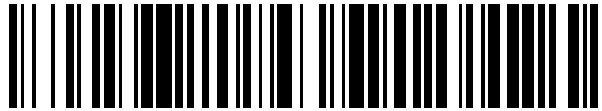


19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 581 731**

51 Int. Cl.:

**F04C 29/06**

(2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **18.05.2006 E 06010289 (4)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **04.05.2016 EP 1857682**

54 Título: **Máquina de émbolos rotativos de funcionamiento en seco con silenciador reactivo**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:  
**07.09.2016**

73 Titular/es:

**AERZENER MASCHINENFABRIK GMBH (100.0%)  
REHERWEG 28  
31855 AERZEN, DE**

72 Inventor/es:

**HAGE, CHRISTIAN-PHILIPP y  
FLEIGE, HANS-ULRICH**

74 Agente/Representante:

**FÚSTER OLAGUIBEL, Gustavo Nicolás**

**ES 2 581 731 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 émbolos rotativos de funcionamiento en seco con silenciador reactivo

5 **Campo técnico**

La invención se refiere a una máquina de émbolos rotativos de funcionamiento en seco con silenciador reactivo para gases o mezclas de gas-vapor, que presenta al menos dos émbolos rotativos montados en una carcasa sobre árboles y disposiciones de cojinete, que se engranan entre sí con un movimiento opuesto, para definir un espacio de alimentación, estando acoplados los árboles entre sí operativamente sobre trenes de engranaje dentados. A este respecto, por de funcionamiento en seco debe entenderse que los propios émbolos rotativos no se lubrican mediante medios de lubricación tales como aceite lubricante o similares.

15 **Estado de la técnica**

Las máquinas de émbolos rotativos de funcionamiento en seco, en particular los compresores helicoidales y los sopladores de émbolos rotativos con la construcción de tipo Roots, aunque también las máquinas de expansión de émbolos rotativos, funcionan hoy en día con presiones diferenciales relativamente elevadas (de hasta 7 bar) y números de revoluciones (de hasta aproximadamente 20.000 1/min). Un problema que existe en general en estas máquinas de émbolos rotativos es que una parte del medio ya comprimido vuelve a la cámara de alimentación desde el conducto de lado de presión al abrir la cámara de alimentación hacia el lado de presión y conduce así a fuertes pulsaciones o fenómenos de vibración tanto en el compresor como en el conducto de alimentación de lado de presión conectado aguas abajo. Estas pulsaciones son las responsables del alto nivel de ruido de tales máquinas, en particular en el rango de baja frecuencia. Las máquinas de émbolos rotativos de este tipo se conocen, por ejemplo, por el documento DE 32 38 015. En los compresores helicoidales, que debido a los émbolos muy retorcidos presentan una compactación interna, además del fenómeno descrito anteriormente según la contrapresión al abrir la cámara de alimentación hacia el lado de presión también puede producirse una salida repentina del medio de alimentación sobrecomprimido previamente.

Debido a los elevados números de revoluciones habituales hoy en día, el espectro de frecuencia del sonido emitido presenta además también en el caso de frecuencias en el rango de kilohercios un elevado nivel de ruido. Este rango de frecuencia se percibe por parte del oído humano en la mayoría de los casos como molesto. Para reducir este nivel de ruido hasta los valores necesarios o prescritos por ley se usan silenciadores, pudiendo diferenciarse básicamente dos tipos. Estos son, por un lado, los silenciadores de absorción, que trabajan con diferentes materiales de absorción, tal como lana de acero o mineral, y, por otro lado, los denominados silenciadores resonadores o reactivos, que trabajan sin tales materiales, únicamente mediante la forma y el dimensionamiento especiales del silenciador.

Los silenciadores de absorción silencian muy bien en particular altas frecuencias, pero tienen varias desventajas. Por un lado, solo silencian de manera insuficiente el rango de frecuencia inferior debido al grosor muy reducido del material de absorción en comparación con la longitud de onda acústica o no lo silencian en absoluto. Los silenciadores de absorción también se ensucian fácilmente debido a su estructura de malla fina, en particular en el caso de gases de escape cargados con líquidos o sólidos, lo que impide de manera creciente el funcionamiento correcto del silenciador. Además pueden transportarse fibras u otros componentes del material de absorción, lo que puede conducir en la instalación conectada aguas abajo a problemas graves y por tanto no es deseable.

Los silenciadores de reflexión están compuestos en general por un tubo interno y un tubo externo (de la cámara), que están conectados entre sí, para permitir el paso de gas. Funcionan según el principio de que el sonido que entra en la cámara con la circulación de gas a través del tubo interno más pequeño se devuelve debido a la brusca variación de la sección transversal.

La frecuencia límite y la intensidad de la atenuación dependen en este caso en gran medida de la geometría del silenciador. Para obtener una atenuación lo más intensa posible, la proporción de diámetro de la cámara con respecto a diámetro del tubo interno ( $D/d$ ) tiene que ser lo más grande posible. Dado que la frecuencia límite  $f_{gr}$ , por encima de la cual disminuye enormemente el efecto de atenuación acústica, es en una primera aproximación inversamente proporcional al diámetro de la cámara ( $f_{gr} \sim 1/D$ ), por otro lado el diámetro externo de la cámara no puede ser demasiado grande, para posibilitar la atenuación de altas frecuencias.

Por motivos de espacio no se quiere que el diámetro de la cámara sea demasiado grande, de modo que puede intentarse mantener la proporción de los diámetros a un valor grande y limitar el diámetro externo, reduciendo el diámetro del tubo interno. Sin embargo, de este modo se aumenta también la resistencia a la corriente, lo que naturalmente no es deseable, dado que de este modo se provoca un mayor consumo de potencia de la máquina de émbolos rotativos conectada aguas arriba.

Una solución la ofrece la disposición paralela de varios tubos internos y la división simultánea del tubo externo (la denominada variedad de flujos). Un ejemplo se muestra en el documento EP 1 117 965. El diámetro interno de los

tubos individuales se selecciona de tal manera que se obtiene como resultado la misma resistencia a la corriente que en el caso de un único tubo interno grande. En el caso de 4 tubos internos, se cumple por ejemplo que  $d_{\text{pequeño}} = d_{\text{grande}} / 2$ . Por el contrario, el diámetro de la cámara D se reduce a la mitad, de modo que la frecuencia límite de la atenuación puede aproximadamente doblarse.

Para mejorar la atenuación de otra manera se usan los denominados tubos internos de Helmholtz, en los que están previstos orificios en una posición axial determinada en la superficie lateral exterior del tubo interno. Estos pueden estar distribuidos de manera homogénea por toda la superficie lateral exterior, como se describe por ejemplo en el documento US 2,241,010, o pueden estar presentes solo en determinados puntos por medio de chapas perforadas, véase por ejemplo el documento EP 0 798 694.

Además, el tubo externo está dividido a menudo en cámaras dispuestas axialmente de diferente longitud (y con ello diferentes frecuencias de resonancia), estando conectada cada una de las cámaras a través de los orificios en la superficie lateral exterior del tubo interno con el tubo interno que conduce el sonido. Un ejemplo se muestra en la publicación DE 296 12 322.

Por los documentos DE 1166970 y DE 19855708 se conocen dos soluciones adicionales en forma de silenciadores de resonancia.

Sin embargo, ninguna de dichas soluciones puede utilizarse de manera satisfactoria con las máquinas de émbolos rotativos mencionadas al principio, que, como se ha mencionado, generan un nivel de ruido muy elevado. En particular, tales silenciadores serían o bien muy grandes y con ello ocuparían mucho espacio y serían caros o bien conllevarían una disminución de presión demasiado grande, lo que tiene un efecto negativo sobre el consumo de potencia, la eficacia y los costes de la máquina de émbolos rotativos.

### Descripción de la invención

Por tanto, un objetivo de la presente invención es desarrollar una máquina de émbolos rotativos de funcionamiento en seco con silenciador reactivo, que presenta un efecto de atenuación grande con un consumo de potencia adicional lo más reducido posible debido al silenciador. Este objetivo se alcanza mediante una máquina de émbolos rotativos de funcionamiento en seco con silenciador reactivo con las características definidas en la reivindicación 1.

Configuraciones ventajosas adicionales se obtienen de las reivindicaciones dependientes.

Por lo demás se desea que la atenuación sea eficaz no solo con respecto a la amplitud del sonido en determinadas frecuencias sino por todo el rango de frecuencia.

En cuanto al efecto de atenuación, la invención trata de las aberturas de conexión en la superficie lateral exterior de un tubo interno de Helmholtz. Se ha descubierto que más orificios (o mejor dicho, un mayor porcentaje de superficie de los orificios) conllevan mejores propiedades de atenuación. Esto puede tener lugar, por un lado, mediante un aumento de los propios orificios individuales. Extrapolado al caso extremo, los orificios pasan a ser ranuras, que se forman principalmente de manera transversal a la extensión axial, es decir en la dirección perimetral sobre la superficie lateral exterior del tubo interno. Únicamente quedan algunos nervios para la conexión mecánica del tubo interno. Mediciones han dado como resultado que mediante el uso de las ranuras en lugar de orificios se mejora mucho de manera sorprendentemente el efecto de atenuación.

Por tanto, la presente invención proporciona una máquina de émbolos rotativos de funcionamiento en seco con silenciador reactivo, que comprende al menos dos émbolos rotativos montados en una carcasa sobre árboles y disposiciones de cojinete, que se engranan entre sí con un movimiento opuesto, para definir un espacio de alimentación, estando acoplados los árboles entre sí operativamente mediante trenes de engranajes, y presentando el silenciador una cámara de silenciamiento, una abertura de entrada y una abertura de salida. La máquina de émbolos rotativos con silenciador reactivo se caracteriza porque la cámara de silenciamiento está dividida por una o varias paredes de separación (55, 63a, 65) paralelas a la dirección axial en dos o más partes de cámara (51b-e, 61b,d), que definen conjuntamente una cámara de varios flujos, estando previsto a través de cada parte de cámara un tubo interno (52b-e, 62b,d), que conduce gas a través de la cámara de silenciamiento, y sobre los tubos internos varias ranuras orientadas esencialmente en la dirección perimetral, circulando la mayor parte del gas a través del tubo interno.

En comparación con el estado de la técnica, de este modo se obtiene una atenuación mejorada claramente de la presión acústica, que se genera por la máquina de émbolos rotativos.

Por otro lado, puede conseguirse un mayor porcentaje de superficie de los orificios mediante varias posiciones, en las que se concentran los orificios. Pueden calcularse/modelarse matemáticamente casos en los que en el tubo interno hay dos posiciones en lugar de una posición, en la que están dispuestos los orificios. Mediciones experimentales del solicitante han dado como resultado que una disposición de los orificios en la parte delantera y en el centro del tubo interno (dado el caso de manera repetida para cada segmento de cámara) da como resultado la

mejor atenuación acústica.

5 Preferiblemente, las ranuras en la dirección perimetral están separadas por nervios. De esta manera puede aprovecharse prácticamente todo el perímetro para la superficie de ranuras, encargándose los nervios al mismo tiempo de la estabilidad del tubo.

10 Preferiblemente, la proporción de superficie de nervios con respecto a superficie de ranuras es menor del 30%, de manera especialmente preferible es menor del 25%, y en particular es menor del 20%. Estos valores son considerablemente mejores que los valores correspondientes para chapas perforadas y proporcionan una salida mejorada de la presión acústica a través de las ranuras, sin poner en peligro la estabilidad del tubo.

15 En una forma de realización preferida, las ranuras están previstas en el sentido de circulación en el tercio delantero y/o el tercio central y/o el tercio trasero del tubo interno. Mediciones han dado como resultado que de este modo pueda conseguirse un efecto de atenuación óptimo adaptado a las condiciones de uso (espectro de frecuencia y amplitud del sonido de la máquina de émbolos rotativos, diámetro del tubo, tipo de introducción de gas).

20 El silenciador se divide preferiblemente por al menos una pared de división de tal manera que esta(s) define(n) en el sentido de circulación varias cámaras de silenciamiento, pasando un tubo interno a través de al menos una cámara de silenciamiento. Estas cámaras de silenciamiento pueden usarse para la atenuación alrededor de diferentes frecuencias de resonancia o servir como cámaras de distribución o acumulación. Debe indicarse que la pared o las paredes de división dividen el silenciador en el sentido de circulación en cámaras, de modo que en el caso de una corriente desviada se producen las denominadas disposiciones plegadas, siendo el sentido de circulación en una cámara contrario o también perpendicular al sentido de circulación en una cámara adyacente, dividida por la pared de división.

25 Preferiblemente, una o varias cámaras de silenciamiento están divididas por una o varias paredes de separación paralelas a la dirección axial en dos o más partes de cámara, que definen conjuntamente una cámara o cámaras de varios flujos, estando previsto a través de cada parte de cámara un tubo interno. En este sentido, los respectivos tubos internos son habitualmente paralelos entre sí. Por tanto, de una manera eficaz se multiplica la frecuencia límite del efecto de atenuación acústica, sin aumentar la resistencia a la corriente del silenciador y por tanto el consumo de energía de la máquina de émbolos rotativos.

35 Preferiblemente, en la máquina de émbolos rotativos con silenciador reactivo según la invención, los ejes de la abertura de entrada y de la abertura de salida del silenciador forman un ángulo de esencialmente 90° entre sí. Esta disposición es especialmente favorable para aquellas máquinas de émbolos rotativos, que debido a su tamaño relativamente reducido se colocan sobre el silenciador y utilizan el mismo como base.

#### Breve descripción de los dibujos

40 La figura 1 representa esquemáticamente una máquina de émbolos rotativos con un silenciador reactivo con una cámara de un solo flujo conectado;

45 la figura 2 representa esquemáticamente una máquina de émbolos rotativos con un silenciador reactivo con varias cámaras de un solo flujo conectado;

la figura 3 representa esquemáticamente una máquina de émbolos rotativos con un silenciador reactivo con varias cámaras plegado de un solo flujo conectado;

50 la figura 4a muestra esquemáticamente una máquina de émbolos rotativos con un silenciador reactivo con varias cámaras recto de varios flujos conforme a la invención;

la figura 4b es un corte a través del silenciador a lo largo de la línea A-A en la figura 4a;

55 la figura 5a es una representación esquemática de una máquina de émbolos rotativos con un silenciador reactivo con varias cámaras plegado de varios flujos conforme a la invención; y

la figura 5b es un corte a través de la disposición de la figura 5a a lo largo de la línea A-A.

#### Modos para la realización de la invención

60 En la figura 1 se muestra una primera forma de realización. La salida de una máquina de émbolos rotativos 10 está conectada a través de bridas 11 y un tubo 12 con la entrada de un silenciador de reflexión 20. El silenciador 20, al que fluye el gas evacuado de la máquina de émbolos rotativos, cargado acústicamente, está compuesto por una cámara de silenciador 21 y un tubo interno 22 que pasa a través de la misma, que presenta la misma sección transversal que el tubo 12 o la salida de la máquina de émbolos rotativos 10, para generar una disminución de presión lo más reducida posible. Sobre el tubo interno 22 están previstas en el sentido de circulación (indicadas

mediante flechas) en el tercio delantero y el tercio central ranuras 24, cuyo tamaño puede ser diferente. Las ranuras 24 están separadas en la dirección perimetral por nervios 25, de modo que en la figura 1, además de las que pueden verse, hay más ranuras 24 en el lado dirigido en sentido opuesto al observador. Mediante las ranuras, una gran parte de la presión acústica, que porta el gas que entra, puede expandirse a la cámara de silenciador 21, sin que cantidades destacables de gas salgan del propio tubo interno 22 a la cámara de silenciador 21. Por tanto se obtiene un efecto de atenuación acústica de banda ancha sorprendentemente bueno, que no puede conseguirse con las chapas perforadas convencionales.

La figura 2 ilustra una forma de realización, en la que un silenciador 30, que como anteriormente en la figura 1 está conectado a una máquina de émbolos rotativos 10, está dividido por dos paredes de división e33 n una cámara de distribución 31a, una cámara de silenciamiento 31b y una cámara de acumulación 31c. Un tubo interno 32 pasa a través de la cámara de silenciamiento 31b, tubo que presenta en su superficie lateral exterior en el sentido de circulación en el tercio delantero, central y trasero ranuras 34, por las que puede salir la presión acústica a la cámara de silenciador 31b. En este caso, la cámara de distribución 31a o la cámara de acumulación 31c provocan un retardo y en cada caso una aceleración posterior del gas que entra en el silenciador 30, antes o después de que se produzca la atenuación en la cámara de silenciador 31b. Por consiguiente, las cámaras 31a y 31c funcionan igualmente como cámaras de silenciador, pero según el principio de reflexión convencional.

Una disposición, en la que la máquina de émbolos rotativos 10 utiliza el silenciador 40 como base, se ilustra en la figura 3. En este sentido, los ejes de la entrada 48 y la salida 49 forman un ángulo de 90°. El silenciador 40 está dividido por dos paredes de división 43 en una cámara de entrada 41a, una cámara de desviación 41b y una cámara final 41c. El gas expulsado desde la máquina 10 se conduce en primer lugar a la cámara de entrada 41a, desde donde llega a través de un tubo pasante 45 a la cámara de desviación 41b. Desde allí, circula a través de un tubo 42a cerrado de vuelta a través de la cámara de entrada 41a y a la cámara final 41c, en la que hay un tubo interno 42b dotado de ranuras 44 circundantes (sin nervios) en el tercio delantero y central. Debido a la "desviación" de la corriente de gas se habla también de una disposición de silenciador "plegada".

Un ejemplo de realización de la invención, en el que se utiliza la variedad de flujos, se muestra en la figura 4a. De nuevo, un silenciador 50 sirve como base para la máquina de émbolos rotativos 10, de modo que los ejes de la entrada y la salida del silenciador 50 forman un ángulo de 90°. Dos paredes de división 53 dividen el silenciador 50 en una cámara de entrada (cámara de distribución) 51a, una cámara de salida (cámara de acumulación) 51f y una cámara de silenciador que se encuentra entre las mismas. Como se muestra en la figura 4b, esta última se divide por dos paredes de separación 55 dispuestas en el sentido de circulación en la cámara de silenciador en perpendicular entre sí en cuatro partes de cámara 51b,c,d,e dispuestas esencialmente en paralelo entre sí, pasando a través de cada una de las partes de cámara un tubo interno 52b,c,d,e correspondiente. La cámara de silenciador también está dividida en varios flujos. Sobre cada tubo interno 52b,c,d,e están previstas en cada caso en el tercio delantero y trasero ranuras 54, que posibilitan una salida de presión acústica a las partes de cámara 51b,c,d,e. A este respecto, la suma de las secciones transversales de los tubos internos corresponde a la sección transversal de un tubo interno de un solo flujo correspondiente o al diámetro de la tubuladura de entrada del silenciador, de modo que no se produce un aumento de la resistencia a la corriente. Al mismo tiempo puede mantenerse una proporción elevada de diámetro de parte de cámara (diámetro externo) con respecto a diámetro de tubo interno.

Finalmente, en la figura 5a se muestra una forma de realización adicional de la invención. En este caso, un silenciador 60 está dispuesto por encima de la máquina de émbolos rotativos 10. Varias paredes de división 63a, b, c, d dividen el silenciador 60 en el sentido de circulación en cámaras 61a, b, c, d, e, estando dispuestas la pared de división 63a en horizontal y las paredes de división restantes en vertical. Además, la cámara 61b está dividida por una pared de separación vertical 65 en dos cámaras 61b' y 61b'' con dos flujos. Un tubo interno 62d con sección transversal cuadrada atraviesa la cámara 61d, mientras tubos internos cuadrados 62b' o 62b'' atraviesan en cada caso las cámaras 61b' y 61b'', siendo la suma de sus secciones transversales igual a la sección transversal del tubo interno 62d. Todos los tubos internos 62b', 62b'' y 62d presentan en el sentido de circulación en el tercio delantero y central ranuras 64 circundantes. La cámara 61d, con una sección transversal igual de cámara y tubo interno, es más larga que la cámara 61b y tiene por tanto otra frecuencia de resonancia. Además, en este ejemplo de realización los ejes de la entrada de silenciador 68 y salida de silenciador 69 están dispuestos en paralelo y desplazados uno con respecto a otro.

**REIVINDICACIONES**

1. Máquina de émbolos rotativos (10) de funcionamiento en seco con silenciador reactivo(50, 60), que comprende
- 5 al menos dos émbolos rotativos montados en una carcasa sobre árboles y disposiciones de cojinete, que se engranan entre sí con un movimiento opuesto, para definir un espacio de alimentación,
- 10 estando acoplados los árboles entre sí operativamente mediante trenes de engranajes,
- presentando el silenciador una cámara de silenciamiento (51, 61), una abertura de entrada (58, 68) y una abertura de salida (59, 69),
- 15 **caracterizada porque** la cámara de silenciamiento está dividida por una o varias paredes de separación (55, 63a, 65) paralelas a la dirección axial en dos o más partes de cámara (51b-e, 61b,d), que definen conjuntamente una cámara de varios flujos, estando previsto a través de cada parte de cámara un tubo interno (52b-e, 62b,d), que conduce gas a través de la cámara de silenciamiento, y
- 20 sobre los tubos internos están previstas varias ranuras (54, 64) orientadas esencialmente en la dirección perimetral, circulando la mayor parte del gas a través del tubo interno.
2. Máquina de émbolos rotativos (10) con silenciador reactivo según la reivindicación 1, **caracterizada porque** las ranuras están separadas en la dirección perimetral por nervios (25).
- 25 3. Máquina de émbolos rotativos (10) con silenciador reactivo según la reivindicación 2, **caracterizada porque** la proporción de superficie de nervios con respecto a superficie de ranuras es menor del 30%.
4. Máquina de émbolos rotativos (10) con silenciador reactivo según la reivindicación 2, **caracterizada porque** la proporción de superficie de nervios con respecto a superficie de ranuras es menor del 25%.
- 30 5. Máquina de émbolos rotativos (10) con silenciador reactivo según la reivindicación 2, **caracterizada porque** la proporción de superficie de nervios con respecto a superficie de ranuras es menor del 20%.
- 35 6. Máquina de émbolos rotativos (10) con silenciador reactivo según una de las reivindicaciones anteriores, **caracterizada porque** las ranuras (24, 34, 44, 54, 64) están previstas en el sentido de circulación en el tercio delantero y/o el tercio central y/o el tercio trasero del tubo interno (22, 32, 42, 52, 62).
- 40 7. Máquina de émbolos rotativos (10) con silenciador reactivo según una de las reivindicaciones anteriores, **caracterizada porque** el silenciador (30, 40, 50, 60) está dividido por al menos una pared de división (33, 43, 53, 63) de tal manera que esta(s) define(n) en el sentido de circulación varias cámaras de silenciamiento (31a-c; 41a-c; 51a,c; 61a-e), pasando un tubo interno (32; 42a, b; 52b-d; 62b, d) a través de al menos una cámara de silenciamiento.
- 45 8. Máquina de émbolos rotativos (10) con silenciador reactivo según una de las reivindicaciones anteriores, **caracterizada porque** los ejes de la abertura de entrada (48, 58) y de la abertura de salida (49, 59) del silenciador (40, 50) forman un ángulo de esencialmente 90° entre sí.

Fig. 1

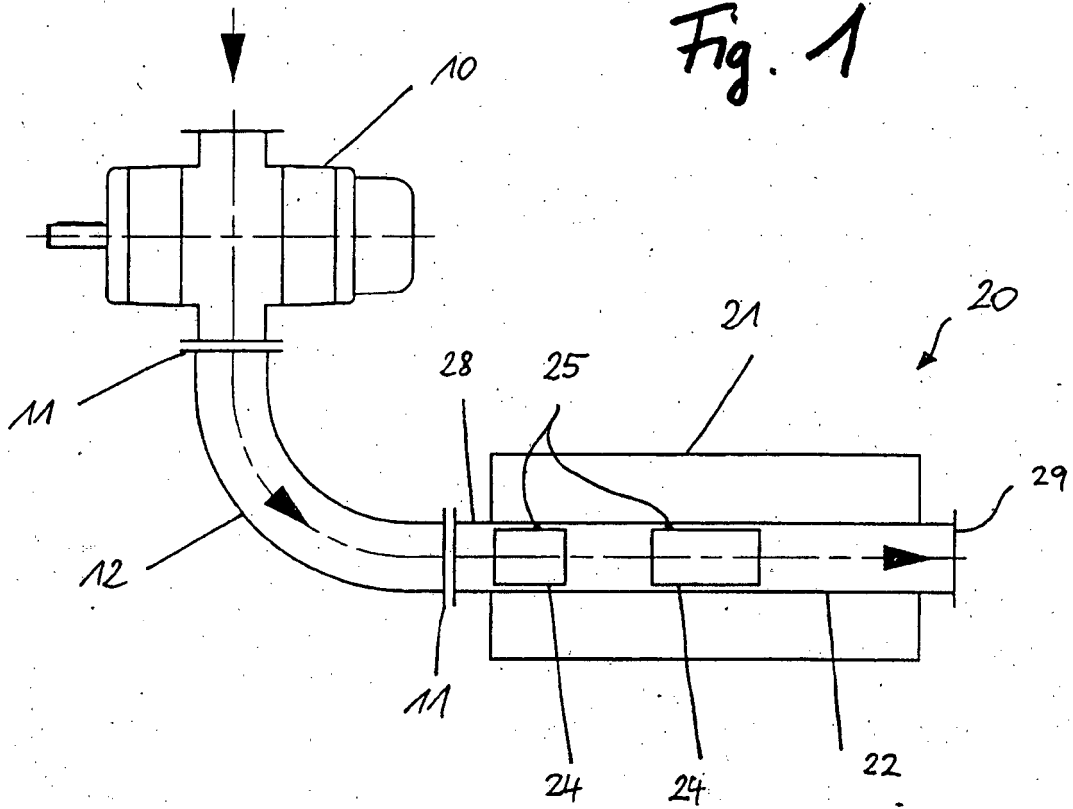
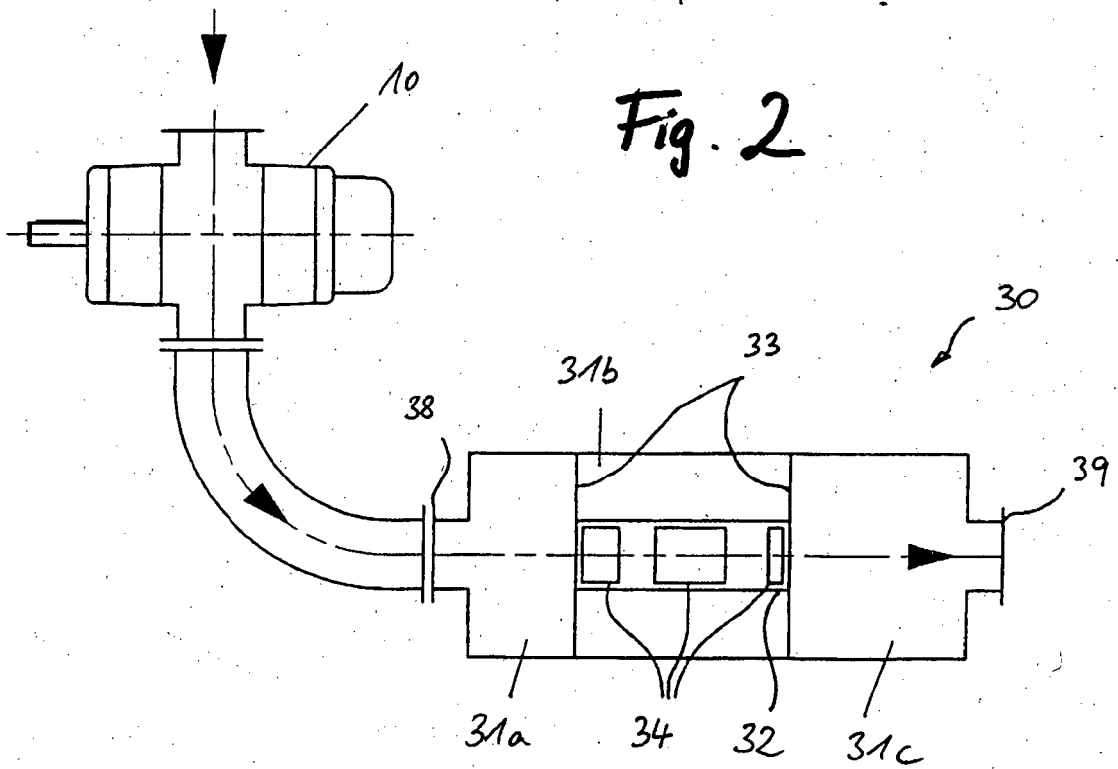
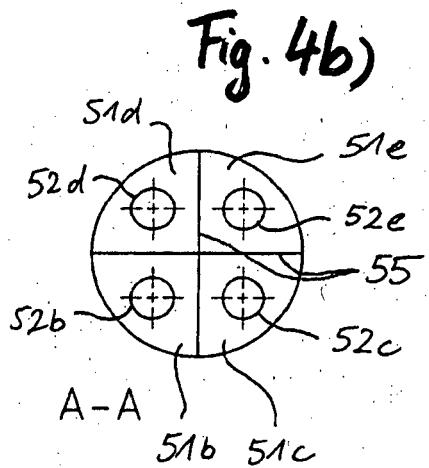
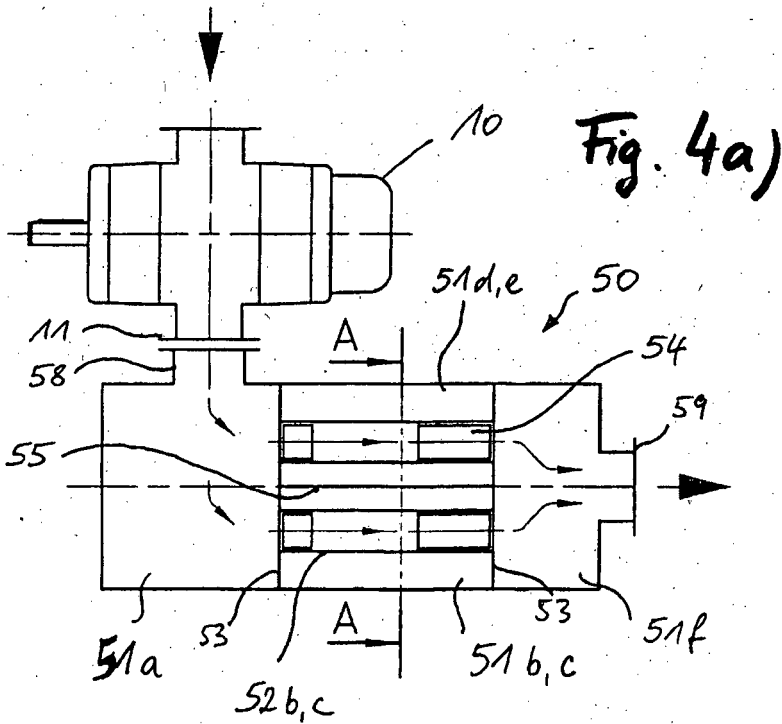
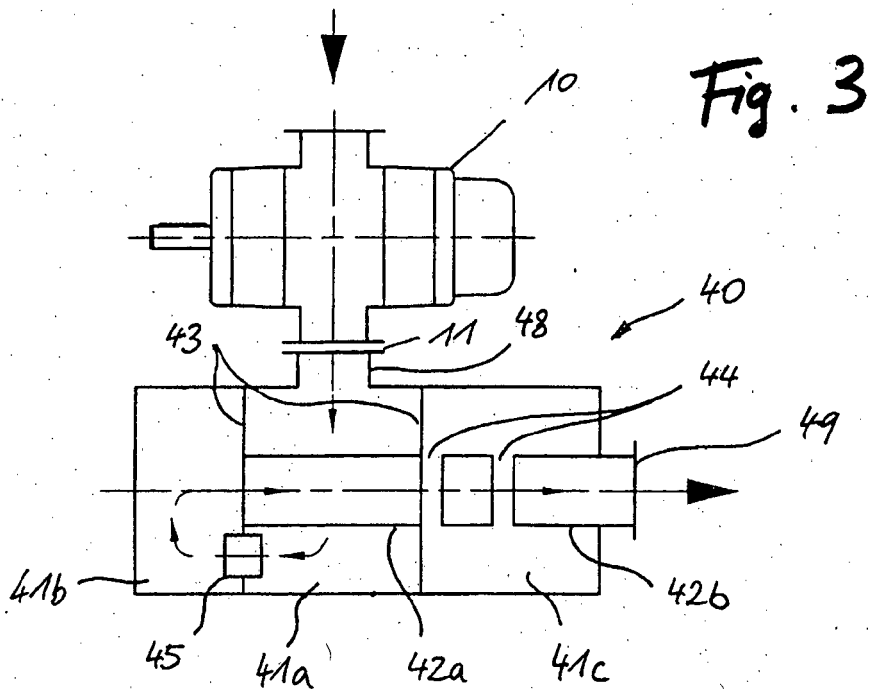


Fig. 2







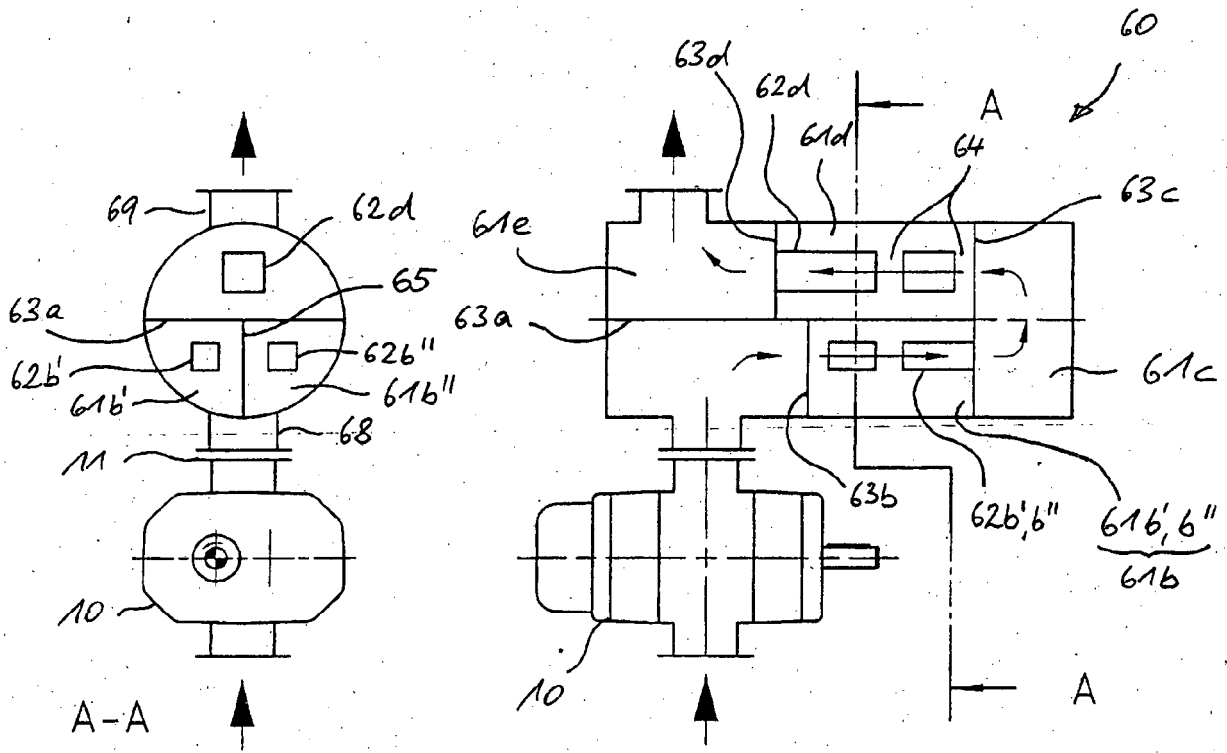


Fig. 5b)

Fig. 5a)