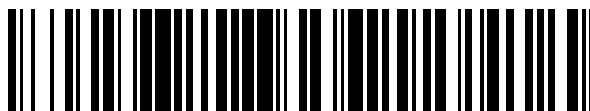


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 397 526**

51 Int. Cl.:

F01D 3/04 (2006.01)

F01D 5/08 (2006.01)

F01D 11/02 (2006.01)

F01D 15/10 (2006.01)

F01D 25/12 (2006.01)

F02C 1/02 (2006.01)

F02C 7/28 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **12.09.2006 E 06352014 (2)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **24.10.2012 EP 1905948**

54 Título: **Máquina de recuperación de energía**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
07.03.2013

73 Titular/es:

**CRYOSTAR SAS (100.0%)
ZONE INDUSTRIELLE BOITE POSTALE 48
68220 HESINGUE, FR**

72 Inventor/es:

**POZIVIL, JOSEF;
GALELLI, JEAN-LOUIS y
PFLIEGER, PATRICE**

74 Agente/Representante:

LEHMANN NOVO, María Isabel

ES 2 397 526 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

Máquina de recuperación de energía

La presente invención se refiere a una máquina para recuperar energía de un gas comprimido, estando la máquina alojada en un tramo de tubo que normalmente forma parte de una tubería.

5 Es desde luego bien conocido hacer pasar gas a alta presión por una tubería con el fin de que el gas pase desde un punto de recogida o producción a una red de distribución. Las tuberías modernas de transporte de gas natural pueden extenderse cientos o miles de kilómetros. Un sistema típico de distribución de gas natural tiene un tramo de tubería que funciona a presiones de entre 50 y 100 bares y un tramo de tubería que funciona a presiones mucho
10 más bajas, típicamente de entre 5 y 10 bares, comunicándose este último con una red de distribución local que funciona a una presión de un poco por encima de 1 bar. Por tanto, existe la necesidad de proporcionar estaciones en las que la presión se pueda reducir de un nivel superior a uno inferior.

15 La reducción de presión puede lograrse simplemente haciendo pasar el gas comprimido a través de un conjunto adecuado de válvulas de reducción de presión. A medida que se reduce la presión del gas, éste se expande y se reduce su temperatura. Si el gas contiene vapor de agua, el descenso de la temperatura podría dar lugar a la formación de hidratos y de hidrocarburos líquidos que podrían dañar las válvulas. Por lo tanto, la práctica consiste en precalentar el gas comprimido aguas arriba de su expansión.

20 Una desventaja importante de la utilización de válvulas de reducción de presión (o expansión) es que el trabajo de elevar el gas a presión alta se pierde completamente. Una forma alternativa de estación de reducción de presión es bien conocida y elimina esta desventaja. La forma alternativa de estación de reducción de presión emplea un turboexpansor para reducir la presión del gas. La rotación del turboexpansor se emplea para realizar un trabajo útil. Un ejemplo de tal conjunto se describe en la Solicitud de Patente Canadiense 2 461 086A (CA-A-2 461 086). De
25 acuerdo con la CA-A-2 461 086, el gas natural que entra en una estación de control de presión se canaliza en una turbina que es accionada por la expansión del gas natural a medida que se reduce la presión del gas natural. La salida de potencia de la turbina se captura con fines útiles, típicamente se utiliza para accionar un generador eléctrico.

30 Las máquinas que combinan un turboexpansor con un generador eléctrico son conocidas. Un ejemplo de tal máquina se describe en el documento US 5 481 145 (US-A-5 481 145) y se menciona su uso en una tubería de larga distancia para gas. La máquina comprende una turbina de expansión que tiene un conducto de admisión radialmente exterior, un conducto de salida central, una rueda de turbina accionada por el gas cuando circula desde el conducto de admisión al conducto de salida, y un generador eléctrico que tiene un rotor accionado por la rueda de
35 turbina. La rueda de turbina tiene una cara o lado anverso que incluye una serie de cuchillas con una configuración que hace que el gas experimente expansión. El rotor y la rueda de turbina están soportados por cojinetes magnéticos. El anverso de la rueda de turbina está orientado en sentido opuesto al generador y la mayoría del gas expandido se descarga de la máquina por el mismo extremo que entra. Sin embargo, parte del gas expandido se fuga por una junta laberíntica y se utiliza para proporcionar refrigeración a un cojinete magnético y al espacio que hay entre el rotor y el estator del generador eléctrico.

40 La máquina descrita en el documento US-A-5 481 145 genera en funcionamiento una cantidad considerable de calor y por tanto necesita disiparla, siendo estas necesidades mucho mayores que las que pueden ser satisfechas por la pequeña cantidad de exposición al gas que se fuga de la turbina al generador. De esta manera, se suministra refrigerante externo a la superficie externa del estator del generador eléctrico. En la práctica, se necesitan mejoras en los dispositivos de refrigeración cuando la máquina se utiliza para reducir la presión de, por ejemplo, gas natural que circula por una tubería de distribución, especialmente si el gas natural se precalienta aguas arriba de su expansión.

50 Una máquina según el preámbulo de la reivindicación independiente 1 se describe en el documento US-A-4 740 711.

De acuerdo con la presente invención, se proporciona una máquina para recuperar energía de un flujo de gas comprimido, comprendiendo la máquina, en primer lugar, un turboexpansor que tiene una rueda de turboexpansor y,
55 en segundo lugar, un generador que tiene un rotor y un estator, pudiendo ser el rotor accionado por la rueda de turboexpansor, y estando alojados el turboexpansor y el rotor en un tramo del tubo, en la que el lado anverso de la rueda de turboexpansor está orientado hacia el generador y hay un conducto no estrangulado para el flujo de gas expandido que pone el lado anverso de la rueda de turboexpansor en comunicación de fluido de gas con la superficie exterior del estator.

60 La máquina de acuerdo con la invención, en funcionamiento normal, es capaz de efectuar la refrigeración del estator del generador en su totalidad mediante la expansión del gas comprimido sin recurrir a un refrigerante líquido tal como agua.

La superficie exterior del estator tiene de preferencia aletas de refrigeración. Tal disposición facilita el enfriamiento del estator mediante el gas expandido.

5 Normalmente hay al menos una junta por la que puede fugarse gas expandido a fin de efectuar la refrigeración de la superficie interior del estator. La junta es típicamente una junta laberíntica. Además, el generador puede tener una entrada para refrigerante gaseoso que establece un espacio definido entre el rotor y el estator acoplado al mismo, en comunicación de fluido de gas con otro tramo de tubo aguas arriba de la máquina. Típicamente, la entrada se comunica con ese tramo adicional de tubo aguas arriba de cualquier precalentador.

10 La máquina de acuerdo con la invención puede tener asociado un precalentador para precalentar el flujo de gas comprimido para ser turboexpandido. El precalentador puede estar situado en otro tramo de tubo aguas arriba de la máquina.

15 Si la reducción o disminución de presión requerida es mayor que la que se puede lograr fácilmente utilizando una sola rueda de turboexpansor, según la invención se puede colocar una pluralidad de máquinas en línea. Si se desea, se puede proporcionar un precalentador entre las dos máquinas. Si se desea además, se puede proporcionar un precalentador aguas arriba de la máquina aguas arriba. Alternativamente, una máquina según la invención puede comprender un solo generador aunque una pluralidad de ruedas de turbina.

20 Típicamente, el rotor y la rueda de turboexpansor están montados sobre un árbol soportado por una pluralidad de cojinetes magnéticos, comprendiendo los cojinetes magnéticos, cojinetes magnéticos radiales y axiales separados. Se pueden emplear, sin embargo, otras disposiciones de cojinetes. Por ejemplo, se pueden usar cojinetes de manguito interior lubricados con aceite, cojinetes de gas u otras formas de cojinete antifricción en lugar de o además de los cojinetes magnéticos.

25 La máquina de acuerdo con la invención incluye preferiblemente además medios para equilibrar la presión en los lados anverso y reverso de la rueda de turboexpansor. En un ejemplo de tal disposición, los medios de equilibrio comprenden una cámara de empuje delimitada en un lado por el lado reverso de la rueda de turboexpansor, estando la cámara de empuje en comunicación de fluido de gas con el extremo de la rueda de turboexpansor a través una junta, típicamente una junta laberíntica, comprendiendo la cámara de empuje un conducto de salida acoplado a la misma, comprendiendo el conducto de salida, dispuesta en su interior, una válvula de control de flujo que puede ser ajustada para equilibrar las presiones en los lados anverso y reverso de la rueda de turboexpansor. Típicamente, la válvula de control de flujo está dispuesta para responder a señales procedentes de un sensor de empuje axial que está en un cojinete magnético axial que soporta el rotor.

30 La máquina de acuerdo con la invención se describe a continuación a modo de ejemplo con referencia a los dibujos adjuntos, en los que:

40 La figura 1 es un alzado lateral en sección esquemático de la máquina;

La figura 2 es un organigrama de un equipo complementario para la máquina mostrada en la figura 1; y

45 La figura 3 es una vista de lado esquemática de una planta que comprende dos máquinas del tipo mostrado en las figuras 1 y 2.

Los dibujos no son a escala.

50 Con referencia a la figura 1 de los dibujos, la máquina mostrada en la misma comprende un turboexpansor 2 y un generador eléctrico 4. El turboexpansor 2 tiene una rueda 6. La rotación de la rueda 6 es causada, en funcionamiento, por la expansión de gas. La rueda 6 está montada en un árbol axial 8. El árbol 8 también incluye un rotor 10 que forma parte del generador 4. El rotor 10 está situado dentro de un estator 12. En funcionamiento, la rotación de la rueda 6 mediante la expansión de gas acciona el rotor 10 y genera energía eléctrica.

55 El conjunto axial del turboexpansor 2 y el generador 4 está montado dentro de una carcasa 14 en forma de tramo de tubo. Unos nervios de soporte 15 se utilizan para este propósito. La carcasa o tubo 14 está provisto de bridas 16 en cada extremo. En una brida 16 está acoplada una brida complementaria 18 de un conducto de admisión generalmente frustocónico 20 que tiene una entrada axial 22 provista de una brida 24 a la que se puede acoplar una primera tubería (no mostrada) para distribuir gas a presión, típicamente gas natural. En la otra brida 16 del tubo 14 está acoplada una brida complementaria 26 de un conducto de salida generalmente frustocónico 28. Una pantalla de protección 17 está prevista entre las bridas 17 y 18. El conducto de salida 28 tiene una salida axial 30 provista de una brida 32 a la que se puede acoplar una segunda tubería (no mostrada) para distribuir gas a presión. En consecuencia, puede circular gas a una primera presión elevada desde la primera tubería a través del turboexpansor 2 y entrar en la segunda tubería a una segunda presión elevada inferior a la primera.

65 La rueda de turboexpansor 6 tiene un flujo de entrada radial. La rueda 6 está montada de manera que su lado

anverso 7 está orientado hacia el generador 4 mientras que su lado reverso 9 está orientado en sentido opuesto al generador 4. Es el lado anverso el que tiene cuchillas 40 de una configuración convencional formando parte integrante del mismo. El gas que circula desde el conducto de admisión 20, pasa a través de álabes de guía de entrada 36 cuya posición se puede ajustar de manera automática dependiendo del caudal que los atraviesa. Un mecanismo de ajuste adecuado de un tipo bien conocido en el estado de la técnica de los turboexpansores está alojado dentro de soportes 38 que están fijados a la pared interior del tubo 14. El gas comprimido se expande a medida que pasa sobre las cuchillas 40 y acciona la rueda de turbina 6. Cuando la rueda de turbina 6 es accionada, se hace que el conjunto completo del árbol 8 y el rotor 10 gire alrededor del eje de rotación a la misma velocidad que la rueda 6.

El gas expandido circula hasta un conducto de salida 42 que se extiende desde el lado anverso 7 de la rueda 6 hasta el extremo cercano del estator 12 y sobre la superficie exterior del estator 12. La temperatura del gas se reduce como consecuencia de su expansión. Por ejemplo, podría entrar a una temperatura que oscile entre 70° C y 90° C y enfriarse a una temperatura de entre 5° C y 10° C. La temperatura de entrada es de manera deseable lo suficientemente alta como para asegurar que la temperatura en la expansión no disminuya hasta un nivel en el que sea probable que cualquier humedad en el gas forme un hidrato con el gas o se condense cualquier hidrocarburo. Debido a que el gas está ahora típicamente a una temperatura que oscila entre 5° C y 10° C, puede realizar una función de refrigeración útil para el generador. El gas que circula sobre la superficie exterior del estator 12 extrae calor de ella. A fin de facilitar la extracción del calor, la superficie exterior del estator 12 está formada con una serie de aletas 44 que se extienden axialmente. El gas circula sobre las aletas 44 en una dirección generalmente axial y pasa al conducto de salida 28. Desde ahí pasa a la segunda tubería (no mostrada) a una presión elegida, sustancialmente menor que la presión a la que es recibido de la primera tubería (no mostrada).

Además de la refrigeración de la superficie exterior del estator 12 proporcionada por el gas expandido, el refrigerante gaseoso se fuga del conducto 42 a través de una junta laberíntica u otra junta 60 entre el rotor 10 y el estator 12 y proporciona refrigeración para la superficie interior del estator 12. El índice de fuga a través de la junta 60 es en general adecuado para este propósito de refrigeración, aunque en una disposición típica, un conducto de alimentación 48 para el suministro de emergencia de más refrigerante gaseoso se extiende desde fuera de la máquina a través de la pared del tubo 14 y la pared del estator 12 para permitir el suministro de este refrigerante al espacio que hay entre el rotor 10 y el estator 12. En una disposición típica del generador 4, éste es de un tipo síncrono permanentemente excitado, en el que el rotor 10 es eléctricamente pasivo y comprende imanes permanentes de alta energía asentados en el árbol 8 y dispuestos en segmentos. El estator 12 aloja así todos los arrollamientos 50 del generador 4. En funcionamiento, estos arrollamientos desprenden calor. La corriente de refrigerante gaseoso alrededor de los arrollamientos ayuda a eliminar el calor.

El conjunto de rueda de turboexpansor 6, árbol 8 y rotor 10 está soportado por unidades de cojinete magnético activo 52, 54, 56 y 58 que están alojadas dentro del estator 12. Los cojinetes magnéticos 52, 54, 56 y 58 aseguran que no haya contacto entre el árbol 8 y el rotor 10, por un lado, y el estator 12 durante el funcionamiento normal del generador 4. Las unidades de cojinete 52 y 54 están situadas una a cada lado de los arrollamientos 50 del generador 4. Ambas unidades de cojinete 52 y 54 son cojinetes magnéticos radiales activos. Su estructura y configuración son similares a la de los cojinetes correspondientes descritos e ilustrados en el documento US-A-5 481 145 y son de un tipo bien conocido en el estado de la técnica. El detalle de su estructura, configuración y funcionamiento ya no será descrito de aquí en adelante. Cabe señalar, sin embargo, que a diferencia de los cojinetes correspondientes en la unidad de turbina-generador descritos e ilustrados en el documento US-A-5 481 145, las unidades de cojinete 52 y 54 no contienen ningún elemento de cojinete axial. En su lugar, las unidades de cojinete separadas 56 y 58 son cojinetes magnéticos axiales activos. Estas unidades se encuentran en el extremo aguas abajo del estator 12. Los cojinetes magnéticos axiales activos 56 y 58 son de un tipo bien conocido en el estado de la técnica, por lo que su estructura, configuración y funcionamiento no se describen aquí con más detalle.

Todas las unidades de cojinete magnético 52, 54, 56 y 58 incluyen bobinas y arrollamientos eléctricos que generan calor en funcionamiento. El gas refrigerante que se emplea para refrigerar la superficie interior del estator 12 (y sus arrollamientos 50) proporciona refrigeración también para las unidades de cojinete magnético 52, 54, 56 y 58.

Debido a que el gas que refrigera la superficie interior del estator 12 consiste típicamente en gas derivado del flujo de entrada de gas comprimido, en general no es necesario tener un dispositivo de sellado correspondiente en el extremo aguas abajo del estator 12. Sin embargo, si este gas de refrigeración de la superficie interior se eligiera con una composición diferente a la del flujo de gas comprimido para ser expandido, y si se deseara minimizar la mezcla de los dos gases, se proporcionaría una junta similar (no mostrada) a la junta 60 en el extremo aguas abajo del estator 12 y conductos de extracción (no mostrados) similares al del conducto de alimentación 48 en ambos extremos del estator 12 para la descarga del gas de refrigeración de la superficie interior.

El conjunto de rueda de turboexpansor 6, árbol 8 y rotor 10 está también provisto de cojinetes mecánicos en forma de unidades de cojinete de bolas 64 y 66 hacia cada extremo del estator 12. Las unidades de cojinete de bolas 64 y 66 pueden ser de tipo convencional y van a soportar el conjunto en el caso de fallo de la fuente de alimentación eléctrica a los cojinetes magnéticos 52, 54, 56 y 58 o cuando estos cojinetes magnéticos no estén energizados. Las

unidades de cojinete de bolas 64 y 66 son de tipo convencional, por lo que no es necesario describir aquí con más detalle su estructura, configuración y funcionamiento.

La máquina mostrada en la figura 1 de los dibujos adjuntos también incluye manguitos 68 y 70 que atraviesan la pared del tubo 14 a través de los cuales pueden guiarse respectivamente líneas de transporte de energía eléctrica 72 procedentes del generador 4 y líneas de señal de energía eléctrica y líneas de señal de control 74 a los cojinetes magnéticos 52, 54, 56 y 58.

La máquina mostrada en la figura 1 está provista de una cámara de empuje 34 para controlar y equilibrar las fuerzas de empuje axial que actúan sobre la rueda de turboexpansor. La cámara de empuje está delimitada en un extremo por el lado reverso 9 de la rueda de turboexpansor 6 y en su otro extremo por una pared de cámara separada 35. En el lado reverso 9 de la rueda 6 se encuentra una disposición escalonada de anillos cilíndricos acoplados con un anillo laberíntico escalonado complementario montado en la pared 35. La disposición se muestra esquemáticamente en la figura 1, indicada con el número de referencia 90. En ausencia de la cámara de empuje 34 y de la disposición de junta laberíntica 90, la presión que actúa sobre el lado reverso 9 de la rueda de turboexpansor 6 se aproximaría a la presión que hay en el extremo de la rueda 6. Debido a que en el lado anverso 7 el gas se expande, hay un empuje axial neto hacia el generador 4. La disposición de la cámara de empuje 34 permite que el empuje axial sea esencialmente limitado. La caída de presión a través de la disposición de junta laberíntica 90 sirve para reducir el empuje. Se elimina por completo por medio de un conducto de equilibrio de empuje 76 que pone la cámara de empuje 34 en comunicación de fluido de gas con una zona del conducto de salida 28. Hay una válvula de control de flujo 78 en el conducto 76. La posición de la válvula 78 se puede ajustar a fin de garantizar que las presiones que actúan en el lado reverso 9 de la rueda de turboexpansor 6 equilibren las presiones que actúan en el lado anverso 7. El ajuste de la configuración de la válvula de control 78 se puede realizar de forma automática en respuesta a señales indicativas del empuje axial experimentado por uno o ambos de los cojinetes de empuje axial 56 y 58. En lugar del conducto 76 y la válvula 78, la rueda de turboexpansor puede estar provista de una pluralidad de orificios de equilibrado (no mostrados).

Con referencia ahora a la figura 2 de los dibujos, una tubería 200 aguas arriba de una máquina 202 idéntica a la máquina 1 tiene un precalentador 204 situado en la misma. El precalentador 204 puede ser de cualquier tipo de intercambiador de calor indirecto capaz de elevar la corriente de gas comprimido a una temperatura de entre 50° C y 100° C. Típicamente, el precalentador 204 puede incluir una serie de bobinas térmicas por las que puede circular agua caliente o vapor. Desde una zona de la tubería 200 aguas arriba del precalentador 204, un conducto 206 conduce gas a presión frío a un conducto de admisión 208 para refrigerante, que es idéntico al conducto de alimentación 48 para refrigerante adicional en la máquina 1 mostrada en la figura 1 de los dibujos. Una válvula de control de flujo 210 se encuentra en el conducto 206 y se puede seleccionar su configuración con el fin de permitir que circule refrigerante al conducto 208 a una velocidad mínima elegida.

En caso de emergencia, se proporciona una válvula de cierre rápido 212 en una zona de la tubería 202 entre el precalentador 204 y la máquina 200.

Con referencia ahora a la figura 3 de los dibujos, se muestra una tubería 300 provista de dos máquinas 302 y 304 de acuerdo con la invención, estando las máquinas 302 y 304 dispuestas en línea. Aguas arriba de cada una de las máquinas 302 y 304 hay secciones de tubo 306 y 308, respectivamente, que pueden alojar cada una un precalentador del tipo descrito con referencia a la figura 2. Una válvula de cierre rápido 312 se proporciona ahora aguas arriba del primer precalentador 306. La disposición mostrada en la figura 3 se puede emplear si se necesita una relación particularmente grande entre presión de entrada y salida, es decir una disminución de presión especialmente grande.

REIVINDICACIONES

1. Máquina para recuperar energía de un flujo de gas comprimido, estando la máquina alojada en un tramo de tubo (14) que forma parte de una tubería, comprendiendo la máquina, en primer lugar, un turboexpansor (2) que tiene una rueda de turboexpansor (6) y, en segundo lugar, un generador (4) que tiene un rotor (10) y un estator (12), pudiendo ser el rotor accionado por la rueda de turboexpansor, en la que el lado anverso (7) de la rueda de turboexpansor (6) está orientado hacia el generador (4), caracterizada porque la superficie exterior del estator (12) comprende aletas de refrigeración (44) y porque hay un conducto no estrangulado para el flujo de gas expandido que pone el lado anverso (7) de la rueda de turboexpansor (6) en comunicación de fluido de gas con la superficie exterior del estator (12), teniendo la rueda de turboexpansor (6) un flujo de entrada radial.
2. Máquina según la reivindicación 1, en la que el lado anverso de la rueda de turboexpansor (6) está igualmente en comunicación de fluido de gas a través de una junta (60) con un espacio de gas definido entre el rotor (10) y una superficie interior del estator (12).
3. Máquina según la reivindicación 2, en la que la junta (60) es una junta laberíntica.
4. Máquina según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en la que el rotor y la rueda de turboexpansor (6) están montados sobre un árbol soportado por una pluralidad de cojinetes magnéticos (52, 54, 56, 58), comprendiendo los cojinetes magnéticos (52, 54, 56, 58) cojinetes magnéticos radiales (52, 54) y axiales (56, 58) separados.
5. Máquina según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en la que la máquina comprende además medios para equilibrar las presiones en los lados anverso y reverso de la rueda de turboexpansor (6).
6. Máquina según la reivindicación 5, en la que los medios de equilibrio comprenden una cámara de empuje delimitada en un lado por el lado reverso de la rueda de turboexpansor, estando la cámara de empuje en comunicación de fluido de gas con el extremo de la rueda de turboexpansor a través de una junta laberíntica o de otra junta, comprendiendo la cámara de empuje un conducto de salida acoplado a la misma, comprendiendo el conducto de salida, dispuesta en su interior, una válvula de control de flujo que puede ser ajustada para equilibrar las presiones en los lados anverso y reverso de la rueda de turboexpansor.
7. Máquina según la reivindicación 6, en la que la válvula de control de flujo está dispuesta para responder a las señales procedentes de un sensor de empuje axial en un cojinete magnético axial que soporta el rotor.
8. Máquina según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, estando la máquina asociada a un precalentador para precalentar el flujo de gas comprimido para ser turboexpandido.
9. Máquina según la reivindicación 8, en la que el precalentador está situado en otro tramo de tubo aguas arriba de la máquina.
10. Máquina según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 8, en la que el generador comprende una entrada adicional para refrigerante gaseoso que pone un espacio definido entre el rotor y el estator en comunicación de fluido de gas con otro tramo de tubo aguas arriba del tubo.
11. Máquina según las reivindicaciones 9 y 10, en la que el otro tramo de tubo con el que se comunica dicha entrada adicional para refrigerante gaseoso es el mismo tramo de tubo en el que está situado el precalentador.
12. Máquina según la reivindicación 11, en la que dicha entrada adicional para refrigerante gaseoso se comunica con una zona del otro tramo de tubo aguas arriba del precalentador.
13. Máquina según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en la que la máquina comprende además al menos una rueda de turbina adicional.
14. Pluralidad de máquinas según cualquiera de las reivindicaciones anteriores dispuestas en línea.
15. Tubería de distribución de gas natural, que comprende una máquina según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 13.

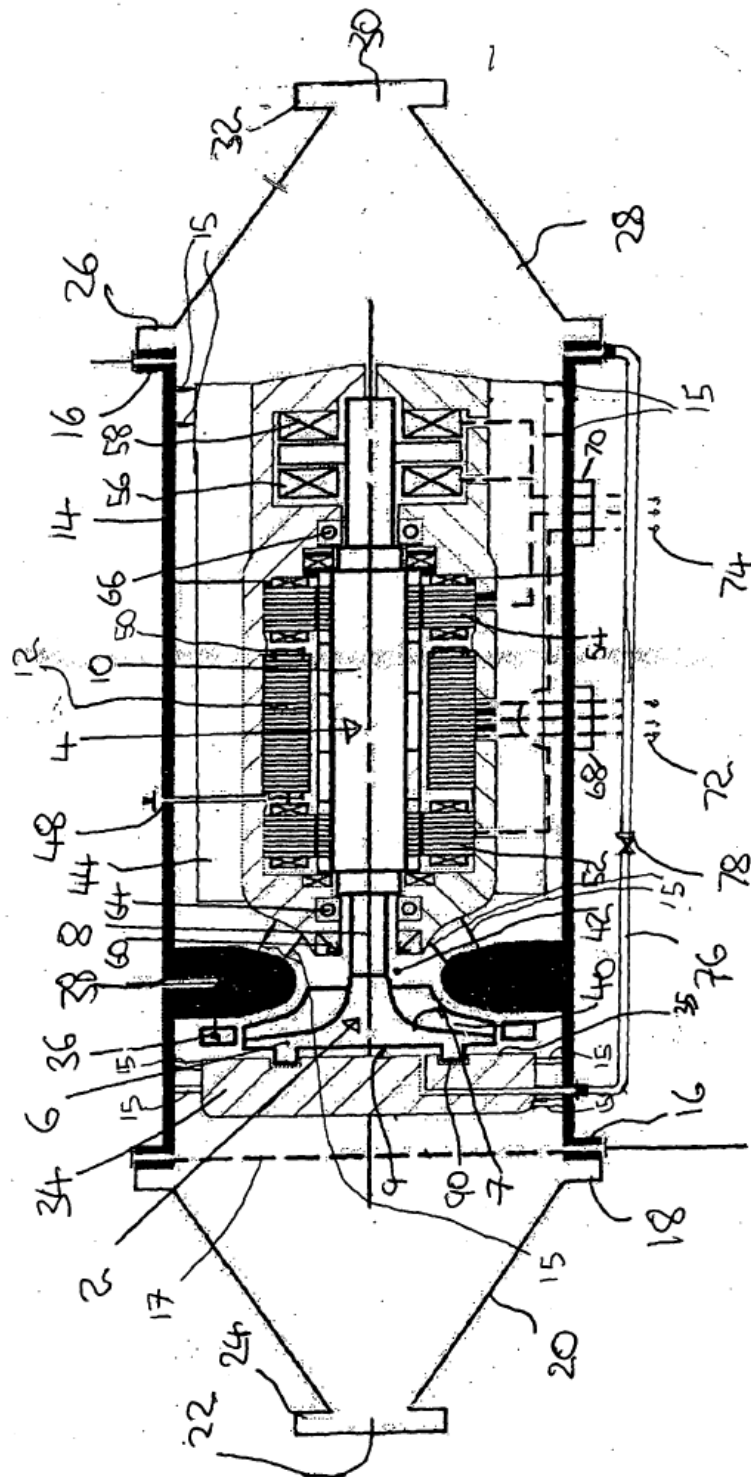


FIG 1

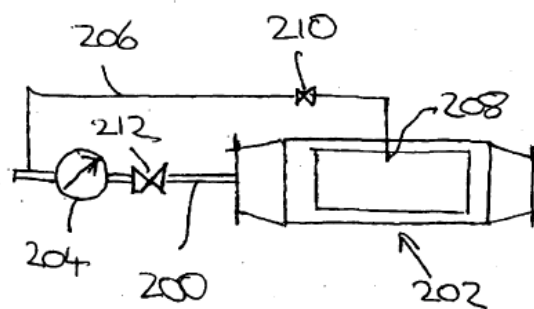


FIG 2

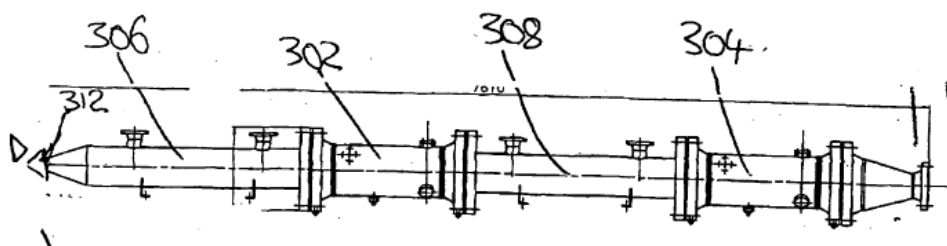


FIG 3