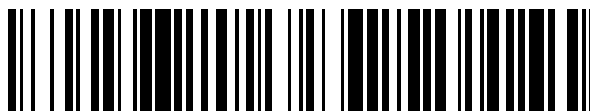


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 670 694**

51 Int. Cl.:

F04B 19/00 (2006.01)

F04B 43/04 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **10.07.2013 PCT/GB2013/051830**

87 Fecha y número de publicación internacional: **30.01.2014 WO14016562**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **10.07.2013 E 13739259 (3)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **18.04.2018 EP 2885538**

54 Título: **Microbombas**

30 Prioridad:
26.07.2012 GB 201213346

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
31.05.2018

73 Titular/es:
**ATOMJET LIMITED (100.0%)
Pioneer House Vision Park Histon
Cambridge Cambridgeshire CB24 9NL, GB**

72 Inventor/es:
HARVEY, ROBERT ALAN

74 Agente/Representante:
SALVA FERRER, Joan

ES 2 670 694 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

Microbombas

5 Campo de la invención

[0001] La presente invención se refiere a microbombas que pueden suministrar caudales sustancialmente constantes de fluidos, incluidos líquidos y gases, pero tienen partes móviles mínimas. Las realizaciones concretas se refieren a microbombas con niveles relativamente altos de flujo de volumen en comparación con sus volúmenes
10 internos, bajos niveles de fluctuación de presión y altas tasas de cambio de los caudales en respuesta a los niveles cambiantes de demanda desde la carga. Algunas realizaciones pueden suministrar altas presiones diferenciales a caudales inferiores.

Antecedentes de la invención

15

[0002] Las bombas para transportar fluidos de un punto a otro frente a una contrapresión son bien conocidas, con algunos diseños que se remontan a cientos o incluso miles de años. El corazón animal, con sus cámaras de bombeo de volumen variable sensibles y accionadas por músculos y válvulas antirretorno integrales, representa un hermoso ejemplo de una bomba creada por la naturaleza.

20

[0003] En los últimos años ha existido un interés creciente en el desarrollo de las llamadas microbombas para el bombeo de fluidos. En general, esta clase de bomba es físicamente compacta, con dimensiones comprendidas entre unos milímetros y decenas de milímetros, y que tiene la capacidad de bombear fluidos a caudales de volumen comprendidos desde fracciones de un mililitro hasta varios mililitros por minuto. El interés se ha visto estimulado, en
25 primer lugar, por la disponibilidad de técnicas de micromecanizado relativamente económicas que hacen viables dichos dispositivos, tanto desde el punto de vista técnico como comercial, y en segundo lugar por la comprensión de que mediante dichos dispositivos podrían resolverse muchas necesidades útiles.

[0004] Entre estas necesidades se encuentran las de aplicaciones médicas que incluyen máquinas de diálisis portátiles y suministro de fármacos intravenosos, por ejemplo de insulina. En el campo en desarrollo de la microfluídica, los dispositivos denominados *lab-on-a-chip* aprovechan las características de flujo laminar de los canales para líquidos de pequeña sección transversal para realizar diversas reacciones químicas, mezclado controlado y análisis de líquidos, usando volúmenes muy pequeños de líquidos. Estos dispositivos están encontrando números crecientes de aplicaciones en la investigación biomédica. Muchos de estos dispositivos se
35 beneficiarían de la disponibilidad de una microbomba adecuada y compatible, ya sea como un componente autónomo o integrado.

[0005] En el campo de la ingeniería, las necesidades incluyen la refrigeración por líquido o aire de microprocesadores y otros dispositivos electrónicos de alta densidad de potencia, y también el suministro de tinta a y
40 alrededor de los suministros de tinta de las impresoras de inyección de tinta.

[0006] El bombeo de aire y de gases es un campo extenso. Muchas aplicaciones requieren la presurización, evacuación o recirculación de los volúmenes. Algunas aplicaciones requieren simplemente que el aire o el gas se muevan más allá de una superficie, por ejemplo en la refrigeración o el secado de un objeto.

45

[0007] Existen muchas formas de clasificar las bombas y microbombas. Las bombas de desplazamiento macroscópico tienen velocidades de respuesta lentas, debido a la inercia de los motores y vástagos que accionan el pistón o el diafragma. En aplicaciones en las que la demanda puede fluctuar rápidamente, o en las que la demanda es para niveles muy bajos de fluctuación de presión, por ejemplo en suministros de tinta para inyección de tinta, esto
50 conduce a la necesidad de un aparato adicional para controlar la presión. El aparato adicional puede implicar el uso de elementos de contención, acumuladores o amortiguadores de presión, que añaden complejidad y costes y reducen la funcionalidad y fiabilidad del sistema. Además, los volúmenes de barrido y cebado de dichas bombas son bastante grandes, de manera que para aplicaciones en las que está disponible o asequible sólo un pequeño volumen de fluido, dichas bombas son bastante inadecuadas.

55

[0008] Las aplicaciones que requieren el movimiento de volúmenes de gases frente a contrapresiones moderadas están dominadas por ventiladores rotatorios, de diseño axial o centrífugo. Las aplicaciones que requieren volúmenes menores que deben bombearse frente a contrapresiones más elevadas, para cargar vasos de presión a algunas atmósferas de presión, están dominadas por bombas de pistón y diafragma. Lo mismo sucede en las

aplicaciones para evacuar vasos de presión a vacíos moderados. Las bombas de pistón y diafragma producen ruido acústico y pulsos de presión en la corriente de aire. Todas estas bombas son lentas para el arranque y el apagado.

5 **[0009]** Las fluctuaciones de presión o caudal producidas por una bomba como consecuencia de la acción recíproca de diafragmas o pistones pueden ser problemáticas para algunas de las posibles aplicaciones para las cuales serían adecuadas en otros casos. Por ejemplo, en el caso de sistemas de suministro de tinta para inyección de tinta, las fluctuaciones de presión de la bomba que aparecen en las boquillas en el cabezal de impresión provocan variaciones no deseadas en la masa de las gotas eyectadas y en la densidad óptica de los patrones así formados. Muchas aplicaciones se beneficiarían de velocidades de respuesta más rápidas que están disponibles a 10 partir de bombas basadas en pistón o diafragma accionadas por motor convencionales. Por ejemplo, la pulverización de pintura requiere presiones constantes cuando se pulveriza, pero el uso es intermitente, con lo que requiere el uso de bombas y reservorios neumáticos pesados y voluminosos.

15 **[0010]** Las microbombas se han construido principalmente en torno a diafragmas recíprocos, con válvulas basadas en aletas flexibles o en geometrías fijas como dispositivos de boquilla-difusor. Dichas microbombas son capaces en general de caudales muy limitados, de hasta 16 mililitros por minuto aproximadamente. Dichos caudales suelen ser demasiado bajos para tener utilidad en algunas de las aplicaciones pretendidas, por ejemplo en muchos suministros de tinta para inyección de tinta.

20 **[0011]** Otro requisito para las microbombas es una alta eficiencia energética. Esto es importante para aplicaciones móviles, en particular aquellas en las que la energía es suministrada por baterías, con el fin de minimizar el consumo eléctrico y elevar al máximo el tiempo durante el cual el dispositivo puede funcionar con la batería.

25 **[0012]** El agarrotamiento de partes móviles es otro posible problema. Algunas de las aplicaciones pretendidas usan fluidos que pueden hacer que las partes móviles se agarroten si se apaga el sistema durante cualquier duración de tiempo. Algunos ejemplos serían el bombeo de sangre, insulina o tinta. Las bombas que presentan accionadores con superficies deslizantes, por ejemplo entre cilindros y pistones, y válvulas que presentan superficies de contacto, como válvulas de mariposa o de lengüeta, pueden sufrir problemas de fiabilidad debido al 30 apelmazamiento en estos subsistemas. Además, estas mismas superficies deslizantes y móviles pueden dañar el fluido que se bombea. En el caso de fluidos biológicos, un ejemplo sería el desgarramiento de las membranas celulares debido a presión o tasas de cizalla excesivamente altas. En el caso de tintas para inyección, se sabe que las altas tasas de cizalla conducen a la eliminación de las químicas de tensioactivos de las superficies de las partículas de pigmento, lo que produce aglomeración y precipitación de las partículas de pigmento. En las bombas de aire, el 35 polvo transportado por el aire puede impedir que las válvulas antirretorno de la bomba se asienten de forma adecuada y con ello puede degradar la eficiencia de la bomba.

[0013] El documento US 2002/029814 describe una estructura elastomérica, que comprende: una primera capa elastomérica sobre un primer molde micromecanizado, teniendo el primer molde micromecanizado un primer saliente elevado que forma un primer rebaje que se extiende a lo largo de una superficie inferior de la primera capa elastomérica; una segunda capa elastomérica sobre un segundo molde micromecanizado, teniendo el segundo 40 molde micromecanizado un segundo saliente elevado que forma un segundo rebaje que se extiende a lo largo de una superficie inferior de la segunda capa elastomérica; estando la superficie inferior de la segunda capa elastomérica unida en una superficie superior de la primera capa elastomérica de manera que se forma un canal de control en el segundo entre las capas elastoméricas primera y segunda. 45

[0014] Por tanto sería deseable producir una bomba que fuera físicamente compacta y produjera un flujo de fluido que respondiera a las demandas del sistema en términos de caudal y además no introdujera los pulsos de presión cíclica que suelen asociarse con bombas de desplazamiento positivo. 50

Breve resumen de la invención

[0015] La invención proporciona una microbomba, que comprende las características de la reivindicación 1.

55 **[0016]** Preferentemente, los elementos de accionamiento están configurados para un funcionamiento en uno cualquiera o más entre principios de transducción piezoeléctricos, térmicos, electrostáticos o electromagnéticos. Las estructuras de rectificación tales como una pluralidad de micromezcladores topológicos que separan, giran y recombinan el fluido pueden disponerse en serie en el conducto valvular. Por ejemplo, la estructura de rectificación puede comprender una estructura Tesla, una estructura de difusor con boquilla o una estructura de diodo de vórtex.

[0017] Los conductos valvulares pueden estar hechos de uno cualquiera o más entre silicio, metal, cerámica o un material plástico polimérico.

5 **[0018]** En una realización, el controlador acciona los elementos de accionamiento según una sincronización relativa mutuamente escalonada, y preferentemente acciona los elementos de accionamiento para un funcionamiento sustancialmente a la misma frecuencia, pero desfasado entre sí. Preferentemente, el controlador puede accionar los elementos de accionamiento en dos o más fases, para moverlos de manera que las velocidades medias de las paredes o diafragmas de accionamiento, y por tanto las tasas de desplazamiento volumétrico dentro
10 de los elementos de accionamiento de las dos o más fases se suman en un valor total constante en cualquier punto dado en el tiempo a lo largo de uno o más ciclos de funcionamiento.

[0019] En una realización, los elementos de accionamiento tienen una respuesta de frecuencia relativamente alta, y pueden tener una frecuencia resonante natural que es de cinco a diez veces superior a la frecuencia a la que
15 el controlador acciona el elemento de accionamiento.

[0020] El elemento de accionamiento puede comprender un generador de burbujas para crear una burbuja en el fluido mediante un calentador, originando el crecimiento de la burbuja la propulsión del fluido. Alternativamente, el elemento de accionamiento puede comprender un diafragma de transductor piezoeléctrico (TPZ), o el elemento de
20 accionamiento puede comprender un diafragma activado por fuerzas electrostáticas o por fuerzas electromagnéticas.

[0021] La microbomba está formada preferentemente en un sistema microelectromecánico (MEMS). En una realización, la microbomba puede comprender además al menos una válvula antirretorno mecánica colocada entre el
25 canal de entrada común y las entradas de uno o más de los diodos fluidicos, permitiendo la válvula antirretorno mecánica el flujo en el canal microfluídico respectivo, pero impidiendo flujos inversos, y/o al menos una válvula antirretorno mecánica colocada entre el canal de salida común y las salidas de uno o más de los diodos fluidicos, permitiendo la válvula antirretorno mecánica el flujo desde el canal microfluídico respectivo, pero impidiendo flujos
30 inversos.

[0022] En una realización, la microbomba puede comprender una pluralidad de válvulas antirretorno colocadas en el canal de entrada común y en el canal de salida común entre una o más de las entradas de los órganos de bombeo de manera que se subdivide la pluralidad de órganos de bombeo en una serie de bloques funcionales, por ejemplo, una configuración de bloques funcionales, en la que los bloques funcionales de la
35 configuración tienen un número creciente de órganos de bombeo dentro de cada bloque funcional que aumenta como una serie binaria: 1; 2; 4; 8; 16; 32, etc.

Breve descripción de los dibujos

40 **[0023]** A continuación se describirán en mayor detalle varias realizaciones de la invención, a modo sólo de ejemplo, con referencia a los dibujos adjuntos, en los que:

la Figura 1 muestra un diagrama esquemático de una bomba de una sola cámara conocida;
la Figura 2 muestra los caudales de entrada y salida para la bomba de la Figura 1;
45 la Figura 3 muestra la presión estática en un sistema bombeado por la bomba de la Figura 1;
la Figura 4 muestra un diagrama esquemático de una bomba de dos cámaras conocida;
las Figuras 5A-C muestra los caudales de entrada, salida y total para la bomba de la Figura 4 con accionamiento sinusoidal;
la Figura 6 muestra la presión estática en un sistema bombeado por la bomba de la Figura 4 con accionamiento
50 sinusoidal;
la Figura 7 muestra un diagrama esquemático de una bomba de dos cámaras según una realización de la presente invención;
la Figura 8A-C muestra los caudales de entrada, salida y total para la bomba de la Figura 7 con accionamiento triangular;
55 la Figura 9 muestra la presión estática en un sistema bombeado por la bomba de la Figura 7 con accionamiento triangular;
la Figura 10 muestra un diagrama esquemático de una bomba multicámara según una segunda realización de la presente invención que tiene cámaras que funcionan en paralelo;
la Figura 11 muestra un diagrama esquemático de una bomba multicámara según una realización adicional de la

presente invención que tiene cámaras que funcionan en serie;

las Figuras 12A-D muestran una parte de una configuración de canal de la bomba multicámara de la Figura 10 que funciona con un accionamiento bifásico con las paredes de los canales en las posiciones de fase cero, un cuarto, la mitad y tres cuartos;

5 las Figuras 13A-B muestran las tensiones y volúmenes de los canales para la bomba multicámara de la Figura 10 que funciona con un accionamiento bifásico con accionamiento sinusoidal;

las Figuras 14A-B muestran las tensiones y volúmenes de los canales para la bomba multicámara de la Figura 10 que funciona con un accionamiento bifásico con accionamiento triangular;

10 las Figuras 15A-D muestran una parte de una configuración de canal de la bomba multicámara de la Figura 10 que funciona con un accionamiento trifásico con las paredes de los canales en las posiciones de fase cero, un cuarto, la mitad y tres cuartos;

las Figuras 16A-C muestran las tensiones y volúmenes de los canales para la bomba multicámara de la Figura 10 que funciona con un accionamiento trifásico con accionamiento sinusoidal;

15 las Figuras 17A-C muestran los caudales de entrada, salida y total para la multicámara de la Figura 10 que funciona con un accionamiento trifásico con accionamiento sinusoidal;

las Figuras 18A-C muestran las tensiones y volúmenes de los canales para la bomba multicámara de la Figura 10 que funciona con un accionamiento trifásico con accionamiento triangular;

las Figuras 19A-C muestran los caudales de entrada, salida y total para la bomba multicámara de la Figura 10 que funciona con un accionamiento trifásico con accionamiento triangular;

20 las Figuras 20A-C muestran las tensiones y volúmenes de los canales para la bomba multicámara de la Figura 10 que funciona con un accionamiento trifásico con accionamiento trapezoidal;

las Figuras 21A-C muestran los caudales de entrada, salida y total para la bomba multicámara de la Figura 10 que funciona con un accionamiento trifásico con accionamiento trapezoidal;

25 las Figuras 22A-C muestran las tensiones y volúmenes de los canales para la bomba multicámara de la Figura 10 que funciona con un accionamiento trifásico con accionamiento parabólico;

las Figuras 23A-C muestran los caudales de entrada, salida y total para la bomba multicámara de la Figura 10 que funciona con un accionamiento trifásico con accionamiento parabólico;

las Figuras 24A-D muestran las tensiones y volúmenes de los canales para la bomba multicámara de la Figura 10 que funciona con un accionamiento tetrafásico con accionamiento sinusoidal;

30 las Figuras 25A-C muestran los caudales de entrada, salida y total para la multicámara de la Figura 10 que funciona con un accionamiento tetrafásico con accionamiento sinusoidal;

las Figuras 26A-D muestran las tensiones y volúmenes de los canales para la bomba multicámara de la Figura 10 que funciona con un accionamiento tetrafásico con accionamiento parabólico;

35 las Figuras 27A-C muestran los caudales de entrada, salida y total para la multicámara de la Figura 10 que funciona con un accionamiento tetrafásico con accionamiento parabólico;

las Figuras 28A-B muestran vistas esquemáticas isométrica y en planta de una configuración de diodo Tesla que puede usarse en la bomba de la Figura 10;

las Figuras 29A-B muestran vistas esquemáticas isométrica y en planta de una configuración de diodo fluido con difusor con boquilla que puede usarse en la bomba de la Figura 10;

40 las Figuras 30A-B muestran vistas esquemáticas isométrica y en planta de una configuración de diodo vórtex que puede usarse en la bomba de la Figura 10;

la Figura 31 muestra un diagrama esquemático de la bomba de la Figura 10 dividida en bloques funcionales;

la Figura 32 muestra una vista en perspectiva esquemática de la bomba de la Figura 10 con accionadores de paredes piezoeléctricos compartidos en paralelo y una configuración de diodo Tesla;

45 la Figura 33 muestra una vista en perspectiva esquemática de la bomba de la Figura 11 con accionadores de paredes piezoeléctricos compartidos en serie y una configuración de diodos Tesla;

las Figuras 34A-B muestran una vista en perspectiva esquemática de los dos lados de una bomba con un accionador de burbujas y una configuración de diodo Tesla;

50 la Figura 35 muestra una vista en perspectiva esquemática de una bomba con una configuración de diodo Tesla accionada electrostáticamente; y

las Figuras 36A-C muestran vistas en perspectiva, con diferentes cantidades de corte en sección, de una bomba similar a la de la Figura 32, pero sin una pared compartida.

Descripción detallada de los dibujos

55

[0024] En la Figura 1 se muestra un esquema de una bomba de desplazamiento positivo 1 simple en miniatura. Muestra un canal 2 con un volumen interno que aumenta y disminuye cíclicamente al flexionar una o varias de las paredes del canal 3 bajo el control de un controlador 8. El volumen interno del canal 2 está conectado con un par de válvulas antirretorno 4, 5 entre una entrada 6 y el canal de la bomba 2 y entre el canal de la bomba 2 y

una salida 7, respectivamente. El canal 2 empezará a partir de una posición neutra y extraerá fluido hacia delante desde la entrada 6 a través de la válvula antirretorno de entrada 5, aumentando su volumen interno flexionando una o más de sus paredes 3. El flujo hacia el interior continúa hasta que el canal 2 alcanza su desplazamiento máximo (cuando alcanza su volumen máximo). A continuación, cuando el canal 2 empieza a contraerse, el fluido empieza a fluir al exterior de la salida 7, mientras que el flujo que retorna a la entrada 6 encuentra resistencia en la válvula antirretorno de entrada 5. Este procedimiento continúa hasta que el canal 2 alcanza su desplazamiento máximo en el sentido contrario (cuando alcanza su volumen mínimo). Finalmente, el canal 2 empezará a aumentar su volumen de nuevo y a extraer fluido a través de la válvula antirretorno de entrada 5 una vez que se invierte de nuevo la dirección de la flexión de la pared 3, hasta que se alcanza de nuevo el estado inicial. Este ciclo se repite siempre que sea necesario bombear el fluido. Todas estas bombas producen caudales variables y presión estática variable cíclicamente en el circuito externo.

[0025] Un sistema que consiste en un único canal y un par de válvulas, tal como se describe anteriormente, dará lugar a dos problemas. En primer lugar, producirá un flujo intermitente tanto en la entrada como en la salida al subsistema, tal como se muestra en la Figura 2. En segundo lugar, a medida que cambia el volumen interno del canal, se intercambia fluido con el circuito externo, de manera que el volumen en el circuito externo también cambia, y con él la presión estática, pero en sentido contrario al del canal de bombeo, tal como se muestra en la Figura 3. En el caso de un sistema de bucle cerrado con baja distensibilidad volumétrica y en el que el control de la presión estática es fundamental, como en los sistemas de suministro de tinta recirculante para inyección de tinta, esto se abordaría usando sistemas de elementos de contención o acumuladores de presión, añadiendo así coste, complejidad y tamaño al sistema.

[0026] De forma similar, la Figura 4 muestra una bomba de doble canal 9, que tiene un par de canales en paralelo 10 y 11 que tienen una pared común 12. Una entrada 17 está acoplada con cada uno de los canales 10 y 11, por medio de válvulas 13 y 14, respectivamente y una salida 18 está acoplada con cada uno de los canales 10 y 11 por medio de válvulas 16 y 17. En este caso, como se observará, cuando la pared común 12 se flexiona en una dirección bajo el control de un controlador 19, por ejemplo hacia la izquierda tal como se muestra en la Figura 4, el canal derecho 11 aumenta en volumen y la válvula 14 permite el paso de fluido en el canal derecho 11 desde la entrada 17, mientras que la válvula 16 aísla el canal derecho 11 desde la salida 18. Al mismo tiempo, el canal izquierdo 10 se reduce en volumen, haciendo que el fluido pase desde el mismo a través de la válvula 15 a la salida 18, mientras que la válvula 13 impide el flujo de fluido de nuevo hacia la entrada 17. Cuando la pared común 12 se flexiona en la dirección opuesta, es decir a la derecha tal como se muestra en la Figura 4, sucede lo contrario, de manera que el canal izquierdo 10 aumenta en volumen y la válvula 13 permite el paso de fluido en el canal izquierdo 10 desde la entrada 17, mientras que la válvula 15 aísla el canal izquierdo 10 desde la salida 18. Al mismo tiempo, el canal derecho 11 se reduce en volumen, haciendo que el fluido pase desde el mismo a través de la válvula 16 a la salida 18, mientras que la válvula 14 impide el flujo de fluido de nuevo hacia la entrada 17.

[0027] Si la pared común 12 es accionada por el controlador 19 para que se flexione de una forma sinusoidal normal de un lado al otro, los caudales de entrada a través de las dos válvula de entrada 13, 14 estarán en oposición de fase entre sí, cuando la pared común 12 se flexiona de un lado al otro, tal como se muestra en la Figura 5A, con la Figura 5B mostrando el caudal de salida a través de las dos válvulas de salida 15, 16, también en oposición de fase entre sí, y con sus válvulas de entrada respectivas. La Figura 5C muestra los caudales de entrada y salida totales como la combinación de los caudales a través de las válvulas de entrada y las válvulas de salida, respectivamente, y muestra que los caudales de entrada y de salida son en parte sinusoidales. La Figura 6 muestra que la presión estática total en el circuito externo, que es una combinación de los caudales de entrada y salida totales, es por tanto cero.

[0028] La Figura 7 muestra una bomba de doble canal según una realización de la presente invención, similar a la de la Figura 4, pero en la que las válvulas antirretorno están sustituidas por diodos fluidicos, como se describirá en detalle más adelante. En la Figura 7, los mismos elementos de la bomba que los elementos de la bomba de la Figura 4 tienen los mismos números de referencia. Así, los diodos fluidicos 13', 14', 15' y 16' están representados simbólicamente por un símbolo de diodo eléctrico, con el fin de distinguirlos de las válvulas antirretorno mecánicas. Además, el controlador 19 incluye un generador de formas de onda 20 para permitir que el controlador controle la pared común que se desplazará según una forma de onda de entrada diferente que la señal sinusoidal estándar.

[0029] En una realización, el generador de formas de onda 20 genera una forma de onda de perfil triangular. En este caso, los caudales de entrada a través de los entrada diodos fluidicos de entrada (A y B) 13', 14' estarán de nuevo en oposición de fase entre sí, cuando la pared común 12 se flexiona de un lado al otro, tal como se muestra en la Figura 8A, con la Figura 8B mostrando el caudal de salida a través de los dos diodos fluidicos de salida (A y B)

16', 17', también en oposición de fase entre sí, y con sus diodos fluídicos de entrada respectivos. La Figura 8C muestra los caudales de entrada y salida totales como la combinación de los caudales a través de los diodos fluídicos de entrada y los diodos fluídicos de salida, respectivamente, mostrando que, con una forma de onda de accionamiento de perfil triangular, los caudales de entrada y salida ya no son en parte sinusoidales, como en la bomba de la Figura 4, sino que son sustancialmente constantes. La Figura 9 muestra que la presión estática total en el circuito externo, que es una combinación de los caudales de entrada y salida totales, es cero.

[0030] Como se describirá en detalle más adelante, las formas de onda de accionamiento de perfil triangular no son las únicas formas de onda que producirán caudales de entrada y salida sustancialmente constantes. Por ejemplo, las formas de onda trapezoidales y parabólicas también producirán caudales de entrada y salida sustancialmente constantes.

[0031] La Figura 10 muestra una bomba multicanal 22, similar a la bomba de doble cámara de la Figura 7, pero con una multiplicidad de canales de bombeo en paralelo 23. En el dibujo, se muestran seis canales de bombeo en paralelo, aunque se observará que podrían usarse más canales como parte de una configuración mayor. Tal como se muestra, cada canal de bombeo 23 está conectado con una entrada 25 por medio de un diodo fluídico de entrada 24 respectivo, y con una salida 27 por medio de un diodo fluídico de salida 26 respectivo. De nuevo, el generador de formas de onda 28 genera una forma de onda de control para que el controlador 29 controle las paredes 30 entre canales 23 adyacentes en un modo bifásico, de manera que cada segunda pared 30 se flexione en una dirección y las paredes 30 alternas se flexionen en la otra dirección, de manera que los canales alternos se compriman o se expandan para forzar el fluido al exterior o al interior, respectivamente.

[0032] La Figura 11 muestra una bomba multicanal 32, similar a la bomba multicámara de la Figura 10, pero con una multiplicidad de canales de bombeo en serie 33. En el dibujo, se muestran seis canales de bombeo en paralelo, aunque se observará que podrían usarse más canales como parte de una configuración mayor. Tal como se muestra, cada canal de bombeo 33 está conectado, por medio de un diodo fluídico 34 respectivo, a una salida del canal de bombeo 33 precedente. El primer canal de bombeo está conectado a una entrada 35 y el canal de bombeo 33 final está conectado a la salida 37. De nuevo, un generador de formas de onda 38 genera una forma de onda de control para que el controlador 39 controle las paredes 31 entre canales 33 adyacentes en un modo bifásico, de manera que cada segunda pared 31 se flexione en una dirección y las paredes 31 alternas se flexionen en la otra dirección, de manera que los canales alternos se compriman o se expandan para forzar el fluido al exterior y al interior, respectivamente.

[0033] Los circuitos de activación electrónicos que forman el controlador y el generador de formas de onda pueden prepararse usando técnicas bien conocidas. Sin embargo, se necesitarán los circuitos para asumir las definiciones de perfiles particulares de tensión con respecto al tiempo y para convertirlos de forma fidedigna a los niveles de tensión y corriente requeridos para hacer que los elementos de desplazamiento de volumen se muevan según se necesite.

[0034] Tal como se usa en la presente memoria descriptiva, la expresión "forma de onda" se refiere al perfil de la tensión con respecto al tiempo aplicado por electrónicas de activación que forman el controlador para accionadores piezoeléctricos y de otros tipos. Aprovecha el hecho de que como los accionadores piezoeléctricos se comportan de forma lineal, los desplazamientos de las paredes son proporcionales a las tensiones aplicadas. Las formas de onda serán, en general, de carácter periódico y tendrán el mismo perfil de un canal a otro. En un modo bifásico, cada dos canales estarán en fase, mientras que los canales vecinos entre sí estarán desfasados 180 grados (o π radianes). En una configuración trifásica, cada tres canales estarán en fase, mientras que los canales vecinos entre sí estarán desfasados 120 grados y 240 grados (o $2\pi/3$ y $4\pi/3$ radianes). En una configuración tetrafásica, cada cuatro canales estarán en fase, mientras que los canales vecinos entre sí estarán desfasados 90 grados, 180 grados y 270 grados (o $\pi/2$, π y $3\pi/2$ radianes).

[0035] Los perfiles de las formas de onda están diseñados preferentemente de manera que garantizan que en cualquier instante dado, el volumen total desplazado por todas las fases combinadas es cero, o muy cercano a cero. Esto garantiza que la presión estática en el sistema bombeado permanece sustancialmente constante. De forma beneficiosa, los perfiles de forma de onda están diseñados de manera que los volúmenes de las cámaras individuales cambian linealmente con el tiempo, o se mantienen constantes; es decir, los perfiles de forma de onda son triangulares o trapezoidales. Esto significa que las tasas de cambio de volumen son constantes o cero, lo que hace a su vez que las tasas de flujo a través de las válvulas antirretorno respectivas sean constantes o cero. Esto significa, a su vez, que es posible añadir entre sí los flujos de elementos separados en cualquier instante en el tiempo para producir un caudal total constante. Las formas de onda triangulares pueden disponerse de manera que

cada elemento de accionamiento se desplace desde un extremo de su recorrido al otro en un semiciclo y a continuación retroceda de nuevo en un semiciclo. Las formas de onda trapezoidales trifásicas se disponen preferentemente de manera que cada elemento de accionamiento se desplace desde un extremo de su recorrido al otro en un tercio de ciclo, permanezca en su lugar durante un sexto de ciclo, retorne de nuevo en un tercio de ciclo y permanezca en su lugar durante un sexto de ciclo. Las formas de onda trapezoidales tetrafásicas están dispuestas de manera que cada elemento de accionamiento se desplace desde un extremo de su recorrido al otro en un cuarto de ciclo, permanezca en su lugar durante un cuarto de ciclo, retorne de nuevo en un cuarto de ciclo y permanezca en su lugar durante un cuarto de ciclo. También pueden usarse formas de onda sinusoidales u otras regulares si la aplicación no demanda niveles mínimos de fluctuación de presión o caudal.

10

[0036] En una realización, los canales de bombeo en paralelo 23 de la bomba 22 de la Figura 10 pueden implementarse en una configuración de canal piezoeléctrica, en la que las paredes compartidas de canales adyacentes son proporcionadas por las paredes en modo cizalla de la configuración de canal piezoeléctrica, tal como se muestra en las Figuras 12A-12D. En este caso, las paredes alternas son accionadas por el controlador 29 en un modo bifásico, de manera que cada dos canales están en la misma fase y los canales entre sí también están en fase, pero desfasados 180° con los canales adyacentes. Así, la Figura 12A muestra las paredes 30 entre los canales 23 en sus posiciones iniciales en un ángulo de fase de 0°. Tal como se muestra en la Figura 12B, en un ángulo de fase de 90°, las paredes 30 se han desplazado alternativamente a izquierda o derecha hasta su punto de desplazamiento más alejado en una dirección, de manera que expandan o contraigan los canales adyacentes 23 para extraer fluido en los canales del conjunto (A) y desplazar fluido fuera del conjunto alterno (B) de canales. La Figura 12C muestra las paredes 30 en el ángulo de fase de 180°, en el que las paredes 30 han vuelto a sus posiciones iniciales, en las que el conjunto de canales A 23 ha empezado a contraerse para desplazar fluido del mismo y el conjunto de canales B 23 ha empezado a expandirse para extraer fluido, y la Figura 12D muestra las paredes 30 en el ángulo de fase 270°, en el que las paredes 30 están en su punto de desplazamiento más alejado en la otra dirección, de manera que el conjunto de canales A 23 se ha contraído totalmente para desplazar fluido del mismo y el conjunto de canales B 23 se ha expandido totalmente para extraer fluido.

[0037] Las Figuras 13A y 13B muestran la tensión, el volumen y la tasa de cambio del volumen del canal para el conjunto de canales A, y el conjunto de canales B, respectivamente, para una forma de onda sinusoidal aplicada para controlar las paredes 30. Se observará que los caudales de entrada, los caudales de salida y el caudal total para esta bomba con la forma de onda sinusoidal aplicada serán las mismas que las mostradas en las Figuras 5A, 5B y 5C para la bomba de doble canal, y la presión estática externa será la misma que la mostrada en la Figura 6. Así, aunque los cambios en la presión estática en el circuito externo se han eliminado haciendo que los cambios volumétricos de los canales vecinos se sumen entre sí para dar un total de cambio volumétrico cero en cualquier punto dado en el tiempo, no obstante, el flujo de salida total aún varía considerablemente a lo largo del tiempo (tal como se muestra en la Figura 5C). Puede conseguirse un caudal constante a través del circuito externo disponiendo que el total de los caudales a través de todos los canales sumados conjuntamente sea constante. Esto se consigue de la forma más fácil si el caudal a través de cada canal individual es constante o cero.

[0038] Esto puede conseguirse usando una forma de onda de control triangular o trapezoidal para controlar el accionamiento de las paredes. Por ejemplo, si la forma de onda de control aplicada es una forma de onda triangular, las Figuras 14A y 14B muestran la tensión, el volumen y la tasa de cambio del volumen del canal para el conjunto de canales A, y el conjunto de canales B, respectivamente. De nuevo, los caudales de entrada, los caudales de salida y el caudal total para esta bomba con la forma de onda aplicada triangular serán los mismos que los mostrados en las Figuras 8A, 8B y 8C para la bomba de doble canal, y la presión estática externa será la misma que la mostrada en la Figura 9.

[0039] Naturalmente, no es necesario controlar la bomba de la Figura 10 en un modo bifásico, sino que podría activarse en otras fases, tal como un modo trifásico. Las Figuras 15A-15D muestran las paredes compartidas de canales adyacentes 23 proporcionadas en modo cizalla 30 de la configuración de canal piezoeléctrica, similar a la de las Figuras 12A-12D, pero activada en un modo trifásico. En este caso, en lugar de que cada dos canales estén en fase (como en el ejemplo anterior), cada tres canales están en fase. Las Figuras 15A-15D muestran once canales 23a-23k. Suponiendo que un canal totalmente expandido tiene un volumen de "1" y un canal totalmente contraído tiene un volumen de "0", los volúmenes de cambio de canales en los cuatro ángulos de fase 0°, 90°, 180° y 270° aproximadamente tal como se muestra en las Figuras 15A-15D son los siguientes:

Canales

	23a	23b	23c	23d	23e	23f	23g	23h	23i	23j	23k
15A	$\frac{3}{4}$	0	$\frac{3}{4}$	$\frac{3}{4}$	0	$\frac{3}{4}$	$\frac{3}{4}$	0	$\frac{3}{4}$	$\frac{3}{4}$	0
15B	$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{3}{4}$	$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{3}{4}$	$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{3}{4}$	$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{2}$
15C	$\frac{1}{4}$	1	$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{4}$	1	$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{4}$	1	$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{4}$	1
15d	$\frac{3}{4}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{4}$	$\frac{3}{4}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{4}$	$\frac{3}{4}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{4}$	$\frac{3}{4}$	$\frac{1}{2}$

[0040] Las Figuras 16A-16C muestran la tensión, el volumen y la tasa de cambio del volumen del canal para un primer (A) conjunto de canales, un segundo (B) conjunto de canales y un tercer (C) conjunto de canales, respectivamente, para una forma de onda de control sinusoidal. como puede verse, aunque los gráficos de las Figuras 16A-16D están desplazados en ángulo de fase en comparación con las Figuras 15A-15D, el conjunto A corresponde, esencialmente, a los canales 23b, 23e, 23h y 23k; el conjunto B corresponde a los canales 23c, 23f y 23i; y el conjunto C corresponde a los canales 23a, 23d, 23g y 23j. Las Figuras 17A y 17B muestran los caudales de entrada y salida individuales para los conjuntos A, B y C, y la Figura 17C muestra los caudales de entrada y salida totales, a partir de los cuales puede verse que, aunque no es constante, el modo trifásico proporciona bastante menos variabilidad en los caudales de entrada y salida totales que cuando la bomba está controlada en el modo bifásico.

[0041] Las Figuras 18A-18C muestran la tensión, el volumen y la tasa de cambio del volumen del canal para el primer (A) conjunto de canales, el segundo (B) conjunto de canales y el tercer (C) conjunto de canales, respectivamente, para una forma de onda de control triangular. Las Figuras 19A y 19B muestran los caudales de entrada y salida individuales para los conjuntos A, B y C, y la Figura 19C muestra los caudales de entrada y salida totales, a partir de los cuales puede verse que incluso la variabilidad reducida en los caudales de entrada y salida totales proporcionada en el control sinusoidal trifásico ha sido eliminada cuando se usa una forma de onda triangular trifásica para controlar el movimiento de las paredes.

[0042] Las Figuras 20A-20C muestran la tensión, el volumen, el caudal de entrada y el caudal de salida del canal para el primer (A) conjunto de canales, el segundo (B) conjunto de canales y el tercer (C) conjunto de canales, respectivamente, para una forma de onda de control trapezoidal. Las Figuras 21A y 21B muestran los caudales de entrada y salida individuales para los conjuntos A, B y C, y la Figura 21C muestra el caudal de entrada y salida total, que también muestra que los caudales de entrada y salida totales son constantes, cuando se usa una forma de onda trapezoidal trifásica para controlar el movimiento de las paredes.

[0043] Las Figuras 22A-22C muestran la tensión, el volumen y la tasa de cambio del volumen del canal para el primer (A) conjunto de canales, el segundo (B) conjunto de canales y el tercer (C) conjunto de canales, respectivamente, para una forma de onda de control parabólica. Las Figuras 23A y 23B muestran los caudales de entrada y salida individuales para los conjuntos A, B y C, y la Figura 23C muestra el caudal de entrada y salida total, que también muestra que los flujos de entrada y salida totales son constantes, cuando se usa una forma de onda parabólica trifásica para controlar el movimiento de las paredes.

[0044] Las Figuras 24A-24D muestran la tensión, el volumen y la tasa de cambio del volumen del canal para el primer (A) conjunto de canales, el segundo (B) conjunto de canales, el tercer (C) conjunto de canales y un cuarto (D) conjunto de canales, respectivamente, para un modo de control tetrafásico del accionamiento de las paredes usando una forma de onda de control sinusoidal. Las Figuras 25A y 25B muestran los caudales de entrada y salida individuales para los conjuntos A, B, C y D, y la Figura 25C muestra el caudal de entrada y salida total, que de nuevo muestra que aunque no constante, el modo tetrafásico proporciona bastante menos variabilidad en los caudales de entrada y salida totales que cuando la bomba se controla en el modo bifásico, aunque existe más variabilidad que en el modo trifásico de funcionamiento con una forma de onda de control sinusoidal.

[0045] Se observará que el accionamiento de las formas de onda de control triangular y trapezoidal en modo tetrafásico corresponderá al del accionamiento de las formas de onda de control triangular y trapezoidal en modo trifásico y proporcionará esencialmente caudales totales constantes en la entrada y la salida.

[0046] Las Figuras 26A-26D muestran la tensión, el volumen y la tasa de cambio del volumen del canal para el primer (A) conjunto de canales, el segundo (B) conjunto de canales, el tercer (C) conjunto de canales y el cuarto (D) conjunto de canales, respectivamente, para un modo tetrafásico de control del accionamiento de las paredes usando una forma de onda de control parabólica. Las Figuras 27A y 27B muestran los caudales de entrada y salida individuales para los conjuntos A, B, C y D, y la Figura 27C muestra el caudal de entrada y salida total, que de nuevo

muestra que los flujos de entrada y salida totales son constantes, cuando se usa una forma de onda parabólica tetrafásica para controlar el movimiento de las paredes.

- [0047]** Volviendo ahora a la Figura 7, se mencionó que las válvulas antirretorno de la Figura 4 han sido sustituidas por diodos fluídicos. Generalmente, los diodos fluídicos son válvulas antirretorno que no tienen partes móviles y se fabrican de silicio usando procedimientos de micromecanizado, para formar Sistemas Mecánicos Microeléctricos (MEMS). A menudo comprenden una pluralidad de micromezcladores topológicos que separan, giran y recombinan el fluido dispuestos en serie en el diodo fluídico. Se dispone de diversos diodos fluídicos de este tipo.
- [0048]** Un diodo fluídico conocido es el denominado conducto valvular Tesla, tal como se muestra en las Figuras 28A y 28B. Como puede verse, un sustrato de silicio 40 es mecanizado, por ejemplo usando un procedimiento MEMS conocido como Grabado Iónico Reactivo Profundo (DRIE), con una serie de canales en paralelo 41, cada uno de los cuales se extiende entre una entrada 42 y una salida 43. En esta realización, las entradas 42 están todas conectadas a una entrada común 44. Cada uno de los canales 41 está formado por una pluralidad de estructuras Tesla 45. Cada estructura Tesla 45 tiene un primer orificio 46 que se divide en dos trayectorias 47 y 48. Una primera de las trayectorias 47 proporciona una conexión directa a un segundo orificio 49 de la estructura 45. Una segunda de las trayectorias 48 diverge de la primera trayectoria 47 y se curva alrededor de manera que se conecta con el segundo orificio 49 desde una dirección que es mayor que la ortogonal a la primera trayectoria 47. Por tanto, cuando el fluido se desplaza desde el primer orificio 46 al segundo orificio 49, se divide cuando entra en el primer orificio 46 en la primera de las trayectorias 47 y la segunda trayectoria 48. El fluido en la primera trayectoria 47 se desplaza directamente hacia el segundo orificio 49, pero el fluido en la segunda trayectoria 48 se desplaza a través de la segunda trayectoria para terminar en el segundo orificio 49 moviéndose en un ángulo sustancial al fluido que se aproxima al segundo orificio 49 desde la primera trayectoria 47. Aquí los fluidos de las dos trayectorias se mezclan justo antes de llegar al segundo orificio 49 y el fluido de la segunda trayectoria 48 proporciona resistencia al fluido desde la primera trayectoria 47 que sale del segundo orificio 49. Al tener una pluralidad de dichas estructuras Tesla en serie, se consigue una resistencia sustancial al movimiento del fluido desde el primer orificio de la primera de las estructuras en la serie al segundo orificio de la estructura final en la serie. Por otra parte, si el fluido se mueve desde el segundo orificio 49 al primer orificio 46, se moverá muy poco fluido en la segunda trayectoria 49, dado que está inclinada en la dirección de movimiento del fluido, de manera que la mayoría del fluido pasará en dirección recta a través de la primera trayectoria 47 al primer orificio 46. Por tanto, la estructura 45 proporciona muy poca resistencia al fluido que se mueve desde el segundo orificio 49 hacia el primer orificio 46, pero una resistencia considerable al fluido que se mueve en la otra dirección.
- [0049]** Otro diodo fluídico conocido es una estructura de difusor con boquilla, tal como se muestra en las Figuras 29A y 29B. De nuevo, un sustrato de silicio 50 se mecaniza, por ejemplo usando el procedimiento DRIE, con una serie de canales en paralelo 51, cada uno de los cuales se extiende entre una entrada 52 y una salida (no mostrada). Cada uno de los canales 51 está formado por una pluralidad de estructuras de difusor con boquilla 53. Cada estructura de difusor con boquilla 53 tiene un primer orificio 54 estrecho que actúa como una boquilla en una cámara 55, que tiene lados curvos que divergen desde la boquilla hacia el exterior y a continuación se curvan hacia atrás entre sí en un segundo orificio 56. Por tanto, cuando el fluido se desplaza desde el primer orificio 54 en la cámara 55, el fluido forma corrientes turbulentas en regiones cercanas a cambios bruscos de sección, haciendo que el caudal sea sustancialmente menor en esa dirección de movimiento del fluido que en la otra dirección para un diferencial de presión dado a través de la estructura de diodo.
- [0050]** Otro diodo fluídico conocido es un diodo de vórtex, tal como se muestra en las Figuras 30A y 30B. De nuevo, un sustrato de silicio 60 se mecaniza con una serie de canales en paralelo 61, cada uno de los cuales se extiende entre una entrada 62 y una salida (no mostrada). Cada uno de los canales 61 está formado por una pluralidad de estructuras de diodo de vórtex 63. Cada estructura de vórtex 63 está formada por un orificio axial 64 conectado a un orificio tangencial 65. En este caso, la resistencia al flujo es mayor en una dirección que en la otra debido a que, cuando el flujo entra en el orificio axial 64, el flujo puede moverse fácilmente al orificio tangencial 65, mientras que cuando entra en el orificio tangencial 65, se produce un flujo circulante que produce una presión radial que actúa para reducir el caudal en el orificio axial 64.
- [0051]** El conducto valvular Tesla, el difusor de boquilla y las estructuras de diodo de vórtex pueden estar todos hechos de silicio usando el procedimiento DRIE, dado que las estructuras son proyecciones extruidas de geometrías bidimensionales y este procedimiento está bien adaptado para la fabricación de dichas estructuras. Sin embargo, el procedimiento es bastante costoso. Para una fabricación más económica de grandes cantidades de diodos fluídicos, sería posible usar el procedimiento DRIE para producir un componente maestro y usarlo para producir una impresión para su uso en una herramienta de moldeo o grabado en relieve. Así podrían prepararse

múltiples copias económicas de los diodos de silicio originales de forma más económica en materiales de plástico adecuados.

[0052] Tal como se menciona anteriormente, una forma adecuada de elemento de accionamiento que puede usarse para provocar el movimiento del fluido a través de los canales es una configuración de canal piezoeléctrica. Dichos accionadores pueden integrarse fácilmente con los diodos fluidicos descritos anteriormente para hacer que el fluido se mueva a través de los canales. Sin embargo podrían usarse alternativamente otros elementos de accionamiento. Los diafragmas o paredes que se flexionan en respuesta a tensiones aplicadas por medio de accionamiento electrostático pueden prepararse a partir de materiales que incluyen, pero no se limitan a, silicio o materiales similares o láminas poliméricas de manera que los volúmenes de fluido se desplacen periódicamente. El silicio o los materiales similares pueden prepararse en diafragmas o paredes que se flexionan debido a calentamiento Joule y efectos de expansión diferencial, y que por tanto desplazan los volúmenes de fluido periódicamente. Puede usarse accionamiento electromagnético para aplicar fuerzas a diafragmas o paredes haciendo que se flexionen y desplacen volúmenes de fluidos periódicamente, formando vías eléctricamente conductoras en o sobre el elemento de flexión y disponiéndolas para que pasen a través de un campo magnético. Alternativamente, en algunos fluidos pueden generarse burbujas, si contienen una fracción volátil, y estas burbujas pueden usarse para desplazar volúmenes de fluido periódicamente.

[0053] En general las microbombas basadas en diodos fluidicos permitirán inversiones de la dirección del flujo si los canales dejan de actuar. En algunas aplicaciones, esto no importa. En otras, sí. Para aquellas aplicaciones en las que deban evitarse los flujos inversos, la inclusión de válvulas antirretorno convencionales en serie con los diodos fluidicos resolverá el problema. Estas válvulas pueden ser también microfabricadas en la estructura, o puede ser dispositivos externos autónomos. En el caso de válvulas antirretorno convencionales, a medida que la frecuencia de las presiones positiva y negativa de los canales aumenta, el dispositivo funciona con menor eficiencia. Esto se debe a que la válvula no tiene tiempo para abrirse totalmente o para cerrarse totalmente por encima de una cierta frecuencia, lo que produce un aumento de la resistencia al flujo directo y una resistencia limitada al flujo inverso. Sin embargo, las válvulas convencionales pueden resistir flujos inversos activados por contrapresiones externas incluso cuando los canales no están funcionando. Por ello, en muchas aplicaciones, será ventajoso que se empleen diodos fluidicos y válvulas antirretorno convencionales para realizar funciones complementarias, con los diodos fluidicos convirtiendo los cambios de alta frecuencia en volumen en los canales en flujo unidireccional constante. Mientras tanto, las válvulas antirretorno convencionales permiten la salida de flujo constante desde los diodos fluidicos para pasar con resistencia mínima en la dirección directa, pero cerrarse completamente en respuesta a altas presiones corriente arriba que en caso contrario provocarían flujos inversos. Las válvulas antirretorno pueden tener, por ejemplo, forma de válvulas de lámina, de bola, de diafragma o de solenoide.

[0054] Las válvulas antirretorno pueden realizar dos funciones relacionadas, pero diferentes, funciones en una microbomba. En primer lugar, pueden usarse para impedir flujos inversos si y cuando todos los canales de accionamiento están desactivados, por ejemplo en caso planificado o no de retirada de la energía de toda la microbomba. En segundo lugar, la presencia de las válvulas antirretorno permite un procedimiento de control del caudal de la microbomba. Tal como se muestra en la Figura 31, las subsecciones 66 de la configuración de elementos de bombeo puede funcionar en paralelo, con las válvulas antirretorno 67 lo que permite que subsecciones 66 seleccionadas de la microbomba se desactiven, mientras se permite que otras subsecciones 66 continúen funcionando. Las válvulas antirretorno 67 impiden que se produzcan flujos inversos en aquellas partes de la bomba en las que los canales se han apagado. Así se impide que estas áreas inactivas "cortocircuiten" las áreas todavía activas de la microbomba. Este procedimiento permite también que aquellos subsistemas que siguen funcionando lo hagan en su punto de funcionamiento óptimo en términos de tensiones y frecuencias aplicadas.

[0055] Así, el número de canales que se accionan puede hacerse variar en respuesta a los requisitos variables de caudal de volumen del sistema bombeado. Por ejemplo, puede haber más de diez, varias decenas, más de cien o incluso varios cientos de canales con el fin de proporcionar la cantidad de flujo total requerida. Los canales, el controlador y las válvulas antirretorno pueden estar dispuestos de manera que cualquier bloque 66 de los canales que pueda activarse y desactivarse esté asociado con un par de válvulas antirretorno convencionales 67 para impedir el flujo inverso a través de esos canales cuando se desactivan. El número de canales en cada uno de dichos bloques conmutables puede variar de un bloque a otro dentro de una bomba dada. Por ejemplo, el número puede variar como una serie binaria: 1, 2, 4, etc., o múltiplos de los mismos. La Figura 31 muestra un esquema de cómo puede configurarse con las válvulas antirretorno 67 adicionales que dividen el sistema en las proporciones 1:2:4. De este modo, al conmutar un pequeño número de diferentes bloques en y fuera de funcionamiento, estaría disponible un amplio intervalo de caudales totales. En este ejemplo, serían posibles caudales de volumen de cero a

siete en incrementos de uno mediante la selección de cero a tres bloques de bombeo.

[0056] Tal como se expuso anteriormente, en algunas aplicaciones existe la necesidad de minimizar las fluctuaciones de presión. Una realización de la invención está diseñada para producir sistemas de bombeo en los que los cambios periódicos en presión y caudales a partir de dispositivos de bombeo de desplazamiento positivo se cancelan de forma activa, de manera que se produzca una bomba cuya salida esté libre sustancialmente de pulsos de presión periódicos y cuyo caudal de salida sea sustancialmente constante. Esto puede realizarse disponiendo una configuración de elementos de desplazamiento de volumen sustancialmente idénticos, tal como se muestra en la Figura 32. Las cámaras de desplazamiento de volumen 72 y los elementos de desplazamiento son producidos recortando canales en una oblea 71 de material de piezocerámica. Cada cámara de desplazamiento de volumen 72 cambia periódicamente su volumen interno cuando se acciona el elemento de desplazamiento, por ejemplo, flexionando dos de sus paredes de cámara 73. Cada cámara de desplazamiento de volumen 72 está conectada con diodos fluidicos de entrada y de salida 75 y 76, produciendo así una configuración de elementos de desplazamiento de bombeo positivo 77 individuales. Los diodos fluidicos 75 y 76 están sellados con un componente de cubierta 78 que proporciona también los orificios de entrada y de salida al sistema externo para bombeo. El conjunto se completa mediante cubiertas de extremo 79 (de las cuales se muestra sólo una con fines de claridad). A continuación se dispone una pluralidad de dichos elementos de bombeo individuales configurados de forma que trabajen conjuntamente en pares, en triple o en cuádruple, activados por dos, esquemas de forma de onda bifásicos, trifásicos o tetrafásicos respectivamente. También son posibles sistemas con un gran número de fases, usando la misma técnica general, pero no se describirán adicionalmente en la presente memoria descriptiva.

[0057] Cada elemento de desplazamiento de volumen tiene capacidad para desplazar incrementos de volumen que son directamente proporcionales, o sustancialmente proporcionales, a la magnitud de la señal eléctrica que se les aplica para provocar el accionamiento. Las entradas corriente arriba a los diodos fluidicos de entrada separados se unen entre sí de manera que los flujos rectificadores se añaden conjuntamente para producir un flujo de entrada combinado en el circuito externo para bombeo. De forma similar, las salidas corriente abajo de los diodos fluidicos de salida separados se unen entre sí de manera que los flujos rectificadores se sumen conjuntamente para producir un flujo de salida combinado en el circuito externo para bombeo. En esta configuración, es posible aplicar formas de onda particulares a los dispositivos de bombeo de manera que aunque cada dispositivo individual sigue produciendo cambios periódicos en las presiones y los caudales de entrada y salida de sus diodos fluidicos respectivos, cuando se combinan con los flujos de sus vecinos, los caudales y presiones totales de la configuración doble, triple o cuádruple en las entradas, las salidas y el sistema externo bombeado son constantes, o sustancialmente constantes.

[0058] Los bloques de pares, tripletes o cuadrupletes de elementos de bombeo pueden replicarse para formar disposiciones de dispositivos de bombeo en paralelo, de manera que sean capaces de construir bombas que se correspondan con el caudal de volumen requerido. A su vez, estas disposiciones pueden establecerse en serie para permitir alcanzar presiones de bombeo superiores a lo que es posible con una configuración en paralelo individual. Además, pueden usarse válvulas antirretorno convencionales en miniatura o macroscópicas para impedir flujos inversos a través de la bomba, o secciones de la bomba, cuando parte o la totalidad de la bomba se desactiva.

[0059] Así, el uso de accionadores piezoeléctricos que funcionan en modo cizalla, con cada pared compartida entre dos cámaras bombeadas permite fácilmente disponer configuraciones individuales en serie para permitir generar presiones diferenciales totales más elevadas. En referencia a la Figura 33 y de nuevo a la Figura 11, en una configuración en serie, los canales y los elementos de pared de accionamiento se preparan de nuevo recortando una oblea de material piezocerámico. El líquido entra por medio del orificio de entrada 81 y es suministrado al situado más a la izquierda de los elementos de bombeo 83 individuales formados en un sustrato de silicio 86. Estos elementos están conectados entre sí en cadena margarita de manera que la salida de cada cámara de bombeo está conectada con la entrada de la siguiente de las cámaras de bombeo vecinas por medio de un diodo fluidico 84 individual y la sección en rumbo múltiple 85. La salida de esta segunda cámara de bombeo está conectada a la entrada de la cámara de bombeo siguiente en la configuración de la misma forma, y así sucesivamente, hasta que el fluido sale a través del orificio de salida 82. Los diodos fluidicos están sellados con un componente de cubierta 80 y cubiertas de extremo (no mostradas).

[0060] El accionamiento de las burbujas proporciona una forma relativamente económica y eficaz de proporcionar un medio de accionamiento en ciertos fluidos, de manera que la limitación de los fluidos debe contener una fracción volátil con el fin de que los elementos térmicos creen las burbujas necesarias. La proporción de fracción volátil necesita ser en general de al menos la mitad del total para que el procedimiento sea eficaz. En las Figuras 34A y 34B se muestra un ejemplo de una bomba accionada por burbujas en el que la bomba presenta una fila de

diez cámaras de burbujas y pares de diodos Tesla en paralelo, con cuatro cámaras de burbujas en serie en cada uno. El carácter compacto de las cámaras de burbujas y los diodos significa que las cámaras de burbujas y los diodos pueden conectarse fácilmente en cadena margarita entre sí para permitir alcanzar presiones diferenciales más elevadas. Se muestra un ejemplo de una configuración de cadena margarita corta en las Figuras 34A y 34B. En esta configuración, se accionan cámaras de burbujas alternas en la cadena en oposición de fase entre sí, de manera que cuando la burbuja en una cámara está en expansión, las burbujas en las cámaras inmediatamente corriente arriba y corriente abajo estarán colapsándose. El flujo se desplaza hacia delante a través de uno de los diodos, pero encuentra resistencia en el otro, haciendo así que un elemento de fluido se mueva a lo largo de la cadena. El procedimiento se repite en el siguiente semiciclo, aunque con las expansiones y contracciones de las burbujas produciéndose en cámaras de burbujas alternas. Estas pequeñas configuraciones en serie pueden usarse en paralelo y las Figuras 34A y 34B muestran un pequeño ejemplo de esta configuración. Dichas disposiciones pueden sumarse con el fin de alcanzar los caudales y presiones diferenciales requeridos para la aplicación en cuestión. Los elementos resistivos 89 necesarios se producen de forma conveniente por evaporación de películas conductoras en forma de vías en la superficie de obleas de silicio 88. Las cámaras de burbujas 90, 91 pueden ser de pequeña escala y medir solo unas decenas de micrómetros de tamaño, lo que lleva a que el tamaño global de la bomba es muy compacto. Los diodos fluidicos 92, 93, así como la cámara de burbujas 91 en sí, pueden fabricarse usando procedimientos DRIE en una oblea de silicio 94, 95. De nuevo, el componente grabado en DRIE puede usarse en forma de plantilla para producir un molde o una herramienta de grabado en relieve que permita producir en volumen componentes de diodos de plástico a bajo coste. Cada cámara de burbujas 91 está conectada con dos diodos fluidicos 92 y 93, uno de alimentación de entrada y uno de alimentación de salida. Los otros extremos de los diodos están conectados a las líneas de entrada 96 y salida 97 comunes respectivamente, o a cámaras de burbujas adicionales. Se coloca una placa de cubierta 99 sobre la oblea de silicio 95. Con el fin de reducir las fluctuaciones en la presión estática en el circuito externo y en los caudales totales, en general los canales vecinos pueden ser accionados en diferentes ángulos de fase entre sí. El número óptimo de fases dependerá de la dinámica de la generación y el colapso de las burbujas, y tendrá que establecerse experimentalmente para cada diseño de bomba.

[0061] La Figura 35 muestra una pequeña configuración de elementos de accionadores electrostáticos combinados con conductos valvulares Tesla para formar una bomba para bombeo de aire y gases. Cada elemento de bombeo consiste en un par de cámaras superficiales 100, moldeadas en un par de obleas poliméricas 101 y 102, separadas por una lámina fina de material polimérico 103, que forma el elemento de accionamiento en forma de diafragma. Cada cámara está conectada con un diodo de entrada y de salida 104 y 105. Las entradas a los diodos corriente arriba están conectadas entre sí por medio de un colector. El mecanismo de accionamiento funciona aplicando una película de alta resistividad al diafragma polimérico, que es elevado a una alta tensión. Los electrodos 106 aplicados a las superficies exteriores del dispositivo, a ambos lados de las cámaras de bombeo tienen señales eléctricas aplicadas a las mismas para producir un campo electrostático alto en las cámaras de bombeo. Las tensiones aplicadas a los pares de electrodos son alternas y en oposición de fase entre sí, aplicando así una fuerza alterna al diafragma. El diafragma oscila, alternativamente extrayendo aire y expulsándolo, de cada de las cámaras por medio de los diodos fluidicos 104 y 105. Así el aire es extraído desde el circuito externo por medio del orificio de entrada (no mostrado), en el colector de entrada 107, a través de los elementos de bombeo al colector de salida 108 y sale a través del orificio de salida 109 al circuito externo.

[0062] De igual forma que en los dispositivos descritos anteriormente diseñados para bombeo de líquidos, es posible conectar elementos de accionamiento electrostáticos y diodos fluidicos individuales en serie de manera que produzcan presiones más altas de lo que puede conseguirse con sistemas de diodos accionadores individuales. Alternativamente, como antes, las disposiciones en paralelo pueden prepararse en serie para alcanzar presiones más elevadas. El accionamiento electromagnético se usa ampliamente en la fabricación de altavoces convencionales. Los accionadores de tipo altavoz son buenos candidatos para la fabricación de bombas de aire basadas en la presente invención, que poseen las características necesarias de respuesta lineal, junto con la capacidad de producir movimiento de alta frecuencia de un elemento de accionamiento. Dado que los accionadores electromagnéticos eficaces suelen ser relativamente voluminosos, sería posible conectar entre sí de forma beneficiosa varios diafragmas individuales de la misma fase y accionarlos a partir del mismo accionador. Se conectarían dos, tres o cuatro de dichas disposiciones entre sí con colectores comunes y serían activadas con las formas de onda del mismo perfil y la misma fase para producir flujos suaves. Al igual que en los dispositivos descritos anteriormente diseñados para bombeo de líquidos, es posible conectar elementos de accionamiento electrostáticos y diodos fluidicos individuales en serie de manera que para se produzcan presiones más altas de lo que puede conseguirse con sistemas de diodos accionadores individuales.

[0063] Las Figuras 36A-36C muestran una posible realización adicional e ilustran una pluralidad de elementos de flexión 110 (cada uno de los cuales es un diafragma piezoeléctrico que funciona en modo cizalla) que

se asientan entre dos cámaras 111, de manera que cuando los elementos de flexión 110 se mueven en una dirección, una de las cámaras 111 extrae fluido nuevo, mientras que la otra lo expulsa. Las cámaras 111 se forman mediante grabado del lado inverso de un par de obleas de silicio 112 a partir de las cuales se forman los diodos
 5 dos obleas de silicio 112. Así, una vez más, el fluido entra por medio de un diodo, pasa a través de un agujero hasta el final de los canales de bombeo, pasa por el canal de bombeo y sale por medio de un segundo diodo. A ambos lados del diafragma hay esencialmente bombas separadas, con los mismos caudales en cualquier momento dado, que pueden estar unidas o no entre sí en serie o en paralelo en las entradas y las salidas. Esta implementación puede usar dos, tres, cuatro o más fases y todas las mismas formas de onda que se han descrito anteriormente. Las
 10 cubiertas 114 se colocan a ambos lados del conjunto.

[0064] Así será evidente que al menos algunas de las realizaciones de la microbomba no requieren elementos amortiguadores externos para conseguir flujos suaves. Los elementos amortiguadores (elementos de
 15 contención o acumuladores) añaden tamaño, peso, complejidad y coste y reducen la funcionalidad dado que deben mantenerse en la misma orientación con respecto a la gravedad. El movimiento no sinusoidal (triangular, trapezoidal o parabólico) a partir de múltiples elementos de accionamiento permite caudales suaves, si los perfiles de flujo individuales pueden disponerse de manera que los perfiles de caudales de variación en el tiempo individualmente a través de las válvulas rectificadoras de fases diferentes se suman entre sí en todo momento para el mismo valor total. Para conseguir las rápidas aceleraciones de los elementos de accionamiento necesarios para los perfiles
 20 triangular o trapezoidal (pero no parabólico), los elementos de accionamiento son capaces preferentemente de responder a los armónicos superiores (especialmente los armónicos tercero y quinto, según la teoría de Fourier). Por tanto deben ser capaces de multiplicar por entre 5x y 10x la frecuencia de base del dispositivo de trabajo. En conjunto, las formas de onda activadas por perfil parabólico son probablemente las mejores, aunque en algunos casos pueden ser más apropiadas las otras formas de onda de activación. El uso de conductos valvulares difusores de boquilla y Tesla mejora las propiedades de diodo (proporciones de avance de los flujos inversos en respuesta a
 25 entradas de presión variables simétricamente) de los conductos valvulares a medida que aumenta la frecuencia activada. Por tanto, en algunas realizaciones se eligen preferentemente los elementos de accionamiento con altas frecuencias naturales y de funcionamiento. Esto conduce, a su vez, a que cada elemento sea pequeño físicamente, dado que las frecuencias naturales aumentan al reducirse la escala, permaneciendo sin cambios todo lo demás. Así, para conseguir caudales importantes pueden necesitarse docenas o cientos de elementos que funcionen en
 30 paralelo. Esto se consigue fácilmente con el procesamiento en paralelo disponible en el procesamiento MEMS. Naturalmente, las válvulas antirretorno convencionales no responden de la misma forma a las frecuencias de accionamiento cada vez más altas, pues su inercia hace que oscilen alrededor de un estado semiabierto intermedio. Sin embargo, si se combinan en serie con diodos fluidicos, puede requerirse que pase sólo el fluido que circula a un caudal constante si el dispositivo está en accionamiento, o que ofrezca resistencia a los flujos inversos si el
 35 dispositivo no está en accionamiento, donde ambas cosas se hacen con facilidad. Por tanto, pueden usarse válvulas antirretorno convencionales para dividir una configuración en bloques funcionales de diferente número de elementos de accionamiento, de manera que formen una "configuración digital", por ejemplo una configuración dividida en bloques cuyos caudales formen una secuencia binaria de 1, 2, 4, 8, etc. Al seleccionar que combinaciones
 40 adecuadas de estos bloques se activen o desactiven puede conseguirse un intervalo de caudales, en incrementos de 1 unidad de flujo.

[0065] Será evidente que la elección de medios de accionamiento o del diseño del conducto valvular o las válvulas antirretorno puede depender de las consideraciones anteriores. En principio, cualquier elemento de
 45 accionamiento puede combinarse con cualquier conducto valvular o válvula antirretorno. Por ejemplo, pueden preferirse elementos de accionamiento que son compartidos por dos cámaras de bombeo dado que, por definición, el volumen total contenido por la bomba se mantiene constante, ya que cualquier aumento en el volumen de una cámara se corresponde con una reducción en el volumen de su vecina. A su vez, esto significa que la bomba no intercambia periódicamente fluido con el circuito externo, de manera que la presión estática en el circuito externo
 50 permanece constante. Sin embargo, para aplicaciones en las que se requieren altas presiones diferenciales, pero en las cuales la suavidad de los caudales puede ser menos importante, los diodos fluidicos pueden colocarse entre elementos de accionamiento vecinos. En este caso, cuando una cámara se contrae, su vecina se expande precisamente en la misma magnitud y el fluido puede circular desde una a la otra por el diodo. Estas cámaras pueden reunirse en cadenas para producir altas presiones diferenciales a partir de una estructura compacta. Otra
 55 ventaja de esta configuración es que la presión diferencial a través de cualquiera de los elementos de accionamiento se limita a la presión a través del diodo asociado, y por tanto es moderada. La aplicación de estos principios, aunque usando accionamiento electrostático de membranas flexibles para producir desplazamientos de volumen relativamente grandes a menores presiones permite la construcción de bombas neumáticas, mientras que los dispositivos accionados de forma piezoeléctrica están mejor adaptados al bombeo de líquidos.

[0066] En una implementación, la presión máxima suministrada por la bomba puede aumentarse mediante elementos de bombeo de conexión en serie. En este caso, los diodos fluídicos conectan cada canal con dos vecinos en una cadena margarita. Así se permite generar presiones diferenciales mayores de lo que es posible con 5 elementos individuales que funcionan en paralelo. En principio, puede conectarse un gran número de elementos en serie, de manera que la presión diferencial total del sistema es cercana a la suma de todas las presiones a través de los elementos individuales en la serie. Como la presión estática aumenta de forma incremental de una cámara a su vecina, la presión estática a través de cualquier elemento de flexión está limitada a la presión a través del diodo fluídico que separa los canales, más la presión alterna generada a partir del elemento de flexión. Así la rigidez y la 10 fuerza del elemento de flexión pueden optimizarse para mejorar la eficacia del bombeo, en lugar de estar comprometidas por la necesidad de reforzar el elemento de flexión para que resista la presión total, con el fin de evitar la ruptura y el escape del fluido bombeado al exterior.

[0067] Por tanto se observará que es posible producir una bomba que puede suministrar un flujo de fluido 15 sustancialmente constante a una presión sustancialmente constante sin el uso de acumuladores de presión o de servoválvulas. Puede usarse una implementación para mover el aire y los gases en contra de un intervalo de contrapresiones, con fluctuaciones de presión mínimas y con tiempos de respuesta relativamente rápidos. Así, puede conseguirse un amplio intervalo de caudales y presiones de bombeo a partir de una base modular común. Por tanto algunas realizaciones permiten producir bombas fluídicas que se benefician de una arquitectura modular, 20 construidas con una configuración de subsistemas estandarizados, capaces de un amplio intervalo de caudales máximos y presiones máximas según la aplicación, proporcionando así, en algunas realizaciones, un bajo coste de fabricación. Varias realizaciones permiten suministrar un control preciso de los caudales de fluido en torno al circuito externo, así como niveles bajos de fluctuaciones de presión, alta velocidad de respuesta, tamaño compacto, bajo peso, alta eficiencia energética y alta eficiencia termodinámica. En algunas realizaciones no existe necesidad de 25 partes deslizantes o giratorias que puedan agarrotarse o bloquearse o dañar los delicados componentes de fluido, y por tanto las realizaciones proporcionan la capacidad de bombear una amplia variedad de tipos de fluido, lo que incluye fluidos que tienen viscosidades bajas o altas, diferentes químicas de fluido y fluidos sensibles a la cizalla o a la presión, además de tener una alta fiabilidad y un tiempo de vida largo.

[0068] Se observará además que aunque sólo se han descrito en detalle algunas realizaciones particulares 30 de la invención, un experto en la materia puede realizar diversas modificaciones y mejoras sin apartarse del alcance de la presente invención según se expresa en las siguientes reivindicaciones.

REIVINDICACIONES

1. Una microbomba, que comprende:

- 5 un canal de entrada común (25);
un canal de salida común (27);
una pluralidad de elementos de bombeo (23), teniendo cada elemento de bombeo (23) una entrada acoplada al canal de entrada común (25) y una salida acoplada al canal de salida común (27), estando la entrada y la salida conectadas por un canal microfluídico (23) dispuesto en un sustrato;
- 10 una pluralidad de elementos de accionamiento (30) dispuestos para hacer que el fluido sea bombeado a través de los canales microfluídicos (23) desde las entradas a las salidas de los mismos; y

un controlador (29) acoplado para accionar los elementos de accionamiento (30) de manera que se produzca un flujo continuo constante del fluido en el canal de salida común, en el que cada uno de los canales microfluídicos

15 comprende un conducto valvular (24, 26) que tiene baja resistencia al flujo de fluido en una dirección desde la entrada a la salida y alta resistencia al flujo de fluido en una dirección desde la salida a la entrada y al menos uno de los conductos valvulares comprende una estructura de rectificación.

2. Una microbomba según la reivindicación 1, en la que la estructura de rectificación comprende una

20 pluralidad de micromezcladores topológicos que separan, giran y recombinan el fluido dispuesto en serie en el conducto valvular.

3. Una microbomba según la reivindicación 2, en la que la estructura de rectificación comprende

25 cualquiera entre:

- una estructura Tesla;
una estructura de difusor con boquilla; y
una estructura de diodo de vórtex.

4. Una microbomba según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en la que al menos uno de los

30 canales microfluídicos comprende un par de conductos valvulares y una cámara de bombeo dispuesta entre los conductos valvulares, estando un elemento de accionamiento dispuesto adyacente a la cámara de bombeo, preferentemente en la que las cámaras de bombeo de canales microfluídicos adyacentes comparten un elemento de accionamiento, estando el elemento de accionamiento dispuesto de manera que produzca el bombeo del fluido a

35 través de los canales microfluídicos adyacentes en dos o más fases.

5. Una microbomba según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en la que el controlador acciona los elementos de accionamiento según una sincronización relativa mutuamente escalonada.

6. Una microbomba según la reivindicación 5, en la que el controlador acciona los elementos de

40 accionamiento para un funcionamiento sustancialmente a la misma frecuencia, pero desfasados entre sí.

7. Una microbomba según la reivindicación 5, en la que el controlador acciona los elementos de accionamiento en dos o más fases, para que se desplacen de manera que las velocidades medias de las paredes o

45 diafragmas de accionamiento, y por tanto las tasas de desplazamiento volumétrico dentro de los elementos de accionamiento de las dos o más fases se suman a un valor total constante en cualquier punto dado en el tiempo a lo largo de uno o más ciclos de funcionamiento.

8. Una microbomba según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en la que el controlador acciona

50 los elementos de accionamiento de canales microfluídicos alternos en desfase de semiciclo con sus vecinos, usando formas de onda de activación de tensión de entrada para controlar los elementos de accionamiento de manera que produzcan:

- un histórico de presión con respecto al tiempo en cada elemento de accionamiento que tiene un perfil triangular,
- 55 disponiendo que cada elemento de accionamiento se desplace a una velocidad constante desde un extremo de su recorrido al otro en un semiciclo y a continuación retorne de nuevo a una velocidad constante en un semiciclo; o
- un histórico de presión con respecto al tiempo en cada elemento de accionamiento que tiene un perfil sinusoidal, disponiendo que cada elemento de accionamiento se desplace desde un extremo de su recorrido al otro en un semiciclo y a continuación retorne de nuevo en un semiciclo.

9. Una microbomba según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 7, en la que el controlador acciona los elementos de accionamiento de canales microfluídicos un tercio de ciclo en avance de fase con respecto a sus vecinos en un lado y un tercio de ciclo de retardo de fase con respecto a sus vecinos en el otro lado, usando formas de onda de activación de tensión de entrada para controlar los elementos de accionamiento de manera que produzcan:

- un histórico de presión con respecto al tiempo en cada elemento de accionamiento que tiene un perfil triangular, disponiendo que cada elemento de accionamiento se desplace a una velocidad constante desde un extremo de su recorrido al otro en un semiciclo y a continuación recupere de nuevo una velocidad constante en un semiciclo; o
- un histórico de presión con respecto al tiempo en cada elemento de accionamiento que tiene un perfil trapezoidal, disponiendo que cada elemento de accionamiento se desplace a una velocidad constante desde un extremo de su recorrido al otro en un tercio de ciclo, permanezca en su lugar durante un sexto de ciclo, recupere de nuevo una velocidad constante en un tercio de ciclo y permanezca en su lugar durante un sexto de ciclo; o
- un histórico de presión con respecto al tiempo en cada elemento de accionamiento que tiene un perfil parcialmente parabólico, disponiendo que cada elemento de accionamiento se desplace desde la posición neutra a una velocidad constante durante una doceava parte de ciclo, a continuación su posición describe un perfil parabólico durante un tercio de ciclo, lo que significa que su velocidad está cambiando a una tasa constante, o que está acelerando a una tasa constante a través de esta fase hacia la posición neutra, a continuación se desplaza a una velocidad constante durante un sexto de ciclo, en una trayectoria parabólica durante un tercio de ciclo y finalmente a velocidad constante durante una doceava parte de ciclo de nuevo a la posición de inicio al final del ciclo; o
- un histórico de presión con respecto al tiempo en cada elemento de accionamiento que tiene un perfil sinusoidal.

10. Una microbomba según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 7, en la que el controlador acciona los elementos de accionamiento de canales microfluídicos un cuarto de ciclo en avance de fase con respecto a sus vecinos en un lado y un cuarto de ciclo de retardo de fase con respecto a sus vecinos en el otro lado, usando formas de onda de activación de tensión de entrada para controlar los elementos de accionamiento de manera que produzcan:

- un histórico de presión con respecto al tiempo en cada elemento de accionamiento que tiene un perfil triangular, disponiendo que cada elemento de accionamiento se desplace a una velocidad constante desde un extremo de su recorrido al otro en un semiciclo y a continuación recupere de nuevo una velocidad constante en un semiciclo; o
- un histórico de presión con respecto al tiempo en cada elemento de accionamiento que tiene un perfil trapezoidal, disponiendo que cada elemento de accionamiento se desplace a una velocidad constante desde un extremo de su recorrido al otro en un cuarto de ciclo, permanezca en su lugar durante un cuarto de ciclo, a continuación recupere de nuevo una velocidad constante en un cuarto de ciclo y permanezca en su lugar durante un cuarto de ciclo; o
- un histórico de presión con respecto al tiempo en cada elemento de accionamiento que tiene un perfil parabólico, disponiendo que cada elemento de accionamiento se desplace de manera que su perfil de posición con respecto al tiempo describa una curva parabólica a cada lado de la posición neutra del elemento de accionamiento, con una duración de un semiciclo en cada lado, lo que significa que su tasa de cambio de velocidad es una constante, es decir, que su aceleración es una constante, dirigida hacia la posición neutra en todo momento; o
- un histórico de presión con respecto al tiempo en cada elemento de accionamiento que tiene un perfil sinusoidal.

11. Una microbomba según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en la que al menos uno de los elementos de accionamiento comprende uno cualquiera de entre:

- un generador de burbujas para crear una burbuja en el fluido mediante un calentador, de manera que el crecimiento de la burbuja provoca la propulsión del fluido;
- un diafragma de transductor piezoeléctrico (TPZ);
- un diafragma activado por fuerzas electrostáticas; o
- un diafragma activado por fuerzas electromagnéticas.

12. Una microbomba según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, que comprende además:

- al menos una válvula antirretorno mecánica colocada entre el canal de entrada común y las entradas de uno o más de los elementos de bombeo, permitiendo la válvula antirretorno mecánica el flujo en el canal microfluídico respectivo, pero impidiendo flujos inversos; y
- al menos una válvula antirretorno mecánica colocada entre el canal de salida común y las salidas de uno o más de los elementos de bombeo, permitiendo la válvula antirretorno mecánica el flujo desde el canal microfluídico

respectivo, pero impidiendo flujos inversos.

13. Una microbomba según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, que comprende además una pluralidad de válvulas antirretorno colocadas en el canal de entrada común y en el canal de salida común entre las 5 entradas de uno o más de los elementos de bombeo de manera que se subdivide la pluralidad de elementos de bombeo en una serie de bloques funcionales.
14. Una microbomba según la reivindicación 13, en la que las válvulas antirretorno colocadas en el canal de entrada común y en el canal de salida común están dispuestas de manera que los bloques funcionales forman 10 una configuración de bloques funcionales, en la que los bloques funcionales de la configuración tienen un número creciente de elementos de bombeo dentro de cada bloque funcional que aumenta como una serie binaria: 1; 2; 4; 8; 16; 32, etc.
15. Una microbomba según la reivindicación 13 o 14, en la que los bloques funcionales están controlados 15 para ajustar el caudal total de la microbomba de manera que los circuitos de activación eléctricos se corresponden con los bloques funcionales, de manera que al activar o desactivar un circuito de activación en particular, se hace que cada bloque funcional correspondiente inicie o interrumpa el bombeo de manera que se corresponda con la demanda de una carga externa.

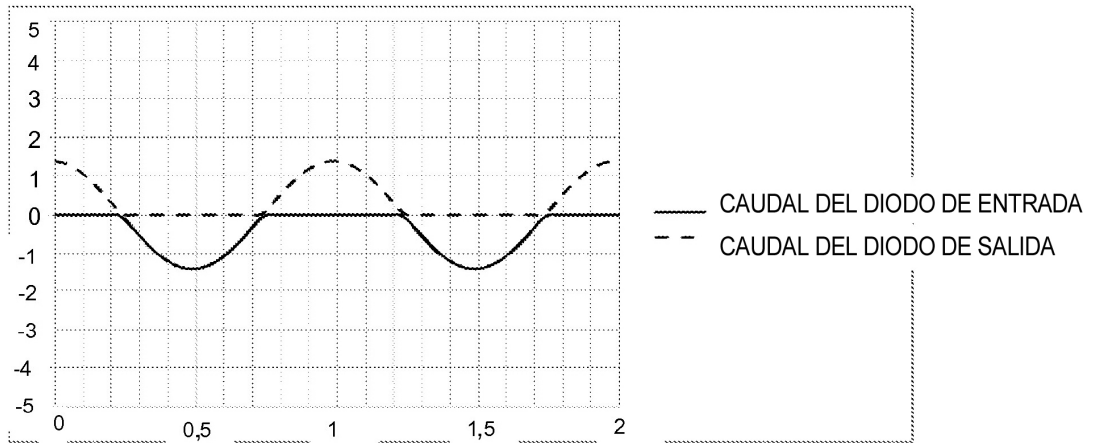
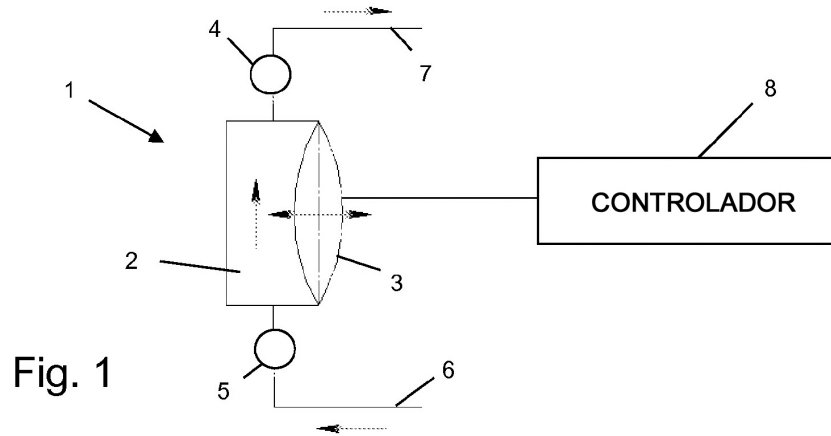


Fig. 2

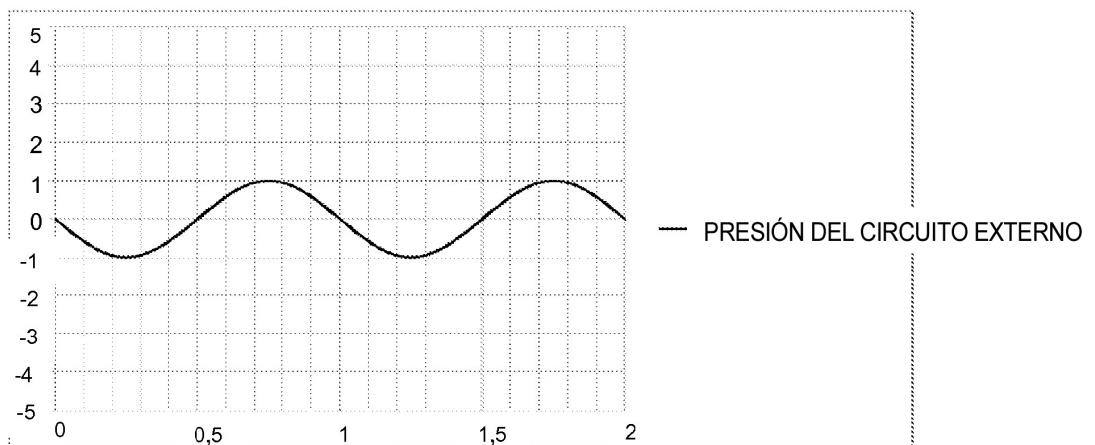
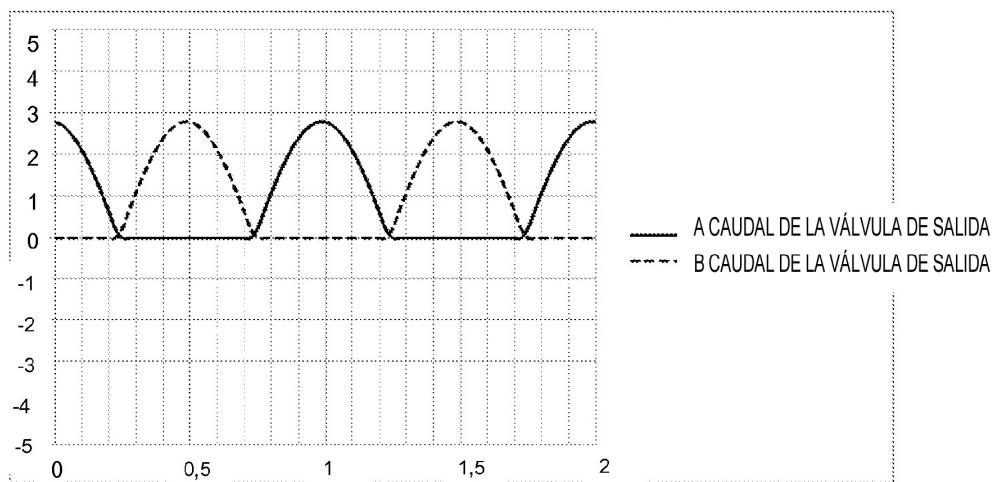
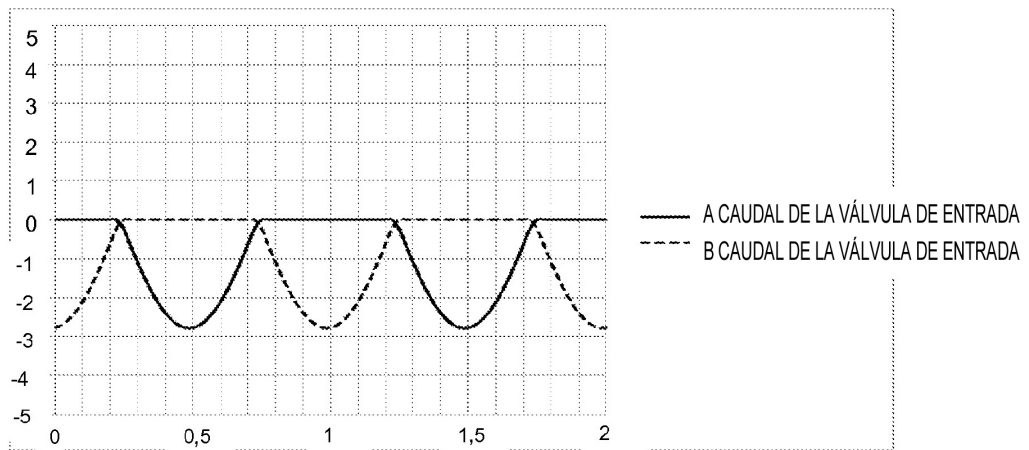
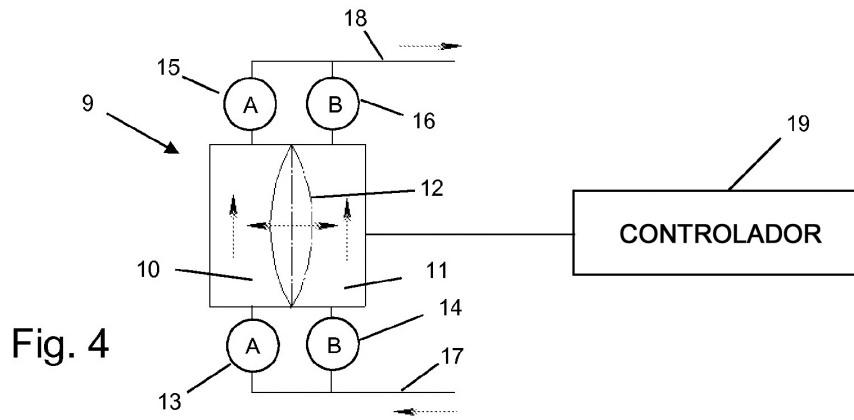


Fig. 3



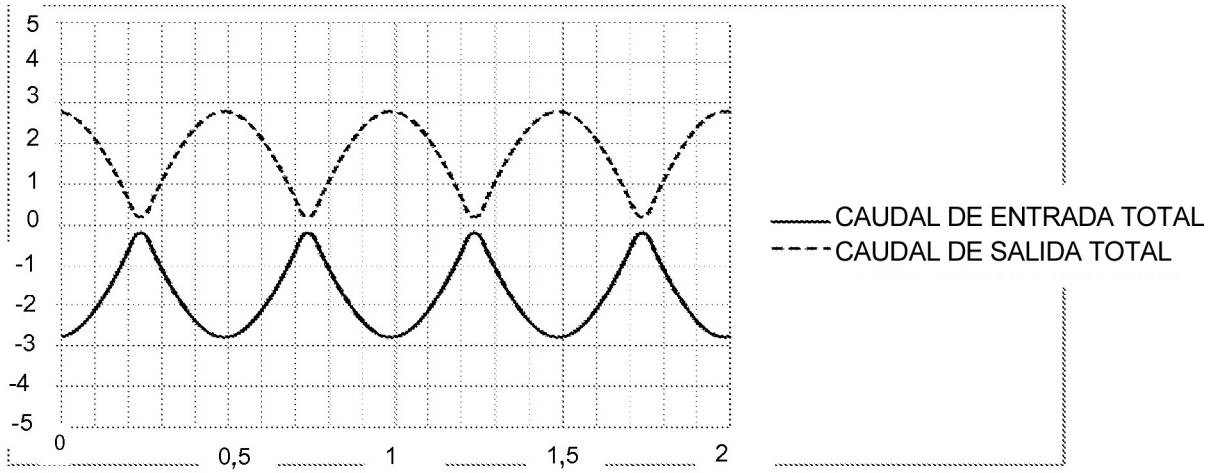


Fig. 5C

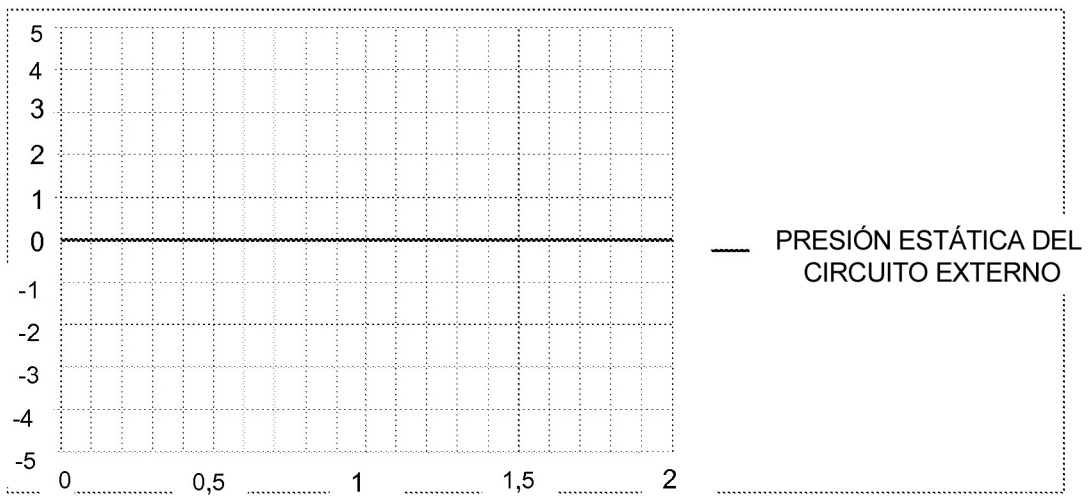
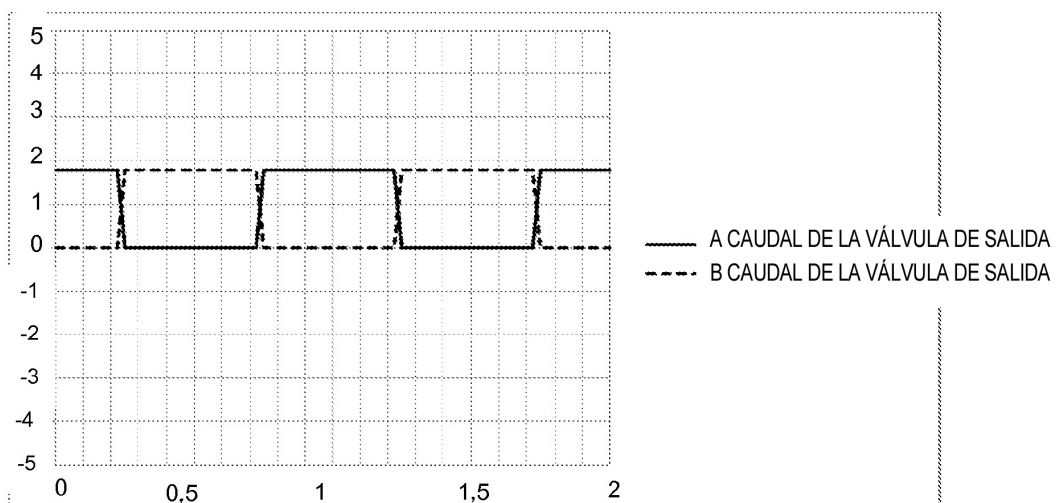
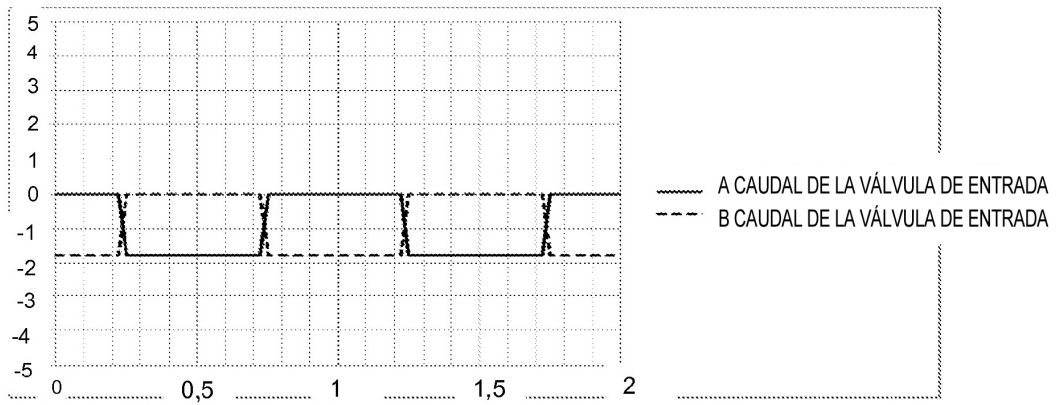
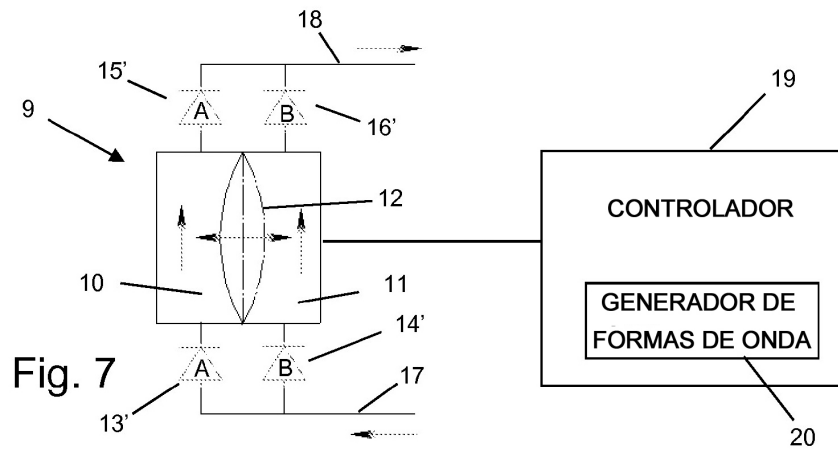


Fig. 6



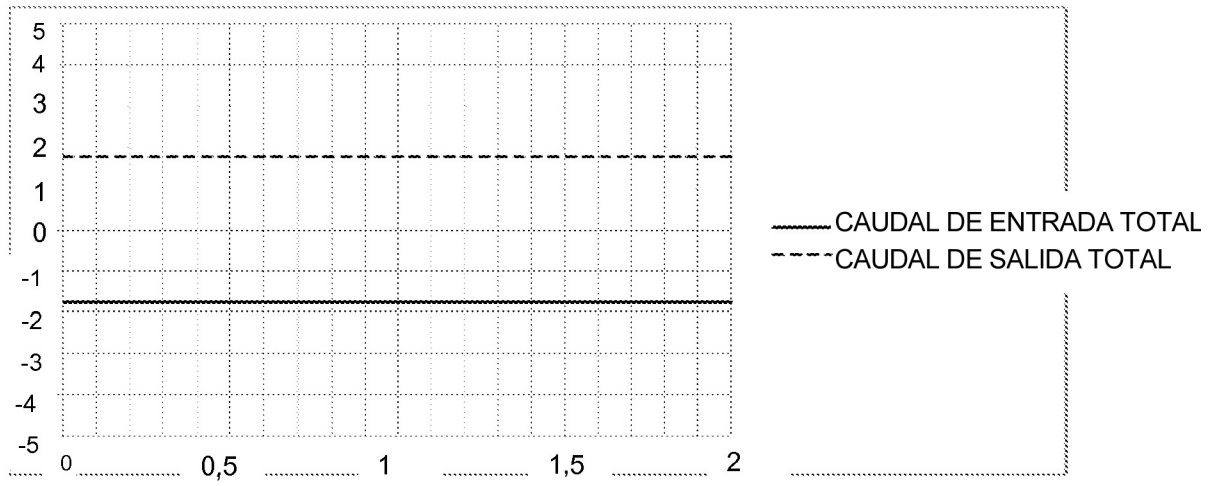


Fig. 8C

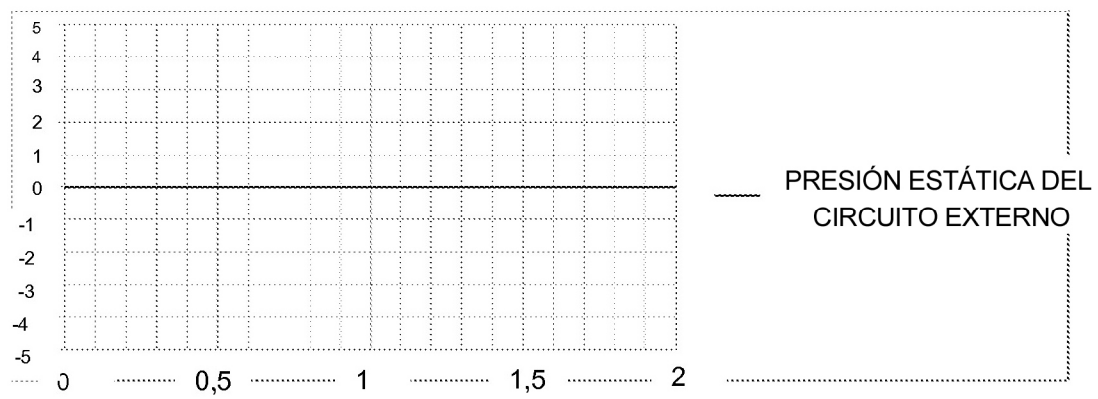


Fig. 9

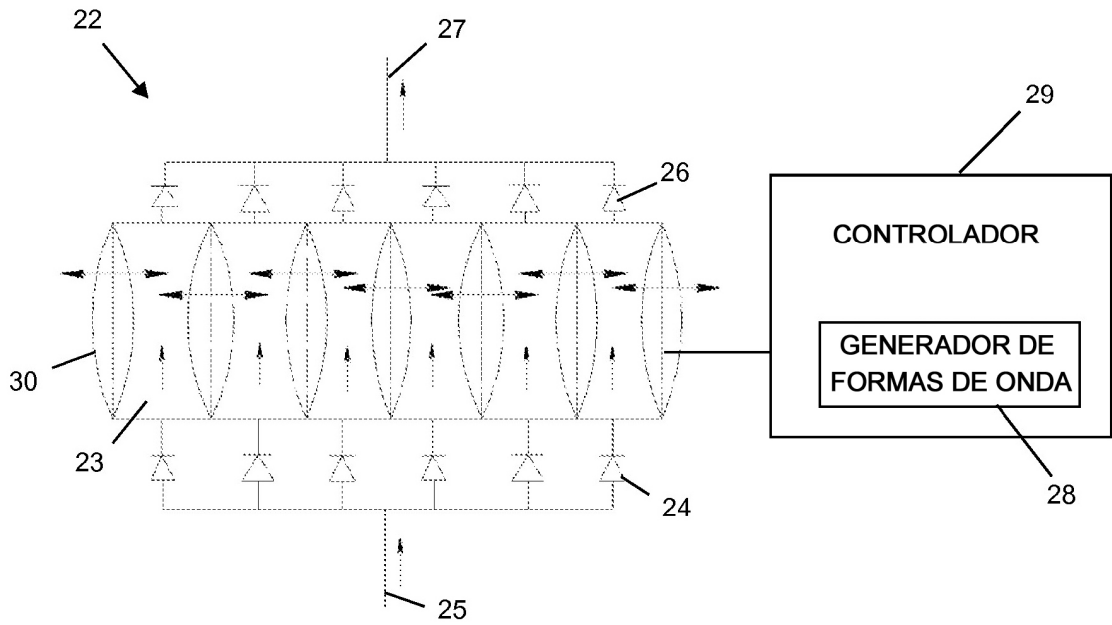


Fig. 10

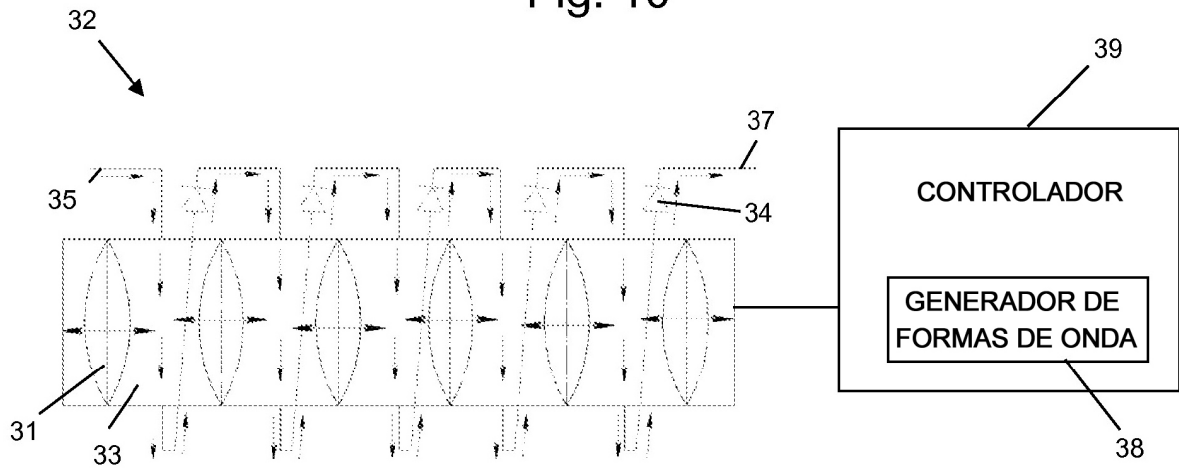


Fig. 11

Fig. 12A

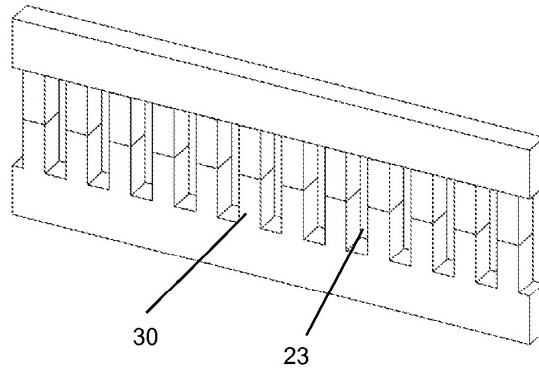


Fig. 12B

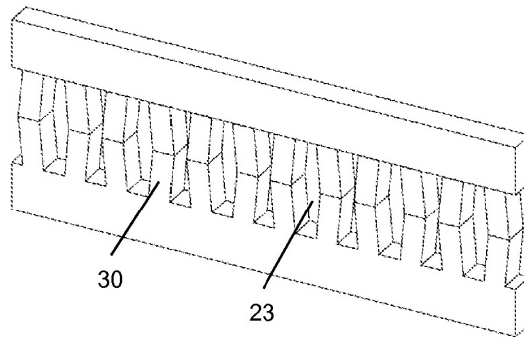


Fig. 12C

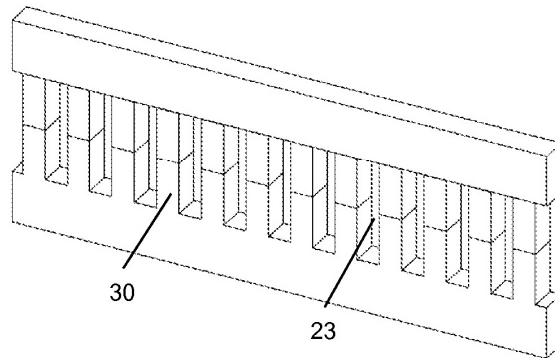


Fig. 12D

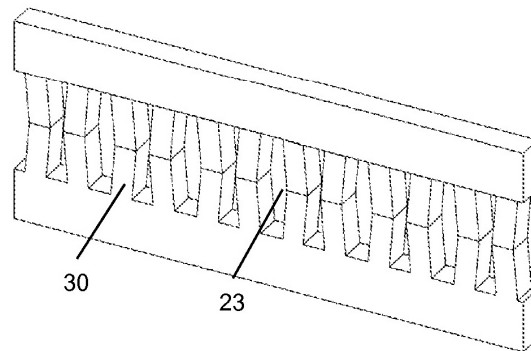


Fig. 13A

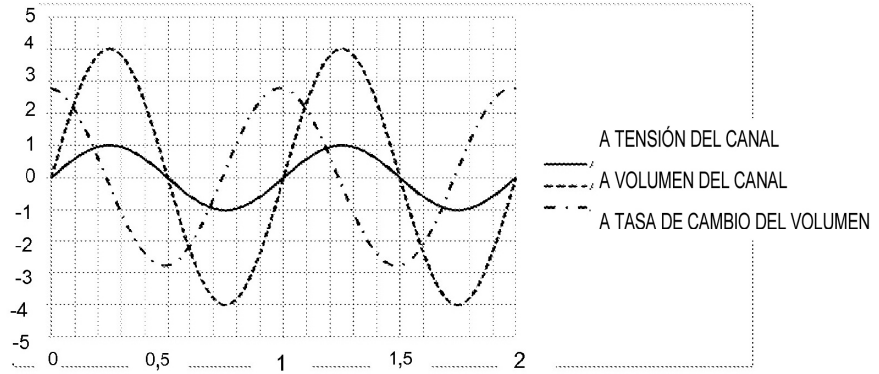


Fig. 13B

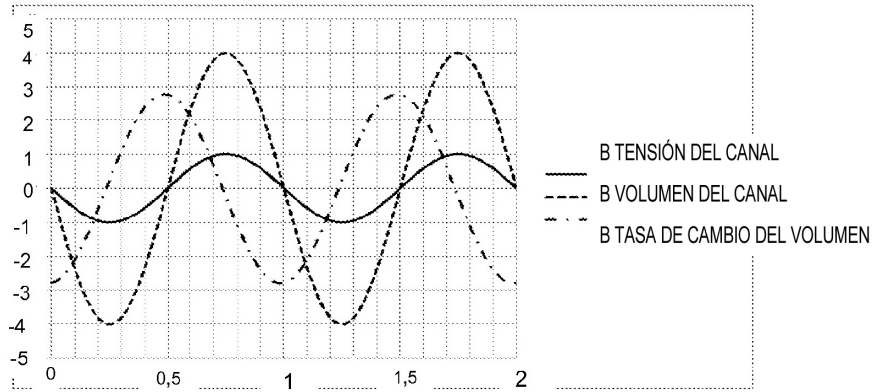


Fig. 14A

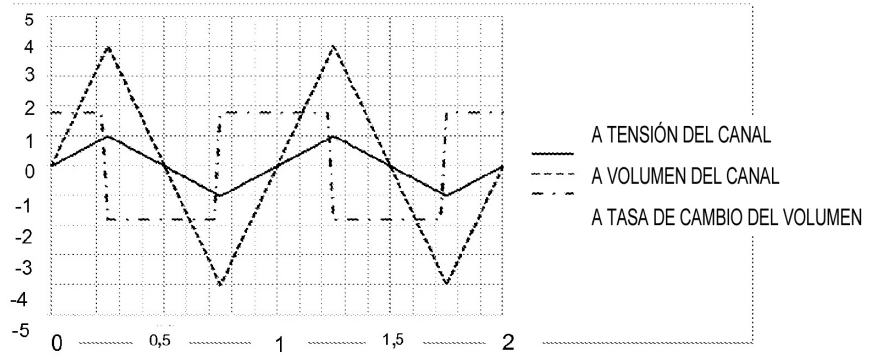
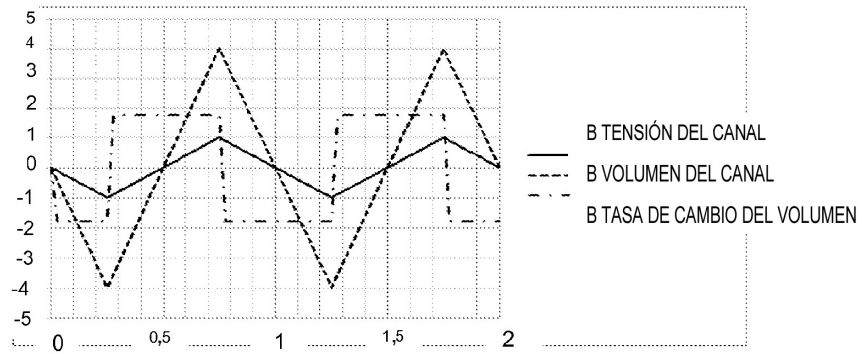
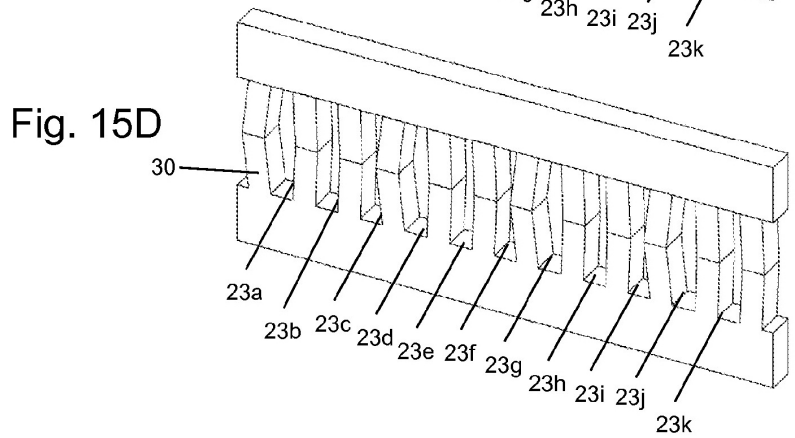
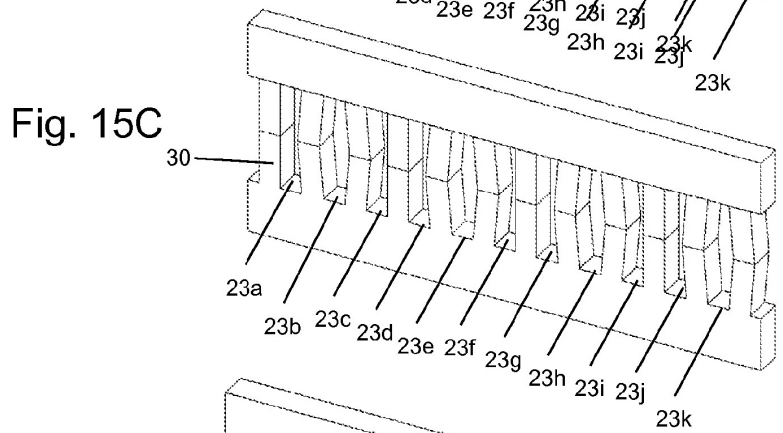
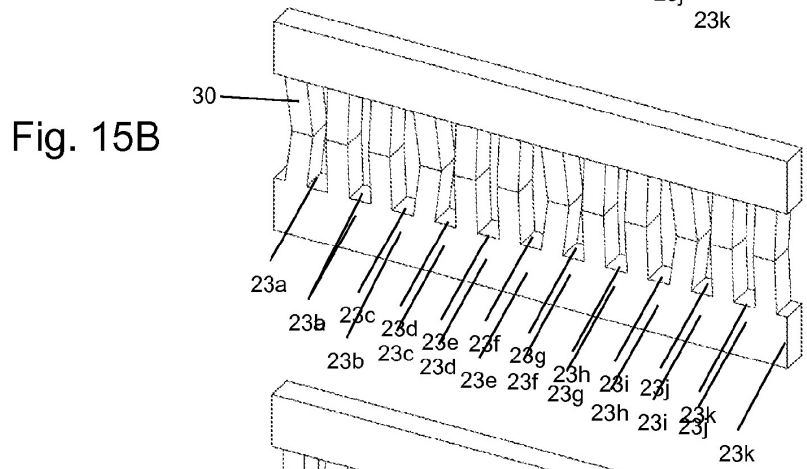
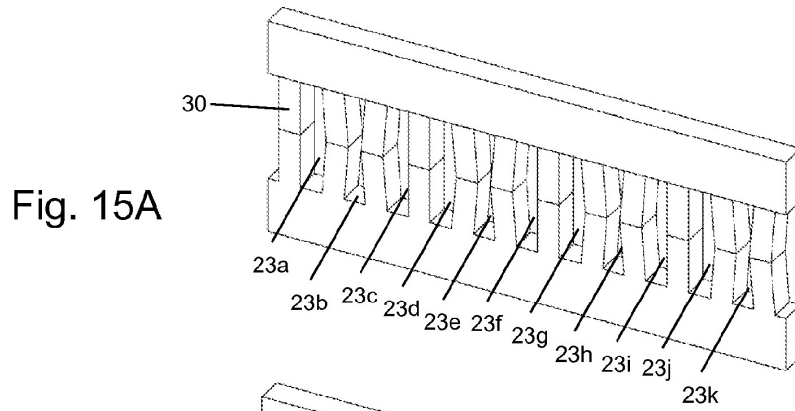


Fig. 14B





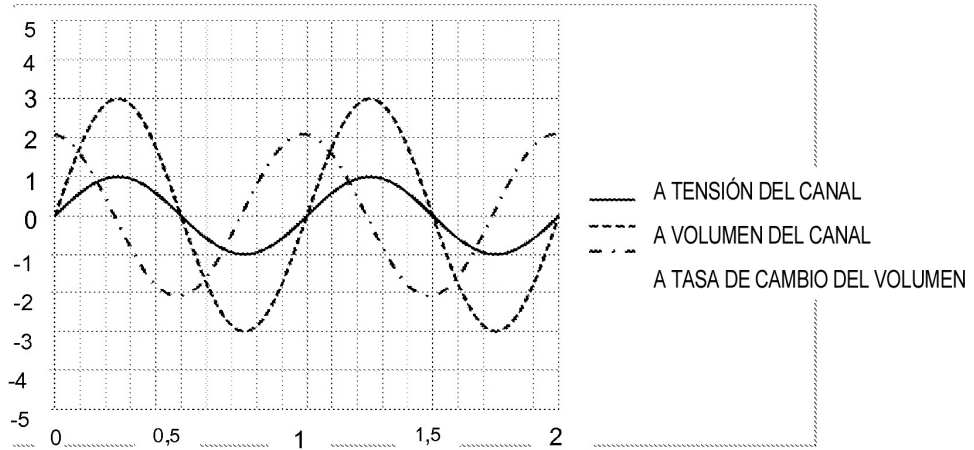


Fig. 16A

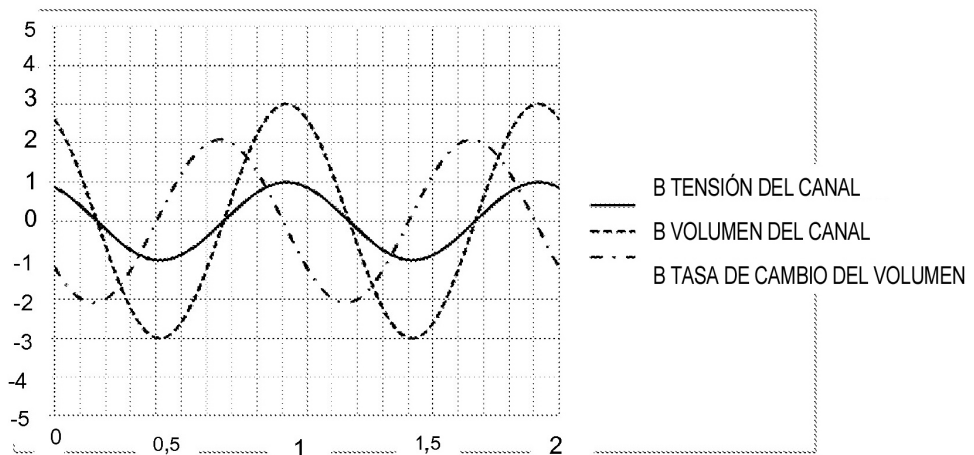


Fig. 16B

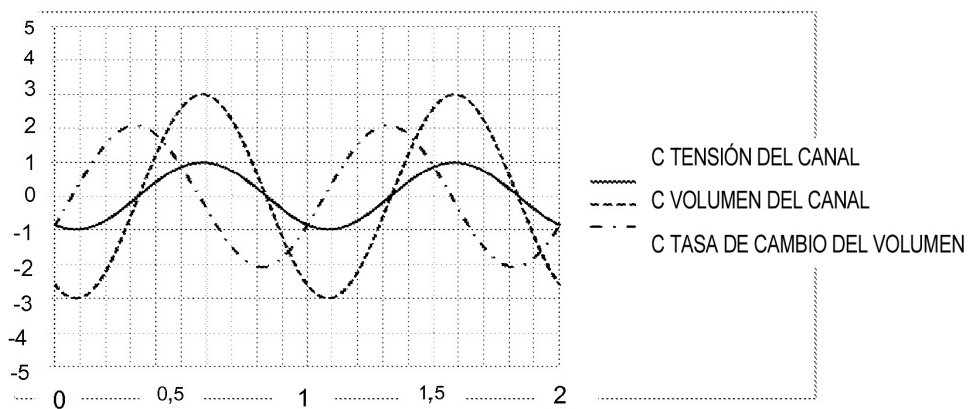


Fig. 16C

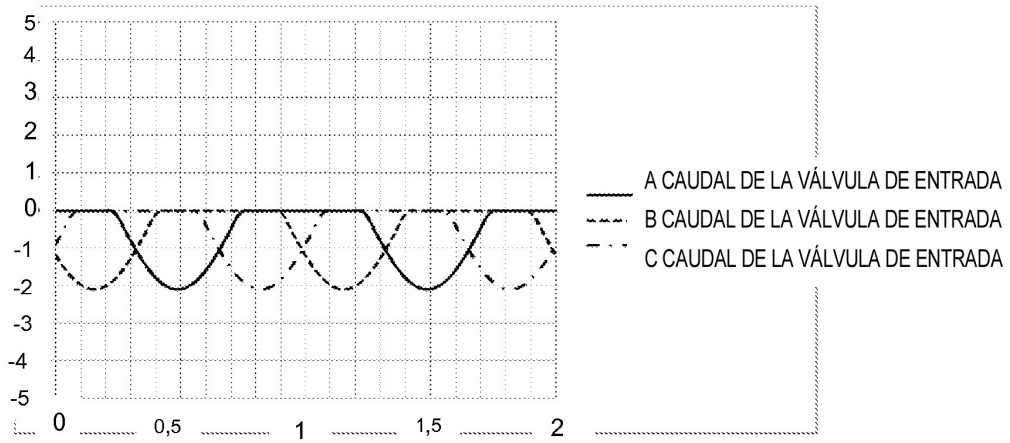


Fig. 17A

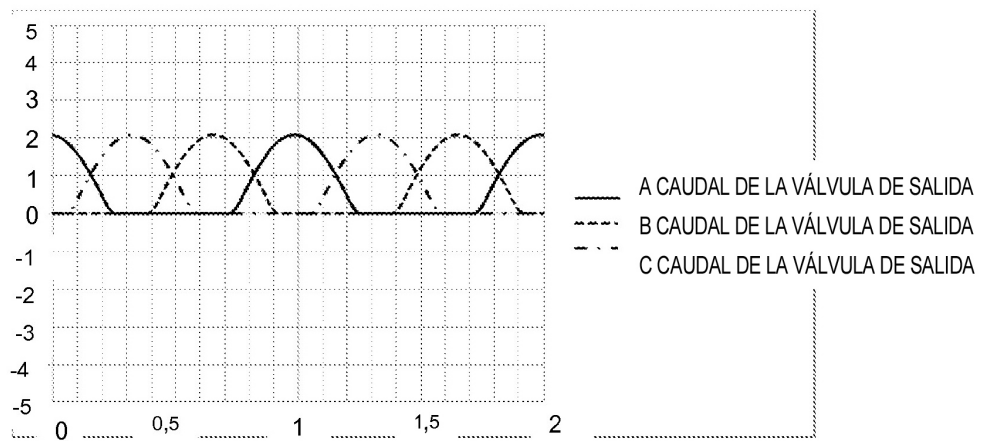


Fig. 17B

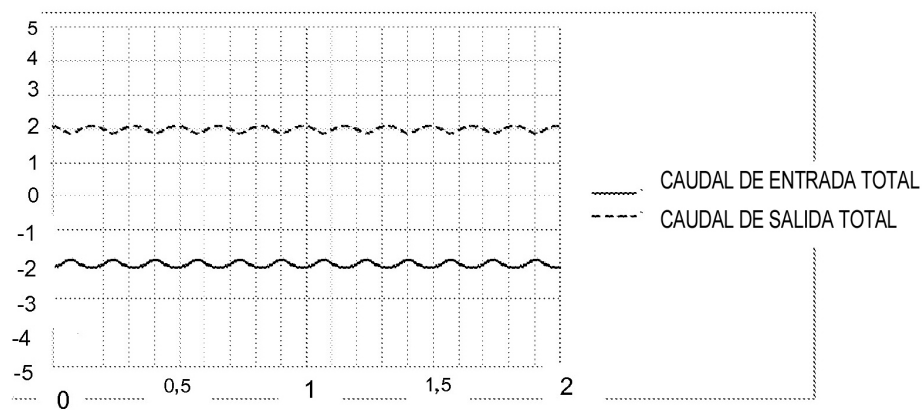


Fig. 17C

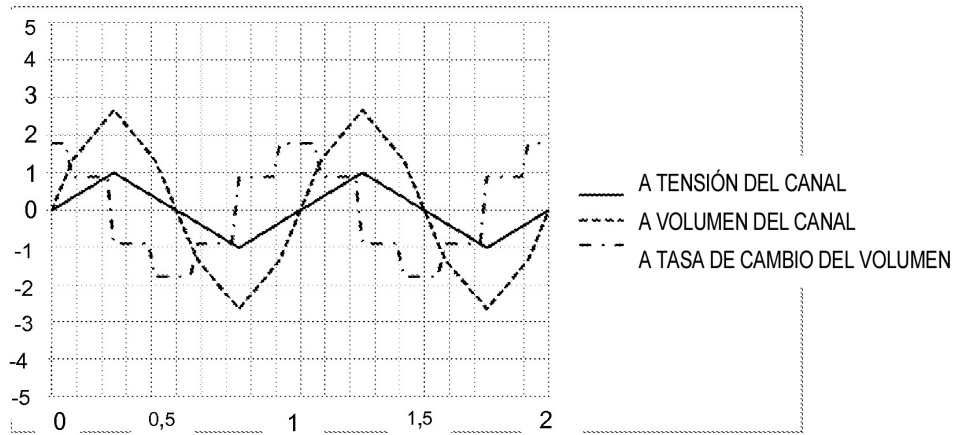


Fig. 18A

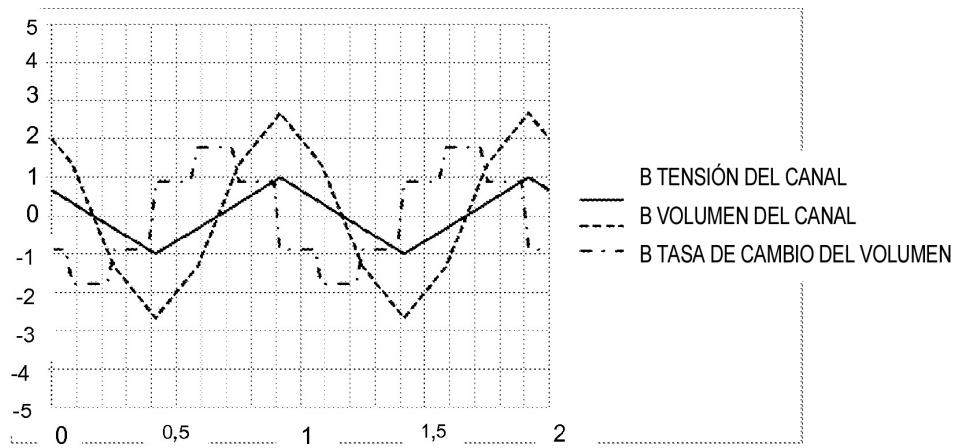


Fig. 18B

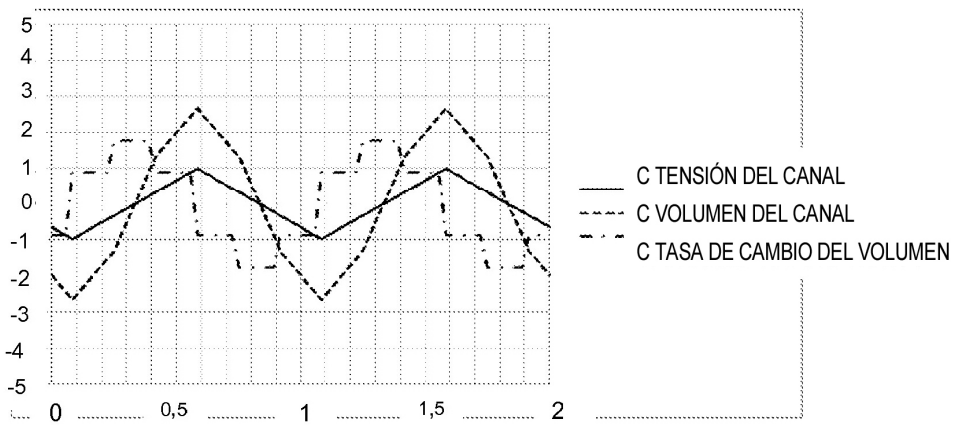


Fig. 18C

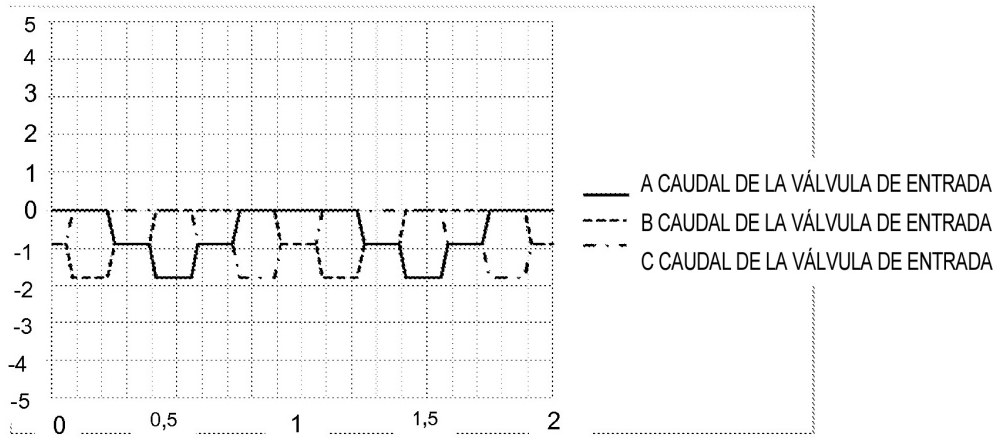


Fig. 19A

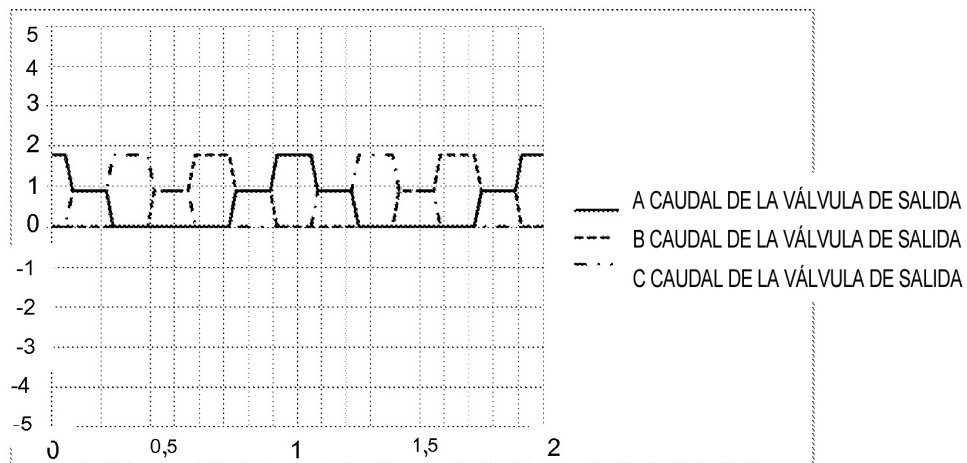


Fig. 19B

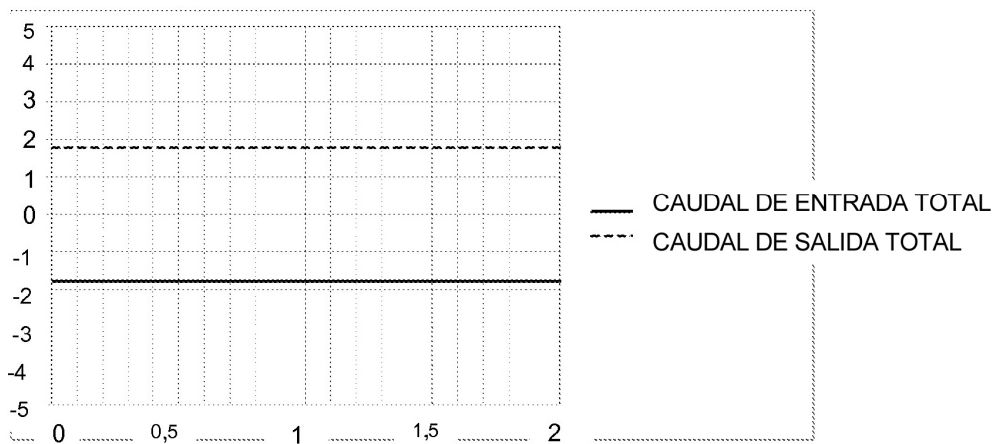


Fig. 19C

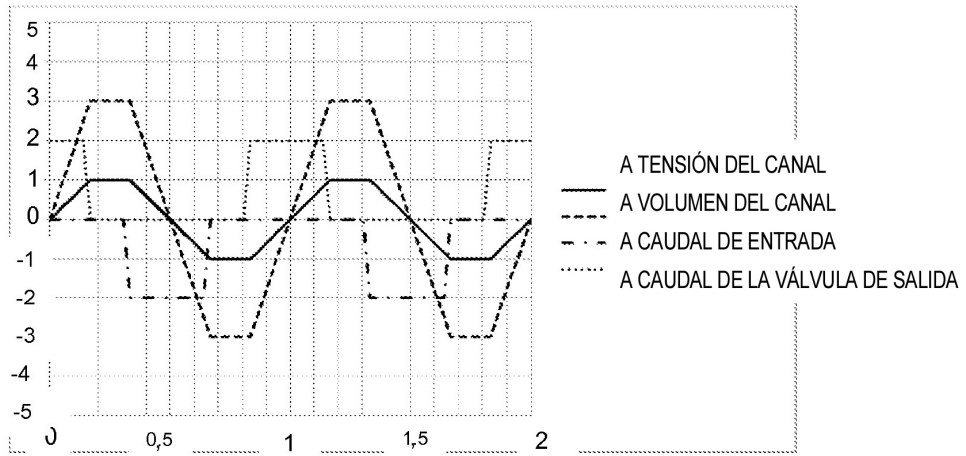


Fig. 20A

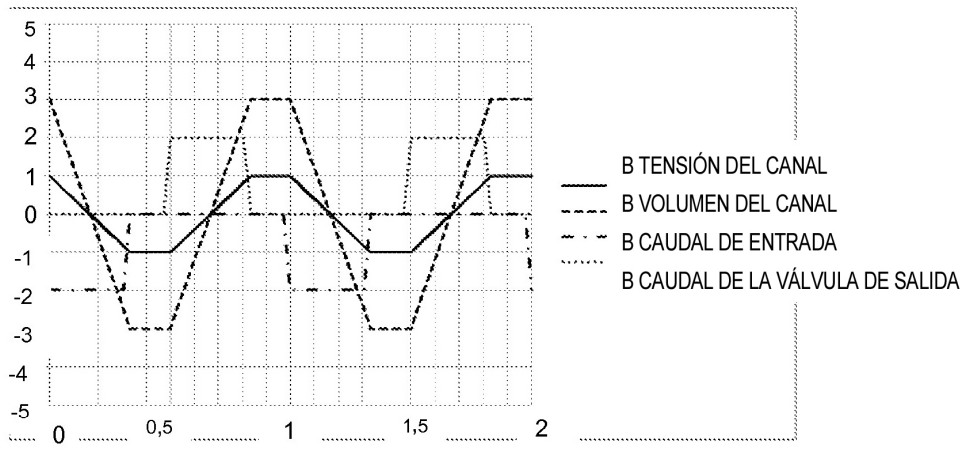


Fig. 20B

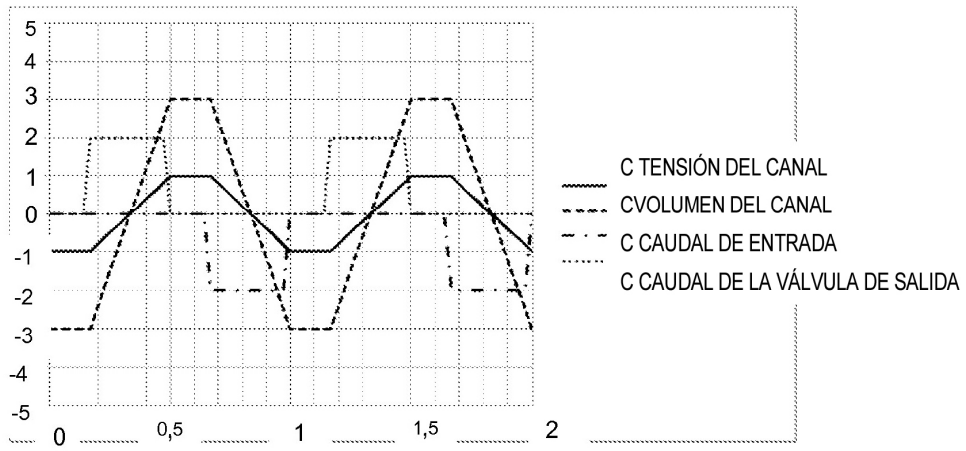


Fig. 20C

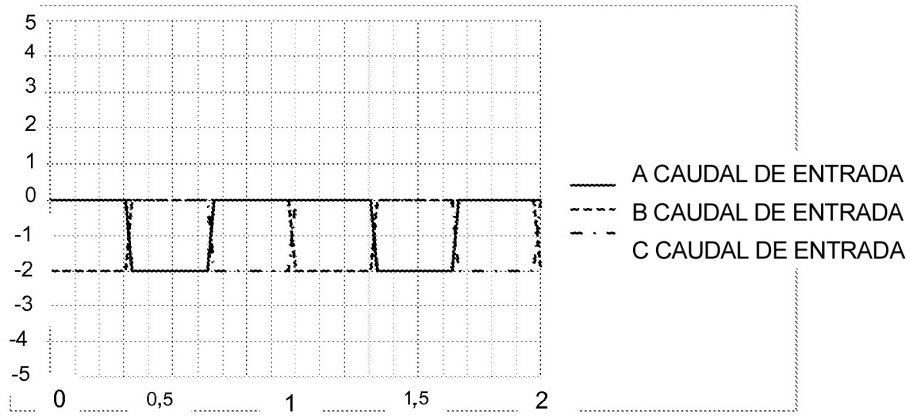


Fig. 21A

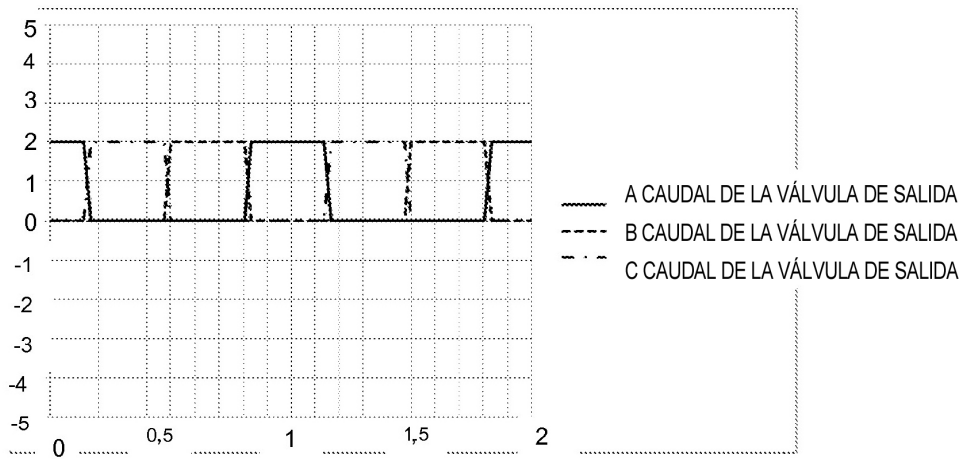


Fig. 21B

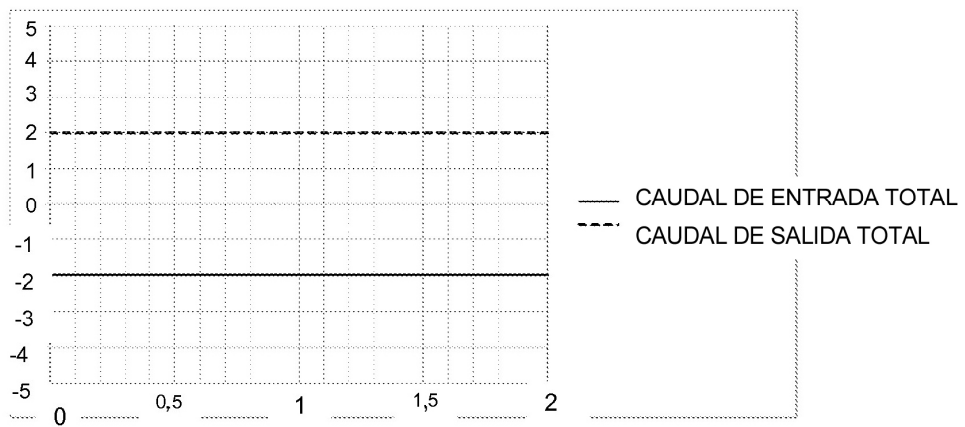


Fig. 21C

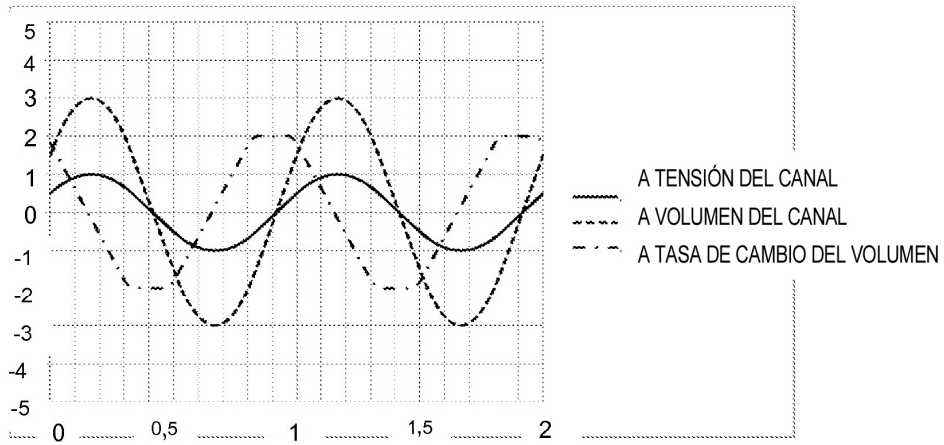


Fig. 22A

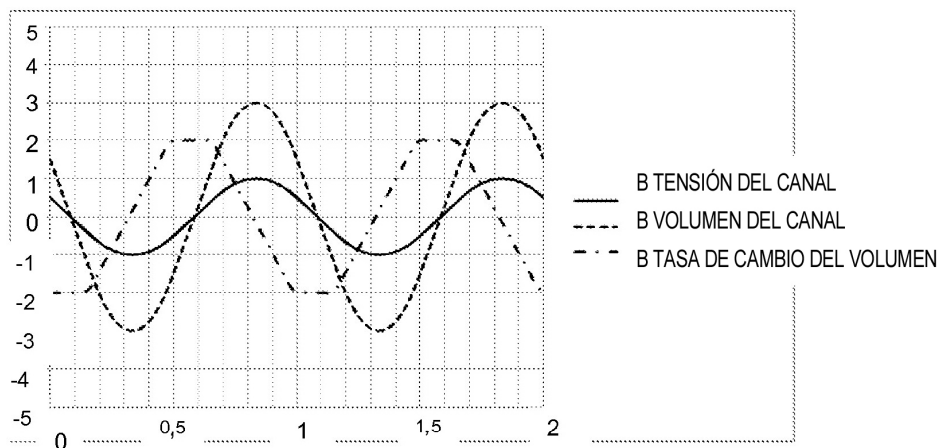


Fig. 22B

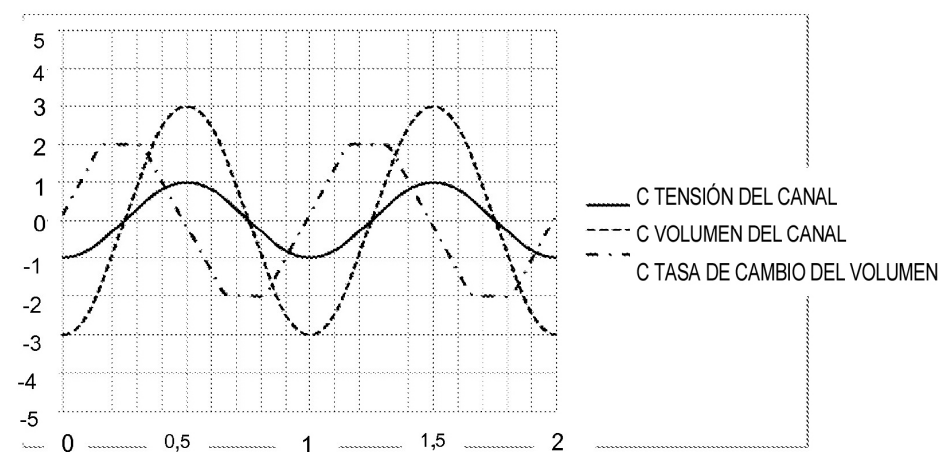


Fig. 22C

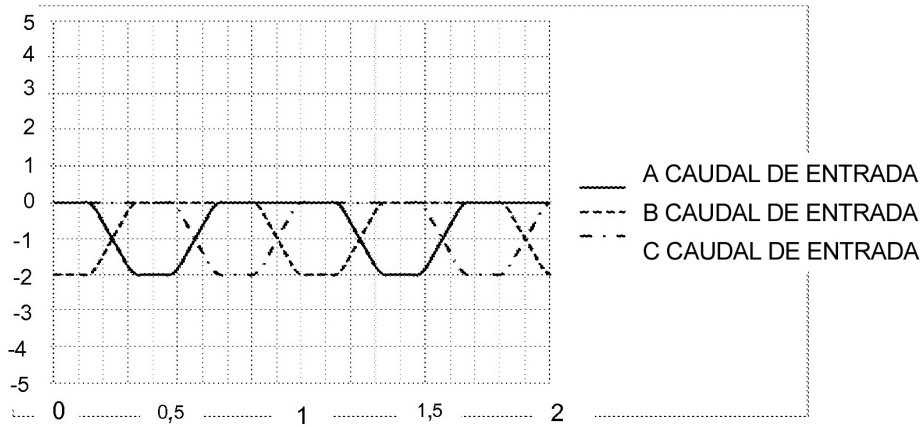


Fig. 23A

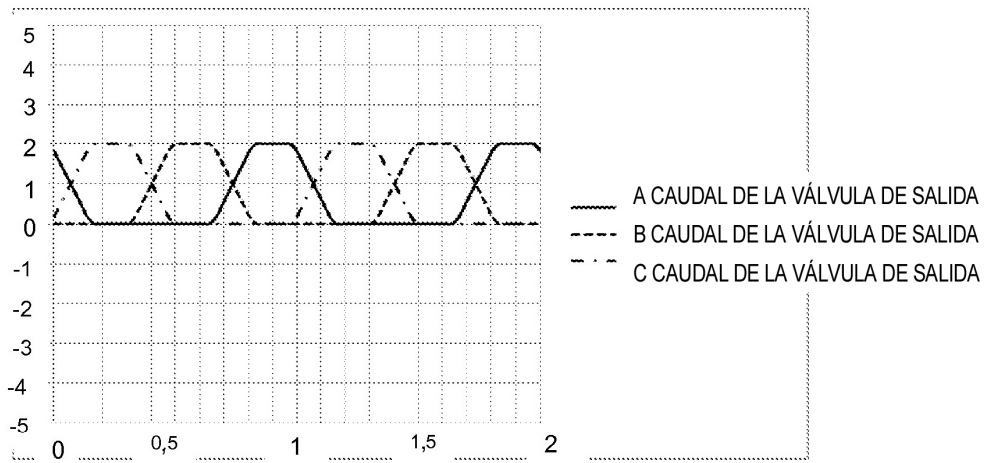


Fig. 23B

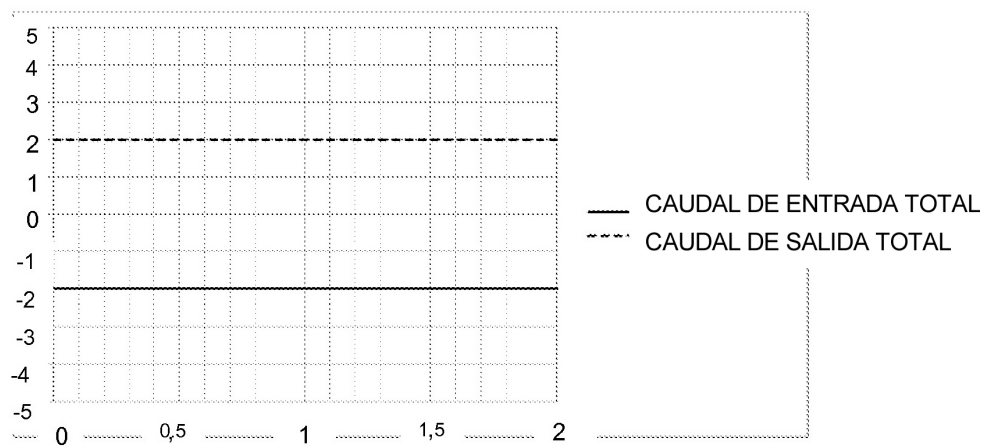


Fig. 23C

Fig. 24A

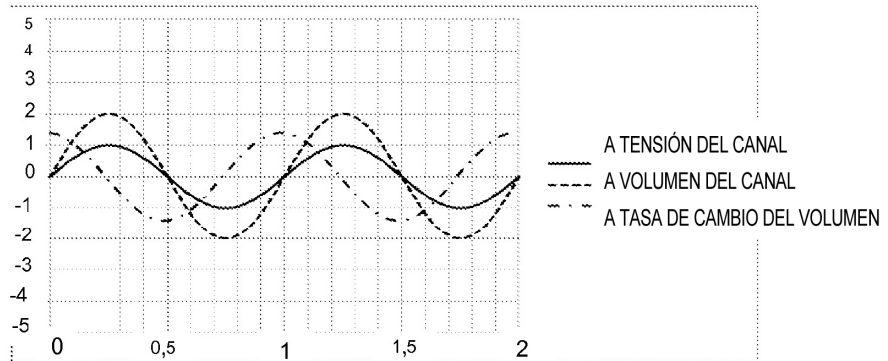


Fig. 24B

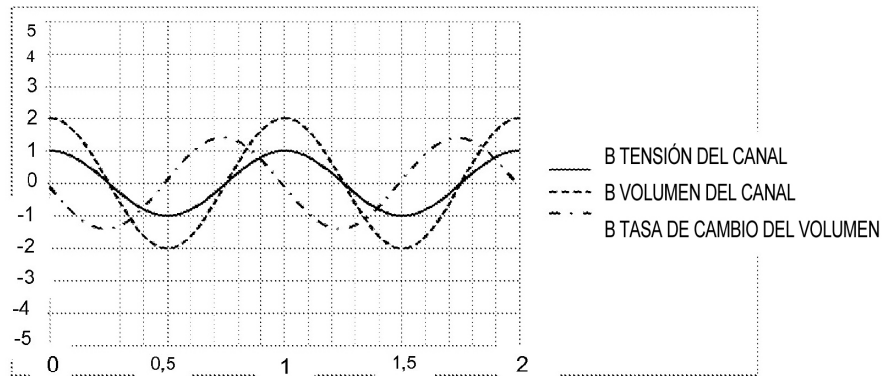


Fig. 24C

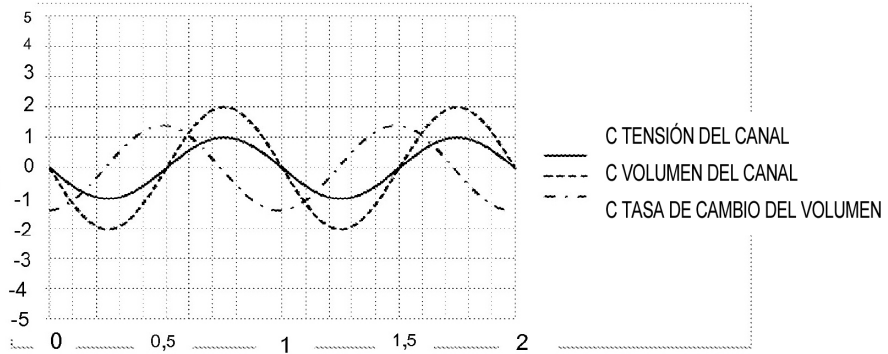
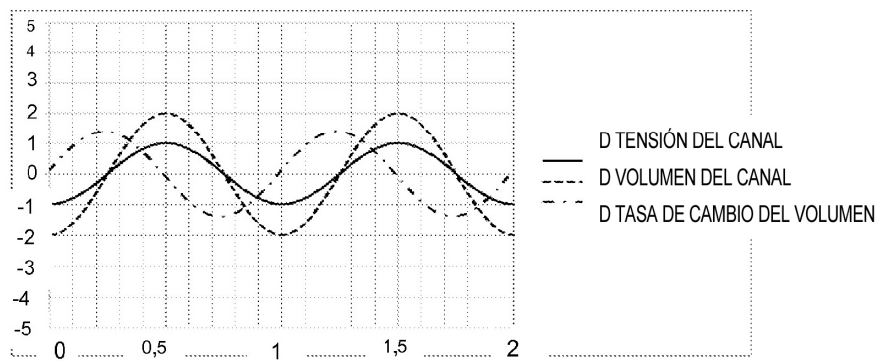


Fig. 24D



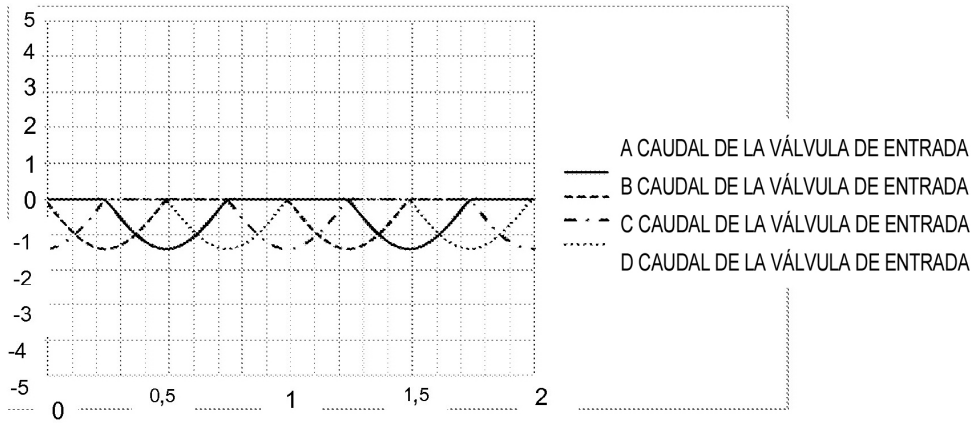


Fig. 25A

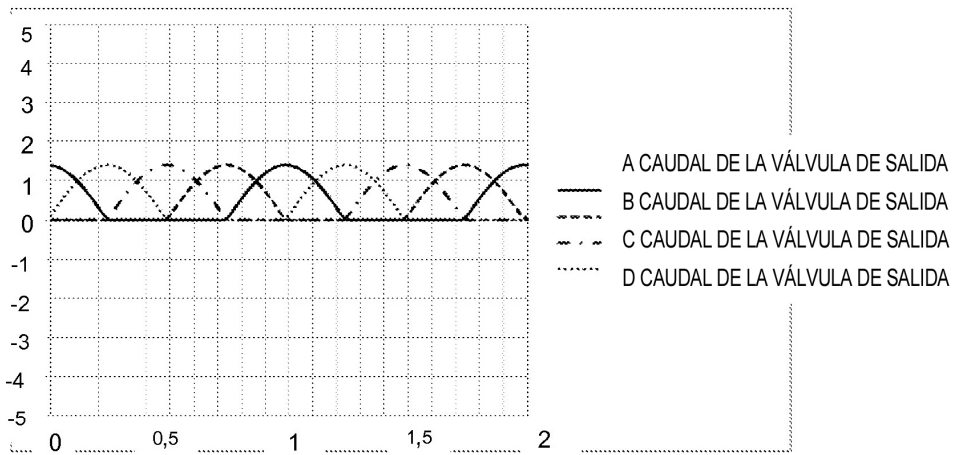


Fig. 25B

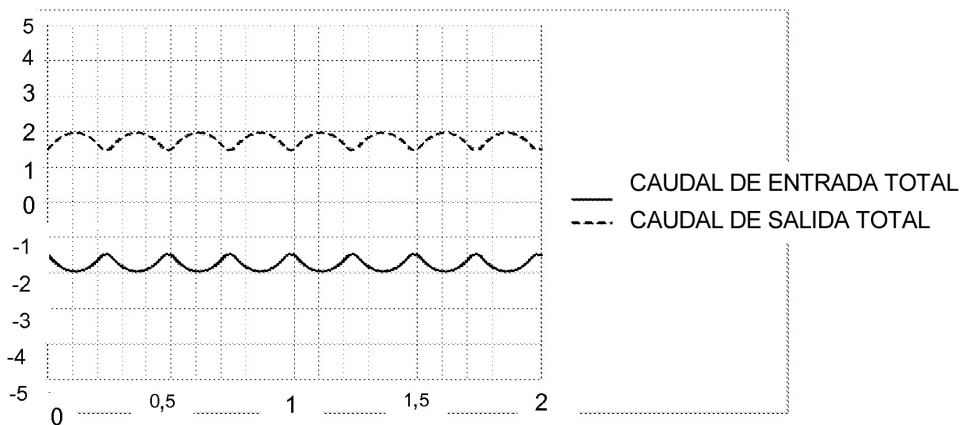


Fig. 25C

Fig. 26A

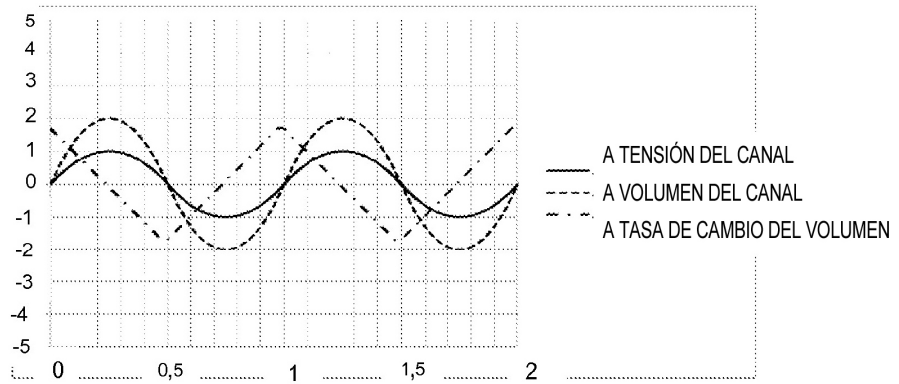


Fig. 26B

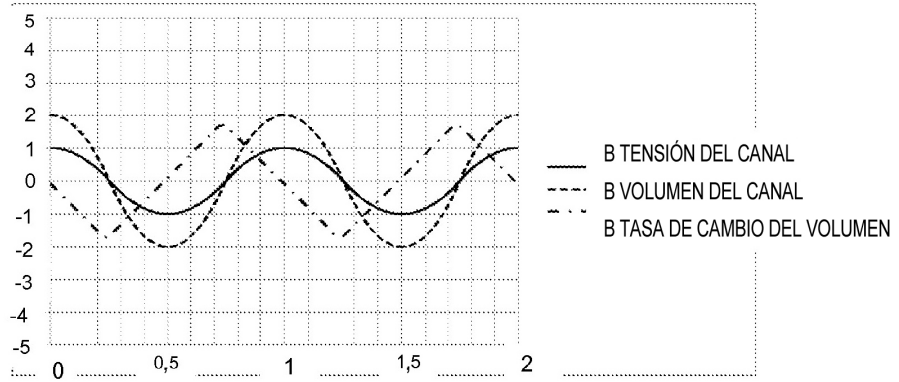


Fig. 26C

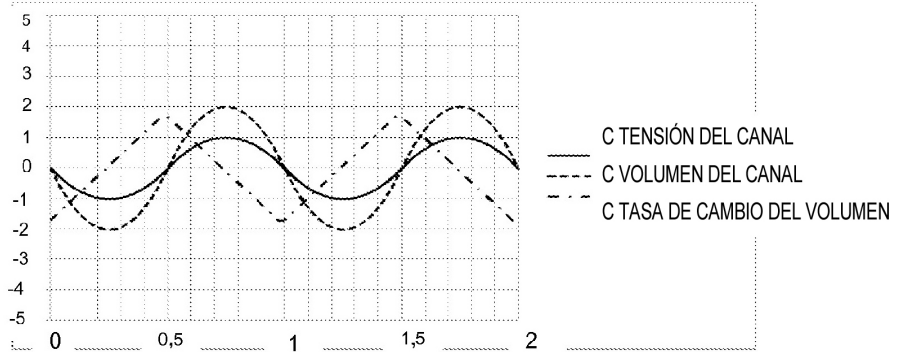
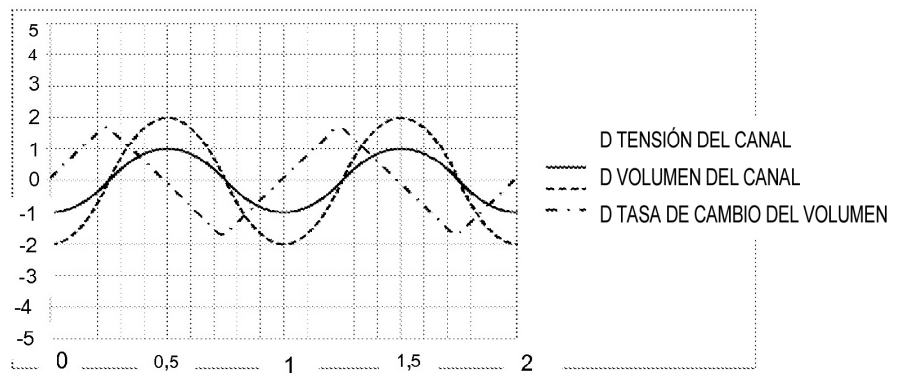


Fig. 26D



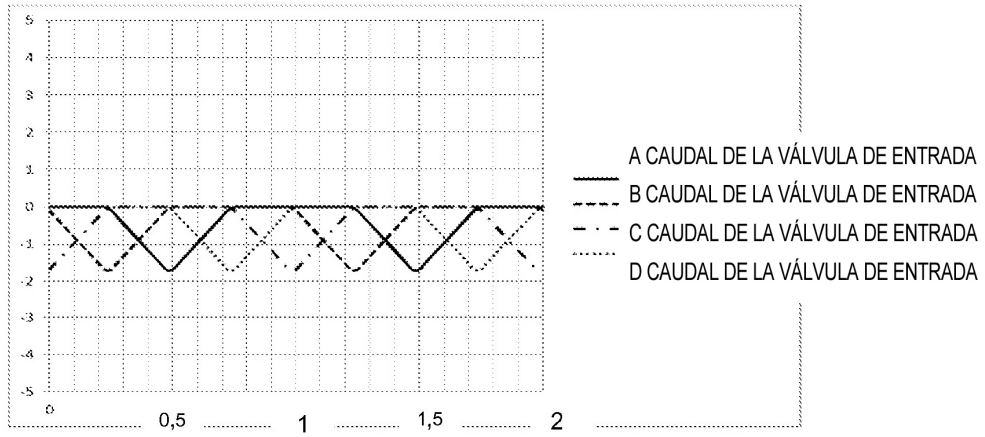


Fig. 27A

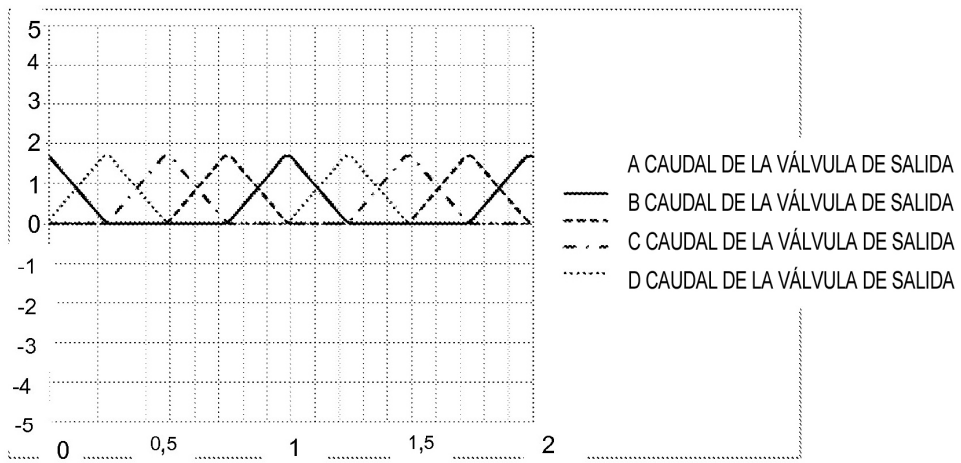


Fig. 27B

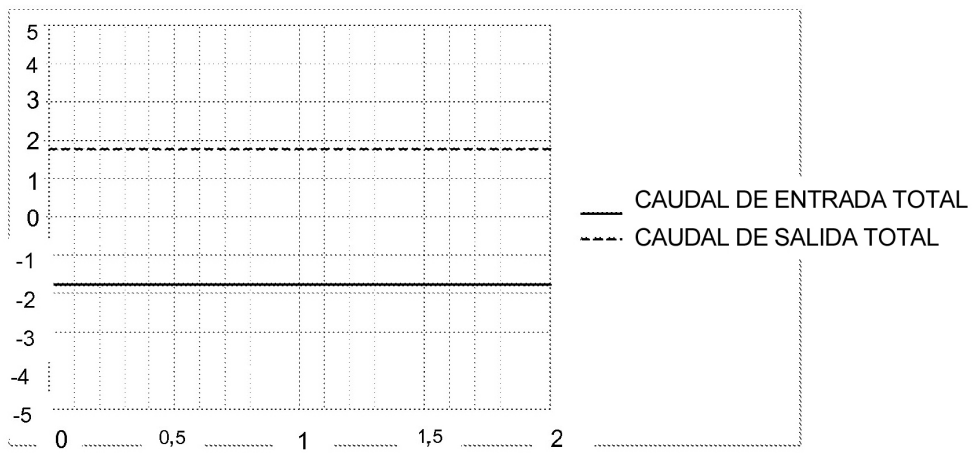
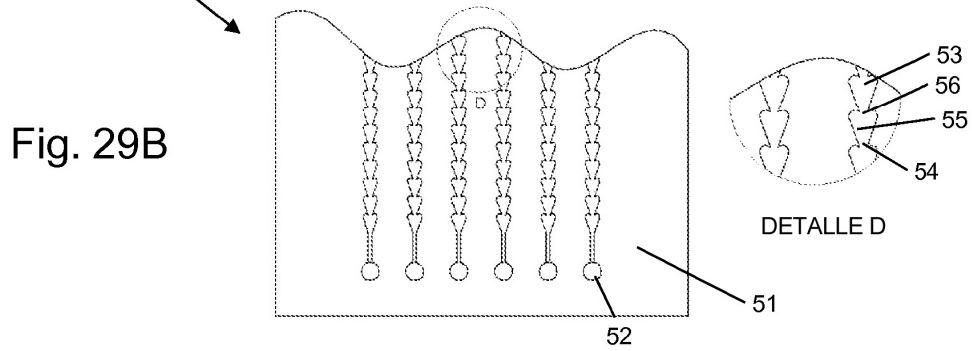
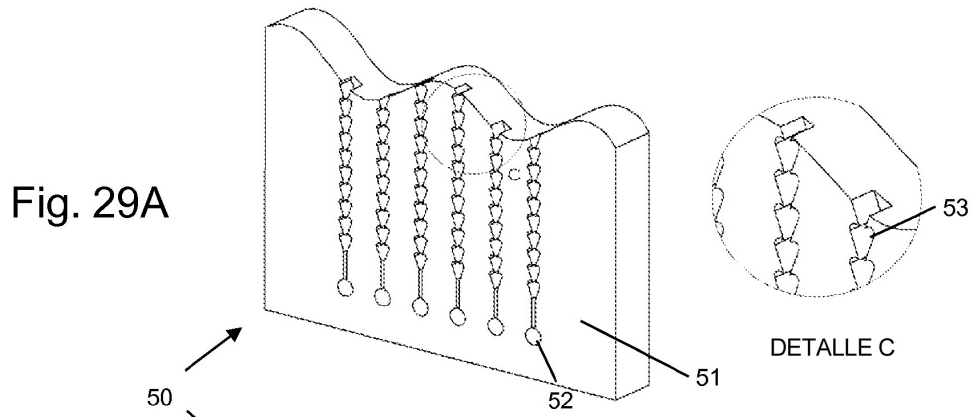
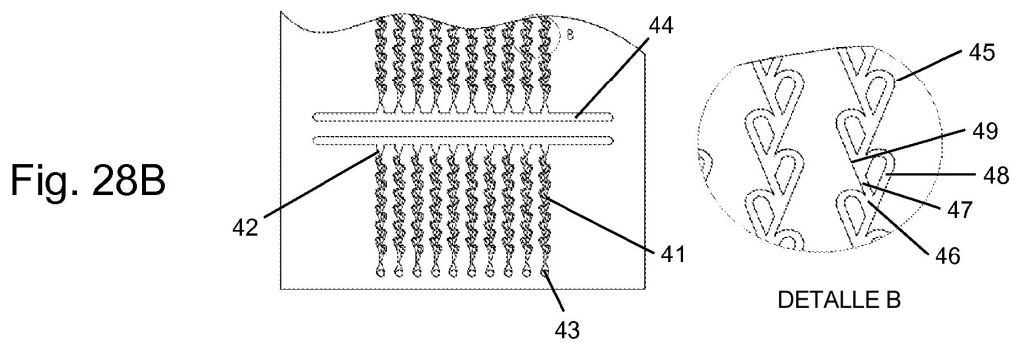
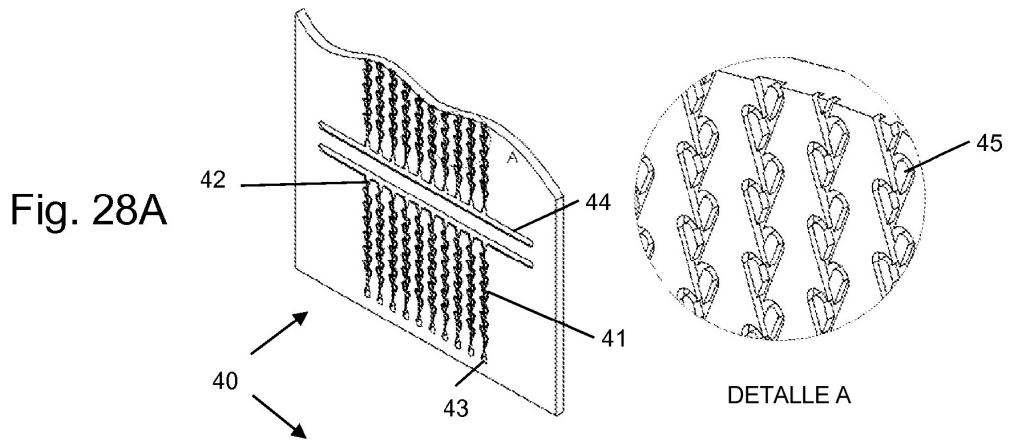


Fig. 27C



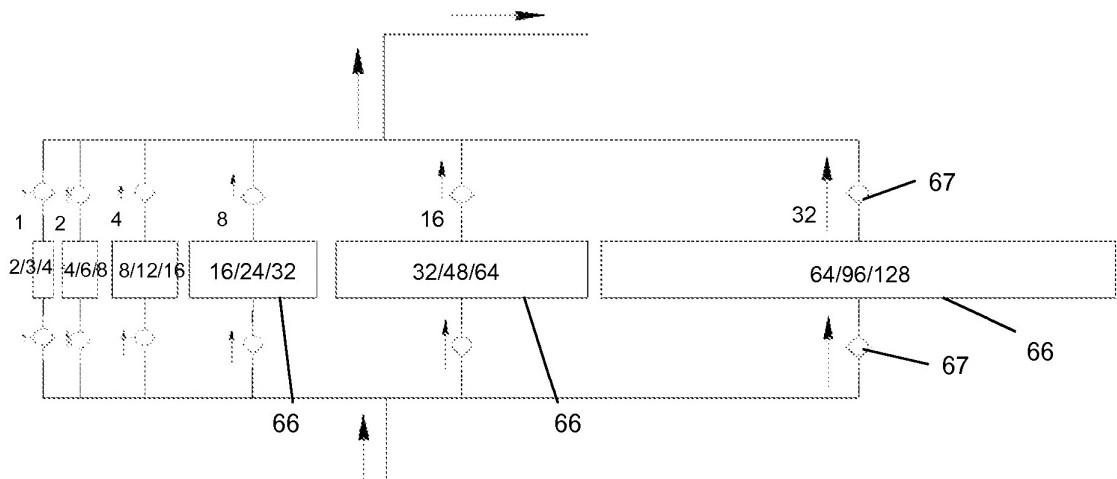
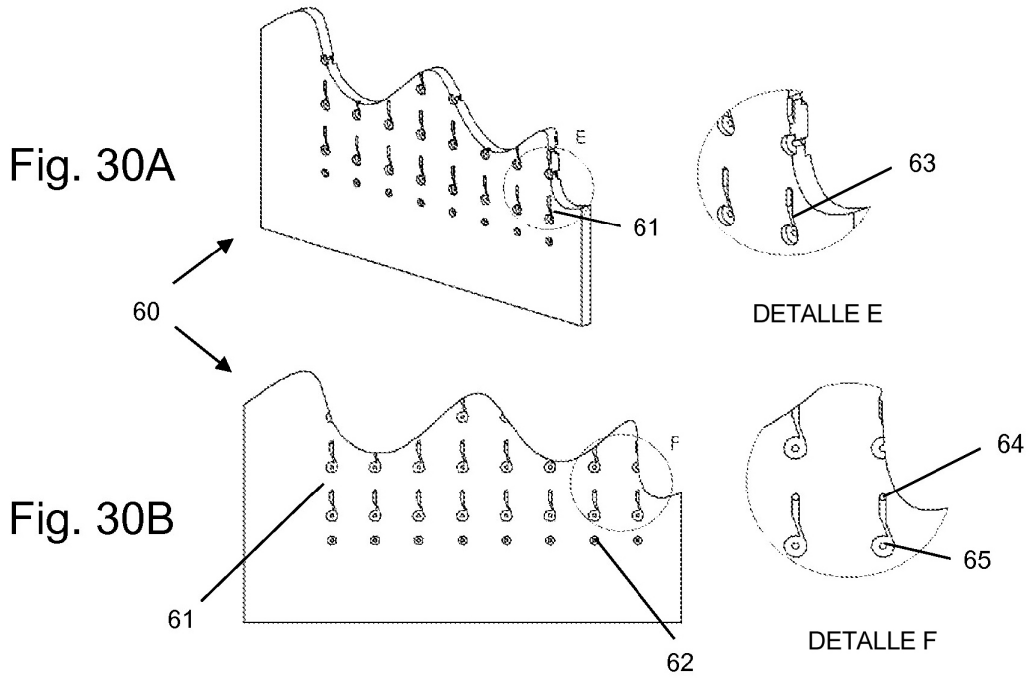


Fig. 31

Fig. 32

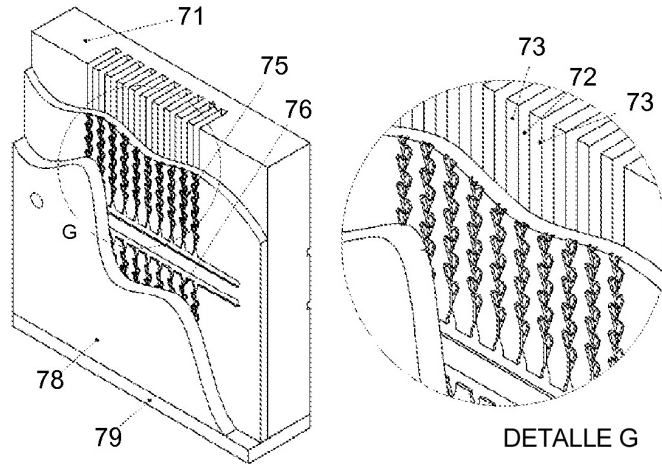


Fig. 33

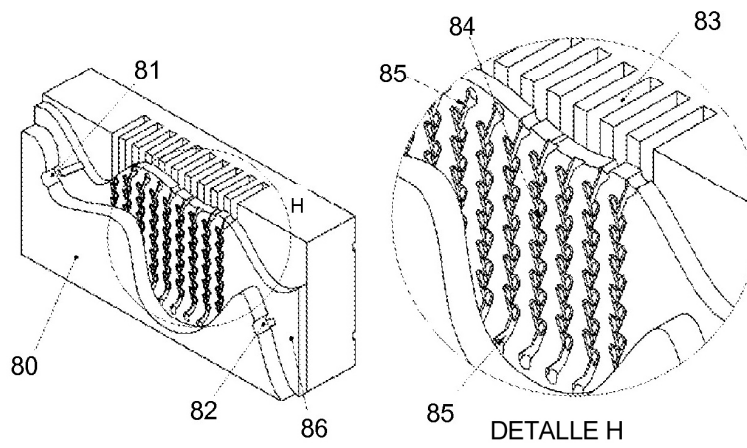


Fig. 34A

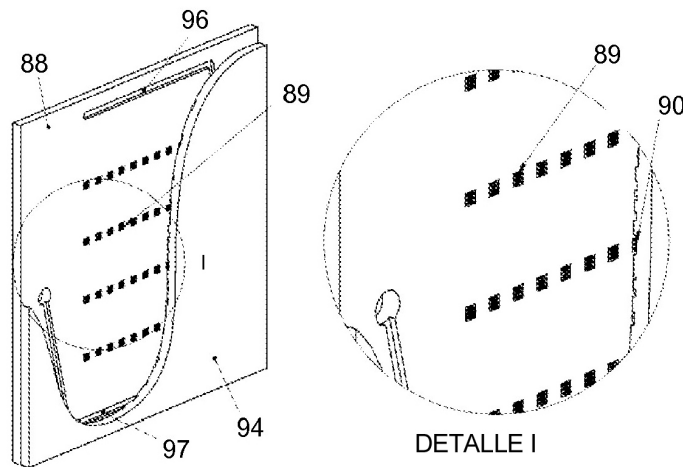


Fig. 34B

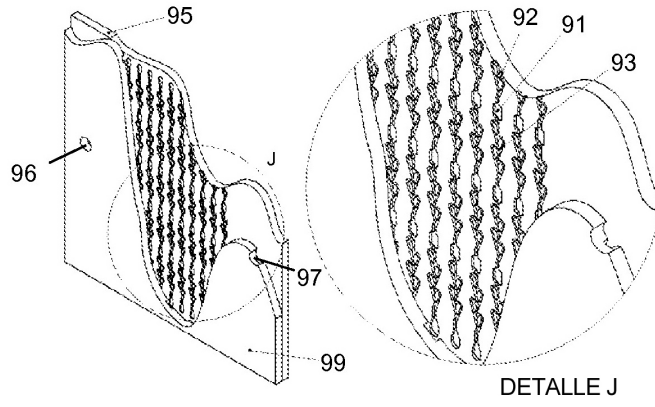


Fig. 35

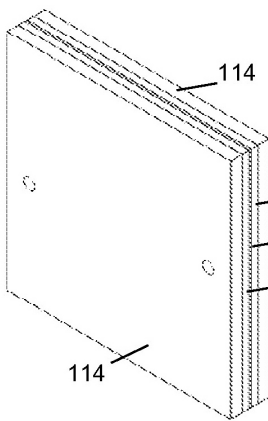
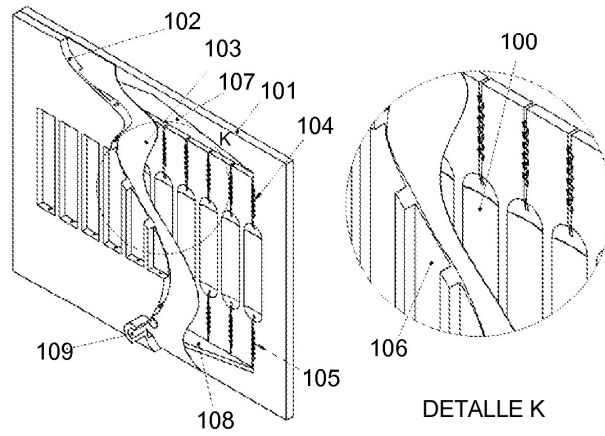


Fig. 36A

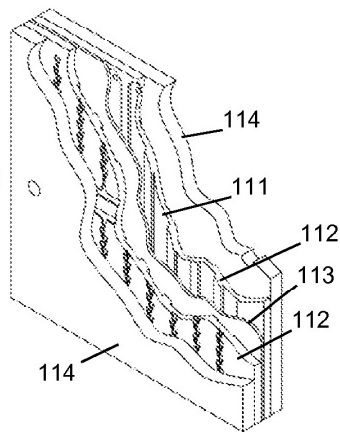


Fig. 36B

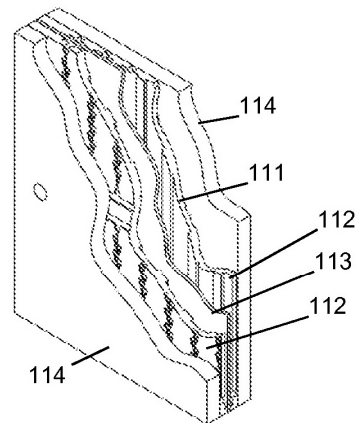


Fig. 36C