60

En comparación con procedimientos de refrigeración por expansión isentálpica convencionales, tales como una planta de coque, realizaciones de la invención pueden permitir la eliminación de una etapa de compresión, un intercambiador de calor de gas-gas principal y la adición de inhibidor de hidratos, proporcionando una reducción significativa del coste de capital.

65

La planta de coque de la técnica anterior requiere que toda la corriente de gas se comprima en exceso y se expanda hasta la presión de diseño. Esto aumenta normalmente los requisitos de potencia de compresión

originales del sistema en del 20% al 25%. Dependiendo de la composición del gas y de las condiciones de funcionamiento, la presión de descarga de compresor superior puede necesitar la adición de una etapa de compresión entera.

- 5 La corriente de retorno de enfriamiento es normalmente del 10% al 20% del flujo de corriente combinado a través de una única etapa, dependiendo de la composición del gas ácido y las condiciones de funcionamiento requeridas. El aumento del rendimiento a través de una etapa de compresión aumenta teóricamente la demanda de potencia de compresión total en del 2% al 4% (es decir, 1/5 del 10% - 20% para un compresor de 5 etapas). Sin embargo, en comparación, este aumento con frecuencia es comparable al aumento debido a la caída de
- 10 presión a través de equipos de deshidratación convencionales. Además, hay una mejora de la eficiencia y, por tanto, una reducción correspondiente de la potencia de compresión, resultante de la temperatura de funcionamiento reducida del compresor. En algunos casos, los requisitos de potencia de compresión terminan siendo menores que cuando se usan equipos de deshidratación convencionales.
- 15 Las temperaturas de succión inferiores, permitidas mediante realizaciones de la invención, tienen una ventaja adicional tanto con respecto al deshidratador convencional como con respecto a la planta de coque. La temperatura reducida en una etapa proporciona la oportunidad de reequilibrar las razones de compresión en cada etapa, permitiendo una razón de compresión superior en la que la presión de succión es más fría por tanto una reducción de la razón de compresión en las otras, hasta que las temperaturas de descarga de cada etapa
- 20 son relativamente iguales a algún nuevo valor inferior. La reducción en la temperatura de descarga reduce en cierta medida la demanda de potencia adicional que surge del volumen de corriente de retorno adicional observado en una o más etapas de compresión. La reducción de temperatura también da como resultado una vida útil de válvula más prolongada, tiempo de funcionamiento aumentado y menores costes de mantenimiento. El reequilibrado puede ser en algún punto, con temperaturas inferiores, lo suficientemente significativo como para
- 25 eliminar una etapa de compresión completa y, por tanto, proporcionar un ahorro de coste de capital considerable.

Se cree que la huella de carbono global de realizaciones de la invención es significativamente inferior a los métodos convencionales. El requisito de equipo es considerablemente menor reduciendo la demanda para la fabricación, no hay necesidad de formulación de glicol y no se requieren servicios públicos adicionales que

- 30 produzcan CO₂, todo lo cual contrarresta de manera más que suficiente el aumento marginal de potencia requerida (normalmente, de aproximadamente el 2%) para comprimir el volumen de corriente de retorno. Adicionalmente, la ausencia de requisitos químicos en realizaciones de la invención reduce significativamente el riesgo ecológico.
- 35 Los gases ácidos, incluyendo CO₂, H₂S, SO₂ y NO_x, son fluidos muy adecuados para las realizaciones de la invención. Sin embargo, se cree que los fluidos no se limitan a los dados a conocer en el presente documento. Se cree además que los principios termodinámicos usados en realizaciones de la invención son válidos para todas las mezclas fluidas que muestran un coeficiente de Joule-Thomson (JT) positivo dentro del intervalo deseado de condiciones de procedimiento; dicho de otro modo, las mezclas fluidas se enfrían cuando se
- 40 expanden. Como generalización, un fluido con un coeficiente de JT más grande se enfriará más que uno con un coeficiente de JT más pequeño y, por tanto, requerirá enviar menos fluido en corriente de retorno. Un requisito de corriente de retorno bajo es económicamente deseable.

Aplicaciones para realizaciones de la invención se encuentran en la captura y almacenamiento de carbono (CCS), el tratamiento de CO₂, SO₂ y NO_x capturados a partir de procedimientos de combustión, gasificación y procedimientos químicos industriales para secuestro y en AGI (inyección de gas ácido) en la que se capturan H₂S y CO₂ a partir de procedimientos de gas y petróleo para secuestro.

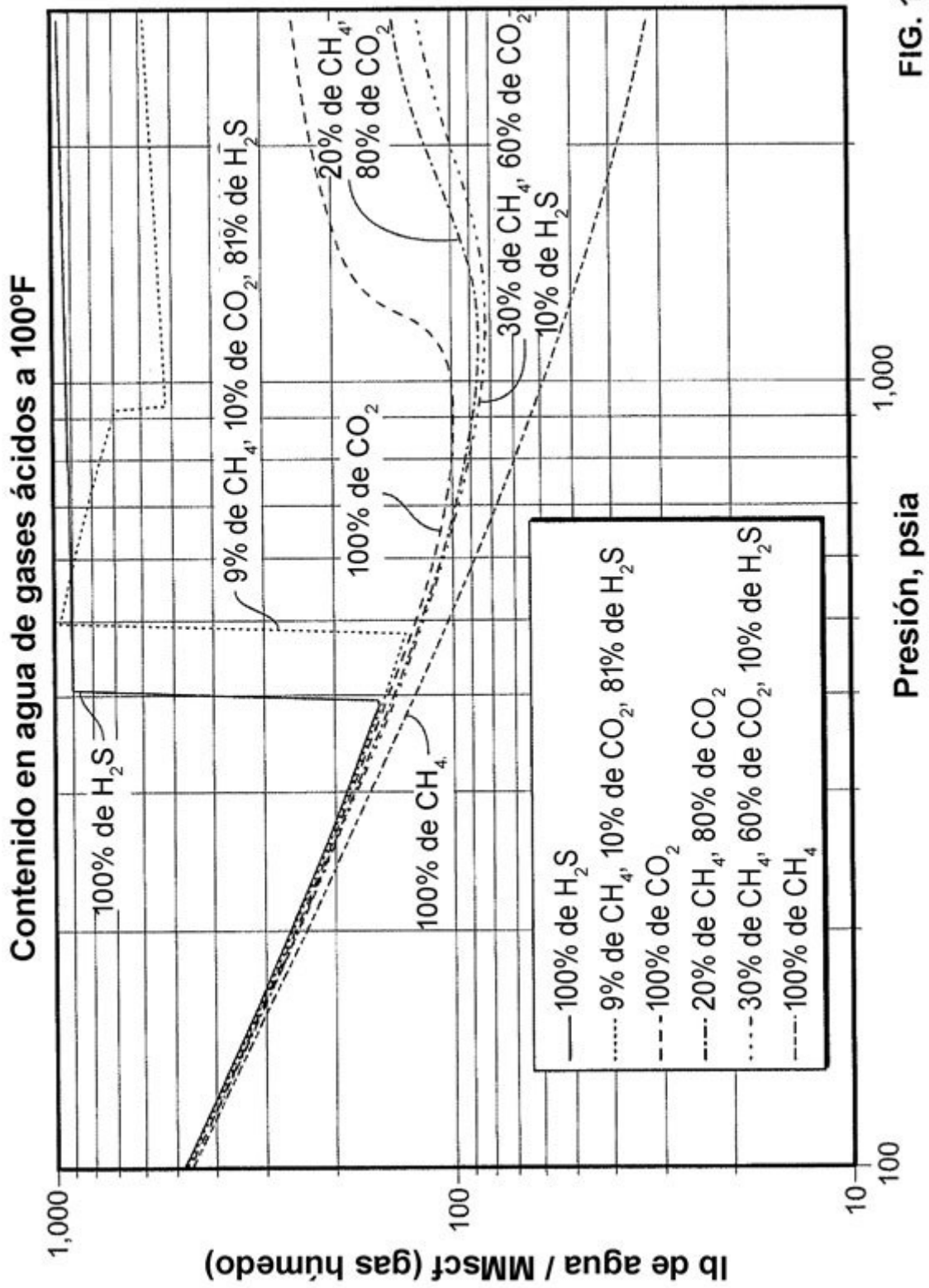
- 45 Los ejemplos 1-5 proporcionados en el presente documento se basan en un único conjunto de condiciones. Realizaciones de la invención requieren la optimización para cada fluido y conjunto de condiciones. La optimización implica la selección de la etapa de compresión más adecuada para el inicio de la corriente de retorno y que es la más adecuada para recombinar la corriente de retorno. Otra optimización se encuentra en la selección de la variación óptima del procedimiento ya sea el básico, HEX, LTS, múltiples etapas, isentrópico de múltiples etapas o alguna otra combinación de los descritos anteriormente. También se encuentran dentro de las
- 50 elecciones las necesidades óptimas de sistema de control e instrumentación que van a incluirse y los puntos de funcionamiento óptimos para la aplicación establecida.
- 55

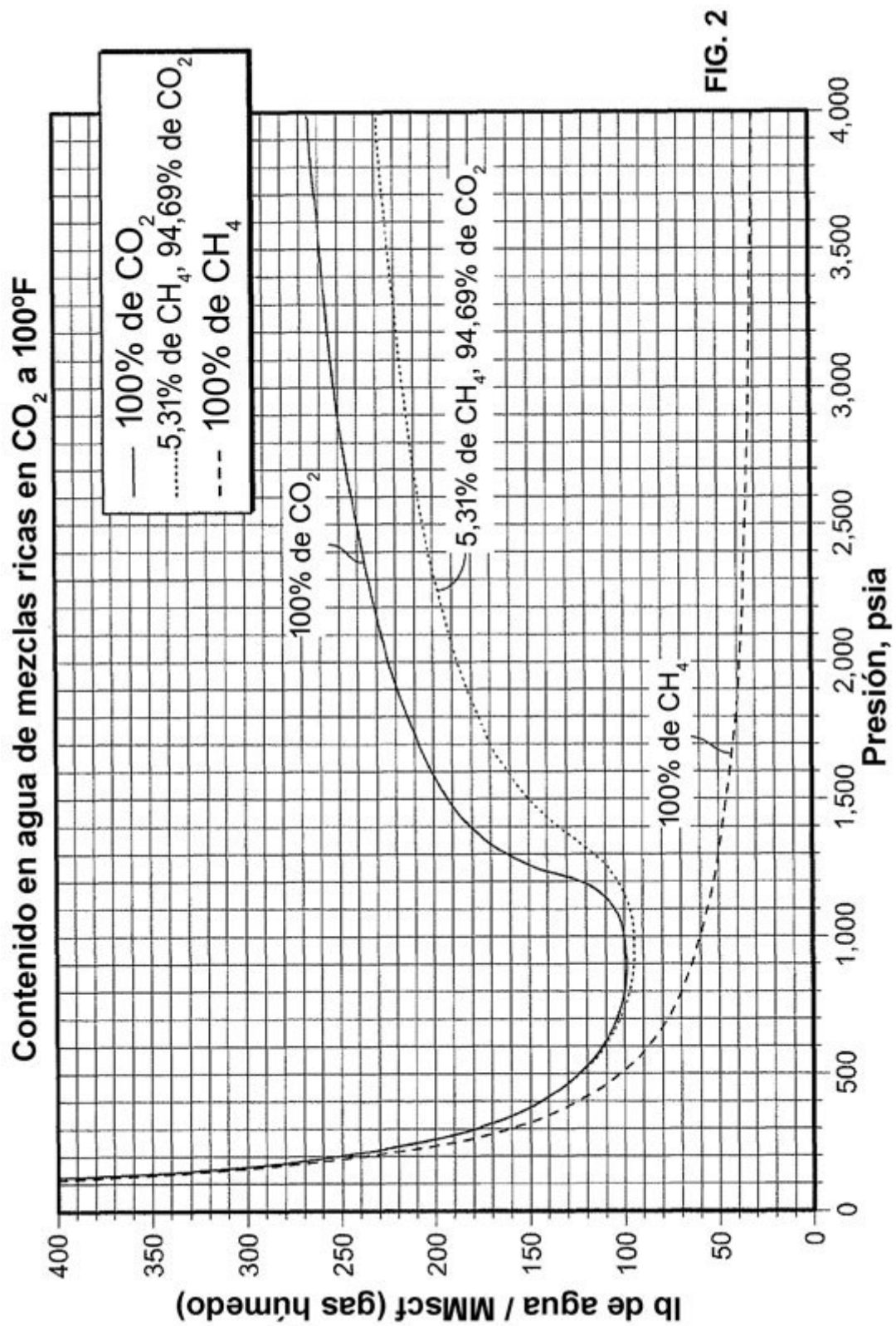
Los ejemplos proporcionados suponen un rendimiento en estado estacionario. Otras consideraciones van dirigidas a adaptarse al arranque, en alteraciones de servicio, y apagados para operaciones comerciales. Un ejemplo sencillo es que durante los primeros minutos de arranque, y durante periodos de alteraciones externas de procedimiento, las temperaturas y velocidades de flujo de corriente de retorno pueden no estar en la condición de funcionamiento en estado estacionario dictada por el diseño de procedimiento. Posiblemente pueden empezar a formarse hidratos sin proporcionar algo en el diseño para mitigar esta condición. Por tanto, realizaciones de la invención están diseñadas para incluir la capacidad de añadir un inhibidor de hidratos termodinámico, tal como metanol, para la protección temporal contra la formación de hidratos en un rendimiento en estado no

65

REIVINDICACIONES

1. Método para retirar componentes condensables a partir de un fluido que contiene dichos componentes condensables, caracterizado porque el método comprende:
5 a) proporcionar una mezcla fluida con un coeficiente de Joule-Thomson positivo que contiene agua, gases ácidos y componentes condensables como corriente de alimentación inicial;
b) enfriar dicha corriente de alimentación inicial para condensar agua y otros componentes condensables a partir
10 de la misma y retirar compuestos condensados para formar una corriente de gas;
c) comprimir y enfriar dicha corriente de gas para formar una corriente de gas a alta presión;
d) expandir una porción de dicha corriente de gas a alta presión a partir de c) para formar una corriente de
15 retorno enfriada;
e) introducir dicha corriente de retorno enfriada en la etapa b) para formar una corriente combinada con una temperatura reducida lo suficiente como para condensar agua y de ese modo tratar dicha corriente de alimentación inicial con dicha corriente de retorno, en primer lugar mediante intercambio térmico si se requiere, y
20 finalmente mediante mezclado directo para una condensación de agua adicional a partir de la misma.
2. Método según la reivindicación 1, caracterizado porque dichos componentes condensables incluyen alcanos inferiores.
- 25 3. Método según la reivindicación 1, caracterizado porque dicha corriente de gas se expande de manera isentrópica.
4. Método según la reivindicación 1, caracterizado porque dicha corriente de gas se expande de manera isentálpica.
30
5. Método según la reivindicación 1, caracterizado porque dicho fluido se deshidrata lo suficiente como para prevenir la formación de hidrato y/o fase acuosa.
6. Método según la reivindicación 1, caracterizado porque la etapa e) incluye introducir dicha corriente de retorno
35 en una operación de unidad de intercambio de calor.
7. Método según la reivindicación 1, caracterizado porque la etapa e) se realiza mediante recirculación.





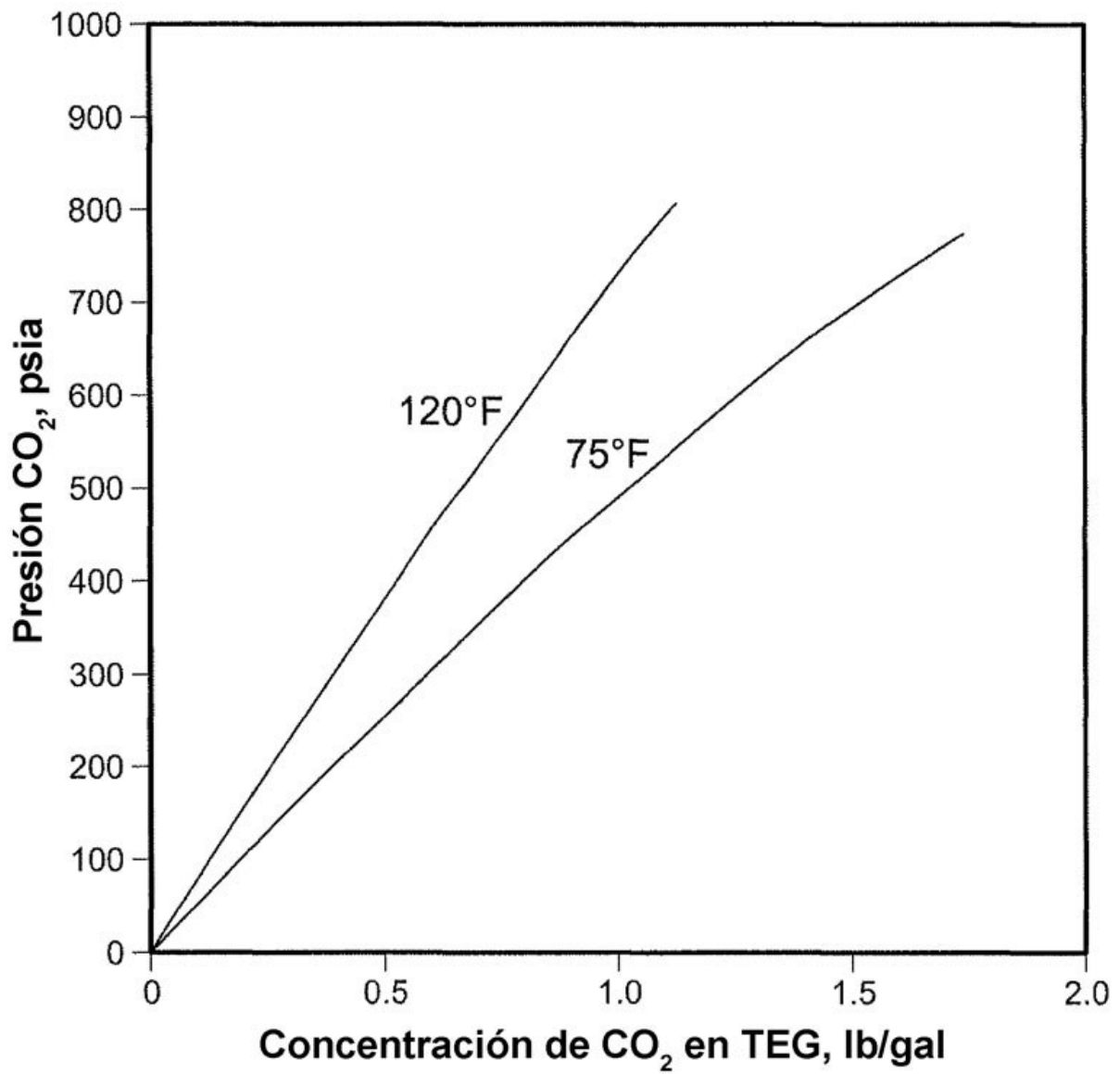


FIG. 3

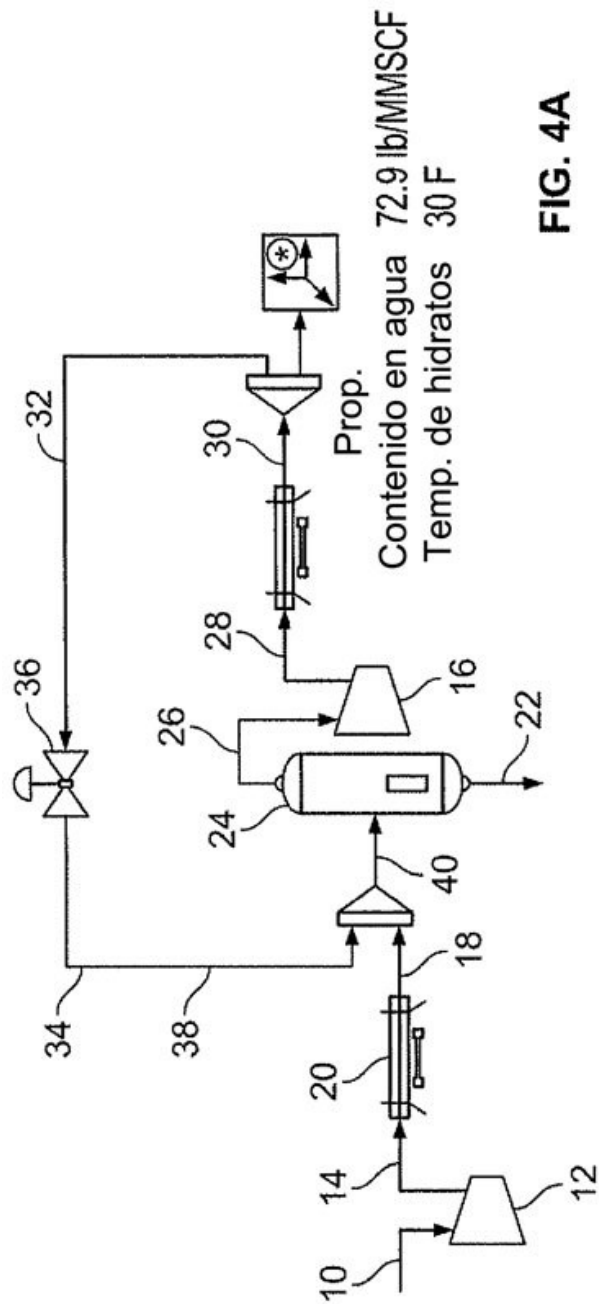


FIG. 4A

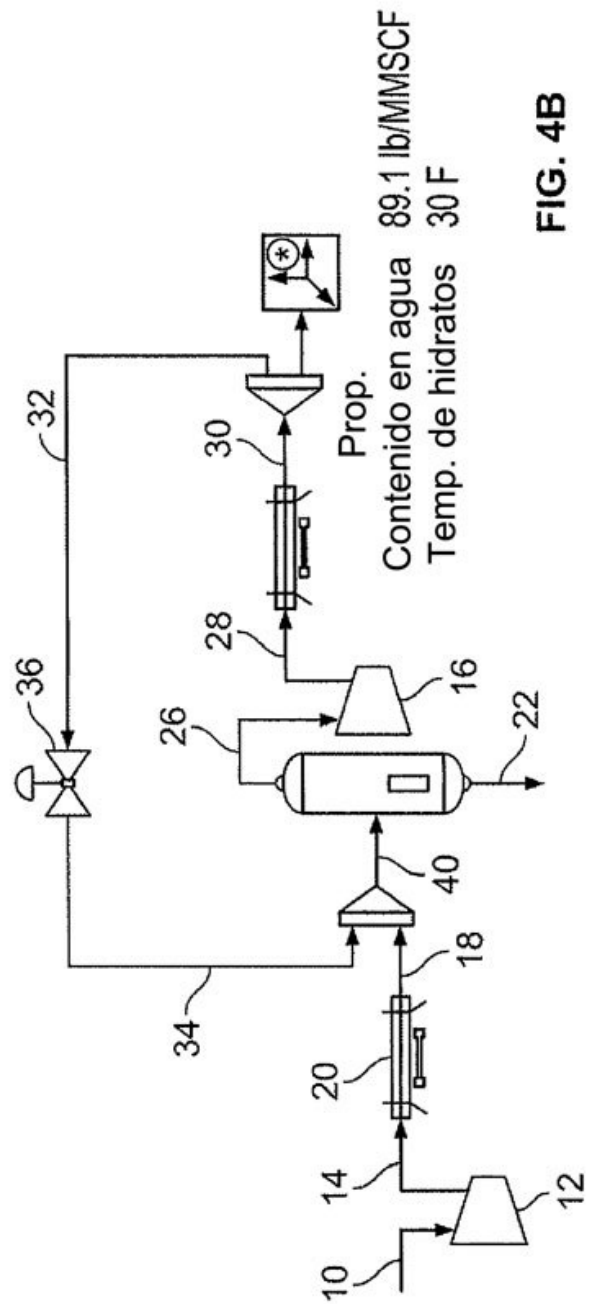
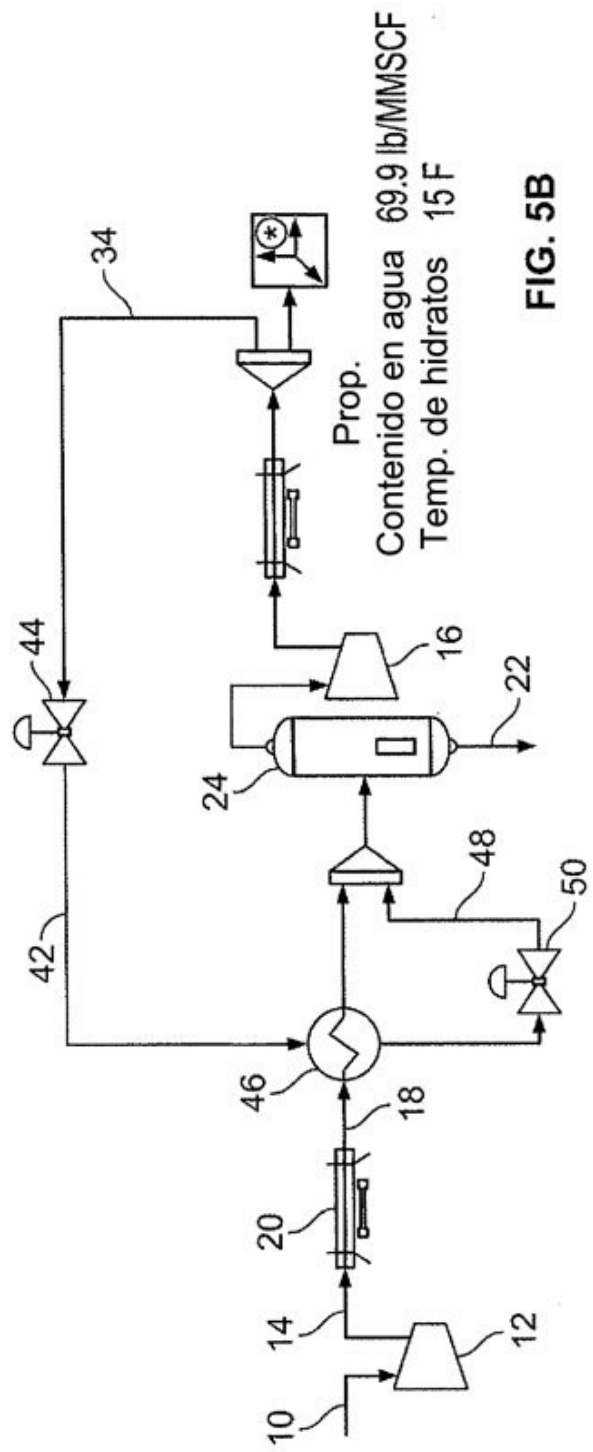
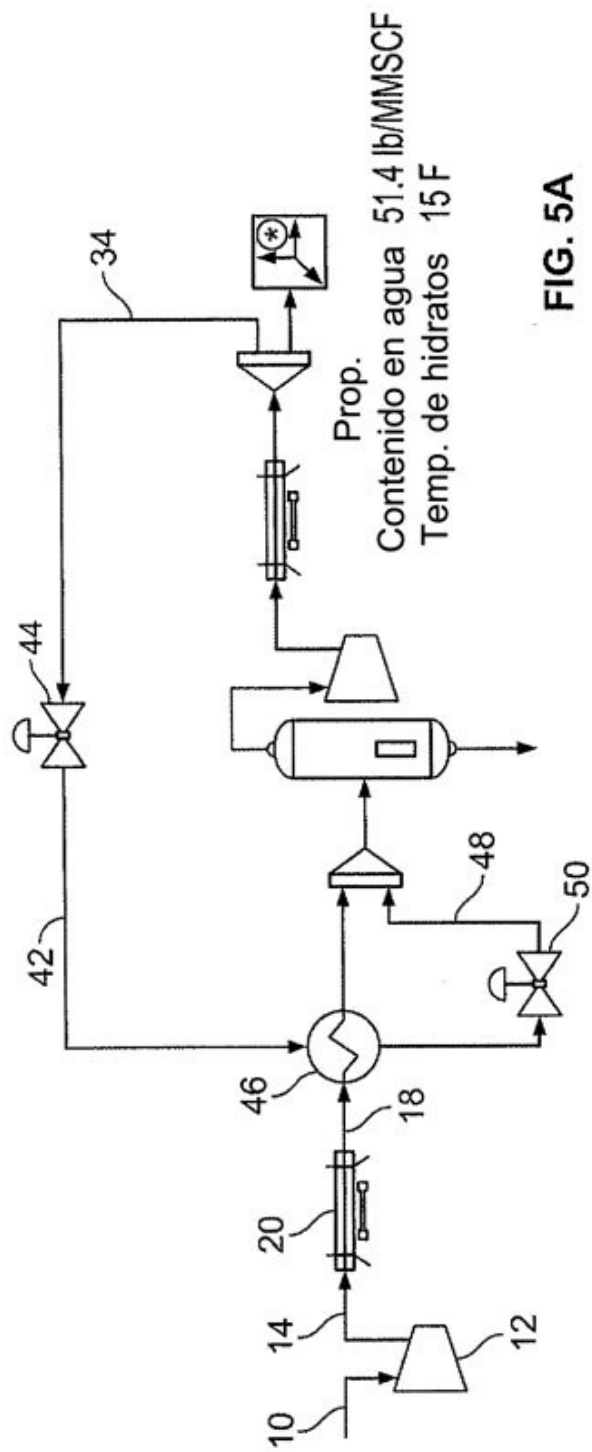


FIG. 4B



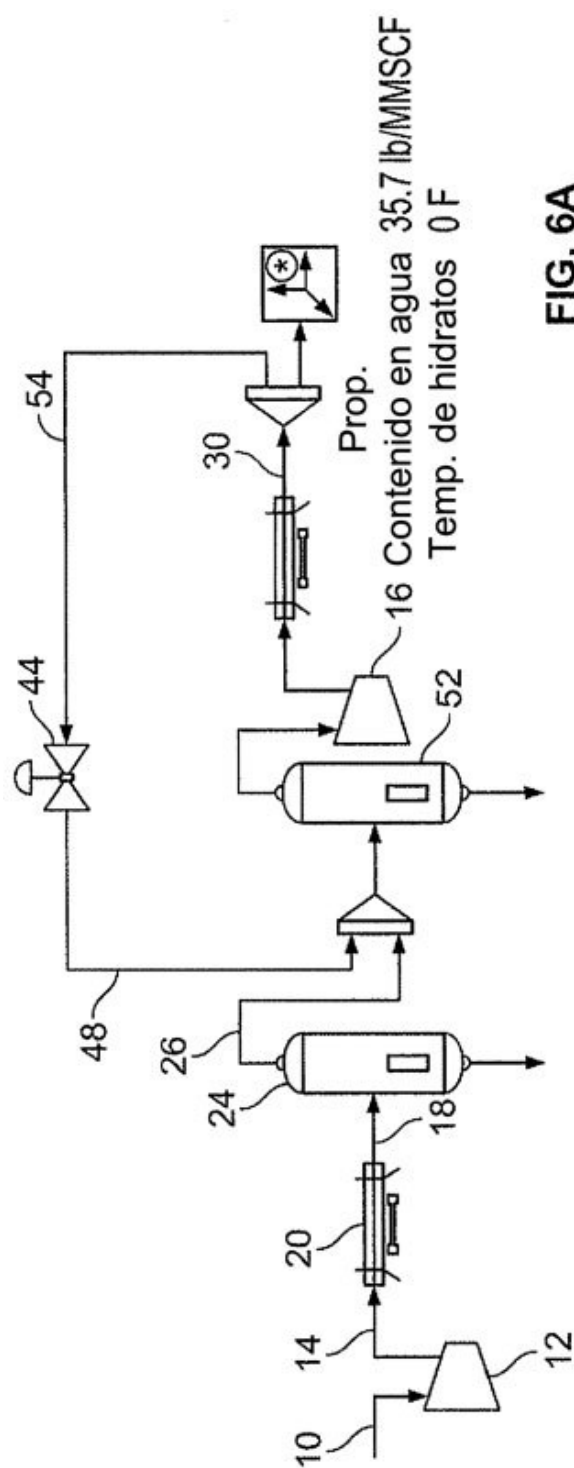


FIG. 6A

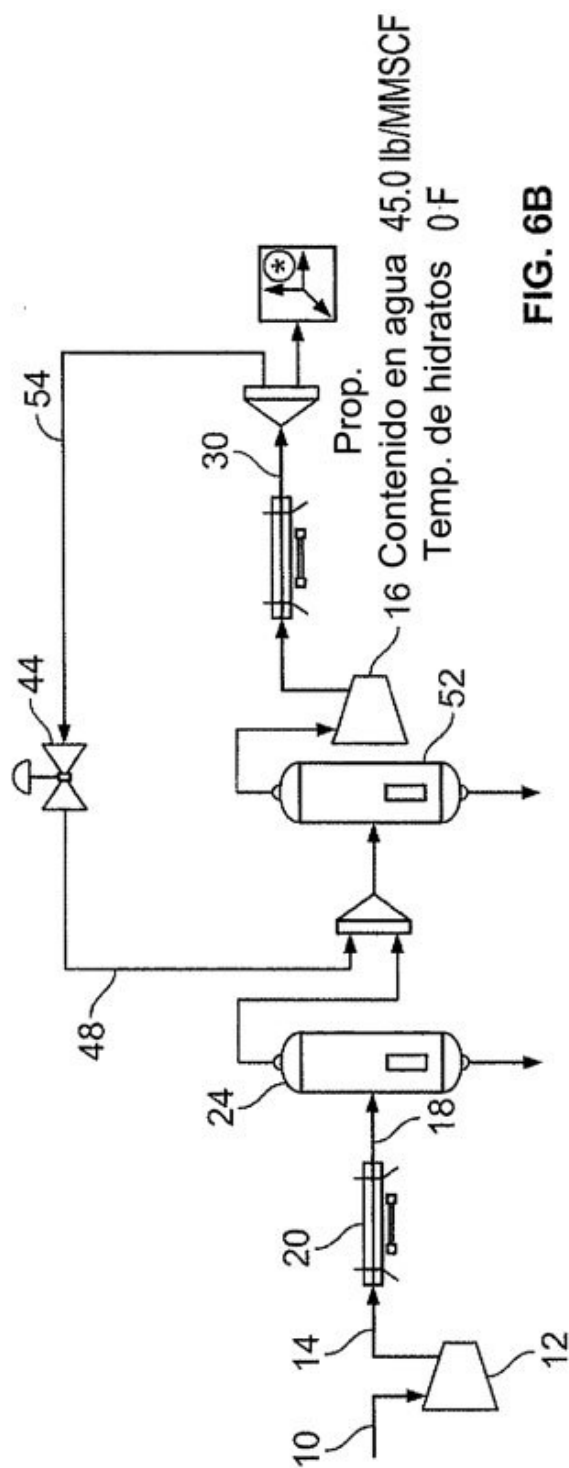


FIG. 6B

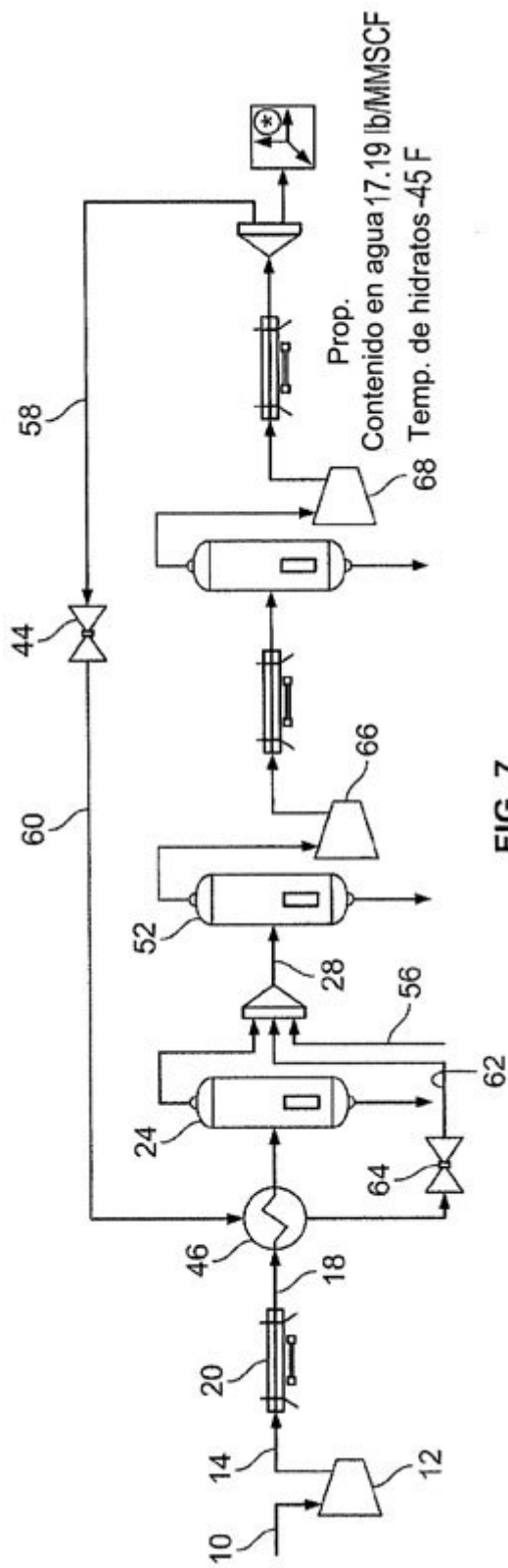


FIG. 7

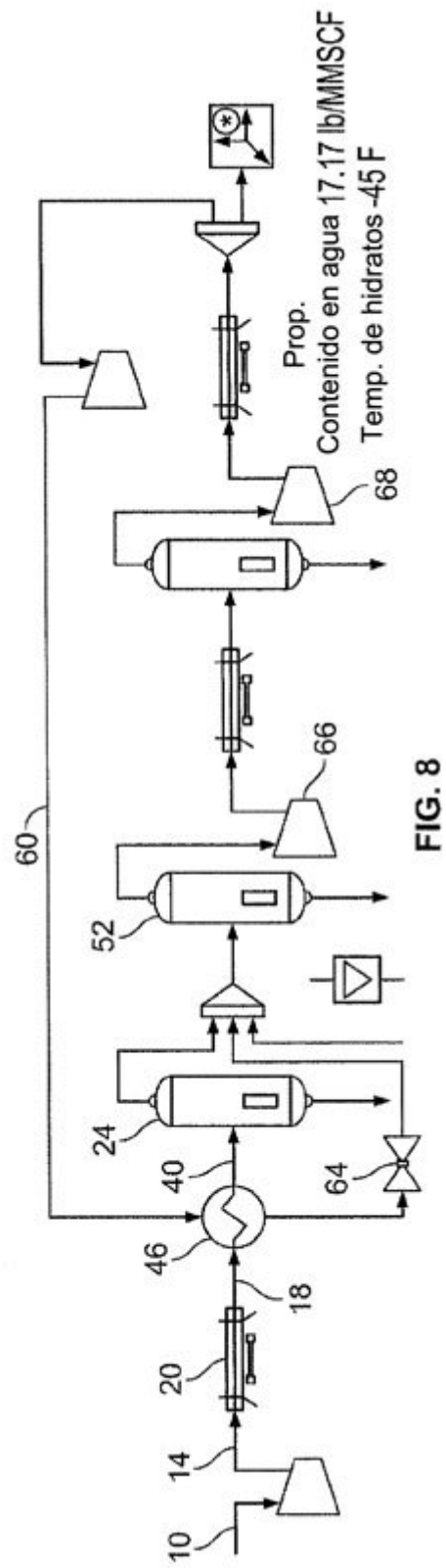


FIG. 8