

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 627 520**

51 Int. Cl.:

**B01D 53/047** (2006.01)

**C01B 13/02** (2006.01)

**F16K 3/10** (2006.01)

**F16K 11/074** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **23.10.2008** **E 12197519 (7)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **31.05.2017** **EP 2573435**

54 Título: **Válvula giratoria**

30 Prioridad:

**29.10.2007 US 926424**

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

**28.07.2017**

73 Titular/es:

**AIR PRODUCTS AND CHEMICALS, INC. (100.0%)  
7201 Hamilton Boulevard  
Allentown, PA 18195-1501, US**

72 Inventor/es:

**WAGNER, GLENN PAUL**

74 Agente/Representante:

**UNGRÍA LÓPEZ, Javier**

**ES 2 627 520 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

Válvula giratoria

5 **Antecedentes de la invención**

La presente invención se refiere en general a un sistema de adsorción por oscilación de presión de acuerdo con el preámbulo de la reivindicación 1. El sistema de adsorción por oscilación de presión comprende una pluralidad de lechos de adsorción y una válvula giratoria que tiene uno o más rotores configurados para girar sobre un eje de giro, donde la válvula giratoria está conectada a la pluralidad de lechos de adsorción y configurada para dirigir los flujos hacia la pluralidad de lechos de adsorción durante el proceso de adsorción por oscilación de presión.

Las válvulas giratorias se utilizan ampliamente en las industrias de procesos para dirigir fluidos desde una o más fuentes de proceso a uno o más destinos de proceso en etapas de proceso cíclicas repetibles. Estas válvulas, denominadas también válvulas de secuencia giratorias, se utilizan en procesos cíclicos o repetibles, tales como la separación de gas por adsorción por oscilación de presión o temperatura, separación de líquidos por adsorción por oscilación de concentración, cromatografía de gases o líquidos, procesos catalíticos regenerativos, sistemas de control secuenciales neumáticos o hidráulicos, y otros procesos cíclicos.

Un tipo de válvula giratoria ampliamente utilizado tiene una configuración circular plana en la que un rotor portado plano gira coaxialmente sobre un estator portado plano de tal manera que los orificios en el estator y en el rotor están bien alineados o bloqueados en una secuencia cíclica predeterminada. Típicamente se proporciona una junta haciendo coincidir en contacto directo la cara del rotor plana sobre la cara del estator plana. Se requiere un alto grado de precisión en la fabricación de estas superficies planas para evitar la fuga excesiva en las superficies de acoplamiento. Materiales rígidos tales como metales, cerámicas, y/o de carbono se utilizan típicamente para estos rotores y estatores, pero el desgaste de las partes o distorsiones causadas por diferenciales de temperatura pueden causar cambios en la forma de las superficies, permitiendo de esta manera la fuga a través de la junta formada entre las superficies.

Las válvulas giratorias con una configuración de junta circular giratoria plana son particularmente útiles en sistemas de adsorción por oscilación de presión (PSA) que utilizan múltiples lechos de adsorción paralelos que operan en etapas cíclicas superpuestas que incluyen las etapas de alimentación, compensación de la presión, despresurización, purga y de represurización. En una aplicación típica, se utiliza un estator que tiene múltiples orificios para conectar las líneas de gas de alimentación y de gas de desecho con los extremos de alimentación de una pluralidad de lechos de adsorción y también para conectar los extremos de producto de la pluralidad de los lechos para proporcionar la compensación de presión, purga, y otras etapas de transferencia de la lecho a lecho. Un rotor que tiene múltiples orificios gira de forma estanca en el estator de tal manera que las aberturas en la cara del estator coinciden secuencialmente con las aberturas en la cara del rotor, a medida que el rotor gira para dirigir el flujo de gas a las etapas del ciclo del proceso PSA deseadas.

En un ciclo típico de PSA, los pasos internos de la válvula giratoria están a presiones diferentes a medida que avanza el ciclo de PSA. Cuando el ciclo de PSA incluye las etapas de proceso a presión positiva y bajo condiciones de vacío, las fugas impulsadas por los diferenciales de presión entre los orificios de válvula conectados a los extremos de alimentación y de producto de los lechos pueden conducir a diversos problemas operativos, si se producen fugas entre estos orificios.

Las válvulas secuencial giratorias, en las que un rotor portado plano gira coaxialmente sobre un estator portado plano de tal manera que los orificios en el estator y el rotor son alineados o bloqueados en una secuencia cíclica predeterminada, se utilizan para dirigir fluidos en procesos cíclicos que tienen un número de etapas repetibles. En el documento US 2007/0028971 A1 presentado el 8 de mayo de 2005, se desvela un sistema de válvula giratoria de rotor/estator dual que utiliza un solo muelle axialmente alineado para ayudar en el acoplamiento de una superficie del rotor contra una superficie del estator para ayudar en la junta estanca de las superficies del rotor y del estator una contra la otra y evitar fugas entre los orificios del estator y del rotor. Los orificios del rotor se sitúan en diferentes posiciones circunferenciales en las caras del rotor y operan a diferentes presiones.

Durante la operación de la válvula giratoria de la técnica anterior divulgada en el documento US 2007/0028971 A1, la diferencia en las presiones de los orificios da como resultado una fuerza no axial a través de la cara de acoplamiento del rotor y del estator. Cuando se requieren altas presiones de operación, se pueden requerir grandes fuerzas de compresión para cerrar herméticamente los rotores contra los estatores y evitar fugas. La cantidad de fuerza necesaria para girar los rotores estará directamente relacionada con la cantidad de la fuerza de compresión para comprimir los rotores contra los estatores. Si se requieren altas fuerzas de compresión para evitar fugas entre el rotor y el estator, se requerirán grandes fuerzas para girar los rotores. Estas grandes fuerzas aumentan el desgaste del rotor, requieren motores de rotor de mayor tamaño, y aumentan el desgaste del cojinete del rotor.

La disposición general de una vista en despiece de la técnica anterior de válvula giratoria 1, tal como se encuentra en el documento US 2007/0028971 A1, se muestra en la Figura 1. En la operación real, los componentes de la

válvula 1 están en contacto entre sí. Como se puede observar en la Figura 1, la válvula giratoria 1 de la técnica anterior incluye un estator de alimentación 10, un rotor de alimentación 20, un rotor de producto 30, un estator de producto 40, y un muelle de compresión 50. En este ejemplo de realización de la técnica anterior, el rotor de alimentación 20 y el rotor de producto 30 están contenidos dentro de una carcasa formada por el estator de alimentación 10 y el estator de producto 40 como se muestra en la Figura 1.

En un proceso de adsorción por oscilación de presión (PSA), los lechos de adsorción (no mostrados) se conectan a los orificios 11a, 11b, 11c, 11d del estator de alimentación 10 y a los orificios 41a, 41b, 41c, 41d del estator producto 40. El extremo de alimentación de los lechos (no mostrado) se conecta típicamente a los orificios 11a, 11b, 11c, 11d del estator de alimentación 10, y los extremos de producto de los lechos (no mostrados) se conecta típicamente a los orificios correspondientes 41a, 41b, 41c, 41d del estator de producto 40.

Como se puede observar en la Figura 1, el rotor de alimentación 20 y el rotor de producto 30 se configuran para acoplarse e inter-bloquearse. El muelle de compresión 50 se dispone entre el rotor de alimentación 20 y el rotor de producto 30. El muelle de compresión 50 presiona el rotor de alimentación 20 contra el estator de alimentación 10 para cerrar herméticamente el rotor de alimentación 20 contra el estator de alimentación 10. El muelle de compresión 50 presiona de manera similar el rotor de producto 30 contra el estator de producto 40 para cerrar herméticamente el rotor de producto 30 contra el estator de producto 40.

La válvula 1 conocida incluye además un eje de accionamiento 60 capaz de hacer girar el rotor de alimentación 20 y el rotor de producto 30. El eje de accionamiento 60 incluye un extremo de accionamiento positivo 62 que se configura para acoplarse a un elemento de acoplamiento (no mostrado) en el rotor de alimentación 20 de tal manera que cuando el eje de accionamiento 60 se hace girar, el rotor de alimentación 20 y el rotor de producto 30 se hacen girar del mismo modo alrededor de un eje perpendicular a la cara del rotor, y las ranuras en el rotor de alimentación 20 y en el rotor de producto 30 se alinean con los orificios en el estator de alimentación 10 y en el estator de producto 40, respectivamente, para seleccionar una conexión predeterminada de las líneas de proceso.

La válvula giratoria conocida 1 incluye diversos orificios y pasos de fluido, cuya función se describe más completamente en el documento US 2007/0028971 A1. La operación de un proceso cíclico específico, tal como el PSA, no necesita explicarse completamente en el presente documento para comprender la operación de la válvula, y es entendida por un experto en la materia. En general, las operaciones de proceso incluyen alterar la posición girada del rotor de alimentación 20 y del rotor de producto 30 de la válvula 1 conocida para permitir que los vapores de fluido seleccionados se reciclen. A continuación se proporciona una descripción general de la operación de la válvula giratoria 1 de la técnica anterior.

A medida que el rotor de alimentación 20 y el rotor de producto 30 se hacen girar a posiciones predeterminadas, los orificios en las caras del rotor se alinean con los orificios en sus respectivos estatores, lo que permite el flujo hacia y desde la válvula 1 a través de una trayectoria conectiva predeterminada. De tal manera, el fluido puede fluir entre los lechos conectados al estator de alimentación 10 y al estator de producto 40 según sea necesario para la compensación, purga, u otras etapas cíclicas de proceso.

En un procedimiento de PSA, la presión en los lechos alterna entre altas presiones y bajas presiones cuando la adsorción y desorción tienen lugar, respectivamente. Durante las operaciones de proceso, las presiones dentro de cada ranura ejercen una fuerza sobre el rotor de alimentación 20 y sobre el rotor de producto 30, empujándolos lejos del estator de alimentación 10 y del estator de producto 40, respectivamente. Por esta razón, es necesario un muelle de compresión 50 para mantener el rotor de alimentación 20 contra el estator de alimentación 10 y el rotor de producto 30 contra el estator de producto 40 para evitar fugas. Debido que la fuerza de compresión y las fuerzas de presión dentro de las ranuras no son simétricas con respecto al centro o giro de los rotores, la fuerza resultante sobre los rotores no se encuentra en el centro del rotor de alimentación 20 ni del rotor de producto 30. Esta carga de fuerza asimétrica da como resultado la necesidad de aumentar la fuerza de compresión necesaria para mantener el contacto del rotor/estator, así como un mayor par requerido para accionar la válvula y hacer girar el eje 60.

Las Figuras 2A, 2B y 2C muestran vistas simplificadas de las fuerzas que actúan sobre un rotor 200 de una válvula giratoria durante un proceso cíclico de PSA típico. El eje de giro central del rotor 200 está indicado por la línea vertical discontinua A'. La fuerza de compresión  $F_1$  es la fuerza ejercida por un muelle (no mostrado) en el rotor 200, a medida que empuja el rotor 200 contra un estator (no mostrado). La fuerza de presión  $F_2$  es la fuerza resultante de las presiones en los distintos orificios. La fuerza de reacción  $F_3$  es la diferencia entre la fuerza de compresión  $F_1$  y la fuerza de presión  $F_2$ .  $F_3$  es también la fuerza de contacto entre el rotor 200 y el estator (no mostrado). La fuerza de reacción  $F_3$  no se encuentra en un solo punto. La fuerza de reacción  $F_3$  se distribuye a lo largo del rotor 200 de alguna manera, lo que puede ser muy complicado, dependiendo de la planitud de las caras de acoplamiento, la magnitud de la fuerza, y la ligera deformación del rotor 200 causada por las cargas aplicadas. Sin embargo, por simplicidad, esta fuerza distribuida se puede resolver en la única fuerza de reacción resultante  $F_3$ . Siempre debe haber una fuerza de reacción  $F_3$  distinta de cero si el rotor y el estator 200 (no mostrado) tienen que permanecer en contacto. Si la fuerza de reacción  $F_3$  es cero o menos, entonces la fuerza de presión comenzará a separar el rotor 200 de un estator, y se producirán fugas entre los diversos orificios del rotor y del estator (no mostrado). Es la fuerza de reacción  $F_3$  la responsable del par de fricción entre el rotor y el estator, tanto a través de su magnitud como de su

posición, y determina la cantidad de par necesario para hacer girar el rotor 200.

La Figura 2A muestra las fuerzas que actúan sobre el rotor 200 si la fuerza de presión  $F_2$  se encuentra en el centro del rotor 200. En este ejemplo, todas las fuerzas son colineales, y la fuerza de reacción  $F_3$  es la diferencia entre la fuerza de compresión  $F_1$  y la fuerza de presión  $F_2$ . Este resultado ocurre solamente si la fuerza de presión  $F_2$  es una resultante de las fuerzas de presión simétricamente en equilibrio alrededor del rotor 200. Esta distribución simétrica no existe dado que las presiones de las diversas ranuras del rotor 200 no darán como resultado una fuerza de presión neta que actúe en el centro del rotor 200 durante las operaciones de proceso de PSA típicas.

La Figura 2B muestra la distribución de fuerzas que actúan sobre el rotor 200 cuando la fuerza de presión no se encuentra en el centro del rotor 200, como ocurriría durante las operaciones de proceso de PSA típicas. Al igual que en la descripción de la Figura 2A anterior, la fuerza de reacción  $F_3$  es la diferencia entre la fuerza de compresión  $F_1$  y la fuerza de presión  $F_2$ , pero ahora, con el fin de mantener el equilibrio sobre el rotor 200 para mantener a los momentos en equilibrio, la fuerza de reacción  $F_3$  debe también desplazarse desde el centro del rotor 200 hasta una posición radial lejos del centro del rotor. La posición y la magnitud de la fuerza de reacción  $F_3$  dependen de las ubicaciones y de las magnitudes de la fuerza de compresión  $F_1$  y de la fuerza de presión  $F_2$ . Además, dado que la fuerza de compresión  $F_1$  debe ser igual a la suma de la fuerza de presión  $F_2$  y de la fuerza de reacción  $F_3$ , la fuerza de compresión  $F_1$  debe ser siempre mayor que la fuerza de presión  $F_2$  cada vez que la fuerza de compresión  $F_1$  y que la fuerza de presión  $F_2$  no están alineadas.

Cuando la fuerza de compresión  $F_1$  y la fuerza de presión  $F_2$  no son colineales, producen un momento de flexión en el rotor 200 como se indica por la línea discontinua de la Figura 2B. El momento de flexión puede deformar el rotor 200 si las fuerzas tienen una magnitud suficiente para un material y espesor particular del rotor. En algunas aplicaciones, esta deformación se puede mantener suficientemente pequeña para evitar la fuga, haciendo el rotor más rígido, ya sea a través del uso de materiales más rígidos, o aumentando el espesor del rotor. Para rotores más grandes, esto puede llegar a ser poco práctico. Además, la excentricidad de  $F_3$  aumentará el par necesario para hacer girar el rotor 200 durante las operaciones de proceso.

Por lo tanto, sería deseable volver a ubicar la fuerza de compresión  $F_1$  como se muestra en la Figura 2C a una distancia radial predeterminada desde el eje central de giro  $A'$ , opuesta a la fuerza de presión  $F_2$ , para eliminar el momento de flexión en el rotor 200.

La fuerza de reacción  $F_3$  estaría actuando después en la misma posición que la fuerza de presión  $F_2$ . Este reordenamiento da como resultado la fuerza de compresión  $F_1$  y la fuerza de reacción  $F_3$  más bajas requeridas y un par menor necesario para hacer girar el rotor 200.

Incluso en aplicaciones en las que el momento de flexión y deflexión no son de preocupación significativa, el par requerido para hacer girar el motor y hacer girar los rotores puede ser una preocupación significativa, especialmente cuando hay altas presiones presentes en los orificios del rotor. Por lo general, es deseable mantener este par a un mínimo, dado que la reducción del par reduce el tamaño y/o aumenta la vida de la unidad de motor y engranaje necesaria para hacer girar el rotor.

Por lo tanto, en un sistema de adsorción por oscilación de presión de acuerdo con la reivindicación 1, que comprende una válvula giratoria que sea capaz de operar sin fugas y que tenga un par reducido requerido para hacer girar el rotor de la válvula.

La presente invención proporciona un sistema de adsorción por oscilación de presión de acuerdo con la reivindicación 1, que comprende una válvula giratoria capaz de operar bajo tales condiciones sin fugas sustanciales y con un par mínimo requerido para hacer girar el rotor. Otras características y ventajas de la presente invención serán evidentes a partir de la siguiente descripción más detallada de las realizaciones preferidas, tomada en conjunto con los dibujos adjuntos que ilustran, a modo de ejemplo, los principios de la invención.

### Breve resumen de la invención

Se divulga una válvula giratoria que tiene un rotor y un estator en un movimiento giratorio deslizante estanco. La válvula giratoria incluye muelles de compresión configurados para reducir la cantidad de par requerido para hacer girar los rotores, en tanto evitan las fugas. La válvula se puede utilizar en procesos cíclicos, concretamente un proceso de PSA para dirigir fluidos desde una o más fuentes de proceso a uno o más destinos de proceso en etapas de proceso cíclicas repetibles.

Se divulga una realización de una válvula giratoria para realizar operaciones de proceso cíclicas que incluye un estator de alimentación que tiene una superficie de acoplamiento del estator de alimentación, una superficie trasera del estator de alimentación, y una pluralidad de orificios de conexión entre la superficie de acoplamiento del estator de alimentación y la superficie trasera del estator de alimentación; un rotor de alimentación adyacente al estator de alimentación que tiene una superficie de acoplamiento del rotor de alimentación, una superficie trasera del rotor de alimentación, y una pluralidad de orificios dispuestos sobre la superficie de acoplamiento del rotor de alimentación para dirigir al flujo de fluido entre la pluralidad de orificios del estator de alimentación, el rotor de

alimentación puede girar alrededor de un eje perpendicular a la superficie del rotor de alimentación; un rotor de producto acoplado con el rotor de alimentación y que tiene una superficie de acoplamiento del rotor de producto, una superficie trasera del rotor de producto, una salida de producto, y una pluralidad de orificios dispuesta sobre la superficie de acoplamiento para dirigir el flujo de fluido entre la pluralidad de orificios del estator de producto, el rotor de producto puede girar alrededor de un eje perpendicular a la cara del rotor de producto; un estator de producto adyacente al rotor de producto que comprende una cara de acoplamiento del estator de producto, una cara trasera del estator de producto, y una pluralidad de orificios de conexión entre la cara de acoplamiento del estator de producto y la cara trasera del estator de producto, y al menos dos muelles de compresión dispuestos entre el rotor de alimentación y el rotor de producto configurado para aplicar una fuerza de compresión con un centro de fuerza en la cara trasera del rotor de alimentación y en la cara trasera del rotor de producto. La fuerza de compresión se configura para minimizar el par para hacer girar el rotor de alimentación y el rotor de producto cuando la válvula está operando.

El rotor de alimentación y el rotor de producto de la válvula giratoria se configuran para hacer girar alrededor de un eje central de giro, y el centro de fuerza de la fuerza de compresión se encuentra a una distancia predeterminada mayor que cero desde el eje de giro.

La válvula giratoria puede incluir además al menos un elemento de posicionamiento de muelle situado en la cara trasera del rotor de alimentación opuesta a al menos un elemento de posicionamiento de muelle situado en la cara trasera del rotor de producto configurada para asegurar los al menos dos muelles de compresión entre el rotor de alimentación y el rotor de producto en una posición fija. Más generalmente, cualquier número de características de posicionamiento de muelle se pueden situar en la cara trasera del rotor de alimentación opuesta a una configuración similar en la cara trasera del rotor de producto.

Se divulga otra realización de una válvula giratoria para realizar operaciones de proceso cíclicas que incluye una carcasa del estator que tiene orificios, un rotor que comprende orificios y una superficie trasera, el rotor en contacto giratorio alrededor de un eje central de giro con la carcasa del estator en una interfaz, al menos dos muelles de compresión que tienen un centro de fuerza de compresión de la fuerza dispuesta entre la superficie trasera del rotor y una corredera de empuje, y un cojinete de empuje dispuesto entre la corredera de empuje y la carcasa del estator. La válvula giratoria incluye, además, tener el al menos dos muelles de compresión que aplican una fuerza de compresión configurada para reducir al mínimo el par requerido para hacer girar el rotor para la fuerza de compresión dada cuando la válvula está en operación.

La válvula giratoria incluye además tener el centro de fuerza de compresión de la fuerza situado a una distancia predeterminada mayor que cero desde el eje de giro, y tener al menos un elemento de posicionamiento de muelle en la superficie trasera del rotor para situar los al menos dos muelles de compresión. La válvula giratoria puede incluir, además, tener dos o más elementos de posicionamiento de muelles en la superficie trasera del rotor opuestos a dos o más elementos de posicionamiento de muelles situados de manera similar en la corredera de empuje para asegurar y situar dos o más muelles de compresión entre el rotor de alimentación y la corredera de empuje a una posición fija.

Se divulga una realización de la invención que proporciona un sistema de adsorción por oscilación de presión que incluye una pluralidad de lechos de absorción y una válvula giratoria que tiene uno o más rotores, la válvula giratoria conectada a la pluralidad de lechos de absorción y configurada para dirigir flujos a la pluralidad de lechos de absorción durante el proceso de absorción por oscilación de presión.

La válvula giratoria incluye uno o más rotores configurados para girar alrededor de un eje de giro, y al menos dos muelles de compresión que tienen una fuerza de compresión con un centro de fuerza configurado para aplicar la fuerza de compresión al uno o más rotores, lo que minimiza el par requerido para hacer girar el uno o más rotores para la fuerza de compresión aplicada.

El sistema de adsorción por oscilación de presión puede incluir un estator de alimentación que tiene una superficie de acoplamiento del estator de alimentación; una superficie trasera del estator de alimentación, y una pluralidad de orificios del estator de alimentación de conexión entre la superficie de acoplamiento del estator de alimentación y la superficie trasera del estator de alimentación, y el uno o más rotores incluyen un rotor de alimentación acoplado con un rotor de producto. El rotor de alimentación incluye una superficie de acoplamiento del rotor de alimentación, una superficie trasera del rotor de alimentación, y una pluralidad de orificios del rotor de alimentación dispuestos sobre la superficie de acoplamiento del rotor de alimentación para dirigir el flujo de fluido entre la pluralidad de orificios del estator de alimentación, el rotor de alimentación configurado para girar alrededor de un eje de giro perpendicular a la superficie del rotor de alimentación. El rotor de producto incluye una superficie de acoplamiento del rotor de producto, una superficie trasera del rotor de producto, una salida de producto, y una pluralidad de orificios del rotor de producto dispuestos sobre la superficie de acoplamiento para dirigir el flujo de fluido entre la pluralidad de orificios del estator de producto. El rotor de producto se configura para girar alrededor de un eje de giro perpendicular a la cara del rotor de producto. El estator de producto incluye una cara de acoplamiento del estator de producto, una cara trasera del estator de producto, y una pluralidad de orificios de conexión entre la cara de acoplamiento del estator de producto y la cara trasera del estator de producto en contacto giratorio con el rotor de producto.

Los al menos dos muelles de compresión dispuestos entre el rotor de alimentación y el rotor de producto aplican una fuerza de compresión que tiene un centro de fuerza en la cara trasera del rotor de alimentación y en la cara trasera del rotor de producto que da como resultado un par mínimo para activar los rotores para la fuerza de compresión cuando la válvula está en operación. El centro de fuerza de la fuerza de compresión se encuentra a una distancia  
 5 predeterminada mayor que cero desde el eje central de giro. El al menos un elemento de posicionamiento de muelle situado en la cara trasera del rotor de alimentación se alinea opuesto a al menos un elemento de posicionamiento de muelle situado en la cara trasera del rotor de producto. El elemento o elementos de posicionamiento de muelles se configuran para asegurar el muelle o muelles de compresión entre el rotor de alimentación y el rotor de producto en una posición fija. El sistema de absorción por oscilación de presión puede incluir además dos o más elementos de  
 10 posicionamiento de muelles situados en la cara trasera del rotor de alimentación opuestos a dos elementos de posicionamiento de muelles situados de manera similar en la cara trasera del rotor de producto para asegurar y situar dos o más muelles de presión entre el rotor de alimentación y el rotor de producto en una posición fija.

Como alternativa, el sistema de adsorción por oscilación de presión puede incluir una carcasa del estator que tiene  
 15 orificios; un rotor que comprende orificios y una superficie trasera, el rotor en contacto giratorio con la carcasa del estator en una interfaz alrededor de un eje central de giro; un cojinete de empuje en contacto con la carcasa del estator; un corredera de empuje en contacto con el cojinete de empuje, y por lo menos dos muelles de compresión dispuestos entre la superficie trasera del rotor y la corredera de empuje. Los al menos dos muelles de compresión se configuran para aplicar una fuerza de compresión que tiene un centro de fuerza sobre el rotor que da como resultado  
 20 un par mínimo para hacer girar el rotor para la fuerza de compresión dada cuando la válvula está en operación. El centro de fuerza de la fuerza de compresión se encuentra a una distancia predeterminada mayor que cero desde el eje central de giro.

Al menos un elemento de posicionamiento de muelle se sitúa en la cara trasera del rotor opuesto y alineado con al  
 25 menos un elemento de posicionamiento de muelle situado en la corredera de empuje. Los elementos de posicionamiento de muelles se configuran para asegurar y situar los muelles de compresión entre el rotor y la corredera de empuje.

Otros aspectos del método y del aparato se divulgan en el presente documento. Otros elementos y ventajas de la  
 30 presente invención serán evidentes a partir de la siguiente descripción más detallada de la realización preferida, tomada junto con los dibujos adjuntos que ilustran, a modo de ejemplo, los principios de la invención.

**Breve descripción de las diversas vistas de los dibujos**

35 La Figura 1 muestra una vista en despiece ordenado de una válvula giratoria de la técnica anterior ejemplar.

La Figura 2A ilustra una visión general simplificada de las fuerzas que actúan sobre un rotor ejemplar, cuando las fuerzas de presión y las fuerzas de compresión se ubican ambas en el centro del rotor.

40 La Figura 2B ilustra una visión general simplificada de las fuerzas que actúan sobre un rotor ejemplar cuando no se aplica la fuerza de presión en el centro del rotor.

La Figura 2C ilustra una visión general simplificada de las fuerzas que actúan sobre un rotor ejemplar, cuando la fuerza de compresión se ubica en el rotor en la misma posición que la fuerza de presión.

45 La Figura 3 es una vista superior ampliada de la realización ejemplar de una válvula giratoria de acuerdo con la invención.

50 La Figura 4 es una vista inferior ampliada de una realización ejemplar de una válvula giratoria de acuerdo con la invención.

La Figura 5 es una vista esquemática en sección transversal de una única realización del rotor de una válvula giratoria de acuerdo con la presente invención.

55 La Figura 6 es una vista de la cara del rotor de alimentación de un rotor de alimentación ejemplar de acuerdo con la invención.

La Figura 7 es una vista de la cara del rotor de producto de un rotor de producto ejemplar de acuerdo con la invención.

60 La Figura 8 es un gráfico que ilustra la relación entre la posición radial del centro de fuerza de la fuerza de compresión y el par necesario para hacer girar el rotor para las diversas fuerzas de compresión de acuerdo con la presente invención.

**Descripción detallada de la invención**

La presente invención se describirá a continuación con más detalle más adelante con referencia al dibujo adjunto, en el que se muestra una realización preferida de la invención. La presente invención puede, sin embargo, realizarse de muchas formas diferentes y no debe interpretarse como limitada a las realizaciones expuestas en el presente documento; más bien, estas realizaciones se proporcionan para que esta descripción sea minuciosa y completa y transmita completamente el alcance de la invención a los expertos en la materia.

Las realizaciones ejemplares abarcan la operación de una válvula giratoria que se puede utilizar en un sistema de absorción por oscilación de presión (PSA) de la presente invención que opera en ciclos girando un rotor dentro de la válvula giratoria. Los sistemas de PSA incluyen los sistemas de PSA que tienen presiones que son super-atmosféricas o sub-atmosféricas o una combinación de super y sub-atmosféricas. Las realizaciones ejemplares de la invención proporcionan un diseño de válvula giratoria mejorado y método de configuración de una válvula giratoria que reduce la cantidad del par necesario para hacer girar la válvula giratoria.

Una realización ejemplar de la válvula giratoria se ilustra por una válvula giratoria 300 de dos rotores, dos estatores como se muestra en las Figuras 3 y 4. La válvula giratoria 300 se puede utilizar, por ejemplo, en un sistema de PSA para la recuperación de oxígeno del aire utilizando cuatro lechos absorbentes y un ciclo de PSA en el que cada lecho procede a través de las etapas de (1) crear producto, (2) alimentar/crear producto y proporcionar gas de represurización del producto, (3) compensación de presión hacia abajo, (4) proporcionar purga, (5) evacuación, (6) recibir purga, (7) igualar presión hacia arriba, y (8) recibir gas de represurización del producto. Los diversos orificios de la válvula giratoria 300 se conectarán de manera similar al sistema de PSA que se divulga en el documento US 2007/0028971 A1. Además, las operaciones del sistema de PSA, incluyendo las operaciones de la válvula 300, serán similares a las operaciones divulgadas en el documento US 2007/0028971 A1.

Una disposición general de una vista en despiece de una realización ejemplar de una válvula giratoria 300 de acuerdo con la presente invención se muestra en las Figuras 3 y 4. La Figura 3 es una vista en perspectiva desde arriba de la válvula giratoria 300, y la Figura 4 es una vista en perspectiva desde abajo de la válvula 300. La válvula giratoria 300 incluye un estator de alimentación 310, un rotor de alimentación 320, un rotor de producto 330, un estator de producto 340, y dos muelles de compresión 350. La válvula giratoria 300 tiene un centro de eje A.

El estator de alimentación 310 incluye una superficie de acoplamiento 312 y una superficie trasera 314. El estator de alimentación 310 incluye además una pluralidad de orificios 316 conectados a través de diversas líneas (no mostradas) a los extremos de alimentación de los lechos de proceso (no mostrados). El estator de alimentación 310 incluye también un orificio de alimentación de material 319. El orificio de alimentación de material 319 estará conectado a una línea de alimentación (no mostrada) para proporcionar un gas de alimentación al estator de alimentación 310. El orificio de alimentación de material 319 permite también que un eje de accionamiento (no mostrado) pase a través del estator de alimentación 310 hasta el rotor de alimentación 320. El estator de alimentación 310 incluye también un orificio de residuos 317 que se conectará a una línea de vacío (no mostrada). El orificio de residuos 317 se conecta a la ranura anular 318.

El rotor de alimentación 320 incluye una superficie de acoplamiento 321 y una superficie trasera 322. La superficie de acoplamiento 321 del rotor de alimentación 320 está en contacto giratorio con la superficie de acoplamiento 312 del estator de alimentación 310. El rotor de alimentación incluye además un orificio de evacuación/purga 323, un orificio de alimentación 324 y una abertura 325 en la superficie de acoplamiento 321. El orificio de alimentación de material 319 del estator de alimentación 310 proporciona gas de alimentación a la abertura 325, que se conecta a través del paso interno (no mostrado) al orificio de alimentación 324. La abertura 325 permite también que un eje de accionamiento (no mostrado) que pasa a través del orificio de alimentación de material 319 del estator de alimentación 310 pase al rotor de alimentación 320 para acoplarse por un saliente 328. Cabe señalar que el orificio de alimentación de material 319 y la abertura 325 se dimensionan para permitir que el gas de alimentación fluya a través del orificio 319 y la abertura 325 cuando el eje de accionamiento (no mostrado) está presente.

El orificio de evacuación/purga 323 se configura para estar siempre en comunicación fluida con la ranura anular 318 del estator de alimentación 310. Cuando el orificio de evacuación/purga 323 se sitúa sobre uno de la pluralidad de orificios 316 en el estator de alimentación 310, el gas de un lecho (no mostrado) fluirá a través del orificio 316, en el orificio de evacuación/purga 323, después en la cavidad anular 318, y, finalmente, al orificio de residuos 317, desde el que se agota el gas por el sistema de vacío (no mostrado). La superficie trasera del rotor de alimentación 322 incluye anillas de transmisión 326. Las anillas de transmisión 326 transfieren el par al rotor de producto 330. El rotor de alimentación 320 se configura para girar alrededor del eje A con la transferencia de par al rotor de alimentación 320 desde un eje de accionamiento (no mostrado) acoplado dentro de un saliente 328.

Como se muestra en las Figuras 3 y 4, el rotor de alimentación 320 de esta realización ejemplar tiene seis localizadores de muelles 327 situados opuestos a seis localizadores de muelles 361 en el rotor de producto 330. Los seis localizadores de muelles 327 situados en el rotor de alimentación 320 se componen de dos grupos de tres elementos de posicionamiento situados simétricamente con respecto a un plano que pasa a través del eje de giro. Los localizadores de muelles 361 situados en el rotor de producto 330 se sitúan opuestos a los localizadores de

muelles 327 en el rotor de alimentación 320 y se sitúan de manera similar. En general, cualquier número de elementos de posicionamiento de muelles en cualquier disposición se puede utilizar para lograr una fuerza de compresión deseada y la posición de la fuerza de compresión resultante en la posición deseada.

5 Los localizadores de muelles 327 aseguran al menos un muelle de compresión entre el rotor de alimentación 320 y el rotor de producto 330 en una posición fija. Como se muestra en esta realización, dos muelles 350 se sitúan por dos localizadores de muelles 327 en el rotor de alimentación 320 opuestos a dos localizadores de muelles 361 en el rotor de producto 330. Los dos localizadores de muelles en el rotor de alimentación 320 se sitúan simétricamente con respecto a un plano que pasa a través del eje de giro. Los dos localizadores de muelles opuestos  
10 correspondientes en el rotor de producto 330 se sitúan de manera similar. En general, se debe entender que cualquier número de elementos de posicionamiento 327, 361 se pueden sitúan en los rotores 320, 330 para permitir un número y colocación diferente de los muelles 350 alrededor del eje central A. Además, cualquier número de muelles 350 con una fuerza de compresión conocida se puede seleccionar y situar en los elementos de posicionamiento 327, 361, siempre y cuando alcancen una fuerza de compresión total deseada y el centro resultante de la fuerza para reducir al mínimo la cantidad de par requerido para hacer girar los rotores 320, 330 en tanto  
15 proporcionen una fuerza para cerrar herméticamente los rotores 320, 330 contra los estatores 310, 340, respectivamente, para evitar la fuga sustancial de la válvula. Adicionalmente, aunque los elementos de posicionamiento 327, 361 se muestran como material elevado, los elementos de posicionamiento pueden ser, alternativamente, depresiones u otras formas que posicionan y sitúan los muelles 350 sobre la superficie trasera del  
20 rotor.

El estator de alimentación 310 y el rotor de alimentación 320 se configuran para acoplarse como se muestra en las Figuras 3 y 4. Cuando se acoplan, la superficie de acoplamiento del estator de alimentación 312 está en contacto giratorio y se cierra herméticamente con la superficie de acoplamiento del rotor de alimentación 321 por la fuerza de  
25 los muelles 350. El cierre hermético entre la superficie de acoplamiento del estator de alimentación 312 y la superficie de acoplamiento del rotor de alimentación 321 permite que la válvula 300 opere sustancialmente sin fugas entre el estator de alimentación 310 y el rotor de alimentación 320. La expresión sustancialmente sin fugas, que se utiliza en la presente y en toda esta descripción, pretende incluir una cantidad pequeña y operacionalmente aceptable de fugas. Por ejemplo, la fuga de menos de 1% del flujo puede ser aceptable para ciertas operaciones,  
30 mientras que la fuga de menos de 5% del flujo puede ser aceptable bajo diferentes condiciones operativas.

Como se puede observar en las Figuras 3 y 4, al girar el rotor de alimentación 320 alrededor del eje A, se puede proporcionar un gas de alimentación al orificio de alimentación 319 del estator de alimentación 310 y se distribuye a un orificio u orificios seleccionados 316 en el estator de alimentación 310 a través del orificio de alimentación central  
35 325 y el orificio de alimentación 324 del rotor de alimentación 320. La operación de la válvula completa en un ciclo de PSA ejemplar no tiene que explicarse adicionalmente en el presente documento, dado que la operación se proporciona en el documento US 2007/0028971 A1.

El rotor de producto 330 incluye una superficie de acoplamiento 331 y una superficie trasera 332. El rotor de producto 330 incluye además un orificio de proporción de purga 333, un orificio de recepción de purga 334, un orificio de compensación hacia arriba 335, un orificio de represurización de producto 336, un orificio de producto 337, y un orificio de compensación hacia abajo 338. El orificio de producto 337 se conecta por un paso interno (no  
40 mostrado) a una cavidad central (no mostrada) que se conecta a la salida de producto 339. Los diversos orificios (333, 334, 335, 336, 337, 338) se disponen sobre la superficie de acoplamiento 331 y se conectan por pasos internos (no mostrados) entre sí y/o a la salida de producto 339 como se divulga en el documento US 2007/0028971  
45 A1.

La superficie trasera 332 del rotor de producto 330 incluye anillas de transmisión 360 y localizadores de muelles 361. Las anillas de transmisión 360 del rotor de producto 330 se configuran para acoplarse con las anillas de transmisión del rotor de alimentación 326, como se muestra en las Figuras 3 y 4. El par se transfiere desde las anillas de  
50 transmisión 326 del rotor de alimentación 320 a las anillas de transmisión 360 del rotor de producto 330 para hacer girar el rotor de producto 330 alrededor del eje A. Otras geometrías de anillas de transmisión se pueden utilizar para acoplar el rotor de alimentación 320 al rotor de producto 330. La superficie trasera 332 incluye también un elemento anular 362 para recibir el saliente 328 del rotor de alimentación 320 cuando el rotor de alimentación 320 y el rotor de  
55 producto 330 se acoplan.

El estator de producto 340 incluye una superficie de acoplamiento 342 y una superficie trasera 344. El estator producto incluye además orificios de conexión 346 entre la superficie de acoplamiento 342 y la superficie trasera 344. Los orificios 346 se conectan a las líneas de productos (no mostradas), que se conectan a los extremos de producto de los lechos de adsorción (no mostrados) como se conoce en la técnica. El estator de producto 340  
60 incluye además una abertura central 348 configurada para recibir la salida de producto 339 del rotor de producto 330.

El estator de producto 340 y el rotor de producto 330 se configuran para acoplarse como se muestra en las Figuras 3 y 4. Cuando se acoplan, la superficie de acoplamiento del estator de producto 342 está en contacto giratorio y se cierra herméticamente contra la superficie de acoplamiento del rotor de producto 331 por la fuerza de los muelles

350. El cierre hermético entre la superficie de acoplamiento del estator de producto 342 y la superficie de acoplamiento del rotor de producto 331 permite que la válvula 300 opere sustancialmente sin fugas entre el estator producto 340 y el rotor de producto 330. Como se puede observar en las Figuras 3 y 4, a medida que el rotor de producto 330 gira, los diversos orificios del rotor de producto (333, 334, 335, 336, 337, 338) se alinean con los orificios del estator de producto 346 para recoger producto, purga, o presurizar los lechos de adsorción (no mostrados) como se describe en el documento US 2007/0028971 A1.

La válvula 300 se puede instalar en una carcasa adecuada (no mostrada) configurada para soportar, conectar y cerrar herméticamente la válvula 300 como sería apreciado por un experto en la materia. El rotor de alimentación 320 y el rotor de producto 330 se podrían adaptar para girar coaxialmente dentro de la carcasa (no mostrada) alrededor del eje A. Como alternativa, se puede formar una carcasa modificando el estator de alimentación 310 y/o el estator de producto 340 para formar la cámara de válvula, como sería apreciado de manera similar por una persona experta en la materia. Un eje de accionamiento (no mostrado) penetraría en la carcasa cerrada herméticamente y atravesaría axialmente a través del estator de alimentación 310 y transmitiría el par al rotor de alimentación 320, similar a la disposición divulgada en la Figura 1. El eje de accionamiento (no mostrado) se accionaría mediante un motor (no mostrado) para hacer girar el rotor de alimentación 320.

Las anillas de transmisión 326 del rotor de alimentación acoplan las anillas de transmisión 360 del rotor de producto para transmitir el movimiento giratorio del rotor de alimentación 310 al rotor de producto 320. Las anillas de transmisión 326 y las anillas de transmisión 360 mantienen también la alineación angular entre los rotores de manera que los orificios del estator de alimentación 316 están también cubiertos y descubiertos por el rotor de alimentación 320, los orificios del estator de producto 346 apropiados están también cubiertos o descubiertos por el rotor del estator 330, simultáneamente. La disposición particular de las anillas de transmisión 326 y de las anillas de transmisión 360 no es crítica, y otros métodos de alineación y de accionamiento coaxiales son posibles, tales como, por ejemplo, por pasadores y/o casquillos apropiados. El sistema de alineación y accionamiento se configura para transmitir el movimiento de giro de un rotor al otro, mantener la alineación angular entre las partes del rotor, y permitir que los rotores se muevan axialmente uno con respecto al otro de manera que permanezcan asentados contra sus respectivos estatores.

Una realización ejemplar de una válvula giratoria alternativa 500 que tiene un rotor 510 y una carcasa del estator 520 se muestra en la Figura 5. En esta realización, la válvula giratoria 500 se puede utilizar ya sea como una válvula giratoria de alimentación o producto. Los orificios (no mostrados) del rotor 510 y los orificios (no mostrados) de la carcasa del estator 520 se pueden configurar iguales o similar a los del rotor de alimentación y producto correspondientes y a los orificios del estator de la válvula giratoria 300 como se muestra en las Figuras 3 y 4 y como se ha descrito anteriormente cuando se utiliza en un proceso del sistema de PSA. Del mismo modo, los orificios se pueden configurar en las superficies de acoplamiento (no mostradas) del rotor 510 y en la carcasa del estator 520 igual o similares a las configuraciones en las superficies de acoplamiento de los rotores y estatores de la válvula giratoria 300, como se muestra en las Figuras 3 y 4.

La válvula giratoria incluye muelles de compresión 530 que se mantienen en su posición contra el rotor 510 por una corredera de empuje 540. La corredera de empuje 540 se une a un eje 550 por pasadores 560. Como alternativamente, los pasadores 560 se pueden utilizar para adjuntar la corredera de empuje 540 al rotor 510. Un cojinete de empuje 570 se utiliza entre la corredera de empuje y la carcasa del estator 520 para permitir que la corredera de empuje 540 gire alrededor del eje B cuando se hace girar el eje 550. El cojinete de empuje 570 lleva la fuerza de compresión de los muelles 530, en tanto permite que la corredera de empuje 540 gire con una cantidad mínima de fricción.

Los muelles 530 proporcionan una fuerza de compresión que mantiene el contacto entre el rotor 510 y la carcasa del estator 520 en la interfaz 515. El rotor 510 está en contacto giratorio con y se cierra herméticamente contra la carcasa del estator 520 en una interfaz 515. Se debe seleccionar una fuerza de compresión que sea suficiente para evitar la fuga sustancial desde los orificios del rotor y del estator (no mostrados) en la interfaz 515 cuando se acciona la válvula 500. Los muelles 530 se posicionan en los elementos de posicionamiento (no mostrados) similares a los de la válvula giratoria 300, descrita anteriormente. En esta realización, dos muelles 530 que tienen una fuerza de compresión desigual se muestran dispuestos entre el rotor 510 y la corredera de empuje 540.

Un método ilustrativo de determinar la magnitud y la posición de la fuerza de compresión resultante para reducir al mínimo el par necesario para hacer girar el rotor se proporciona a continuación. El par necesario para girar un rotor cuando la fuerza de compresión se encuentra en el eje central del rotor viene dado por la Ecuación 1:

$$Par = \frac{2}{3} \mu FR, \text{ donde} \quad (1)$$

$\mu$  = coeficiente de fricción  
 $F$  = fuerza de contacto entre el rotor y el estator ( $F_3$  de la Figura 2)  
 $R$  = radio del rotor

Por otra parte, se puede demostrar que si la fuerza de contacto entre el rotor y el estator se encuentra en el borde del rotor, el par necesario para hacer girar el rotor será  $\mu FR$ .

5 Para simplificar la determinación, se puede suponer que el par requerido para hacer girar el rotor es una función lineal del radio de la posición de la fuerza de contacto entre el rotor y el estator. Con esta suposición, el par necesario para hacer girar el rotor viene dado por la ecuación 2:

$$Par = \mu F \left( \frac{2R}{3} + \frac{r}{3} \right) \text{-----} (2)$$

10  $r$  = radio de la fuerza de reacción de contacto

A partir de estos cálculos, es evidente que para minimizar el par requerido para hacer girar el rotor, la fuerza de reacción debe estar situada en el centro del rotor. Sin embargo, debido a que la fuerza de presión resultante sobre el rotor no se encuentra en el centro del rotor debido a la posición de los distintos orificios de alta y baja presión en el rotor, la fuerza de reacción de contacto tampoco se encontrará en el centro.

Por lo tanto, para determinar la magnitud y la posición de una fuerza de compresión que minimice el par, en tanto evita fugas en un proceso cíclico seleccionado que tiene una fuerza de presión resultante conocida, se utiliza la siguiente metodología:

20 (a) proporcionar una válvula giratoria que comprende uno o más rotores que tienen uno o más elementos de posicionamiento de muelles;

25 (b) determinar la fuerza de presión resultante que tiene una magnitud y posición que actúan sobre el uno o más rotores para el proceso de absorción por oscilación de presión seleccionado;

(c) seleccionar una fuerza de compresión que tiene una magnitud suficiente para cerrar herméticamente el uno o más rotores contra fugas durante el proceso de absorción por oscilación de presión;

30 (d) seleccionar una posición para el centro de la fuerza de compresión sobre uno o más rotores;

(e) calcular la fuerza de contacto resultante y la posición de la fuerza de compresión seleccionada y la fuerza de presión resultante;

35 (f) calcular el par requerido para hacer girar cada rotor del uno o más rotores utilizando la ecuación 2;

(g) sumar el par requerido para girar cada rotor del uno o más rotores juntos para determinar un par total;

40 (h) repetir las etapas (d) a (g) para encontrar la posición para el centro de la fuerza de compresión que da como resultado el par total más bajo requerido para hacer girar el rotor o rotores;

45 (i) situar uno o más muelles en los elementos de posicionamiento de muelles de tal manera que la fuerza de compresión total sea igual a la fuerza de compresión seleccionada en (c) y la posición del centro de la fuerza de compresión se encuentre como se ha seleccionado en (h);

(j) si la fuerza de compresión es insuficiente para cerrar herméticamente el uno o más rotores contra fugas durante el proceso de absorción por oscilación de presión, volver a (c) y aumentar gradualmente la fuerza de compresión seleccionada hasta que la válvula opere sin fugas sustanciales.

50 Un ejemplo para calcular la posición del muelle que da como resultado el par mínimo en una válvula giratoria ejemplar de rotor/estator dual que opera bajo condiciones de proceso de PSA nominales se proporcionará a continuación. Las presiones de las distintas ranuras fueron seleccionadas a una presión operativa típica durante el proceso de PSA.

55 La Figura 6 muestra un rotor de alimentación ejemplar 600 que tiene una ranura de alimentación 610 y una ranura de evacuación/purga 620 en una superficie 630. El rotor 600 tiene un radio R. Por ejemplo, el radio R puede ser de aproximadamente 25,4 mm (1 pulgada). El rotor de alimentación 600 tiene un eje central C alrededor del que giraría el rotor de alimentación 600 cuando se hace girar durante las operaciones de proceso. El eje central C se alinea con el eje central de la válvula A (Figuras 3, 4). En el proceso de PSA, la ranura de alimentación 610 funciona a una alta presión media de 48 kPa (7 psig), y la ranura de evacuación/purga 620 funciona a una baja presión media de -48 kPa (-7 psig). La presión en la ranura de alimentación 610, la presión en la ranura de evacuación/purga 620, y la presión sobre las otras superficies del rotor dan como resultado una fuerza de presión de aproximadamente 30,3 N (6,8 libras) que actúa para separar el rotor de alimentación 600 del estator (no mostrado). Esta fuerza actúa en la

posición  $F_{P1}$ , como se indica en la Figura 6, desplazada del eje central A por una distancia  $d$  de aproximadamente 12,7 mm (0,5 pulgadas).

5 La Figura 7 muestra un rotor de producto 700 ejemplar que tiene un orificio de proporción de purga 733, un orificio de recepción de purga 734, un orificio de compensación hacia arriba 735, un orificio de represurización del producto 736, un orificio de producto 737, y un orificio de compensación hacia abajo 738, y un agujero central 739 para acomodar el cojinete del rotor y la salida de producto. Las presiones en las ranuras (733, 734, 735, 736, 737, 738, 739 y en otras superficies del rotor dan como resultado una fuerza de presión de aproximadamente 41, 4 N (9,3 libras) que actúan para separar el rotor de producto 700 del estator producto (no mostrado). Esta fuerza actúa sobre el rotor de producto 700 en la  $F_{P2}$  desplazada del eje central C por una distancia de aproximadamente 7,6 mm (0,3 pulgadas) como se indica en la Figura 7. La ranura de producto 737 y el agujero central 739 tienen la presión operativa media más alta, aproximadamente 48 kPa (7 psig) seguida por presiones cada vez menores en el orificio de represurización del producto 736, orificio de compensación hacia abajo 738, orificio de compensación hacia arriba 735, orificio de proporción de purga 733, y en el orificio de recepción de purga 734. El rotor de producto 700 tiene un eje central C alrededor del que gira el rotor de producto cuando se hace girar durante las operaciones de proceso. El eje central C se alinea con el eje central de la válvula A (Figuras 3, 4).

20 Los resultados de determinar el par requerido para hacer girar el rotor de alimentación 600 (Figura 6) y el rotor de producto 700 (Figura 7) para diferentes fuerzas de compresión y una amplia gama de radios del centro de la fuerza de compresión (COF) se muestran en la Figura 8. El eje horizontal es el radio o excentricidad en la que se aplica la fuerza de compresión. El eje vertical es el par requerido para hacer girar ambos rotores. Cada curva representa una fuerza de compresión diferente como se indica.

25 La determinación de la fuerza de compresión requerida se realiza determinando primero la fuerza de presión que actúa sobre los rotores. La determinación de la fuerza de presión es difícil por diversas razones. En primer lugar, las presiones de proceso en los orificios del rotor están cambiando continuamente como resultado de las presiones cambiantes en los lechos de adsorción y los cambios en las posiciones del rotor. En segundo lugar, otras fluctuaciones pueden ocurrir en las presiones de orificio del rotor cuando se utilizan bombas de movimiento alternativo para proporcionar gas de alimentación y vacío en el sistema, lo que puede causar pulsaciones de presión en algunos de los orificios. En tercer lugar, la distribución de la presión en la cara de los rotores en posiciones sin orificios es una estimación que depende del patrón de contacto entre las caras del rotor y del estator, ninguna de las que son perfectamente plana. Esta falta de planitud puede permitir que escape un poco de presión en la cara del rotor y cambiar el área sobre la que la presión ejerce su fuerza. Debido a estas razones, es difícil determinar qué fuerza de compresión será en realidad necesaria durante la operación. Idealmente, la fuerza de compresión tendría solamente que ser infinitesimalmente mayor que la suma de las fuerzas de presión y de contacto para mantener los rotores y estatores en contacto. En la actualidad, se selecciona una fuerza de compresión que es ligeramente mayor por unos pocos newtons que la suma de la fuerza de presión y la fuerza de contacto y se observa si ocurren fugas en la válvula. Si se presentan fugas en la válvula más allá de una cantidad aceptable para la aplicación, la fuerza de compresión se incrementa gradualmente hasta que se elimina una fuga sustancial. Por lo tanto, mediante el uso de la Figura 8, a medida que aumenta la fuerza de compresión, se ajusta la posición de la fuerza de compresión resultante para mantener el par mínimo requerido para hacer girar el rotor.

45 Los puntos de extremo de cada curva en la Figura 8 representan el punto en el que se produce la fuerza de reacción en el borde de uno de los rotores. Más allá de estos puntos de extremo, no es posible mantener el equilibrio estático de los rotores debido a que la fuerza de presión comenzará a separar uno de los pares de rotor/estator. La Figura 8 muestra que para una fuerza de compresión dada, existe una posición radial óptima en la que aplicar la fuerza de compresión para reducir al mínimo el par necesario para hacer girar los rotores. La posición radial para el par mínimo no es una constante, sino que varía con la fuerza de compresión aplicada. Como se muestra en la Figura 8, el radio óptimo en el que posicionar la fuerza de compresión disminuye con el aumento de la fuerza de compresión. Para el método de selección de compresión descrito anteriormente, se intenta aumentar las fuerzas de compresión hasta que se haya eliminado la fuga de la válvula, y la posición óptima del centro de la fuerza de compresión para una fuerza de compresión particular se encuentra en la Figura 8.

55 Los muelles de fuerza diferente se pueden seleccionar para lograr una fuerza de compresión y posición totales predeterminadas. Por ejemplo, los rotores pueden tener localizadores de posición de muelles situados en diversas posiciones que permitan la colocación de un centro de la fuerza de compresión en base a una solicitud posterior determinado.

60 Una realización general de la invención incluye una válvula giratoria que tiene conexiones de aire de alimentación presurizado, de residuos de vacío o de escape, y una salida de producto, así como orificios para conectarse a los extremos de alimentación y de producto de múltiples lechos de adsorción. La válvula se puede utilizar en cualquier proceso para dirigir fluidos desde una o más fuentes de proceso hasta uno o más destinos de proceso en etapas de proceso cíclicas repetibles.

65 Aunque la invención se ha descrito con referencia a una realización preferida, se entenderá por los expertos en la materia que se pueden realizar diversos cambios y los equivalentes pueden ser sustituidos por elementos de la

5 misma sin apartarse del alcance de la invención. Además, se pueden hacer muchas modificaciones para adaptar una situación particular a las enseñanzas de la invención sin apartarse del alcance esencial de la misma. Por lo tanto, se pretende que la invención no esté limitada a la realización particular divulgada como el mejor modo contemplado para realizar la presente invención, sino que la invención incluirá todas las realizaciones que caen dentro del alcance de las reivindicaciones adjuntas.

**REIVINDICACIONES**

1. Un sistema de adsorción por oscilación de presión que comprende:

5 una pluralidad de lechos de adsorción; y  
 una válvula giratoria (300; 500) que tiene uno o más rotores (320; 330; 510) configurada para rotar sobre un eje (A; B) de rotación, conectada la válvula giratoria (300; 500) a la pluralidad de lechos de adsorción y configurada para dirigir flujos a la pluralidad de lechos de adsorción durante el proceso de adsorción por oscilación de presión;

10 **caracterizado por que** la válvula giratoria (300; 500) comprende:

al menos dos muelles de compresión (350; 530) que tienen una fuerza de compresión ( $F_1$ ) con un centro de fuerza configurado para aplicar la fuerza de compresión ( $F_1$ ) al uno o más rotores (320, 330; 510), donde el centro de fuerza de la fuerza de compresión ( $F_1$ ) está situado a una distancia predeterminada mayor que cero desde el eje (A; B) de rotación, de modo que la cantidad de par requerida para girar el uno o más rotores (320, 330; 510) se minimiza.

2. El sistema de adsorción por oscilación de presión de la reivindicación 1, comprendiendo además la válvula giratoria:

20 un estator de alimentación (310) que comprende:

una superficie de acoplamiento del estator de alimentación (312);  
 una superficie trasera del estator de alimentación (314); y  
 25 una pluralidad de orificios (316) del estator de alimentación que conectan la superficie de acoplamiento del estator de alimentación (312) y la superficie trasera del estator de alimentación (314);

comprendiendo el uno o más rotores (320, 330):

30 un rotor de alimentación (320) acoplado a un rotor de producto (330);  
 donde el rotor de alimentación (321) comprende una superficie de acoplamiento del rotor de alimentación (312), una superficie trasera del rotor de alimentación (322), y una pluralidad de orificios (323, 324) del rotor de alimentación dispuestos en la superficie de acoplamiento del rotor de alimentación (312) para dirigir el flujo de fluido entre la pluralidad de orificios (316) del estator, configurado el rotor de alimentación (320) para girar alrededor de un eje (A) de rotación perpendicular a la superficie del rotor de alimentación (312; 322); y  
 35 donde el rotor de producto (330) comprende una superficie de acoplamiento del rotor de producto (331), una superficie trasera del rotor de producto (332), una salida de producto (339), y una pluralidad de orificios del rotor de producto (333, 334, 335, 336, 337, 338) dispuesta en la superficie de acoplamiento (331) para dirigir el flujo de fluido entre la pluralidad de orificios del estator de producto (346), configurado el rotor de producto (330) para rotar sobre un eje (A) de rotación perpendicular a la cara del rotor de producto (331, 332);

un estator de producto (340) que comprende:

45 una cara de acoplamiento del estator producto (342), una cara trasera del estator producto (344), y una pluralidad de orificios (346) de conexión entre la cara de acoplamiento del estator de producto (342) y la cara trasera del estator producto (344) en contacto giratorio con el rotor de producto (330); y

donde el al menos un muelle de compresión (350) está dispuesto entre el rotor de alimentación (320) y el rotor de producto (330).

50 3. El sistema de adsorción por oscilación de presión de la reivindicación 1, donde la válvula giratoria (500) comprende una carcasa del estator (520) que tiene orificios;

un rotor (510) que comprende orificios y una superficie trasera, el rotor (510) en contacto giratorio con la carcasa del estator (520) en una interfaz (515) sobre un eje (B) central de rotación;

55 un cojinete de empuje (570) en contacto con la carcasa del estator (520);  
 una corredera de empuje (540) en contacto con el cojinete de empuje (570); y  
 al menos un muelle de compresión (530) dispuesto entre la superficie trasera del rotor y la corredera de empuje (540).

60 4. El sistema de adsorción por oscilación de presión de la reivindicación 2, que comprende además al menos un elemento de posicionamiento de muelles (327) situado en la cara trasera del rotor de alimentación (322) opuesto a al menos un elemento de posicionamiento de muelles (361) situado sobre la cara trasera del rotor de producto (332), configurados los elementos de posicionamiento de muelles para asegurar los muelles de compresión (350) entre el rotor de alimentación (320) y el rotor de producto (330) en una posición fija.

65 5. El sistema de adsorción por oscilación de presión de la reivindicación 3, que comprende además una pluralidad

de elementos de posicionamiento de muelles situada sobre la cara trasera del rotor alineada con una pluralidad de elementos de posicionamiento de muelles situada sobre la corredera de empuje (540) configurada para asegurar los muelles de compresión (530) entre el rotor (510) y la corredera de empuje (540).

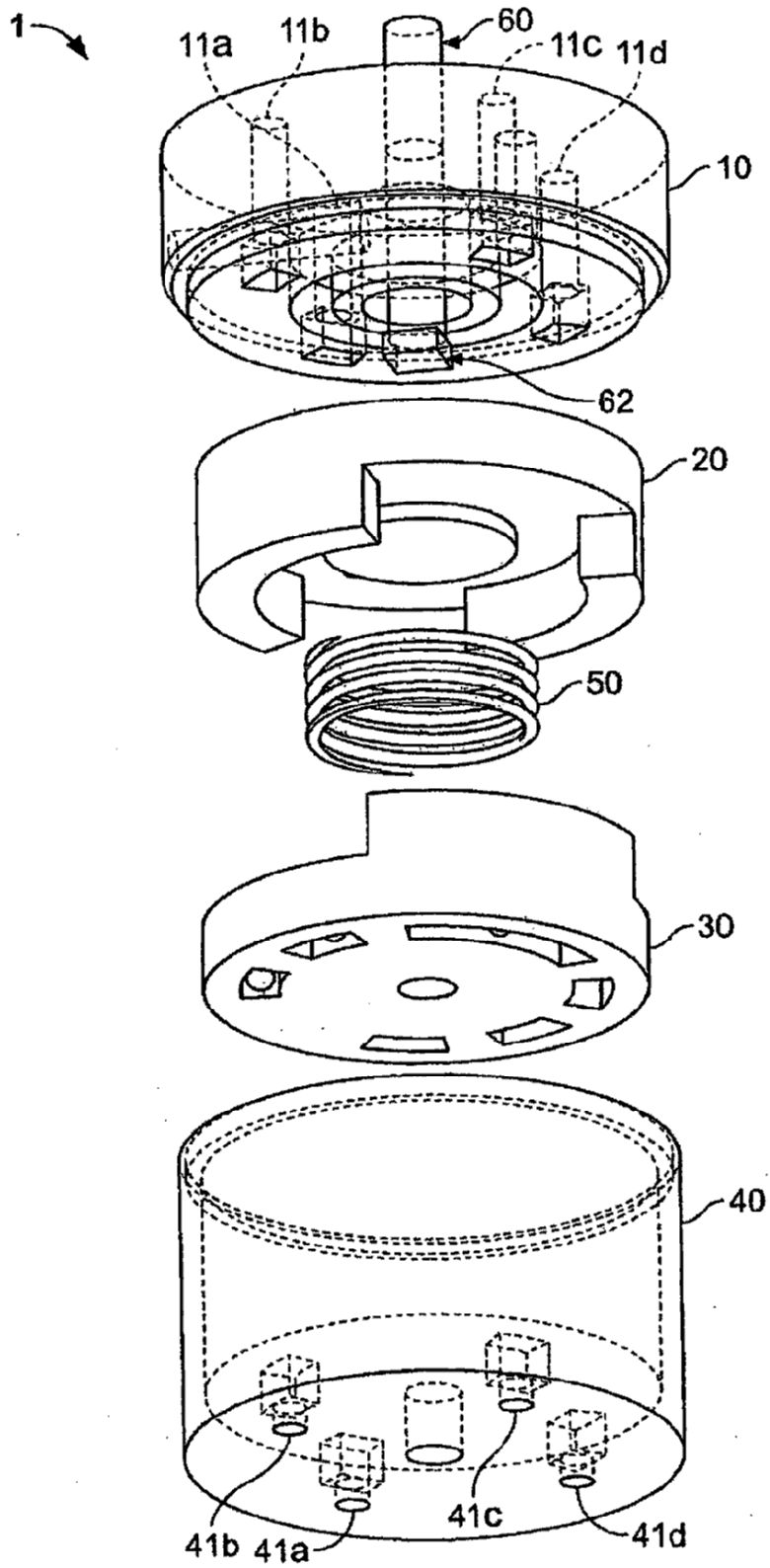


FIG. 1

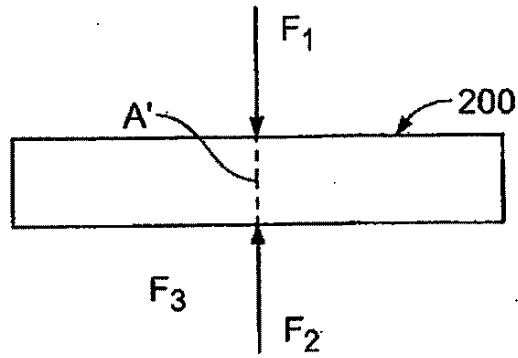


FIG. 2A

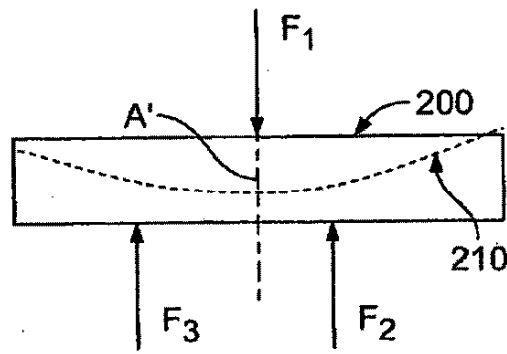


FIG. 2B

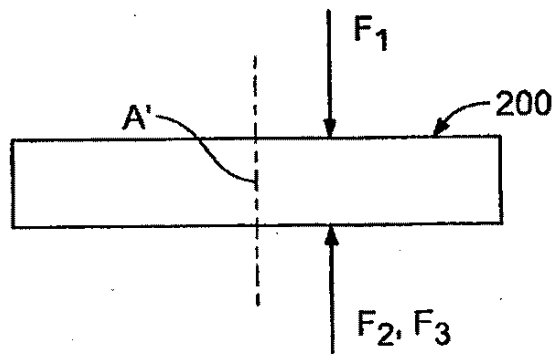


FIG. 2C

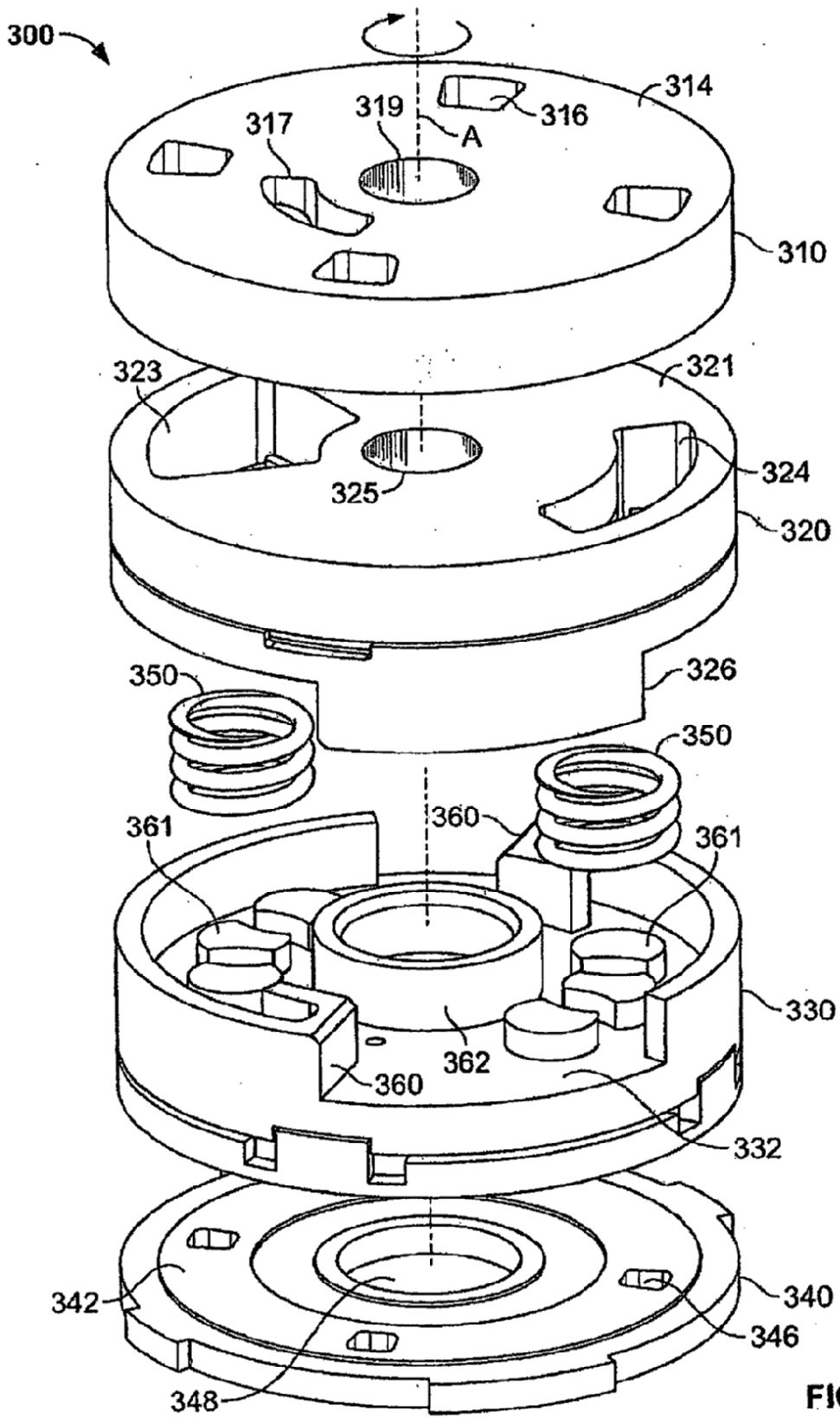


FIG. 3

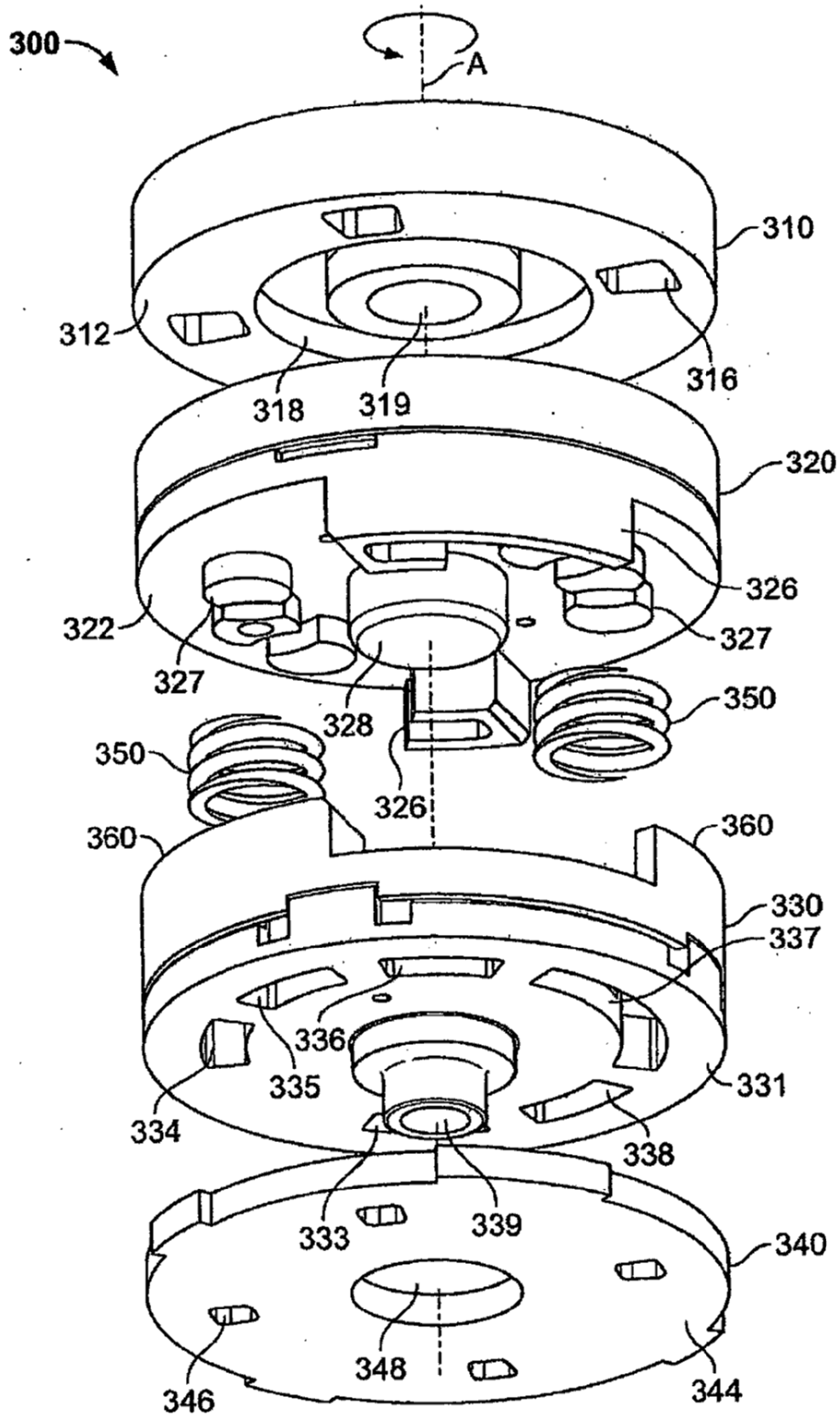


FIG. 4

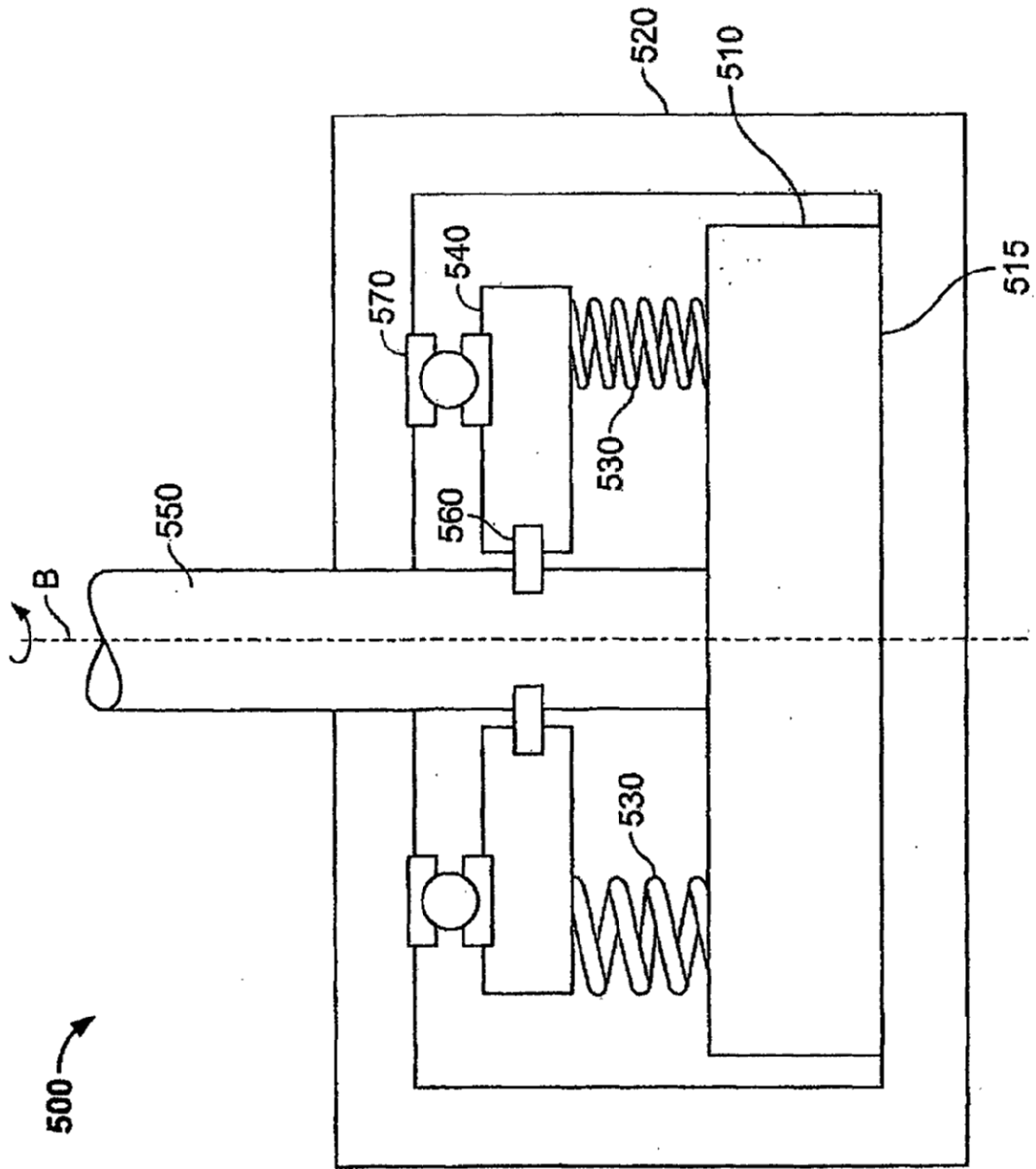


FIG. 5

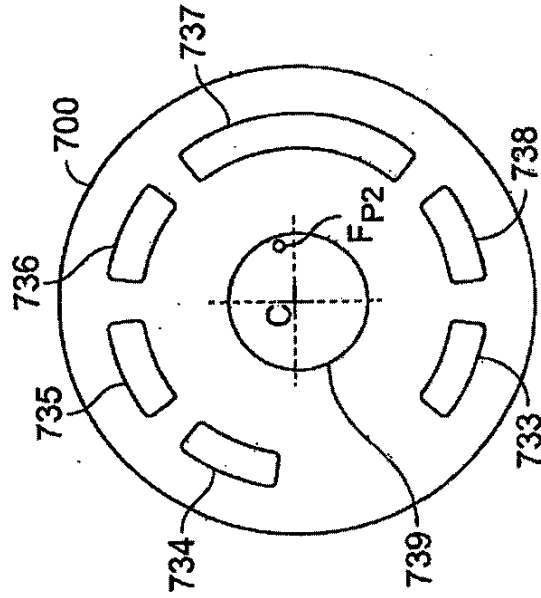


FIG. 7

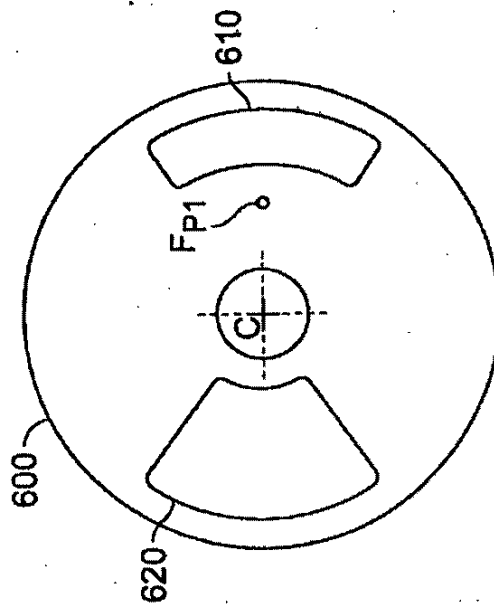


FIG. 6

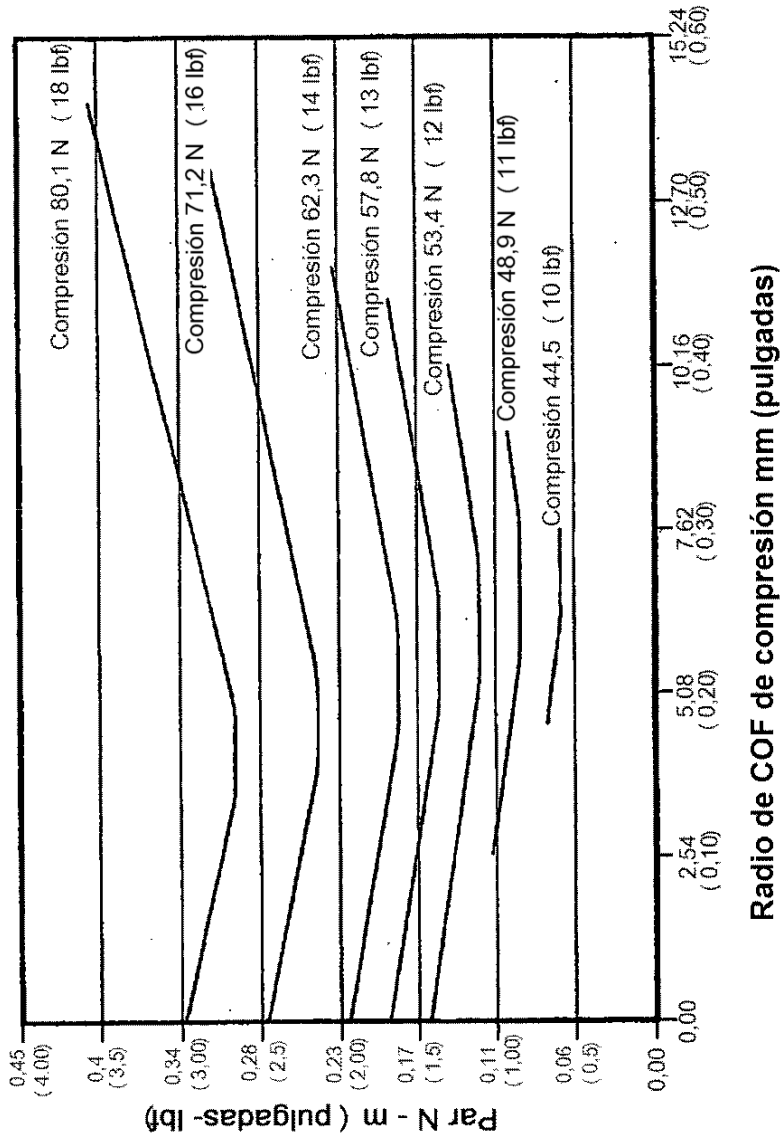


FIG. 8