



19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

11 Número de publicación: **2 361 514**

51 Int. Cl.:
F04F 1/06 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Número de solicitud europea: **05013344 .6**

96 Fecha de presentación : **21.06.2005**

97 Número de publicación de la solicitud: **1610000**

97 Fecha de publicación de la solicitud: **28.12.2005**

54 Título: **Sistema de compresión de gas.**

30 Prioridad: **25.06.2004 US 876794**

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:
17.06.2011

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:
17.06.2011

73 Titular/es: **AIR PRODUCTS AND CHEMICALS, Inc.**
7201 Hamilton Boulevard
Allentown, Pennsylvania 18195-1501, US

72 Inventor/es: **Bhatt, Bharat Lajjaram;**
Kottke, William Curtis;
Chalk, David Jonathan y
Carlson, Todd Eric

74 Agente: **Ungría López, Javier**

ES 2 361 514 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

Sistema de compresión de gas

5 **Antecedentes de la invención**

10 La compresión de gas a presiones ultraaltas es necesaria en muchos procesos industriales, en el suministro de gases industriales para uso a presiones ultraaltas, y en sistemas especializados de almacenamiento de gas a presión ultraalta. La compresión de gas a presiones superiores a aproximadamente 0,8 MPa (100 psig) en dichas aplicaciones se efectúa típicamente por compresores de desplazamiento positivo que utilizan pistones macizos o diafragmas y requieren juntas estancas fiables y eficientes que operan a altas presiones diferenciales. La compresión de gas requiere refrigeración para quitar calor de compresión, lo que se puede lograr por refrigeración interetápica entre múltiples etapas de compresión. Las aplicaciones de compresión a presión ultraalta pueden requerir así muchas etapas de compresión para una operación eficiente. La mayoría de los compresores del tipo de pistón requieren lubricación entre el pistón y el cilindro, y el lubricante puede ser arrastrado en el gas comprimido, requiriendo por ello unos medios eficientes de extracción de aceite hacia abajo del compresor.

20 Los compresores de desplazamiento positivo alternativos convencionales pueden ser menos eficientes cuando aumenta la presión de descarga a causa de la holgura o volumen muerto requerido entre el elemento compresor móvil (por ejemplo, pistón o diafragma) y la caja de compresor. A causa de este volumen de holgura, queda una cantidad pequeña, pero significativa, de gas en el compresor al final de la carrera de compresión, y la energía de presión en este gas se pierde durante la carrera de admisión posterior.

25 Estos inconvenientes de los compresores alternativos de elementos sólidos han dado lugar al desarrollo de compresores de gas de pistón líquido en los que se bombea un líquido a un cilindro para comprimir gas en él por contacto directo entre el líquido de accionamiento y el gas que se comprime. Después de comprimir y descargar el gas del cilindro, el líquido es retirado y otra carga de gas a baja presión fluye al cilindro para compresión en un paso de compresión posterior. Muchos de los primeros compresores de pistón líquido, por ejemplo, estaban diseñados para servicio de compresión de aire y usaban agua como el líquido de compresión. Se han descrito múltiples compresores de cilindro líquido que realizan un flujo más constante de gas comprimido, y se han usado varios tipos de dispositivos de refrigeración montados en los cilindros de compresión.

35 La Publicación de Patente de Estados Unidos número US 2003/0039554 describe un método y aparato para llenar un recipiente de almacenamiento con gas comprimido. Se aspira fluido hidráulico de un depósito y se bombea a un primer depósito en contacto con el gas. Esto hace que el gas en el primer depósito fluya al recipiente de almacenamiento cuando se llena de fluido hidráulico. Al mismo tiempo se suministra gas desde la fuente de gas a un segundo depósito. El fluido hidráulico previo introducido en el segundo depósito sale al depósito cuando el segundo depósito se llena de gas. Cuando el primer depósito está lleno de fluido hidráulico, una válvula conmuta el ciclo de modo que la bomba hidráulica comience a bombear fluido hidráulico de nuevo al segundo depósito mientras el primer depósito se drena. El ciclo se repite hasta que el recipiente de almacenamiento se llena de gas a una presión deseada.

45 En el campo de la compresión de gas, en particular en la compresión de gas a presión ultraalta, se necesitan sistemas compresores mejorados que eviten los inconvenientes antes descritos de los compresores alternativos de elementos sólidos. En particular, se necesitan en la industria de gases industriales sistemas de compresión mejorados para proporcionar productos de gas a presiones ultraaltas y sistemas de almacenamiento de gas a presiones ultraaltas.

50 **Breve resumen de la invención**

Satisface esta necesidad varias realizaciones de la invención descritas en la siguiente memoria descriptiva y definidas en las reivindicaciones anexas. Los sistemas compresores de pistón líquido descritos más adelante utilizan varias características integradas en ciclos de compresión adecuados para la compresión de gas a presiones ultraaltas que pueden ser del rango, por ejemplo, de hasta 690 MPa (100.000 psig).

55 Una realización de la invención incluye un sistema de compresión de gas incluyendo un cilindro de compresión que tiene una entrada de gas, una salida de gas comprimido, uno o más orificios de transferencia de líquido, una bomba que tiene una aspiración y una descarga y un intensificador de presión que tiene una entrada y una salida. Se usa un líquido compresor en el sistema, del que al menos una porción se contiene en la bomba, el intensificador de presión, y el cilindro de compresión. El sistema incluye medios de tubo y válvula adaptados para transferir el líquido compresor de la descarga de la bomba a alguno del uno o más orificios de transferencia de líquido del cilindro de compresión y a la entrada del intensificador de presión; medios de tubo y válvula adaptados para transferir el líquido compresor de alguno del uno o más orificios de transferencia de líquido del cilindro de compresión a la aspiración de la bomba; y medios de tubo para transferir el líquido compresor de la salida del intensificador de presión a alguno del uno o más orificios de transferencia de líquido del cilindro de compresión.

- Esta realización puede incluir además medios de refrigeración dentro del cilindro de compresión adaptados para efectuar la transferencia de su calor entre el líquido de compresión y un gas y puede incluir además un refrigerador adaptado para enfriar el líquido de compresión cuando fluye entre el cilindro de compresión y la bomba. Otra característica de esta realización puede incluir un eductor de alimentación que tiene una entrada a alta presión, una
- 5 entrada a baja presión, y una salida, donde la entrada a alta presión está en comunicación de flujo con la descarga de la bomba, la entrada a baja presión está en comunicación de flujo con un depósito conteniendo una porción del líquido compresor, y la salida está en comunicación de flujo con alguno del uno o más orificios de transferencia de líquido del cilindro de compresión.
- 10 El sistema de esta realización puede incluir además un eductor de drenaje que tiene una entrada a alta presión, una entrada a baja presión, y una salida, donde la entrada a alta presión está en comunicación de flujo con la descarga de la bomba, la entrada a baja presión está en comunicación de flujo con alguno del uno o más orificios de transferencia de líquido del cilindro de compresión, y la salida del eductor está en comunicación de flujo con un depósito conteniendo una porción del líquido compresor. El sistema puede incluir cualquiera de (1) un acumulador
- 15 de líquido compresor de volumen variable en comunicación de flujo con la descarga de la bomba puede estar incluido en este sistema y (2) un depósito de líquido compresor en comunicación de flujo con la aspiración de entrada de la bomba. El líquido compresor puede incluir uno o más componentes seleccionados del grupo que consta de agua, aceite mineral, aceite de silicona y aceite fluorado.
- 20 La invención también describe un sistema de compresión de gas incluyendo
- (a) un cilindro de compresión que tiene una entrada de gas, una salida de gas comprimido, uno o más orificios de transferencia de líquido, y una salida de líquido;
- 25 (b) una bomba que tiene una aspiración y una descarga;
- (c) un intensificador de presión que tiene una entrada y una salida, donde la entrada está en comunicación de flujo con la bomba y la salida está en comunicación de flujo con el cilindro de compresión;
- 30 (d) un eductor de drenaje que tiene una entrada a alta presión, una entrada a baja presión, y una salida, donde la entrada a alta presión está en comunicación de flujo con la descarga de la bomba, la entrada a baja presión está en comunicación de flujo con alguno del uno o más orificios de transferencia de líquido del cilindro de compresión, y la salida del eductor está en comunicación de flujo con un depósito conteniendo una porción del líquido compresor;
- 35 (e) un líquido compresor, del que al menos una porción se contiene en la bomba, los eductores, el depósito, el intensificador de presión, y el cilindro de compresión; y
- (f) medios de tubo y válvula adaptados para transferir el líquido compresor de la descarga de la bomba a cualquiera de la entrada del intensificador de presión y la entrada a alta presión del eductor de drenaje; medios de tubo y
- 40 válvula adaptados para transferir el líquido compresor de alguno del uno o más orificios de transferencia de líquido del cilindro de compresión a la aspiración de la bomba; y medios de tubo para transferir el líquido compresor de la salida del intensificador de presión a alguno del uno o más orificios de transferencia de líquido del cilindro de compresión.
- 45 En esta realización, el sistema puede incluir además un eductor de alimentación que tiene una entrada a alta presión, una entrada a baja presión, y una salida, donde la entrada a alta presión está en comunicación de flujo con la descarga de la bomba, la entrada a baja presión está en comunicación de flujo con un depósito conteniendo una porción del líquido compresor, y la salida está en comunicación de flujo con alguno del uno o más orificios de transferencia de líquido del cilindro de compresión. Esta realización puede incluir además un acumulador de líquido
- 50 compresor de volumen variable en comunicación de flujo con la descarga de la bomba.
- La invención también describe un sistema de compresión de gas incluyendo
- (a) un cilindro de compresión que tiene una entrada de gas, una salida de gas comprimido, uno o más orificios de
- 55 transferencia de líquido;
- (b) una bomba que tiene una aspiración y una descarga;
- (c) un líquido compresor, del que al menos una porción se contiene en la bomba y el cilindro de compresión; y
- 60 (d) un intensificador de presión que tiene una entrada y una salida, donde la entrada está en comunicación de flujo con la bomba y la salida está en comunicación de flujo con el cilindro de compresión; y
- (e) cualquiera de
- 65 (1) un eductor de alimentación que tiene una entrada a alta presión, una entrada a baja presión, y una salida, donde

la entrada a alta presión está en comunicación de flujo con la descarga de la bomba, la entrada a baja presión está en comunicación de flujo con un depósito conteniendo una porción del líquido compresor, y la salida está en comunicación de flujo con alguno del uno o más orificios de transferencia de líquido del cilindro de compresión;

5 (2) un eductor de drenaje que tiene una entrada a alta presión, una entrada a baja presión, y una salida, donde la entrada a alta presión está en comunicación de flujo con la descarga de la bomba, la entrada a baja presión está en comunicación de flujo con alguno del uno o más orificios de transferencia de líquido del cilindro de compresión, y la salida del eductor está en comunicación de flujo con la bomba y con un depósito conteniendo una porción del líquido compresor; y

10 (3) un acumulador de líquido compresor de volumen variable en comunicación de flujo con la descarga de la bomba.

Una realización relacionada de la invención incluye un método para comprimir un gas incluyendo

15 (a) proporcionar un sistema de compresión de gas que tiene

(1) un cilindro de compresión que tiene una entrada de gas, una salida de gas comprimido, uno o más orificios de transferencia de líquido;

20 (2) una bomba que tiene una aspiración y una descarga;

(3) un intensificador de presión que tiene una entrada y una salida; y

25 (4) un líquido compresor, del que al menos una porción se contiene en la bomba, el intensificador de presión, y el cilindro de compresión;

(b) introducir un gas a través de la entrada de gas al cilindro de compresión;

30 (c) bombear el líquido compresor para suministrar un líquido compresor presurizado, e introducir el líquido compresor presurizado al cilindro de compresión para comprimir el gas en el cilindro de compresión;

(d) seguir bombeando el líquido compresor para suministrar líquido compresor presurizado, introducir el líquido compresor presurizado a la entrada del intensificador de presión, y extraer un líquido compresor presurizado adicional de la salida del intensificador de presión;

35 (e) introducir el líquido compresor presurizado adicional al cilindro de compresión para comprimir más el gas en el cilindro de compresión; y

40 (f) extraer un gas comprimido de la salida de gas comprimido del cilindro de compresión.

Esta realización puede incluir además proporcionar un depósito de líquido compresor, extraer el líquido compresor del cilindro de compresión, y transferir el líquido compresor al depósito de líquido compresor; la realización también puede incluir proporcionar un eductor de alimentación que tiene una entrada a alta presión, una entrada a baja presión, y una salida, donde la entrada a alta presión está en comunicación de flujo con la descarga de la bomba, la entrada a baja presión está en comunicación de flujo con el depósito conteniendo líquido compresor, y la salida está en comunicación de flujo con alguno del uno o más orificios de transferencia de líquido del cilindro de compresión, y antes de (c) pasar líquido compresor presurizado de la bomba a la entrada a alta presión y a través del eductor, aspirar líquido compresor adicional del depósito a la entrada a baja presión del eductor, extraer un líquido compresor presurizado combinado de la salida del eductor, y transferir el líquido compresor presurizado combinado al cilindro de compresión.

Esta realización puede incluir además enfriar el gas en el cilindro de compresión durante cualquiera de (c), (d) y (e) efectuando transferencia de calor entre el gas y el líquido compresor. Esta realización puede incluir además enfriar el líquido compresor durante la transferencia del líquido del cilindro de compresión al depósito de líquido compresor.

55 La realización puede incluir además proporcionar un eductor de drenaje que tiene una entrada a alta presión, una entrada a baja presión, y una salida, donde la entrada a alta presión está en comunicación de flujo con la descarga de la bomba, la entrada a baja presión está en comunicación de flujo con alguno del uno o más orificios de transferencia de líquido del cilindro de compresión, y la salida del eductor de drenaje está en comunicación de flujo con el depósito, pasar líquido compresor presurizado de la bomba a la entrada a alta presión y a través del eductor de drenaje, aspirar líquido compresor del cilindro de compresión a la entrada a baja presión del eductor de drenaje, extraer un líquido compresor combinado de la salida del eductor de drenaje, y transferir el líquido compresor combinado al depósito.

60 En esta realización, el gas comprimido puede ser retirado de la salida de gas comprimido del cilindro de compresión a una presión de entre 35 y 690 MPa (5.000 y 100.000 psig), y el gas comprimido puede incluir hidrógeno.

Breve descripción de las varias vistas de los dibujos

La figura 1 es un diagrama esquemático de un sistema compresor que ilustra una realización de la presente invención.

5 La figura 2 es un gráfico de la presión frente al volumen para un cilindro de compresión en un ciclo de compresión ejemplar utilizando el sistema compresor de la figura 1.

10 La figura 3A es una vista en sección de una válvula de retención de modo doble usada opcionalmente en el extremo de salida de gas del cilindro de compresión durante una porción de un ciclo de compresión de gas.

La figura 3B es una vista en sección de la válvula de retención de modo doble usada opcionalmente en el extremo de salida de gas del cilindro de compresión durante otra porción del ciclo de compresión de gas.

15 La figura 3C es una vista en sección de la válvula de retención de modo doble usada opcionalmente en el extremo de salida de gas del cilindro de compresión durante otra porción del ciclo de compresión de gas.

Descripción detallada de la invención

20 Se puede comprimir gas según realizaciones de la invención operando un ciclo de compresión repetido que utiliza uno o más cilindros de compresión llenos de líquido con varias combinaciones de intensificadores de presión de líquido y eductores movidos por líquido para llenar y drenar los cilindros de compresión. Una realización ejemplar de la invención se ilustra en la figura 1 en la que se comprime gas en el cilindro de compresión 1 por el llenado y drenaje cíclicos de líquido compresor 3 en el cilindro. El líquido compresor puede ser introducido y retirado del
25 cilindro a varias presiones en un ciclo compresor como se explica a continuación.

El cilindro de compresión 1 tiene un extremo superior y un extremo inferior, el extremo superior tiene una entrada de gas y una salida de gas, y el extremo inferior tiene al menos un orificio de transferencia de líquido compresor para la introducción y/o extracción de líquido compresor. Alternativamente, la posición de la entrada de gas puede estar en
30 la parte inferior del cilindro. El cilindro también tiene una línea de entrada de líquido compresor, representada aquí en el extremo inferior del cilindro. En una realización, el cilindro es parte de un conjunto de cilindro de compresión de gas de pistón líquido incluyendo un cilindro que tiene un extremo superior y un extremo inferior, una entrada de gas y una salida de gas en el extremo superior, y un orificio de transferencia de líquido de compresión en el extremo inferior; medios de intercambio de calor dispuestos en el extremo superior, y una línea de entrada de líquido de
35 compresión adaptada para introducir un líquido de compresión al cilindro encima de los medios de intercambio de calor y distribuir el líquido sobre los medios de intercambio de calor. La línea de entrada de líquido de compresión puede estar dispuesta coaxialmente en el cilindro.

El intensificador de presión 7 está conectado al cilindro de compresión por la línea 5 que está conectada a un orificio en el cilindro. El intensificador de presión 7, que es un intensificador de presión de tipo ejemplar que puede ser usado con este sistema, incluye un cilindro pequeño 9, un pistón pequeño 11, un cilindro grande 13, y un pistón grande 15. El pistón pequeño 11 y el pistón grande 15 están unidos por un vástago de pistón 17 de modo que los dos pistones se muevan en tándem. El cilindro pequeño 9 y el cilindro grande 13 están llenos del líquido compresor en ambos lados de los pistones 11 y 15. El intensificador de presión 7 opera para ampliar la presión suministrada al cilindro grande 13 mediante la línea 19, descargando por ello líquido a presión más alta del cilindro pequeño 9 mediante la línea 5. La relación de la presión entre el líquido compresor en las líneas 5 y 19 es generalmente igual a la relación de las áreas en sección transversal de los pistones 15 y 11, respectivamente. Típicamente, esta relación puede ser del rango de 3:1 a 25:1. El intensificador de presión 7 tiene una entrada y una salida, pero puede tener
40 entradas y salidas adicionales (no representadas). En la presente descripción, los artículos indefinidos "un/uno" y "una" significan uno o más cuando se aplican a cualquier característica de la presente invención descrita en la memoria descriptiva y las reivindicaciones. El uso de "un/uno" y "una" no limita el significado a una sola característica a no ser que dicho límite se indique específicamente.

Se puede usar otros tipos de intensificadores de presión para generar una corriente de salida de líquido de presión más alta a partir de una corriente de entrada de líquido a presión más baja. El significado de "intensificador de presión" aquí usado es un dispositivo hidráulico mecánico de desplazamiento positivo con una entrada a baja presión y una salida a alta presión que es movida por un líquido introducido a una presión más baja o a un rango de presiones más bajas. El líquido de accionamiento opera en el pistón grande 15 y se extrae energía de este líquido en la forma de trabajo. El trabajo es transferido al líquido movido que sale del intensificador a una presión más alta debido a la operación del pistón más pequeño 11. Algunos intensificadores están diseñados de tal manera que esta operación puede ser realizada automáticamente y secuencialmente cualquier número de veces, de tal modo que la cantidad de líquido movido que pase a través del intensificador no se limite a una sola carrera. Típicamente, el líquido a baja presión y el líquido a alta presión son idénticos en composición y propiedades.

65 El sistema de compresión incluye además una bomba 20, que puede ser cualquier tipo de bomba de desplazamiento positivo capaz de suministrar presiones de hasta 21 MPa (3000 psig), tal como, por ejemplo, una bomba de

engranajes o paletas Rexroth. El sistema también puede incluir un depósito de líquido 21 que tiene un indicador de nivel opcional o visor 23, un acumulador de líquido compresor de volumen variable 25, un eductor de alimentación 27, un eductor de drenaje 29, y un refrigerador de líquido compresor 31. El acumulador de líquido 25 puede ser una unidad del tipo de vejiga en la que el volumen de la vejiga cambia cuando entra y sale líquido del acumulador. Alternativamente, el acumulador puede utilizar un pistón deslizante para variar el volumen del acumulador. Los eductores pueden ser de cualquier tipo conocido en la técnica para servicio de líquido y pueden ser, por ejemplo, eductores de líquido o chorro tales como los fabricados por Fox Valve, Inc.

Cuando todos estos componentes se utilizan en combinación, el tubo y las válvulas son utilizados para control de flujo de líquido y gas de la siguiente manera. Se saca gas comprimido del cilindro de compresión 1 mediante la línea 33, la válvula de retención activada por gas 35, y la línea de suministro 37. El gas a baja presión a comprimir es proporcionado al cilindro de compresión 1 mediante la línea 43 y la válvula de retención 44. Se pueden instalar sensores de líquido 39 y 41 en el cilindro y la línea de salida de gas como se representa para supervisar el nivel de líquido compresor durante un ciclo de compresión como se describe más adelante. El líquido compresor puede ser introducido y retirado del cilindro de compresión 1 mediante la línea 45 conectada a un orificio en el cilindro; opcionalmente, esta línea puede estar conectada a la línea 5. La línea 45 y la entrada a baja presión del eductor de drenaje 29 están conectadas mediante la línea 46 y la válvula 48.

Alternativamente, la válvula de retención activada por gas 35 puede ser sustituida por una válvula de retención activada por líquido o por gas de modo doble que tiene un primer asiento de válvula o junta estanca que, cuando está abierto, permite que salga gas y líquido de cilindro de compresión 1 y también permite que vuelva líquido al cilindro de compresión 1. Esta válvula de retención tiene un orificio inferior que está en comunicación de fluido mediante la línea 33 con un orificio de transferencia de fluido en la parte superior de cilindro 1 y un orificio superior conectado a la línea de descarga 37. La válvula tiene un segundo asiento de válvula o junta estanca que, cuando está abierto, permite que el gas que pasa procedente del primer asiento salga del sistema a través de la línea de suministro 37. Dentro del cuerpo de válvula se ha dispuesto un elemento verticalmente flotante que tiene un primer extremo y un segundo extremo; donde el primer extremo está adaptado para efectuar sellado contra el primer asiento de válvula y el segundo extremo está adaptado para efectuar sellado contra el segundo asiento de válvula.

El primer asiento de válvula en la válvula de retención de modo doble 35 se abre a una presión predeterminada de distribución de gas producido (es decir, la presión en línea de suministro de gas producido 37) y permite que fluya gas a través del cuerpo de válvula y el segundo asiento de válvula a la línea de suministro 37. El primer asiento de válvula permite el flujo de gas así como el flujo de líquido. Cuando fluye líquido al cuerpo de válvula, el elemento verticalmente flotante flota, se eleva y eventualmente efectúa sellado en el segundo asiento de válvula, evitando por ello el flujo tanto de gas como de líquido a través de la válvula. La presión comienza a subir rápidamente y un sensor de presión inicia un paso de despresurización de cilindro como se describe más adelante. Cuando se libera la presión de líquido en el cilindro de compresión 1 y se drena líquido de él, el líquido en el cuerpo de válvula 37 se drena de nuevo al cilindro de compresión 1, el elemento verticalmente flotante cae, y eventualmente efectúa sellado en el primer asiento de válvula. Más adelante se ofrece una descripción detallada de esta válvula.

El aceite de compresor presurizado fluye desde la bomba 20 mediante la línea 47, la válvula de retención 49 y la línea 51. El acumulador de líquido compresor 25 está conectado a la línea 51 mediante la línea 53. La línea 51 se bifurca a las líneas 55, 57, y 59 para distribuir líquido compresor a varios destinos durante diferentes porciones del ciclo compresor como se describe más adelante. La línea 55 está conectada mediante la válvula 61 a la entrada a alta presión del eductor de alimentación 27. La salida del eductor de alimentación 27 está conectada mediante la línea 63 y la válvula de retención 65 a la línea de entrada 45 al cilindro de compresión 1. La línea 57 está conectada mediante la válvula 67 y la línea 69 a la entrada a alta presión del eductor de drenaje 29. La salida del eductor de drenaje 29 está conectada a la línea 71, que se bifurca a las líneas 73 y 75. La línea 59 está conectada mediante una válvula de dos vías 79 a la línea 19, que está conectada a la sección inferior del cilindro grande 13 del intensificador de presión 7, y está conectada mediante la línea 81 a la línea 73. En una primera posición o posición de paso, la válvula 79 conecta las líneas 19 y 59 mientras que bloquea la línea 81, y en una segunda posición o posición lateral, la válvula 79 conecta las líneas 19 y 81 mientras que bloquea la línea 59.

La línea 75 está conectada a un refrigerador opcional 31, que está conectado mediante la línea 83 al depósito de líquido compresor 21. Opcionalmente, las líneas 51 y 75 están conectadas mediante las líneas 85 y 87 a una válvula de alivio de seguridad 89. La salida de líquido del depósito de líquido compresor 21 está conectada mediante la línea 91 a la entrada de bomba 20. La línea 93 conecta la línea 91 mediante la válvula 95, la línea 97, la válvula de retención 99, la línea 101 y la línea 103 a la entrada a baja presión del eductor de alimentación 27. La línea 101 también conecta mediante la válvula de retención 104 y la línea 105 con la salida del eductor de alimentación 27. La salida superior del depósito 21 está conectada a la línea 43 mediante la línea 107, 109, la válvula de control de contrapresión 111 y la línea 113. Un regulador de presión adicional 115 conecta la línea de entrada de gas de presurización 117 con la línea 109.

El sistema se llena con un líquido compresor apropiado que es compatible con el gas que se comprime y con las juntas estancas usadas en la bomba 20, el intensificador de presión 7, y las varias válvulas y conectores en el sistema. El líquido compresor tiene preferiblemente una presión de vapor baja a la temperatura operativa normal

(típicamente cerca de la temperatura ambiente). Una porción del líquido compresor llena típicamente la bomba 20, el acumulador de líquido 25 (excluyendo la vejiga si se usa un acumulador del tipo de vejiga), el intensificador de presión 7, y los tubos y válvulas de líquido conectados. El cilindro de compresión 1 y el depósito 21 se llenan parcialmente durante ciertos pasos del ciclo como se describe más adelante.

El sistema compresor de la figura 1 opera cíclicamente a través de un número de pasos de repetición en los que gas es comprimido llenando y drenando alternativamente el cilindro de compresión 1 para comprimir gas a baja presión suministrado mediante la línea 43 y proporcionar gas comprimido mediante la línea de producto 37. El sistema compresor puede proporcionar gas comprimido a cualquier presión hasta el régimen de presión máxima del cilindro de compresión 1 y los tubos asociados. Típicamente, el sistema opera para comprimir gas a presiones ultraaltas, es decir, presiones superiores a 35 MPa (5000 psig), y puede operar a presiones de hasta 690 MPa (100.000 psig).

Se puede describir un ciclo de compresión ejemplar con referencia a las figuras 1 y 2 para ilustrar el sistema y el proceso de compresión. La figura 2 es un gráfico de presión-volumen ejemplar (no necesariamente a escala) para el cilindro de compresión 1 que representa la curva ABCDEFG que describe una relación de presión-volumen típica en el cilindro 1 durante un solo ciclo de compresión. Los pasos de ciclo, las posiciones de válvula y las condiciones de estado del sensor de líquido para este ciclo ejemplar se resumen en la tabla 1.

Tabla 1

		Posición de válvula del ciclo de compresión y estado del sensor de líquido						
		(véanse las figuras 1 y 2)						
Paso	Descripción	Número y posición de válvula					Estado del sensor	
		95	61	48	67	79	39	41
1	Llenado libre	O	C	C	C	Lado	seco	seco/húmedo
2	Llenado del eductor	O	O	C	C	Lado	seco	húmedo
3	Llenado de la bomba	O	O	C	C	Lado	seco	húmedo
4	Llenado del intensificador de presión			CCCC		Paso	seco	húmedo
5	Descarga de gas final			CCCC		Paso	húmedo	húmedo
6	Despresurización	C	C	O	O	Lado	húmedo/seco	húmedo
7	Drenaje del eductor	C	C	O	O	Lado	seco	húmedo/seco

Nota: O = abierto, C = cerrado

El ciclo comienza en el punto A en el gráfico de presión-volumen de la figura 2 y prosigue por siete pasos de ciclo resumidos en la tabla 1 y descritos más adelante con referencia a los puntos operativos del gráfico.

1) Llenado libre (A a B)

Este paso comienza en el punto A de la figura 2 con el nivel de líquido del cilindro de compresor 1 a o por debajo del sensor de líquido 41 y típicamente por encima de los orificios conectados a las líneas 5 y 45. El cilindro contiene inicialmente gas a baja presión que se aspiró a través de la línea 43 y la válvula de retención 44 durante los pasos de drenaje del ciclo anterior. La presión inicial en el cilindro de compresión 1 es típicamente 0,115 a 1,5 MPa (2 a 200 psig), y es inferior a la presión en el depósito 21. La presión en el depósito 21 se mantiene a una presión en el rango de 0,136 a 1,8 MPa (5 a 250 psig) por el gas de presurización admitido mediante la línea 117 y controlado por reguladores de contrapresión 111 y 115. Este gas de presurización puede ser el mismo gas que el comprimido en el cilindro 1. La bomba 20 funciona continuamente durante este paso y todos los pasos siguientes.

Durante este paso de llenado libre, la válvula 95 está abierta, las válvulas 48, 61, y 67 están cerradas, y la válvula 79 está en la posición lateral (es decir, conectando las líneas 19 y 81). La presión del gas en el cilindro 1 aumenta a lo largo de la curva desde el punto A al punto B de la figura 2 cuando fluye líquido compresor desde el depósito 21 mediante la línea 91, la línea 93, la válvula 95, la línea 97, la válvula de retención 99, la línea 101, la válvula de retención 103, la línea 105, la válvula de retención 65 y la línea 45. El paso de llenado libre termina en el punto B de la figura 2 cuando la presión en el cilindro 1 se aproxima a la presión en el depósito 21. La duración del paso de llenado libre puede ser de entre 1 y 10 segundos.

2) Llenado del eductor (B a C)

La válvula 61 está abierta, la bomba 20 aspira líquido de depósito 21 mediante la línea 91, y la bomba distribuye líquido presurizado a través de la línea 47, la válvula de retención 49, la línea 51, la línea 55, la válvula 61, la línea 69, el eductor de alimentación 27, la línea 63, la válvula de retención 65 y la línea 45 al cilindro 1. El eductor de alimentación 27 aspira líquido adicional mediante la línea 93, la válvula 95, la línea 97, la válvula de retención 99, la línea 101 y la línea 103. El uso del eductor de alimentación 27 amplía el flujo de la bomba en un factor de 2 a 7, lo que reduce el tiempo de llenado de este paso y reduce la carga de la bomba y el tamaño del motor de la bomba 20.

El uso del eductor de alimentación 27 también puede dar lugar a una utilización más constante de las características de flujo/carga de la bomba y la capacidad de potencia del motor. El paso de llenado del eductor puede no ser usado en algunas aplicaciones, y por lo tanto puede ser considerado un paso opcional. El líquido sigue llenando el cilindro 1 y comprime el gas que contiene hasta que la presión diferencial a través del eductor es insuficiente para aspirar líquido a través de la línea 103. El paso de llenado del eductor termina en el punto C de la figura 2 a una presión típicamente en el rango de 2,9 a 7 MPa (400 a 1000 psig). La duración del paso de llenado del eductor puede ser de entre 5 y 20 segundos.

3) Llenado de la bomba (C a D)

Cuando el eductor de alimentación 27 deja de aspirar líquido a través de la línea 103, el líquido bombeado sigue fluyendo a través del eductor, la línea 65, la válvula de retención 65 y la línea 45. El flujo de líquido al cilindro 1 sigue comprimiendo el gas que contiene hasta que la presión del gas se aproxima a la presión de descarga de la bomba 20, típicamente en el rango de 7 a 41,5 MPa (1000 a 6000 psig), y el paso termina entonces en el punto D de la figura 2. La duración del paso de llenado de la bomba puede ser de entre 5 y 20 segundos.

4) Llenado del intensificador de presión (D a E)

Las válvulas 61 y 95 se cierran y la válvula de dos vías 79 pasa a la posición de paso (es decir, conectando las líneas 19 y 59). Entonces fluye fluido presurizado desde la bomba 20 a través de la línea 59, la válvula 79 y la línea 19 a la parte inferior del cilindro grande 15 del intensificador de presión 7. Esto mueve el pistón grande 15 y el pistón pequeño 11 hacia arriba, incrementando por ello la presión en el cilindro pequeño 9 y enviando líquido a presión más alta mediante la línea 5 al cilindro 1. Este líquido comprime más el gas en el cilindro 1 hasta que se alcanza la presión máxima deseada del gas producto, típicamente en el rango de 34,6 a 138 MPa (5.000 a 20.000 psig). Esto completa el paso de llenado del intensificador de presión en el punto E de la figura 2. La duración del paso de llenado del intensificador de presión puede ser de entre 10 y 60 segundos.

5. Descarga final (E a F)

Líquido a alta presión procedente del intensificador de presión 7 sigue llenando el cilindro 1 cuando se retira gas producto a alta presión a través de la línea 33, la válvula de retención 35 y la línea de producto 37. La válvula de retención 35 está diseñada para abrirse a la presión deseada del gas producto distribuido a través de la línea 37. La válvula de dos vías 79 permanece en la posición de paso (es decir, conectando las líneas 19 y 59). El llenado de líquido continúa hasta que el líquido llega al sensor de líquido 39, y entonces se abre la válvula 48, terminando efectivamente el paso de descarga final en el punto F de la figura 2. Después de cerrarse una válvula de producto situada hacia abajo (no representada) en la línea 37, el líquido atrapado en la línea entre la válvula de retención 35 y el sensor de líquido 39 puede ser drenado mediante una línea de drenaje (no representada) y devuelto al depósito 21. Alternativamente, la válvula de retención 35 puede ser una válvula de retención activada por líquido o por gas de modo doble como se describe más adelante. La duración del paso de descarga final entre los puntos E y F puede ser de entre 1 y 10 segundos.

6. Despresurización (F a G)

Las válvulas 48 y 67 se abren, y la válvula de dos vías 79 cambia a la posición lateral (es decir, conectando las líneas 19 y 81). La presión en el cilindro 1 cae rápidamente y el paso termina en el punto G cuando la presión en el cilindro 1 se aproxima a la presión del gas de alimentación proporcionado mediante la línea 43. La línea de presión-volumen FG de la figura 2 cae realmente muy cerca del eje de presión vertical, pero se representa a una pequeña distancia del eje a efectos ilustrativos. Una pequeña cantidad de líquido puede drenarse del cilindro 1 durante este paso mediante la línea 45, la línea 46, la válvula 48, el eductor de drenaje 29, la línea 71, la línea 75, el refrigerador 31 y la línea 83 al depósito 21. Durante la despresurización, el gas disuelto puede salir del líquido compresor y el gas salido se recoge en la sección superior del depósito. Este gas salido es reciclado mediante las líneas 107, 109, y 113 al cilindro de compresión 1. Además, una pequeña cantidad de gas disuelto puede salir del líquido en el cilindro 1 durante este paso y este gas permanece en el cilindro para ser comprimido en el ciclo siguiente.

7. Drenaje del eductor (G a A)

El líquido procedente de la bomba 20 fluye a través del eductor de drenaje 29, aspirando por ello líquido del cilindro 1 mediante la línea 45, la línea 46 y la válvula 48 a la entrada a baja presión del eductor. Entonces vuelve líquido mediante la línea 71, la línea 75, el refrigerador 31 y la línea 83 al depósito 21. Cuando se saca líquido, el cilindro 1 se llena con gas de alimentación a baja presión mediante la línea 43. El paso termina en el punto A, que puede tener lugar, por ejemplo, cuando el nivel de líquido en el cilindro 1 cae por debajo del sensor de líquido 41.

La tasa de flujo de gas producto comprimido se puede variar especificando los tamaños del cilindro de compresión 1 y la bomba 20. La tasa de flujo de producto para un sistema de tamaño específico se puede variar variando la duración de los pasos de ciclo, por ejemplo durante períodos de demanda reducida del producto comprimido. Las longitudes de los varios pasos de ciclo se pueden optimizar para minimizar las fluctuaciones de presión y el tamaño

del acumulador 25 necesario hacia abajo de la bomba 20.

5 Cuando se introduce líquido en el cilindro de compresión 1 durante los pasos 1 a 4, la temperatura del gas comprimido aumentará a no ser que se enfríe suficientemente. La refrigeración puede ser efectuada utilizando medios de refrigeración (no representados) instalados dentro del cilindro 1. En una realización se pueden instalar medios de intercambio de calor (por ejemplo, empaquetadura de intercambio térmico de metal estructurado, empaquetadura de intercambio térmico de metal aleatorio, monolito de metal extrusionado, o aletas extrusionadas de intercambio de calor) en el cilindro de compresión 1 en cualquier posición entre la parte superior del cilindro y sensor de líquido 41. Por ejemplo, los medios de intercambio de calor pueden estar instalados en el 50% superior del cilindro 1. La línea de líquido 5 se puede extender coaxialmente a través del cilindro a un punto cerca de la parte superior, donde el líquido es rociado o distribuido sobre los medios de intercambio de calor. Cuando el líquido fluye hacia abajo sobre los medios de intercambio de calor y el gas comprimido contacta el líquido, el calor de compresión es transferido del gas al líquido y a los medios de intercambio de calor, permitiendo por ello que el proceso de compresión se aproxime a condiciones isotérmicas. En otra realización, el líquido puede ser bombeado a través del interior de los medios de intercambio de calor, saliendo en la parte inferior. En esta realización, el elemento intercambiador de calor es enfriado activamente por el líquido, y el gas es comprimido por una columna de líquido ascendente. En otra realización, una bobina de refrigeración o intercambiador de calor usando un refrigerante externo (no representado) puede ser instalado en cualquier posición en el interior del cilindro de compresión 1 (con o sin el uso del material de intercambio de calor descrito anteriormente) para realizar enfriamiento por intercambio de calor indirecto con el gas y/o el líquido durante los pasos 1 a 4.

Alternativamente, el enfriamiento del gas en el cilindro durante la compresión se puede llevar a cabo rociando el líquido compresor al cilindro sin el uso de medios de intercambio de calor. En esta alternativa, la transferencia de calor tiene lugar directamente entre el líquido y el gas cuando caen gotitas de líquido a través del gas que se comprime.

Así, los medios de transferencia de calor instalados dentro del cilindro 1 pueden incluir cualquier combinación de (a) medios de transferencia de calor en cualquier posición en el cilindro, (b) un aparato para rociado o distribución del líquido al cilindro encima de su nivel de líquido, y (c) una bobina de enfriamiento instalada en cualquier posición en el cilindro para llevar a cabo el enfriamiento indirecto del líquido y/o el gas que se comprime.

El líquido compresor que vuelve al depósito 21 durante los pasos de drenaje 6 y 7 puede ser enfriado en el refrigerador 31 para quitar el calor de compresión absorbido por el líquido durante los pasos de compresión 1 a 4. La temperatura del líquido después del enfriamiento se puede seleccionar dependiendo de condiciones de compresión específicas, la relación de temperatura-viscosidad del líquido compresor, y otras condiciones de proceso. Esta temperatura puede ser del rango de entre -80°F y 300°F, y la temperatura se puede seleccionar de tal manera que la temperatura del gas durante los pasos 1 a 4 no exceda de una temperatura máxima seleccionada.

El tipo alternativo de válvula de retención 35 explicado anteriormente se ilustra en las figuras 3A, 3B y 3C, que son vistas en sección de la válvula durante los pasos 4, 5, 6 y 7 descritos anteriormente con referencia a la tabla 1. Con referencia a la figura 3A, el cuerpo de válvula 301 tiene una cámara interior alargada 303 con un extremo superior, un extremo inferior, y un eje orientado en una dirección generalmente vertical. El término "dirección generalmente vertical" significa que el eje del cuerpo de válvula 301 es preferiblemente vertical, pero se puede desviar de la vertical hasta aproximadamente 15 grados. La cámara interior tiene un primer orificio 305 dispuesto en el extremo inferior de la cámara interior y un segundo orificio 307 dispuesto en el extremo superior de la cámara interior.

Un elemento flotante alargado 309 que tiene un asiento superior de válvula 311 y un asiento inferior de válvula 313 está dispuesto coaxialmente dentro de la cámara interior 303 y está adaptado para flotar en el fluido contenido en la cámara interior y para moverse coaxialmente en ella entre el primer orificio 305 y el segundo orificio 307. El cuerpo de válvula 301 puede estar montado directamente en el cilindro de compresión 1 o alternativamente puede ser una parte integral de él.

El elemento flotante 309 está adaptado para (1) sellar el asiento inferior de válvula contra el primer orificio cuando el elemento flotante está en una posición de no flotación; (2) sellar el asiento superior de válvula contra el segundo orificio cuando el elemento flotante está en una posición de flotación plena; y (3) permitir el flujo de fluido a y de la cámara interior cuando el elemento flotante está en una posición de flotación parcial. Estas tres funciones se ilustran en las figuras 3A, 3C y 3B, respectivamente.

La figura 3A ilustra la operación de la válvula de retención durante el paso de llenado del intensificador de presión (tabla 1, paso 4) durante el que el gas es comprimido en el cilindro 1 al rango de presión más alta. Durante este paso, el gas 315 es comprimido por el líquido ascendente 317 en el cilindro. Durante este paso, el elemento flotante 309 está en un estado de no flotación y la presión de gas en la cámara interior 303 es la presión del gas producto de descarga porque la cámara interior está en comunicación de fluido con el destino de gas producto situado hacia abajo. El asiento de válvula 313 efectúa así sellado contra el orificio 305. El líquido compresor residual 318 del ciclo de compresión anterior es atrapado en la cámara interior 303.

5 Cuando la presión de gas en el cilindro 1 llega y excede de la presión de gas en la cámara interior 303, el sellado proporcionado por el asiento de válvula 313 y el orificio 305 se abre. El gas producto comprimido fluye entonces a través de la válvula y sale mediante el agujero de salida 319 como se representa en la figura 3B, y fluye a la línea 37 de la figura 1. Esto tiene lugar durante el paso de descarga final de gas (tabla 1, paso 5). El líquido compresor residual 318 atrapado en la cámara interior 303 del ciclo anterior de compresión puede fluir de nuevo al cilindro 1 durante este paso.

10 El líquido en el cilindro 1 sigue subiendo, eventualmente pasa a través del orificio 305, y fluye a la cámara interior 303, poniendo por ello el elemento flotante 309 en una posición de flotación parcial. Cuando el líquido de compresión sigue fluyendo a la cámara interior, el elemento flotante alcanza una posición de flotación plena, que empuja el asiento superior 311 contra el orificio 307 y sella la cámara interior a la presión de descarga de bomba 20 (figura 1). Esto se representa en la figura 3C. En este punto, un sensor de presión en el líquido de compresión (no representado) inicia inmediatamente el paso de despresurización (paso 6, tabla 1). La figura 3C ilustra así una característica de la invención donde el cilindro de compresión 1 opera a holgura cero al final del paso de compresión donde no queda gas en el cilindro 1 al final del paso de compresión.

15 Otras realizaciones del ciclo de compresión y sistema pueden ser utilizadas para requisitos de proceso específicos. Por ejemplo, se podría usar dos o más cilindros de compresión en operación desfasada en paralelo. En una realización, se podría usar dos cilindros de tal manera que un cilindro opere en el paso de llenado del intensificador de presión 4 mientras el otro opera en los pasos 5, 6, 7, 1, 2 y 3. En otra realización, dos o más cilindros de compresión pueden operar en una disposición decalada donde el gas es comprimido a una presión intermedia en un cilindro de compresión y a la presión del producto final en otro cilindro de compresión.

20 Se pueden usar varias combinaciones de los componentes de compresor dependiendo de requisitos económicos y de proceso. Todas las combinaciones requieren el líquido compresor, la bomba 20, el cilindro de compresión 1, y el intensificador de presión 7 juntos con tubos y válvulas asociados; cualquiera del acumulador de líquido compresor 25, el educador de alimentación 27 y el educador de drenaje 29 sería opcional y puede no ser necesario.

25 En cualquiera de las realizaciones anteriores, el depósito 21 y el refrigerador 31 pueden ser considerados características opcionales a usar a voluntad.

30 El líquido compresor usado en el proceso deberá cumplir varios criterios. El líquido deberá tener una presión de vapor baja a la temperatura operativa del compresor para minimizar la concentración de líquido vaporizado en el gas producto comprimido final, y el gas que se comprime deberá tener una solubilidad baja en el líquido compresor. Además, el líquido deberá ser compatible con las juntas estancas de la bomba, el intensificador de presión y las válvulas usadas en el sistema. Además, el líquido deberá ser compatible con procesos posteriores que usen el gas producto comprimido en vista del transporte potencial de pequeñas concentraciones de líquido vaporizado. Si el proceso posterior que usa el gas producto comprimido no es compatible con el líquido compresor, se puede usar un paso de limpieza de gas final tal como, por ejemplo, un lecho protector adsorbente o sistema de condensación a baja temperatura o congelación.

35 El líquido compresor puede ser seleccionado, por ejemplo, del grupo que consta de agua, aceite mineral, aceite de silicona, aceite fluorado, o cualquier otro aceite natural o sintético.

40 El sistema compresor descrito anteriormente puede ser usado para comprimir cualquier gas o mezcla de gases que sea compatible con el líquido compresor. En una aplicación ejemplar, el compresor puede ser usado para proporcionar comprimido hidrógeno a presiones de hasta 138 MPa (20.000 psig) para almacenamiento de gas a presión ultraalta para aplicaciones de pila de carburante.

50 **Ejemplo**

55 El ejemplo siguiente ilustra una realización de la presente invención, pero no limita la invención a ninguno de los detalles específicos descritos. En este ejemplo, el sistema compresor de la figura 1 y el ciclo compresor de la tabla 1 se usan para comprimir hidrógeno de 0,8 MPa a 96,6 MPa (100 psig a 14.000 psig) a una tasa de flujo de 1 Nm³/h. El cilindro de compresión 1 tiene un diámetro interno de 3,81 cm (1,5 pulgadas) y una longitud de 108,5 cm (42,7 pulgadas) y opera en un ciclo con una duración total de 30 segundos. La bomba 20 es una bomba de engranajes que tiene un flujo de diseño de 4,54 litros/min (1,2 gpm) y una presión máxima de distribución de 10,44 MPa (1.500 psig). La bomba se usa para presurizar el líquido compresor desde una presión de 1,07 MPa (140 psig) en el depósito 21 a aproximadamente 9,75 MPa (1.400 psig). El acumulador 25 se usa hacia abajo de la bomba para almacenar y presurizar el líquido compresor cuando la bomba es bloqueada. El intensificador de presión 7 eleva la presión de líquido más de 9,75 MPa a 96,6 MPa (1.400 psig a 14.000 psig). El cilindro de compresión 1 recibe hidrógeno alimentado de una botella de oscilación brusca de entrada (no representada) mediante la línea 43 en 0,8 MPa (100 psig) y descarga el hidrógeno a través de la línea 37 a una botella de oscilación brusca de descarga (no representada) a 96,6 MPa (14.000 psig).

65 Los detalles del ciclo compresor ejemplar se exponen en la tabla 2 para un ciclo de 30 segundos de duración. La

bomba 20 funciona de forma continua y se implementan diferentes pasos en el ciclo abriendo y cerrando las válvulas 48, 61, 67 y 95 y conmutando la posición de válvula de dos vías 79 como se ha descrito anteriormente. La acción de válvula puede ser iniciada en base a retardos de tiempo de un controlador lógico programable (PLC) y/o señales de sensores de líquido 39 y 41. Al comienzo del ciclo, la válvula 95 está abierta, las válvulas 48, 61, y 67 están cerradas, y la válvula 79 está en la posición lateral.

Tabla 2

Duración y presión del paso del ciclo de compresión ejemplar				
Paso	Descripción	Duración, seg	Presión del cilindro, MPa (psig)	
			Inicial	Final
1	Llenado libre	2,1	0,8 (100)	1,07(140)
2	Llenado del eductor	5,6	1,07 (140)	4,2 (590)
3	Llenado de la bomba	1,7	4,2 (590)	9,634 (1.383)
4	Llenado del intensificador de presión	11,4	9,634 (1.383)	96,6 (14.000)
5	Descarga de gas final	1,3	96,6 (14.000)	96,6 (14.000)
6	Despresurización	1,0	96,6 (14.000)	0,8 (100)
7	Drenaje del eductor	6,9	0,8 (100)	0,8 (100)

Con referencia ahora a la figura 1 y la tabla 2, se inicia el llenado libre (paso 1), el cilindro de compresión 1 comienza a llenarse, y la presión se incrementa en él desde 0,8 MPa a 1,07 MPa (100 psig a 140 psig) por el líquido compresor que fluye desde el depósito 21 mediante la línea 91, la línea 93, la válvula 95, la línea 97, la válvula de retención 99, la línea 101, la válvula de retención 103, la línea 105, la válvula de retención 65 y la línea 45. El líquido es llevado a la parte superior del cilindro a través de un tubo coaxial (no representado) dentro del cilindro y rociado sobre un elemento metálico de transferencia de calor (no representado) en la parte superior del cilindro. El elemento metálico de transferencia de calor, que guarda parte del calor generado del paso de compresión anterior, se enfría durante la transferencia de líquido. Al final del paso 1, que tiene una duración de 2,1 segundos, la válvula 61 se abre para comenzar el paso siguiente.

El llenado del eductor de alimentación (paso 2) tiene lugar cuando fluye líquido compresor desde la bomba 20 a través de la línea 47, la válvula de retención 49, la línea 51, la línea 55, la válvula 61, el eductor de alimentación 27, la línea 63, la válvula de retención 65 y la línea 45 al cilindro 1. El eductor de alimentación 27 aspira líquido adicional mediante la línea 93, la válvula 95, la línea 97, la válvula de retención 99, la línea 101 y la línea 103. La presión en el cilindro 1 se eleva de 1,07 MPa a 4,2 MPa (140 psig a 590 psig) en 5,6 segundos durante este paso, que termina cuando el eductor de alimentación deja de aspirar líquido a través de la línea 103 en 4,2 MPa (590 psig).

El flujo de líquido compresor continúa como antes cuando el ciclo pasa al periodo de llenado de la bomba, paso 3. El líquido fluye a través del eductor 27 (pero no se aspira líquido al eductor mediante la línea 103), la línea 63, la válvula de retención 65 y la línea 45, y el cilindro 1 se llena a 9,634 MPa (1383 psig). Este paso dura 1,7 segundos y termina cuando la válvula 61 se cierra y la válvula 79 es conmutada a la posición de paso para dirigir líquido mediante la línea 19 al intensificador de presión 7.

Durante el paso 4, el intensificador de presión llena el cilindro 1 mediante la línea 5 durante 11,4 segundos para lograr una presión final de 96,6 MPa (14.000 psig), punto en el que la válvula de retención 35 se abre y el líquido fluye a la línea del sensor de líquido 39 mientras expulsa el gas presurizado del cilindro a través de la línea 37. El líquido arrastrado con el gas es capturado en una botella de oscilación brusca de descarga (no representada) y devuelto al depósito 21. Cuando el sensor 39 está húmedo, los pasos de presurización terminan, y el ciclo pasa a los pasos de despresurización y drenaje.

La válvula 48 y la válvula 67 se abren, la válvula 79 se conmuta a la posición lateral, y se inicia el paso de despresurización (paso 6). El cilindro 1 se despresuriza rápidamente a 0,8 MPa (100 psig) durante un periodo de 1,0 segundo por el flujo de líquido a través de la línea 45, la línea 46, la válvula 48, el eductor de drenaje 29, la línea 71, la línea 75, el refrigerador 31 y la línea 83 al depósito 21. Este flujo es movido por la diferencia de presión entre el cilindro 1 y el eductor 29. El refrigerador 31 enfría el líquido durante la despresurización para quitar el calor tomado del gas y el elemento metálico de transferencia de calor durante la compresión de gas. El líquido enfriado que sale del refrigerador 31 está a temperatura ambiente.

El ciclo pasa ahora a través del periodo de drenaje del eductor (paso 7, que tiene una duración de 6,9 segundos) durante el que fluye líquido al depósito 21 desde el cilindro 1 mediante la línea 45, la línea 46, la válvula 48, el eductor de drenaje 29, la línea 71, la línea 75, el refrigerador 31 y la línea 83 al depósito 21 hasta que el nivel de líquido en el cilindro 1 llega al sensor de líquido 41. Durante este paso, la presión del cilindro es aproximadamente 0,8 MPa (100 psig) mientras que la válvula de retención 44 admite un lote de hidrógeno fresco mediante la línea 43. Esto completa el paso de drenaje del eductor que tiene una duración de 6,9 segundos y completa el ciclo de 7 pasos

que tiene una duración total de 30 segundos.

5 En este ejemplo, el acumulador 25 que tiene una capacidad de 76 litros (2 galones) se usa hacia abajo de la bomba 20 y la presión en el acumulador 25 varía entre 9,386 MPa - (1.347 psig) y 9,917 MPa (1.424 psig) durante el ciclo. Los segmentos de ciclo están diseñados para mantener una presión casi constante del acumulador durante los pasos de llenado de educación de alimentación, llenado directo de la bomba, llenado del intensificador de presión, y descarga final de gas. Esta optimización mejora la eficiencia energética del compresor.

10 El eductor de alimentación 27 proporciona flujo extra en ciertos rangos de presión durante el paso de presurización. Este eductor usa un diámetro de boquilla de 0,114 cm (0,045 pulgada), un diámetro de batería de 0,246 cm (0,097 pulgada), y una longitud de batería de 1,33 cm (0,523 pulgada), y puede operar en un rango de presión de descarga del eductor de 2,89 MPa a 4,17 MPa (405 psig a 590 psig). El rango de flujo correspondiente del líquido de descarga mezclado en la línea 63 puede ser de 4,58 litros/minuto a 10,4 litros/ minuto - (1,21 gpm a 2,74 gpm), que excede de la capacidad de flujo de la bomba 20 de 4,54 litros/minuto (1,20 gpm). El eductor de drenaje 29 proporciona flujo extra durante el todo paso 7 de drenaje del eductor, cuando las presiones son constantes durante este segmento. Se estima un flujo de descarga mezclado de 30,0 litros/minuto (7,93 gpm) cuando se usa un eductor de drenaje con un diámetro de boquilla de 0,10 cm (0,040 pulgada), un diámetro de batería de 0,632 cm (0,249 pulgada), y una longitud de batería de 5,309 cm (2,090 pulgada) para transferir el líquido del cilindro 1 a 0,79 MPa (100 psig) al depósito 21 a 1,07 MPa (140 psig).

20 El diagrama de presión-volumen (PV) para el cilindro durante todo el ciclo se representa en la figura 2. La mayor parte del aumento y disminución del volumen tiene lugar a presiones inferiores del cilindro mientras que la mayor parte de la compresión y descompresión tiene lugar a un volumen inferior del cilindro.

25 El líquido compresor usado en este ejemplo es Krytox-101, producido por DuPont y distribuido por TMC Industries. Éste es un aceite de perfluoropoliéter (PFPE) claro, incoloro, que tiene una presión de vapor baja y una viscosidad baja, que son propiedades deseables para esta aplicación. La volatilidad máxima de este líquido a 65,6°C (150°F) es 2% en 22 horas (por el método ASTM 0972) y su viscosidad a 20°C (68 °F) es 16 cST (por el método ASTM 0445).

30

REIVINDICACIONES

1. Un sistema de compresión de gas incluyendo
- 5 (a) un cilindro de compresión (1) que tiene una entrada de gas, una salida de gas comprimido, uno o más orificios de transferencia de líquido;
- (b) una bomba (20) que tiene una aspiración y una descarga;
- 10 (c) un intensificador de presión (7) que tiene una entrada y una salida;
- (d) un líquido compresor (3), del que al menos una porción se contiene en la bomba (20), el intensificador de presión (7), y el cilindro de compresión (1); y
- 15 (e) medios de tubo y válvula (19, 45, 47, 49, 51, 55, 59, 61, 63, 65, 67, 69, 73, 79) adaptados para transferir el líquido compresor de la descarga de la bomba (20) a alguno del uno o más orificios de transferencia de líquido del cilindro de compresión (1) y a la entrada del intensificador de presión (7); medios de tubo y válvula (45, 46, 48, 71, 75, 83, 91) adaptados para transferir el líquido compresor de alguno del uno o más orificios de transferencia de líquido del cilindro de compresión (1) a la aspiración de la bomba (20); y medios de tubo (5) para transferir el líquido compresor (3) de la salida del intensificador de presión (7) a alguno del uno o más orificios de transferencia de líquido del cilindro de compresión (1).
- 20
2. El sistema de la reivindicación 1 que incluye además medios de refrigeración dentro del cilindro de compresión (1) adaptados para efectuar transferencia de calor entre el líquido compresor (3) y un gas.
- 25
3. El sistema de la reivindicación 1 que incluye además un refrigerador (31) adaptado para enfriar el líquido compresor (3) cuando circula entre el cilindro de compresión (1) y la bomba (20).
- 30
4. El sistema de la reivindicación 1 que incluye además un eductor de alimentación (27) que tiene una entrada a alta presión, una entrada a baja presión, y una salida, donde la entrada a alta presión está en comunicación de flujo con la descarga de la bomba (20), la entrada a baja presión está en comunicación de flujo con un depósito (21) conteniendo una porción del líquido compresor (3), y la salida está en comunicación de flujo con alguno del uno o más orificios de transferencia de líquido del cilindro de compresión (1).
- 35
5. El sistema de la reivindicación 1 que incluye además un eductor de drenaje (29) que tiene una entrada a alta presión, una entrada a baja presión, y una salida, donde la entrada a alta presión está en comunicación de flujo con la descarga de la bomba (20), la entrada a baja presión está en comunicación de flujo con alguno del uno o más orificios de transferencia de líquido del cilindro de compresión (1), y la salida del eductor de drenaje (29) está en comunicación de flujo con un depósito (21) conteniendo una porción del líquido compresor (3).
- 40
6. El sistema de la reivindicación 1 que incluye además un acumulador de líquido compresor de volumen variable (25) en comunicación de flujo con la descarga de la bomba (20).
- 45
7. El sistema de la reivindicación 1 que incluye además un depósito de líquido compresor (21) en comunicación de flujo con la aspiración de entrada de la bomba (20).
- 50
8. El sistema de la reivindicación 1 donde el líquido compresor (3) incluye uno o más componentes seleccionados del grupo que consta de agua, aceite mineral, aceite de silicona, y aceite fluorado.
- 55
9. El sistema de compresión de gas de la reivindicación 1 donde el cilindro de compresión (1) incluye además una salida de líquido; donde la entrada del intensificador de presión (7) está en comunicación de flujo con la bomba (20) y la salida del intensificador de presión (7) está en comunicación de flujo con el cilindro de compresión (1);
- 60
- incluyendo además el sistema de compresión de gas
- un eductor de drenaje (29) que tiene una entrada a alta presión, una entrada a baja presión, y una salida, donde la entrada a alta presión está en comunicación de flujo con la descarga de la bomba (20), la entrada a baja presión está en comunicación de flujo con alguno del uno o más orificios de transferencia de líquido del cilindro de compresión (1), y la salida del eductor de drenaje (29) está en comunicación de flujo con un depósito (21) conteniendo una porción del líquido compresor (3),
- 65
- donde al menos una porción del líquido compresor (3) se contiene en el eductor de drenaje (29), y el depósito (21) y donde los medios de tubo y válvula (19, 45, 47, 49, 51, 55, 59, 61, 63, 65, 67, 69, 73, 79) adaptados para transferir el líquido compresor de la descarga de la bomba (20) están adaptados para transferir el líquido compresor (3) a la entrada a alta presión del eductor de drenaje (29).

- 5 10. El sistema de la reivindicación 9 que incluye además un eductor de alimentación (27) que tiene una entrada a alta presión, una entrada a baja presión, y una salida, donde la entrada a alta presión está en comunicación de flujo con la descarga de la bomba (20), la entrada a baja presión está en comunicación de flujo con el depósito (21) conteniendo una porción del líquido compresor, y la salida está en comunicación de flujo con alguno del uno o más orificios de transferencia de líquido del cilindro de compresión (1).
11. El sistema de la reivindicación 9 que incluye además un acumulador de líquido compresor de volumen variable (25) en comunicación de flujo con la descarga de la bomba (20).
- 10 12. El sistema de compresión de gas de la reivindicación 1 donde la entrada del intensificador de presión (7) está en comunicación de flujo con la bomba (20) y la salida del intensificador de presión (7) está en comunicación de flujo con el cilindro de compresión (1); y cualquiera de
- 15 (1) un eductor de alimentación (27) que tiene una entrada a alta presión, una entrada a baja presión, y una salida, donde la entrada a alta presión está en comunicación de flujo con la descarga de la bomba (20), la entrada a baja presión está en comunicación de flujo con un depósito (21) conteniendo una porción del líquido compresor (3), y la salida está en comunicación de flujo con alguno del uno o más orificios de transferencia de líquido del cilindro de compresión (1);
- 20 (2) un eductor de drenaje (29) que tiene una entrada a alta presión, una entrada a baja presión, y una salida, donde la entrada a alta presión está en comunicación de flujo con la descarga de la bomba (20), la entrada a baja presión está en comunicación de flujo con alguno del uno o más orificios de transferencia de líquido del cilindro de compresión (1), y la salida del eductor de drenaje (29) está en comunicación de flujo con la bomba (20) y con un depósito (21) conteniendo una porción del líquido compresor (3); y
- 25 (3) un acumulador de líquido compresor de volumen variable (25) en comunicación de flujo con la descarga de la bomba (20).
- 30 13. Un método para comprimir un gas incluyendo
- (a) proporcionar un sistema de compresión de gas que tiene
- (1) un cilindro de compresión (1) que tiene una entrada de gas, una salida de gas comprimido, uno o más orificios de transferencia de líquido;
- 35 (2) una bomba (20) que tiene una aspiración y una descarga;
- (3) un intensificador de presión (7) que tiene una entrada y una salida; y
- 40 (4) un líquido compresor, del que al menos una porción se contiene en la bomba (20), el intensificador de presión (7), y el cilindro de compresión (1);
- (b) introducir un gas a través de la entrada de gas al cilindro de compresión (1):
- 45 (c) bombear el líquido compresor (3) para suministrar un líquido compresor presurizado, e introducir el líquido compresor presurizado al cilindro de compresión (1) para comprimir el gas en el cilindro de compresión (1);
- (d) seguir bombeando el líquido compresor (3) para suministrar líquido compresor presurizado, introducir el líquido compresor presurizado a la entrada del intensificador de presión (7), y extraer un líquido compresor presurizado adicional de la salida del intensificador de presión (7);
- 50 (e) introducir el líquido compresor presurizado adicional al cilindro de compresión (1) para comprimir más el gas en el cilindro de compresión (1); y
- 55 (f) extraer un gas comprimido de la salida de gas comprimido del cilindro de compresión (1).
14. El método de la reivindicación 13 que incluye además proporcionar un depósito de líquido compresor (21), extraer el líquido compresor (3) del cilindro de compresión (1), y transferir el líquido compresor (3) al depósito de líquido compresor (21).
- 60 15. El método de la reivindicación 14 que incluye además proporcionar un eductor de alimentación (27) que tiene una entrada a alta presión, una entrada a baja presión, y una salida, donde la entrada a alta presión está en comunicación de flujo con la descarga de la bomba (20), la entrada a baja presión está en comunicación de flujo con el depósito (21) conteniendo líquido compresor (3), y la salida está en comunicación de flujo con alguno del uno o más orificios de transferencia de líquido del cilindro de compresión (1), y antes de (c) pasar líquido compresor presurizado de la bomba (20) a la entrada a alta presión y a través del eductor, aspirar líquido compresor adicional
- 65

del depósito (21) a la entrada a baja presión del eductor, extraer un líquido compresor presurizado combinado de la salida del eductor, y transferir el líquido compresor presurizado combinado al cilindro de compresión (1).

5 16. El método de la reivindicación 13 que incluye además enfriar el gas en el cilindro de compresión (1) durante cualquiera de (c), (d), y (e) efectuando transferencia de calor entre el gas y el líquido compresor (3).

17. El método de la reivindicación 14 que incluye además enfriar el líquido compresor (3) durante la transferencia del líquido del cilindro de compresión (1) al depósito de líquido compresor (21).

10 18. El método de la reivindicación 14 que incluye además proporcionar un eductor de drenaje (29) que tiene una entrada a alta presión, una entrada a baja presión, y una salida, donde la entrada a alta presión está en comunicación de flujo con la descarga de la bomba (20), la entrada a baja presión está en comunicación de flujo con alguno del uno o más orificios de transferencia de líquido del cilindro de compresión (1), y la salida del eductor de drenaje (29) está en comunicación de flujo con el depósito (21), pasar líquido compresor presurizado de la bomba
15 (20) a la entrada a alta presión y a través del eductor de drenaje (29), aspirar líquido compresor (3) del cilindro de compresión (1) a la entrada a baja presión del eductor de drenaje (29), extraer un líquido compresor combinado de la salida del eductor de drenaje (29), y transferir el líquido compresor combinado al depósito (21).

20 19. El método de la reivindicación 14 donde el gas comprimido es retirado de la salida de gas comprimido del cilindro de compresión (1) a una presión de entre 35 MPa y 690 MPa (5.000 y 100.000 psig).

20. El método de la reivindicación 19 donde el gas comprimido incluye hidrógeno.

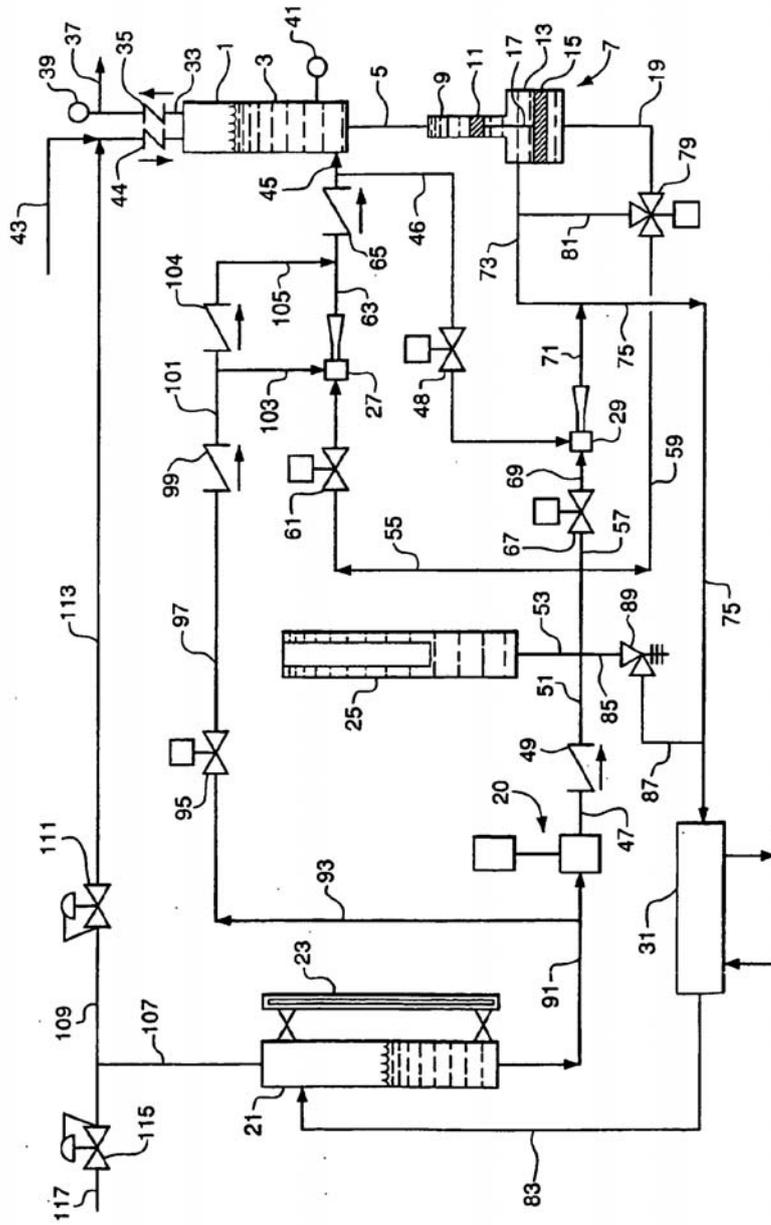
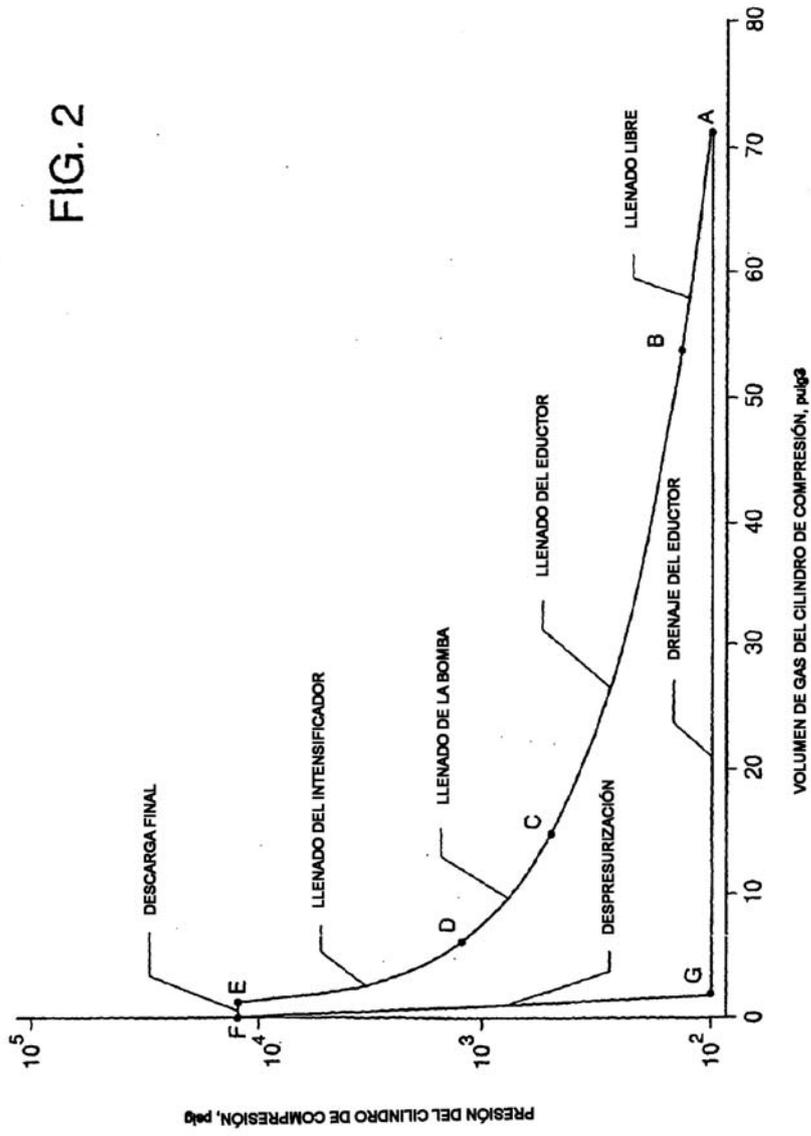


FIG. 1

FIG. 2



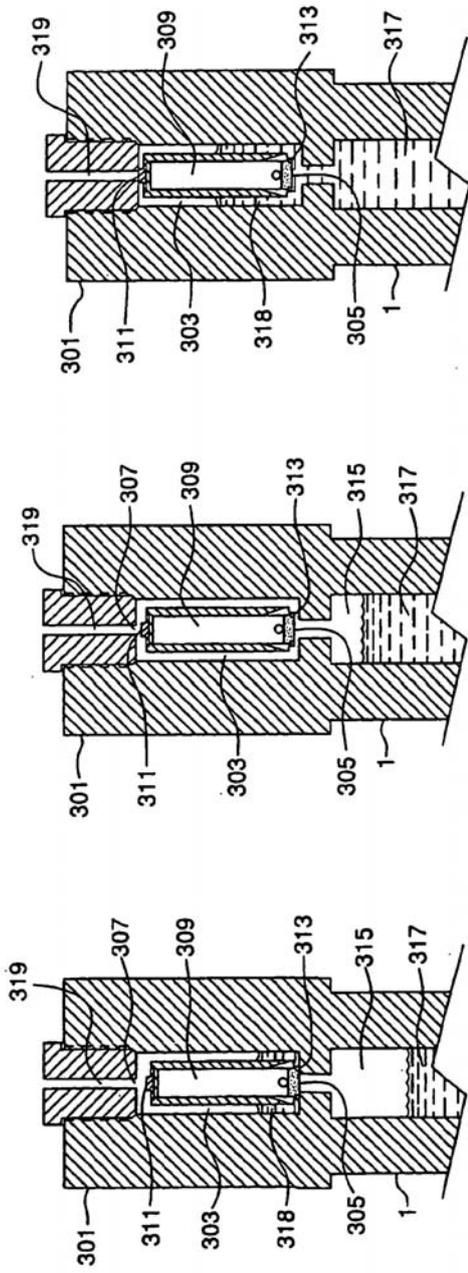


FIG. 3A

FIG. 3B

FIG. 3C