

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 388 392**

51 Int. Cl.:
H04R 1/40 (2006.01)
H04R 3/12 (2006.01)
H02K 33/16 (2006.01)
H02N 13/00 (2006.01)
H02K 7/10 (2006.01)
H02K 16/00 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Número de solicitud europea: **07736358 .8**
96 Fecha de presentación: **21.05.2007**
97 Número de publicación de la solicitud: **2158787**
97 Fecha de publicación de la solicitud: **03.03.2010**

54 Título: **Aparato de altavoz digital directo que tiene un patrón de directividad deseado**

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:
15.10.2012

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:
15.10.2012

73 Titular/es:
AUDIO PIXELS LTD.
3 PEKRIS ST.
REHOVOT 76702, IL

72 Inventor/es:
COHEN, Yuval;
KAPLAN, Shay;
LEWIN, Daniel;
SROMIN, Alex y
WOOL, Yan

74 Agente/Representante:
Carpintero López, Mario

ES 2 388 392 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

Aparato de altavoz digital directo que tiene un patrón de directividad deseado

5 Campo de la invención

La presente invención se refiere en general a actuadores y, específicamente, a altavoces.

Antecedentes de la invención

10 Se considera que el estado de la técnica para actuadores que comprenden una disposición de microactuadores está representado mediante lo expuesto a continuación, que son todos documentos de patente estadounidenses a no ser que se indique lo contrario:

15 2002/0106093: El resumen, las figuras 1 a 42 y los párrafos 0009, 0023 y 0028 muestran radiaciones electromagnéticas, actuadores, transductores y dispositivos electrostáticos.

6.373.955: El resumen, la columna 4, línea 34 y la columna 5, línea 55 muestran una disposición de transductores.

20 JP 2001016675: El resumen muestra una disposición de transductores de salida acústicos.

6.963.654: El resumen, las figuras 1 a 3, 7 a 9, la columna 7, línea 41 y la columna 8, línea 54 muestran el funcionamiento de transductores en función de una fuerza electromagnética.

25 6.125.189: El resumen, las figuras 1 a 4, la columna 4, línea 1 y la columna 5, línea 46 muestran una unidad transductora electroacústica que incluye una activación electrostática.

30 WO 8400460: El resumen muestra un transductor electromagnético-acústico que presenta una disposición de imanes.

4.337.379: El resumen, la columna 3, líneas 28 a 40 y las figuras 4, 9 muestran fuerzas electromagnéticas.

4.515.997: El resumen y la columna 4, líneas 16 a 20 muestran un nivel de volumen.

35 6.795.561: La columna 7 y líneas 18 a 20, muestran una disposición de microactuadores.

5.517.570: El resumen muestra un mapeo entre fenómenos aurales y píxeles de sonido direccionables discretos.

40 JP 57185790: El resumen muestra que no es necesario un convertidor D/A.

JP 51120710: El resumen muestra un sistema de altavoz digital que no necesita ningún convertidor D/A.

45 JP 09266599: El resumen muestra la aplicación directa de una señal digital a un altavoz.

6.959.096: El resumen y la columna 4, líneas 50 a 63 muestran una pluralidad de transductores colocados en una disposición.

En las siguientes publicaciones se describen métodos de fabricación de imanes de polímero:

50 "*Magnetic and Mechanical Properties of Micromachined Strontium Ferrite/Polyimide Composites*" de Lagorce, L. K. y M. G. Allen, *IEEE Journal of Micro-electromechanical Systems*, 6(4), diciembre de 1997.

55 "*Magnetic micro actuators based on polymer magnets*" de Lagorce, L. K., Brand, O. y M. G. Allen, *IEEE Journal of Micro-electromechanical Systems*, 8(1), marzo de 1999.

La patente estadounidense 4.337.379 a nombre de Nakaya describe un transductor plano electroacústico y electrodinámico que incluye, en la figura 4A, una estructura a modo de bobina.

60 La patente estadounidense 6.963.654 a nombre de Sotme et al. describe un diafragma, un transductor plano acústico y un diafragma plano. El sistema de Sotme incluye, en la figura 7, una estructura a modo de bobina.

65 Se conocen disposiciones de altavoces digitales de semiconductor, tales como las descritas en el documento de patente estadounidense 20010048123, la patente estadounidense 6.403.995 a nombre de David Thomas, cedida a Texas Instruments y publicada el 11 de junio de 2002, la patente estadounidense 4.194.095 a nombre de Sony, la patente estadounidense 4.515.997 a nombre de Walter Stinger y el documento "*Digital sound reconstruction using*

arrays of CMOS-MEMS micro-speakers", *Transducers '03*, de Diamond Brett M. et al., *The 12th International Conference on Solid State Sensors, Actuators and Microsystems*, Boston, del 8 al 12 de junio de 2003, y el sistema de gestión de altavoces digitales DS48 de BBE.

5 El documento YSP 1000 es un ejemplo de un altavoz de elementos en fase fabricado por Yamaha.

Sumario de la invención

10 En este documento se proporciona, según determinadas realizaciones de la presente invención, un aparato de tipo altavoz digital directo como el definido en la reivindicación 1.

15 Además, según una realización preferida de la presente invención, al menos un elemento de generación de presión puede producir impulsos de presión positiva y al menos un elemento de generación de presión puede producir impulsos de presión negativa.

20 Además, según una realización preferida de la presente invención, cada elemento de generación de presión funciona para producir tanto impulsos de presión positiva como impulsos de presión negativa.

25 También se proporciona, según una realización preferida de la presente invención, un método para controlar un aparato de tipo altavoz digital directo como el definido en la reivindicación 13.

30 Además, según una realización preferida de la presente invención, cada elemento de generación de presión comprende un elemento móvil que funciona para desplazarse de manera alterna hacia atrás y hacia delante a lo largo de una trayectoria respectiva.

35 Además, según una realización preferida de la presente invención, el aparato también comprende una interfaz de usuario que recibe un patrón de directividad deseado de un usuario.

40 Además, según una realización preferida de la presente invención, el patrón de directividad es omnidireccional y define un punto focal.

45 Además, según una realización preferida de la presente invención, el patrón de directividad es cilíndrico y define un eje focal.

50 Además, según una realización preferida de la presente invención, el patrón de directividad es unidireccional y define un ángulo de propagación.

55 Además, según una realización preferida de la presente invención, el patrón de directividad comprende una combinación de una pluralidad de patrones de directividad unidireccionales.

60 Además, según una realización preferida de la presente invención, la disposición está centrada en el punto focal.

65 Además, según una realización preferida de la presente invención, la disposición está centrada en una proyección del punto focal.

Además, según una realización preferida de la presente invención, la disposición está orientada simétricamente con respecto al eje.

Además, según una realización preferida de la presente invención, la disposición es rectangular, definiendo cuatro lados de la misma y donde los cuatro lados incluyen dos lados paralelos al eje.

Además, según una realización preferida de la presente invención, el patrón de tiempos comprende utilizar un retardo adecuado para al menos algunos de los elementos de generación de presión, utilizando la fórmula: retardo = $[(d^2+r^2)^{0.5}-d]/c$, donde r = distancia entre la proyección del punto focal sobre la disposición de elementos de generación de presión y un elemento de generación de presión dado, d = la distancia del plano de la disposición de los elementos de generación de presión desde el punto focal del sonido omnidireccional, y c = la velocidad de propagación del sonido a través del medio en el que está funcionando el altavoz.

Además, según una realización preferida de la presente invención, el patrón de tiempos comprende utilizar un retardo adecuado para al menos algunos de los elementos de generación de presión, utilizando la fórmula: retardo = $[(d^2+r^2)^{0.5}-d]/c$, donde r = distancia entre la proyección del eje focal sobre la disposición de elementos de generación de presión y un elemento de generación de presión dado, c = la velocidad del sonido a través del medio en el que está funcionando el altavoz y d = la distancia del plano de la disposición de elementos de generación de presión desde el eje focal.

Además, según una realización preferida de la presente invención, el patrón de tiempos comprende utilizar un

retardo adecuado para al menos algunos de los elementos de generación de presión, usando la fórmula: $\text{retardo} = x \cos \alpha$, donde x = la distancia desde el plano definido por el borde de la disposición de elementos de generación de presión y un elemento de generación de presión dado, y α = el ángulo entre la dirección de la propagación unidireccional y el plano de la disposición de elementos de generación de presión.

5 Además, según una realización preferida de la presente invención, cada uno de los elementos de generación de presión se controla individualmente.

10 Además, según una realización preferida de la presente invención, los elementos de generación de presión son elementos móviles que producen presión en virtud de su movimiento.

15 Además, según una realización preferida de la presente invención, cada elemento móvil responde a campos magnéticos alternos y donde el aparato comprende además al menos un dispositivo de bloqueo que funciona para bloquear de manera selectiva al menos un subconjunto de los elementos móviles en al menos una posición de bloqueo para impedir de ese modo que los elementos móviles individuales respondan a la fuerza electromagnética, y donde el controlador comprende un sistema de control de campos magnéticos que funciona para recibir una señal de reloj y, por consiguiente, para controlar la aplicación de la fuerza electromagnética a la disposición de elementos móviles.

20 Además, según una realización preferida de la presente invención, el método comprende además la lectura en un patrón de directividad deseado proporcionado por un usuario.

Con respecto a la terminología utilizada en este documento:

25 Disposición: este término incluye cualquier conjunto de elementos móviles cuyos ejes están dispuestos preferentemente en una orientación mutuamente paralela y que están nivelados entre sí para definir una superficie que puede ser plana o curva.

30 Encima, debajo: debe apreciarse que los términos "encima" y "debajo", y similares, se utilizan en este documento suponiendo que, tal y como se ilustra a modo de ejemplo, la dirección de movimiento de los elementos móviles es ascendente y descendente; sin embargo, esto no tiene por qué ser el caso y, como alternativa, los elementos móviles puede moverse a lo largo de cualquier eje deseado, tal como un eje horizontal.

35 Actuador: este término incluye transductores y otros dispositivos para la interconversión de formas de energía. Cuando se utiliza el término 'transductores', se utiliza simplemente a modo de ejemplo y se refiere a todos los actuadores adecuados tales como altavoces, incluyendo baffles.

40 Elemento de actuador: este término incluye cualquier "columna" de componentes que, normalmente junto con otras muchas columnas de este tipo, forma un actuador, incluyendo cada columna normalmente un elemento móvil, un par de dispositivos de bloqueo o "elementos de bloqueo" para el mismo, incluyendo cada elemento de bloqueo uno o más electrodos y material separador aislante que separa el elemento móvil de la

45 Bobina: debe apreciarse que la fuerza electromagnética alterna aplicada a la disposición de elementos móviles según una realización preferida de la presente invención puede generarse mediante una corriente eléctrica alterna orientada a producir un gradiente de campo magnético que es colineal con respecto a los ejes de movimiento deseados de los elementos móviles. Esta corriente eléctrica puede comprender una corriente que fluye a través de una bobina conductora orientada de manera adecuada o de un elemento conductor de cualquier otra configuración adecuada. El término "bobina" se utiliza en toda la presente memoria descriptiva como un ejemplo, aunque debe apreciarse que no hay intención de limitar la invención, la cual incluye todos los aparatos destinados a aplicar una fuerza electromagnética alterna, por ejemplo como los descritos anteriormente. Cuando se utiliza el término "bobina" para indicar un conductor, debe apreciarse que el conductor puede tener cualquier configuración adecuada tal como un círculo u otra figura cerrada o una parte sustancial de la misma, y no pretende limitarse a configuraciones con múltiples espiras.

55 Canales, también denominados como "orificios" o "túneles": se ilustran de manera cilíndrica simplemente a modo de ejemplo, pero esto no tiene por qué ser el caso.

60 Electrodo: un dispositivo de bloqueo electrostático. Incluye dispositivos de bloqueo electrostático inferiores o superiores que bloquean su elemento móvil correspondiente gracias a su carga opuesta, de manera que cada dispositivo de bloqueo y su elemento móvil constituyen un par de electrodos cargados de manera opuesta.

65 Flexura: al menos un elemento flexible en el que está montado un objeto, que proporciona al menos un grado de libertad de movimiento a ese objeto, por ejemplo, uno o más elementos flexibles delgados o pequeños periféricos con respecto a y formados normalmente de manera solidaria, por ejemplo, a partir de una única lámina de material, con una parte central en la que puede estar montado o no otro objeto, para proporcionar de ese modo al menos un grado de libertad de movimiento a la parte central y a objetos montados en la misma.

- Dispositivo de bloqueo, capa de bloqueo, mecanismo de bloqueo: este término incluye cualquier dispositivo para bloquear de manera selectiva uno o más elementos móviles en una posición fija. Normalmente se proporcionan capas de bloqueo "superiores" e "inferiores", que pueden ser adyacentes y no necesitan estar una encima de la otra, incluyendo cada capa de bloqueo uno o varios mecanismos de bloqueo que pueden corresponder o no en número a la pluralidad de elementos móviles que van a bloquearse. El término "par de bloqueo" es un par de dispositivos de bloqueo para un elemento móvil individual, por ejemplo, que incluye un dispositivo de bloqueo superior y un dispositivo de bloqueo inferior, que pueden ser adyacentes y no necesitan estar uno encima del otro.
- 10 Elementos móviles: incluyen cualquier elemento móvil, estando cada uno obligado a desplazarse de manera alterna hacia atrás y hacia delante a lo largo de un eje en respuesta a una fuerza electromagnética alterna aplicada al mismo. Los elementos móviles también se denominan en este documento como "microaltavoces", "píxeles", "microactuadores", "membranas" (individual o colectivamente) y "pistones".
- 15 Separadores, denominados también como "mantenedores de espacio": incluyen cualquier elemento o elementos que mantienen de manera mecánica las respectivas posiciones de los electrodos y de los elementos móviles.

El término "altavoz digital directo" se utiliza en este documento para incluir altavoces que aceptan una señal digital y que convierten la señal en ondas de sonido sin el uso de un convertidor de digital a analógico aparte. Tales altavoces pueden incluir algunas veces un convertidor de analógico a digital para que puedan convertir señales analógicas en lugar de o además de señales digitales. Tales altavoces pueden incluir altavoces DDS (altavoces digitales directos), DDL (baffles digitales directos), DSR (reconstrucción de sonido digital), disposiciones de baffles uniformes digitales, altavoces matriciales y altavoces MEMS. El término "altavoz digital directo" utilizado en este documento incluye cualquier aparato de tipo altavoz que presenta una pluralidad de elementos de generación de presión que generan presión gracias a su movimiento, por ejemplo como los descritos específicamente en este documento, o calentando y enfriando el medio en el que residen, por ejemplo aire, o acelerando el medio en el que residen, por ejemplo ionizando el medio y proporcionando una diferencia de potencial a lo largo de un eje, o funcionando como válvulas para regular selectivamente reservas de un medio, por ejemplo aire, presurizado de diferente manera con respecto al entorno circundante. El número de elementos operativos de generación de presión (es decir, elementos que funcionan para generar presión) es normalmente una función monotónicamente creciente de, por ejemplo proporcional a, la intensidad de la señal de entrada, si es analógica, o a la intensidad digitalmente codificada de la señal de entrada, si es digital.

El término "reloj" utilizado en este documento se refiere a la duración de tiempo asociada con un único intervalo del reloj del sistema.

El término "patrón de directividad" utilizado en este documento se refiere al patrón de la distribución espacial de la energía acústica generada por un aparato de tipo altavoz.

40 **Breve descripción de los dibujos**

Realizaciones preferidas de la presente invención se ilustran en los dibujos siguientes:

La figura 1A es una ilustración simplificada de un diagrama de bloques funcionales de un aparato actuador construido y operativo según una realización preferida de la presente invención.

La figura 1B es una ilustración isométrica de la disposición de elementos móviles de la figura 1A construida y operativa según una realización preferida de la presente invención, en la que cada elemento móvil comprende un imán y cada uno está obligado a desplazarse, excepto cuando está bloqueado, de manera alterna hacia atrás y hacia delante a lo largo de un eje respectivo en respuesta a una fuerza electromagnética alterna aplicada a la disposición de elementos móviles.

Las figuras 1C a 1G son ilustraciones simplificadas de vistas desde arriba de dispositivos de bloqueo construidos y operativos según cinco realizaciones alternativas de la presente invención que pueden servir como alternativas al dispositivo de bloqueo mostrado específicamente en la figura 1B.

La figura 2A muestra la disposición de la figura 1B en una primera posición de extremo inferior sensible a una fuerza electromagnética aplicada de manera descendente.

La figura 2B muestra la disposición de la figura 1B en una segunda posición de extremo superior sensible a una fuerza electromagnética aplicada de manera ascendente.

La figura 2C es similar a la figura 2B excepto en que uno de los imanes móviles individuales no responde a la fuerza ascendente debido a que ese imán individual está bloqueado en su posición de extremo superior mediante una carga eléctrica correspondiente dispuesta encima del imán móvil individual y que funciona como un dispositivo de bloqueo superior.

- 5 Las figuras 3A a 3C son respectivamente una vista desde arriba, una vista en sección transversal y una vista isométrica de una disposición oblicua de elementos móviles, donde cada elemento está obligado a desplazarse de manera alterna hacia atrás y hacia delante a lo largo de un eje respectivo en respuesta a una fuerza electromagnética alterna aplicada a la disposición de elementos móviles por una bobina enrollada alrededor de la disposición.
- 10 La figura 4A es una vista en despiece ordenado de un dispositivo actuador que incluye una disposición de elementos móviles, donde cada elemento está obligado a desplazarse de manera alterna hacia atrás y hacia delante a lo largo de un eje respectivo en respuesta a una fuerza electromagnética alterna aplicada a la disposición de elementos móviles por una bobina, y un dispositivo de bloqueo, formado como una capa, funciona para bloquear de manera selectiva al menos un subconjunto de los elementos móviles en al menos una posición de bloqueo para impedir de ese modo que los elementos móviles individuales respondan a la fuerza electromagnética.
- 15 La figura 4B es una ilustración simplificada de un diagrama de flujo de un método de accionamiento preferido que funciona según una realización preferida de la presente invención.
- 20 La figura 5 es una vista estática isométrica del dispositivo actuador de la figura 4A construido y operativo según una realización preferida de la presente invención, donde la disposición de elementos móviles está formada por una lámina delgada, estando contenido cada elemento móvil en flexuras formadas de manera solidaria que lo rodean.
- La figura 6A es una vista en despiece ordenado de una parte del dispositivo actuador de la figura 5.
- 25 Las figuras 6B y 6C son una ilustración de una vista en perspectiva y una vista en despiece ordenado, respectivamente, de un ensamblado de elementos móviles y flexuras asociadas, dispositivos de bloqueo y elementos separadores construidos y operativos según una realización preferida de la presente invención que reduce la fuga de aire a través de la flexuras.
- 30 La figura 6D es una vista en sección transversal del aparato de las figuras 6B y 6C que muestra tres elementos móviles en un extremo superior, un extremo inferior y una posición intermedia, respectivamente.
- La figura 6E es la leyenda de la figura 6D.
- 35 La figura 7A es una ilustración de una vista desde arriba parcial estática de la capa de elementos móviles de las figuras 5 a 6C.
- La figura 7B es una vista en sección transversal de la capa de elementos móviles de las figuras 5 y 6 tomada a lo largo del eje A-A mostrado en la figura 7A.
- 40 La figura 7C es una vista en perspectiva de la capa de elementos móviles de las figuras 5 a 7B, donde un elemento móvil individual se muestra moviéndose de manera ascendente hacia su posición de extremo superior, de manera que sus flexuras se extienden hacia arriba fuera del plano de la lámina delgada.
- 45 La figura 7D es una vista en perspectiva de una capa de elementos móviles construida y operativa según una realización alternativa de la presente invención en la que los imanes permanentes en forma de disco de la realización de las figuras 5 a 7C se sustituyen por imanes permanentes en forma de anillo.
- 50 La figura 7E es una ilustración de una vista lateral de la parte central contenida en flexura de un elemento móvil individual de la realización de la figura 7D.
- 55 La figura 8A es un diagrama de control que ilustra el control de los dispositivos de bloqueo y de la fuerza electromagnética inducida por bobina para un ejemplo particular en el que los elementos móviles están dispuestos en grupos que pueden accionarse colectivamente, de manera selectiva, donde cada dispositivo de bloqueo de la capa de bloqueo está asociado con un imán permanente, y donde los polos de todos los imanes permanentes de la capa de bloqueo están dispuestos de la misma forma.
- 60 La figura 8B es un diagrama de flujo que ilustra un método preferido mediante el cual un controlador de bloqueo puede procesar una señal de entrada entrante y controlar los dispositivos de bloqueo de los elementos móviles en grupos.
- 65 La figura 8C es una ilustración simplificada de un diagrama de bloques funcionales de un procesador, tal como el procesador 802 de la figura 8A, que es útil para controlar sustancialmente cualquiera de los dispositivos actuadores con mecanismos de bloqueo electrostáticos mostrados y descritos en este documento.
- La figura 8D es una ilustración simplificada de un diagrama de flujo de un método preferido de inicialización del aparato de las figuras 1 a 8C.

La figura 8E es una ilustración simplificada de una vista isométrica de un sistema de altavoz ensamblado construido y operativo según una realización preferida de la presente invención.

5 La figura 8F es una ilustración simplificada de un diagrama de flujo de un método de funcionamiento preferido para generar un sonido utilizando un aparato construido y operativo según una realización de la presente invención.

La figura 9A es un gráfico que resume determinadas, aunque normalmente no todas, las fuerzas aplicadas a los elementos móviles según una realización preferida de la presente invención.

10 La figura 9B es una ilustración pictórica simplificada de una capa de inducción de gradiente de campo magnético construida y operativa según una realización preferida de la presente invención.

15 Las figuras 9C a 9D ilustran la función de inducción de gradiente de campo magnético de la capa conductora de la figura 9B.

La figura 10A es una ilustración simplificada en sección transversal desde arriba de una capa de bloqueo adecuada para bloquear elementos móviles repartidos en varios grupos, caracterizada porque cualquier número de elementos móviles pueden accionarse accionando de manera colectiva grupos seleccionados de los diferentes grupos, estando asociado cada dispositivo de bloqueo de la capa de bloqueo con un imán permanente, donde los polos de todos los imanes permanentes de la capa de bloqueo están dispuestos de la misma forma.

20 La figura 10B es un diagrama electrónico simplificado de una realización alternativa de la capa de dispositivos de bloqueo de las figuras 1 a 10A, donde cada dispositivo de bloqueo está controlado de manera individual por el controlador de bloqueo 50 de la figura 8C. Debe apreciarse que los dispositivos de bloqueo se muestran con una forma anular aunque, como alternativa, pueden tener cualquier otra configuración adecuada, como se describe en este documento. La capa de la figura 10B comprende una rejilla de cables verticales y horizontales que definen conexiones. Una puerta, tal como un transistor de efecto de campo, está prevista normalmente en cada conexión. Para abrir una puerta individual para cargar de ese modo el dispositivo de bloqueo correspondiente, se proporciona un voltaje a lo largo de los cables verticales y horizontales correspondientes.

25 La figura 11A es un diagrama de tiempos que muestra un esquema de control preferido utilizado por el controlador de dispositivos de bloqueo en aplicaciones de altavoces unidireccionales, donde se recibe una señal de entrada que representa un sonido deseado y elementos móviles construidos y operativos según una realización preferida de la presente invención se controlan mediante respuestas a determinados estímulos para obtener un patrón de sonido en el que el volumen delante del altavoz es mayor que en otras zonas, estando asociado cada dispositivo de bloqueo de la capa de bloqueo con un imán permanente, y estando dispuestos los polos de todos los imanes permanentes de la capa de bloqueo preferente o sustancialmente de la misma forma o de una forma similar.

35 La figura 11B es una ilustración esquemática de una disposición de ejemplo de elementos móviles a la que pertenece el diagrama de tiempos de la figura 11A.

La figura 11C es un diagrama de tiempos que muestra un esquema de control preferido utilizado por el controlador de dispositivos de bloqueo en aplicaciones de altavoces omnidireccionales, donde se recibe una señal de entrada que representa un sonido deseado y elementos móviles construidos y operativos según una realización preferida de la presente invención se controlan mediante respuestas a determinados estímulos para obtener un patrón de sonido en el que el volumen delante del altavoz es similar al volumen en todas las demás zonas que rodean al altavoz.

45 Las figuras 12A y 12B son, respectivamente, ilustraciones simplificadas de una vista desde arriba y de una vista en sección transversal de la capa de elementos móviles según una realización alternativa en la que la mitad de imanes permanentes están colocados con el polo norte hacia arriba y la otra mitad con el polo norte hacia abajo.

50 La figura 13 es una ilustración simplificada de una vista desde arriba similar a la figura 10A excepto en que la mitad de imanes permanentes de la capa de bloqueo están dispuestos con el polo norte hacia arriba y la mitad restante de imanes permanentes de la capa de bloqueo están dispuestos con el polo norte hacia abajo.

55 La figura 14 es un diagrama de control que ilustra el control de los dispositivos de bloqueo y de la fuerza electromagnética inducida por bobina para un ejemplo particular en el que los elementos móviles están dispuestos en grupos que puede accionarse colectivamente, de manera selectiva, de manera similar a la figura 8A, excepto en que la mitad de imanes permanentes de la capa de bloqueo están dispuestos con el polo norte hacia arriba y la mitad restante de imanes permanentes de la capa de bloqueo están dispuestos con el polo norte hacia abajo.

60 La figura 15A es un diagrama de tiempos que muestra un esquema de control preferido utilizado por el controlador de dispositivos de bloqueo en aplicaciones de altavoces unidireccionales, que es similar al diagrama de tiempos de la figura 11A excepto en que la mitad de imanes permanentes de la capa de bloqueo están dispuestos con el polo norte hacia arriba y la mitad restante de imanes permanentes de la capa de bloqueo están dispuestos con el polo

norte hacia abajo.

La figura 15B es una ilustración esquemática de una disposición de ejemplo de elementos móviles a la que pertenece el diagrama de tiempos de la figura 15A.

5 La figura 15C es un gráfico que muestra cambios en el número de elementos móviles dispuestos en posiciones de extremo superiores e inferiores en momentos diferentes y en función de la frecuencia de la señal de entrada recibida por el controlador de bloqueo de la figura 8C.

10 La figura 16A ilustra una capa de elementos móviles que es una alternativa a la capa de elementos móviles mostrada en las figuras 1A y 2A a 2C, donde la capa está formada a partir de una lámina delgada, de manera que cada elemento de móvil comprende un parte central y partes circundantes.

15 La figura 16B es otra alternativa a la capa de elementos móviles mostrada en las figuras 1A y 2A a 2C, en la que en una lámina de material flexible, tal como caucho que permite el movimiento, hay discos rígidos debajo del imán, donde el imán puede ser un elemento rígido, pero no lo bastante rígido.

20 La figura 16C es una vista isométrica de una realización preferida de los elementos móviles y flexuras circundantes ilustrados en las figuras 7A a 7E ó 16A, donde las flexuras tienen diferente grosor.

La figura 16D es una ilustración isométrica de una alternativa económica del aparato de la figura 16C, donde las flexuras tienen diferente ancho.

25 La figura 17 es una ilustración de una vista desde arriba en sección transversal de una disposición de elementos de actuador similares a la disposición de la figura 3A, excepto en que mientras en la figura 3A filas consecutivas de elementos móviles individuales o de dispositivos de bloqueo son oblicuas entre sí para aumentar el número de elementos de actuador que puede haber en un área dada, las filas de la figura 17 no son oblicuas y comprenden normalmente una disposición rectangular.

30 La figura 18 es una vista en despiece ordenado de una realización alternativa de una disposición de elementos de actuador en la que la sección transversal de cada elemento de actuador es cuadrada en lugar de redonda.

La figura 19 es una disposición isométrica de actuadores soportados dentro de una estructura de soporte que proporciona un área activa que es la suma de las áreas activas de las disposiciones de actuadores individuales.

35 La figura 20A es una ilustración simplificada de un diagrama de bloques funcionales generalmente explícitos de un sistema preferido para obtener un patrón de directividad deseado para un flujo de sonido deseado utilizando un altavoz digital directo con las características indicadas en el dibujo, como las que se muestran y describen en este documento en las figuras 1A a 19.

40 La figura 20B es una ilustración simplificada de un diagrama de bloques funcionales generalmente explícitos de un sistema preferido para obtener un patrón de directividad deseado para un flujo de sonido deseado de aplicabilidad general en el que no es necesario utilizar un altavoz digital directo con las características indicadas en la figura 20A, por ejemplo, las mostradas y descritas en este documento en las figuras 1A a 19, y que puede utilizar en cambio cualquier altavoz digital directo adecuado.

La figura 21 es una ilustración simplificada de un diagrama de flujo de un funcionamiento por señal de reloj del controlador de retención de elementos móviles 3050 de la figura 20, según determinadas realizaciones de la presente invención.

50 La figura 22A es un diagrama simplificado de un patrón de propagación omnidireccional.

La figura 22B es un diagrama de una colocación preferida de una disposición de elementos móviles con respecto al punto focal del patrón de propagación de sonido omnidireccional deseado de la figura 22A.

55 La figura 23 es una ilustración pictórica simplificada de un aparato de tipo altavoz construido y operativo según las figuras 20A a 22B y operativo, por ejemplo, en virtud de haberse programado para generar sonido omnidireccional que es particularmente adecuado para un entorno en el que los oyentes rodean completamente al altavoz, normalmente a más de un nivel que incluyen un nivel de suelo y un nivel de primer piso, como se muestra.

60 La figura 24 es un diagrama de un patrón cilíndrico de directividad de sonido que puede conseguirse usando una realización del aparato de la presente invención.

65 La figura 25 es un diagrama que muestra una colocación preferida de la disposición de elementos móviles 3010, mostrada de manera rectangular a modo de ejemplo, con respecto al patrón cilíndrico de directividad de sonido mostrado en la figura 24.

La figura 26 es una vista isométrica de la disposición de elementos móviles de las figuras 20A y 20B, que muestra sonido unidireccional generado por esa disposición móvil y que se propaga en una dirección deseada o predeterminada α indicada mediante las flechas.

5 La figura 27 es una ilustración pictórica de una aplicación preferida del aparato de tipo altavoz 3600 construido y operativo según la presente invención, que está construido, por ejemplo, programado, para generar sonido unidireccional en al menos una dirección seleccionada normalmente por el usuario.

10 La figura 28 es una ilustración pictórica simplificada de una disposición no rectangular de elementos móviles construidos y operativos según una realización preferida de la presente invención.

Descripción detallada de realizaciones preferidas

15 El campo técnico de la invención es el de una disposición de transductores digitales de microactuadores electromecánicos de larga carrera construidos utilizando materiales de fabricación y técnicas para producir dispositivos de bajo coste para una gran variedad de aplicaciones, tales como altavoces de audio, aplicaciones de dispensación biomédicas, sistemas de detección médicos e industriales, conmutación óptica, reflexión de luz para sistemas de visualización y cualquier otra aplicación que necesite o pueda beneficiarse de un accionamiento de mayor recorrido y/o del desplazamiento de mayores volúmenes de fluido, por ejemplo aire o líquidos, con respecto al tamaño de los transductores.

25 Una realización preferida de la presente invención tiene como objetivo proporcionar una estructura de transductor, un mecanismo de control digital y varias técnicas de fabricación para crear disposiciones de transductores con una pluralidad, N, de microactuadores. La disposición está construida normalmente a partir de una estructura de normalmente tres capas primarias que, en determinadas realizaciones, comprenden una capa de membrana fabricada a partir de un material de propiedades de baja fatiga particulares que se ha estratificado normalmente en ambos lados con revestimientos magnéticos polares alineados particulares y en los que se ha grabado una pluralidad, N, de formas únicas "a modo de serpentina" para permitir que partes de la membrana tengan una libertad de movimiento lineal bidireccional (el actuador). El desplazamiento lineal bidireccional de cada sección móvil de la membrana está confinado dentro de una cámara (canales del actuador) formada de manera natural normalmente intercalando la capa de membrana entre dos estructuras de soporte especulares construidas a partir de un dieléctrico, silicio, un polímero o cualquier otro sustrato aislante similar, y fabricadas normalmente con N orificios de paso dimensionados de manera precisa iguales en número a las N grabaciones en serpentina de la membrana y normalmente colocadas de manera precisa en un patrón que alinea de manera precisa cada orificio de paso con cada grabado en serpentina de la membrana. Fijadas además a las superficies externas tanto de la capa superior como de la capa inferior de la estructura de soporte hay, normalmente, superficies sobresalientes conductoras tales como anillos o discos conductores ("electrodos direccionables"), que sirven para atraer y retener cada actuador cuando llega al final de su carrera aplicando normalmente una carga electrostática.

40 A continuación se describirá un dispositivo construido y operativo según una realización preferida de la presente invención con referencia a las figuras 1B, 2A a 2C, 3A a 3C, 4A, 5, 6A, 7A y 7B, 8A y 8B, 9, 10A, 11A, 12A, 13, 14, 15A, 16A a 16C y 17 a 19.

45 La figura 1B es una visión general conceptual de una pequeña sección del dispositivo. La figura 2A ilustra el movimiento de los elementos móviles bajo un campo magnético. La figura 2B ilustra el movimiento de los mismos elementos móviles bajo un campo magnético opuesto. La figura 2C ilustra el movimiento de los elementos móviles bajo un campo magnético cuando un electrodo está cargado. Las figuras 3A a 3C son, respectivamente, una vista desde arriba, una vista en sección transversal y una vista en perspectiva de una realización preferida de la presente invención.

50 La figura 4A es una vista en despiece ordenado de un dispositivo construido y operativo según una realización preferida de la presente invención. La figura 5 es una ilustración detallada de una pequeña sección del dispositivo construido y operativo según una realización preferida de la presente invención. La figura 6A es una vista en despiece ordenado de la misma pequeña sección. La figura 7A es una ilustración pictórica de un subensamblado en serpentina y de elementos móviles construido y operativo según una realización preferida de la presente invención. La figura 7B es una vista ilustrativa de un único elemento, construido y operativo según una realización preferida de la presente invención, en movimiento. La figura 8A es un diagrama de bloques de un sistema de altavoz construido y operativo según una realización preferida de la presente invención. La figura 8B es un diagrama de flujo del sistema de altavoz construido y operativo según una realización preferida de la presente invención. La figura 9A ilustra una relación preferida entre las diferentes fuerzas aplicadas a los elementos móviles.

65 La figura 10A es una vista de una agrupación de los electrodos construidos y operativos según una realización preferida de la presente invención. La figura 11A es un gráfico de tiempos y de control construido y operativo según una realización preferida de la presente invención. La figura 12A ilustra propiedades magnéticas de elementos móviles de una realización de direccionamiento alternativa. La figura 13 ilustra una agrupación de electrodos en una

realización de direccionamiento alternativa. La figura 14 es un diagrama de bloques simplificado del sistema de altavoz en una realización de direccionamiento alternativa. La figura 15A es un gráfico de tiempos y de control de una realización alternativa. La figura 16A es una pequeña sección del subensamblado de elementos móviles construido y operativo según una realización preferida de la presente invención. La figura 16B es una pequeña sección de una realización diferente del subensamblado de elementos móviles, que utiliza un sustrato flexible construido y operativo según una realización preferida de la presente invención.

Mientras que las figuras 3A a 3C anteriores ilustran una disposición de elementos en una construcción de panel construida y operativa según una realización preferida de la presente invención, la figura 17 ilustra una disposición de elementos en una construcción cuadrada construida y operativa según una realización preferida de la presente invención. La figura 18 es una vista en despiece ordenado de una pequeña sección de una realización que utiliza elementos en forma de cuadrado. La figura 19 ilustra un aparato que utiliza una pluralidad (disposición) de dispositivos.

Un direccionamiento eficaz se consigue normalmente a través de patrones únicos de interconexiones entre electrodos seleccionados y algoritmos únicos de procesamiento de señales que segmentan normalmente de manera eficaz el número total de actuadores de un único transductor en N grupos de actuadores direccionables de diferente tamaño, empezando por un grupo de un actuador seguido por un grupo que dobla el número de actuadores de su grupo anterior, hasta que se haya agrupado la totalidad de los N actuadores del transductor.

Para llevar a cabo carreras de actuador, el transductor incluye normalmente una bobina de alambre que, cuando se aplica corriente eléctrica, crea un campo electromagnético por todo el transductor. El campo electromagnético hace que la parte móvil de la membrana se mueva normalmente de manera lineal a través de los canales de actuador. Si la corriente alterna su polaridad, esto hace que la parte móvil de la membrana vibre. Cuando se aplica una carga electrostática a grupos de electrodos direccionables particulares, esto hará normalmente que todos los actuadores de ese grupo queden bloqueados al final de la carrera, ya sea en la parte superior o en la parte inferior de la estructura de soporte, según los requisitos de la aplicación. De manera colectiva, el desplazamiento proporcionado por el transductor se consigue a partir de la suma total de los N actuadores que no están bloqueados en cualquier intervalo particular (superposición).

Normalmente, la construcción del transductor puede escalarse completamente en el número de actuadores por transductor, el tamaño de cada actuador, la longitud de carrera de cada actuador y el número de grupos de actuadores direccionables. En determinadas realizaciones, los elementos de actuador pueden construirse grabando varias formas en un material particular o usando discos metálicos estratificados que se hayan recubierto con un material flexible o usando elementos de actuador flotantes. Los materiales de membrana (flexura) pueden incluir silicio, cobre de berilio, aleaciones de cobre y wolframio, aleaciones de cobre y titanio, acero inoxidable o cualquier otro material de baja fatiga. Los electrodos direccionables de la estructura de soporte pueden agruparse en cualquier patrón para obtener un direccionamiento, según sea apropiado para la aplicación del transductor. Los electrodos direccionables pueden fijarse de manera que se cree contacto con el actuador de membrana o de tal manera que no haya contacto físico con la membrana. El material de sustrato puede ser cualquier material aislante tal como FR4, silicio, cerámica o cualquier variedad de plásticos. En algunas realizaciones, el material puede contener partículas de ferrita. La pluralidad de formas en serpentina grabadas en la membrana o de elementos de actuador flotantes y los canales correspondientes de la estructura de soporte pueden tener una forma redonda, cuadrada o cualquier otra forma. El campo electromagnético puede crearse enrollando una bobina alrededor de todo el transductor, alrededor de secciones del transductor o alrededor de cada elemento de actuador o colocando una o más bobinas junto a uno o más elementos de actuador.

En determinadas realizaciones se utiliza un método digital directo para producir sonido utilizando una disposición de microaltavoces. Una reconstrucción de sonido digital requiere normalmente la suma de impulsos acústicos discretos de energía para producir ondas de sonido. Estos impulsos pueden estar basados en una señal digital procedente de dispositivos electrónicos de audio o de medios digitales en los que cada bit de señal controla un grupo de microaltavoces. En una realización preferida de la presente invención, el n -ésimo bit de la señal digital entrante controla 2^n microaltavoces de la disposición, donde el bit más significativo (MSB) controla casi la mitad de microaltavoces y el bit menos significativo (LSB) controla al menos un único microaltavoz. Cuando la señal de un bit particular es alta, todos los altavoces del grupo asignado al bit se activan normalmente para ese intervalo de muestra. El número de altavoces de la disposición y la frecuencia de impulsos determinan la resolución de la onda de sonido resultante. En una realización típica, la frecuencia de impulsos puede ser la tasa de muestreo de la fuente. Mediante la aplicación posterior de un filtro paso bajo acústico con respecto al oído humano u otra fuente, el oyente oye normalmente una señal acústicamente más uniforme idéntica a la forma de onda analógica original representada por la señal digital.

Según el método de reconstrucción de sonido descrito en este documento, la presión de sonido generada es proporcional al número de altavoces en funcionamiento. Modificando el número de impulsos de altavoz en el tiempo se producen diferentes frecuencias. A diferencia de los altavoces analógicos, los microaltavoces individuales funcionan normalmente en una región no lineal para maximizar el alcance dinámico, pudiendo producir al mismo tiempo sonidos de baja frecuencia. La linealidad neta de la disposición se obtiene normalmente a partir de la

linealidad de la ecuación de ondas acústicas y la uniformidad entre altavoces individuales. El número total de componentes no lineales en la onda de sonido generada está relacionado normalmente de manera inversa con el número de microaltavoces del dispositivo.

- 5 En una realización preferida, una disposición de transductores digitales se utiliza para implementar una reconstrucción verdadera de sonido digital directo. El alcance dinámico del sonido producido es proporcional al número de microaltavoces de la disposición. La presión de sonido máxima es proporcional a la carrera de cada microaltavoz. Por lo tanto, es deseable generar transductores de carrera larga y utilizar el mayor número posible. A lo largo de los años se han desarrollado varios dispositivos de disposición de transductores digitales. Un dispositivo digno de mención es el microaltavoz CMOS-MEMS desarrollado en la Carnegie Mellon University. Utilizando el proceso de fabricación CMOS, se ha diseñado un chip de altavoz digital de 8 bits con 255 microaltavoces cuadrados, donde el lado de cada microaltavoz mide 216 μ m. La membrana está compuesta por una rejilla de Al-SiO₂ en forma de serpentina cubierta por un polímero y puede accionarse electrostáticamente aplicando un potencial eléctrico variable entre el apilado metálico CMOS y el sustrato de silicio. El movimiento fuera de plano resultante es la fuente de las ondas de presión que producen el sonido. Cada membrana tiene una carrera de 10 μ m aproximadamente. Tales carreras cortas son insuficientes y los niveles de sonido generados son demasiado bajos para un altavoz. Otro problema es que el dispositivo requiere un voltaje de accionamiento de 40V. Tal voltaje requiere dispositivos electrónicos de conmutación complejos y caros. Realizaciones preferidas del dispositivo descrito en este documento superan algunas o todas estas limitaciones y generan niveles de sonido mucho más altos eliminando al mismo tiempo la necesidad de altos voltajes de conmutación.

Se considera que la forma de cada transductor no afecta en gran medida al rendimiento acústico del altavoz. Los transductores pueden agruparse en rejillas cuadradas, triangulares o hexagonales, entre otros.

- 25 La presente invención utiliza normalmente una combinación de fuerzas magnéticas y electrostáticas para permitir una larga carrera evitando al mismo tiempo los problemas asociados con los actuadores magnéticos o electrostáticos tradicionales.

- 30 Los elementos móviles de la disposición de transductores están fabricados normalmente para conducir la electricidad y pueden estar magnetizados de manera que los polos magnéticos sean perpendiculares a la superficie de la disposición de transductores. Basta con una conducción moderada. Una bobina rodea toda la disposición de transductores o está colocada junto a cada elemento y genera la fuerza de accionamiento. Aplicando corriente alterna o impulsos de corriente alterna a la bobina se crea un gradiente de campo magnético alterno que empuja todos los elementos móviles hacia arriba y hacia abajo a la misma frecuencia que la corriente alterna. Para controlar cada elemento móvil pueden utilizarse dos electrodos, uno encima y otro debajo de los elementos móviles.

- 40 La corriente aplicada a la bobina activa normalmente a su vez los elementos móviles cercanos al electrodo superior y al electrodo inferior. Una pequeña carga electrostática se aplica a los elementos móviles. Aplicando una carga opuesta a uno de los electrodos se genera una fuerza de atracción entre el elemento móvil y el electrodo. Cuando el elemento móvil está muy cerca del electrodo, la fuerza de atracción se vuelve normalmente mayor que la fuerza generada por el campo magnético de la bobina y el resorte retráctil y el elemento móvil quedan bloqueados en el electrodo. La supresión de la carga o parte de la misma en el electrodo permite normalmente que el elemento móvil se mueva junto con los otros elementos móviles, bajo la influencia del campo magnético de bobina y las flexuras.

- 45 Según determinadas realizaciones, la disposición de actuadores puede fabricarse a partir de 5 placas o capas:

- Capa de electrodos superiores
- Separadores superiores (mostrados conjuntamente como capa 402)
- 50 - Elementos móviles 403
- Separadores inferiores
- 55 - Capa de electrodos inferiores (mostrada conjuntamente como capa 404)

Según determinadas realizaciones, la disposición está rodeada por una gran bobina 401. El diámetro de esta bobina es normalmente mucho mayor que el de las bobinas tradicionales utilizadas en los actuadores magnéticos de la técnica anterior. La bobina puede fabricarse utilizando métodos de fabricación convencionales.

- 60 En determinadas realizaciones, el elemento móvil está hecho de un material conductor y magnético. Normalmente basta con una conducción eléctrica moderada. El elemento móvil puede fabricarse usando muchos tipos de materiales incluyendo, pero sin limitarse a, caucho, silicio o metales y sus aleaciones. Si el material no puede magnetizarse o se desea un imán más fuerte, un imán puede acoplarse al mismo o puede cubrirse con material magnético. Este recubrimiento se realiza normalmente aplicando epoxi u otra resina cargada con polvo magnético utilizando un proceso de serigrafía u otras técnicas conocidas en la técnica. En algunas realizaciones, la serigrafía

puede realizarse usando una máscara de resina creada a través de un proceso fotolitográfico. Esta capa se retira normalmente después de curar la resina/matriz de polvos magnéticos. En determinadas realizaciones, el epoxi o resina se cura cuando el dispositivo se somete a un gran campo magnético, orientando las partículas de polvo de la matriz de resina en la dirección deseada. La geometría de los elementos móviles puede variar. En otras realizaciones, parte de los elementos móviles pueden estar cubiertos por el imán y curados con un campo magnético orientado en una dirección, mientras que el resto se cubre posteriormente y se cura en un campo magnético opuesto que hace que los elementos se muevan en direcciones opuestas bajo el mismo campo magnético externo. En una realización preferida, el elemento móvil comprende una placa que tiene una forma serpentina que lo rodea, normalmente recortada a partir de una lámina delgada. Como alternativa, en determinadas realizaciones es posible utilizar un material grueso que es más delgado solamente en la zona de las flexuras o unir placas relativamente gruesas a una capa delgada conformada como las flexuras. Esta forma permite que parte de la lámina se mueva, mientras que la forma de serpentina sirve como una flexura distensible. En otras realizaciones determinadas, la parte móvil es un cilindro o una esfera que puede moverse libremente entre los electrodos superiores y los electrodos inferiores.

La figura 1B, que ilustra una visión global conceptual de una pequeña sección del dispositivo según determinadas realizaciones de la invención, sirve para proporcionar una visión global conceptual de toda la estructura de la disposición de transductores. En la realización ilustrada, los elementos móviles son pistones 101 que normalmente están magnetizados de manera que un polo 102 está en la parte superior y el otro polo 103 está en la parte inferior de cada pistón. Un generador de campos magnéticos (no mostrado) que influye normalmente en toda la estructura de la disposición de transductores crea un campo magnético a través de toda la disposición de transductores, provocando normalmente que los pistones 101 se desplacen de manera ascendente y descendente, haciendo de este modo que salga aire de la cavidad 104. Un electrodo electrostático reside normalmente tanto en la parte superior 105 como en la parte inferior 106 de cada cavidad. Los electrodos sirven como mecanismos de bloqueo que atraen y retienen cada pistón a medida que se acerca al final de su carrera, impidiendo normalmente que el pistón se mueva hasta que se libere el dispositivo de bloqueo, permitiendo al mismo tiempo que el aire empujado pase fácilmente. En determinadas realizaciones, los pistones 101 están hechos de un material eléctricamente conductor o están cubiertos por un material de este tipo. Al menos uno de los elementos, el pistón y/o el electrodo electrostático está cubierto normalmente por una capa dieléctrica para evitar cortocircuitos cuando se produzcan resistencias a la polarización (*pull-down*).

Las figuras 2A y 2C, tomadas conjuntamente, ilustran el movimiento de un elemento según una realización preferida de la presente invención. En esta realización, una bobina (no mostrada) rodea normalmente toda la estructura de la disposición de transductores, creando un campo magnético en toda la disposición de transductores que provoca que cualquier elemento magnético con libertad de movimiento se desplace según la dirección alterna del campo. Esto provoca que los pistones se muevan normalmente hacia arriba y hacia abajo.

En la figura 2A, la dirección del campo magnético 201 es descendente. El campo magnético crea una fuerza que acciona los pistones 101 de toda la disposición hacia abajo.

En la figura 2B, la dirección del campo magnético 202 ha cambiado y apunta hacia arriba. El campo magnético crea una fuerza que acciona los pistones 101 de toda la disposición hacia arriba.

En la figura 2C se aplica una carga eléctrica positiva a uno de los electrodos superiores 205. La carga positiva atrae normalmente los electrones del pistón 204, haciendo que la parte superior del pistón 206 se cargue negativamente. Las cargas opuestas 205 y 206 crean una fuerza de atracción que, cuando la separación es inferior a una distancia crítica, actúa normalmente para retener los dos elementos entre sí. La dirección del campo magnético 203 ha cambiado de nuevo y apunta hacia abajo. El pistón 204 permanece normalmente retenido debido a la atracción magnética, mientras que el resto de los pistones pueden moverse libremente, desplazándose hacia la parte inferior debido a la influencia del campo magnético 203. En esta realización particular, la carga aplicada al electrodo es positiva. Como alternativa puede aplicarse una carga negativa a los electrodos, lo que hará que se acumule una carga negativa en el lado cercano del pistón adyacente.

Las figuras 3A a 3C muestran una vista desde arriba, una vista en sección transversal y una vista en perspectiva de una realización preferida.

En determinadas realizaciones, una bobina 304 enrollada alrededor de toda la disposición de transductores genera un campo electromagnético a través de toda la estructura de la disposición, de manera que cuando se aplica corriente el campo electromagnético hace que los pistones 302 se desplacen hacia arriba 301 y hacia abajo 303.

La figura 4A muestra una vista en despiece ordenado del dispositivo construido y operativo según determinadas realizaciones de la invención. Tal y como se muestra, la vista en despiece ordenado de una estructura de disposición de transductores revela que comprende las siguientes partes principales:

(a) Una bobina que rodea toda la disposición de transductores 401 genera un campo electromagnético a través de toda la estructura de la disposición cuando se aplica un voltaje a la misma. Una realización preferida de la bobina se

describe en este documento con referencia a las figuras 9B a 9D.

(b) En determinadas realizaciones, una construcción de capa superior 402 puede comprender una capa separadora y una capa de electrodos. En una realización determinada, esta capa puede comprender una capa de placa de
5 circuito impreso (en lo sucesivo "PCI") con una disposición de cavidades separadas de manera precisa que presenta normalmente cada una un anillo de electrodos fijado en la parte superior de cada cavidad.

(c) Los elementos móviles ("pistones") 403 de la presente realización pueden comprender una lámina delgada de material magnetizado conductor recortado o grabado con muchas placas muy precisas rodeadas normalmente por
10 formas de "serpentina" que sirven como flexuras distensibles que dotan a las láminas de una cantidad específica de libertad de movimiento.

(d) Una construcción de capa inferior 404 puede comprender una capa separadora y una capa de electrodos. En una realización determinada, esta capa puede comprender una capa dieléctrica con una disposición de cavidades
15 separadas de manera precisa que presenta normalmente cada una un anillo de electrodos fijado en la parte inferior de cada cavidad.

La figura 5 muestra detalles de una pequeña sección de un dispositivo construido y operativo según una realización preferida de la presente invención. Una vista dimensional detallada en sección transversal de la disposición de
20 transductores según la realización ilustrada muestra la siguiente estructura: los elementos móviles ("pistones"), normalmente fabricados a partir de una lámina delgada 501 que se ha recortado o se ha atacado químicamente para formar una placa precisa y formas en serpentina que presentan una capa magnetizada en la parte superior 502 y en la parte inferior 503, están colocados de manera precisa para que el centro de cada forma de placa esté alineado de manera precisa con el centro de cada una de las cavidades de un dieléctrico de capa superior 504 y con la cavidad
25 dieléctrica de capa inferior 505 que sirven conjuntamente como guías de desplazamiento y conductos de aire. En los bordes externos de cada conducto, tanto en la parte superior 506 como en la parte inferior 507, hay un mecanismo de bloqueo de anillo de cobre ("electrodo") que, cuando se aplica una carga electrostática, normalmente atrae cada elemento móvil para crear un contacto entre los elementos móviles ("pistones") y bloquea y retiene cada elemento móvil ("pistón") cuando se acerca al final de cada carrera, impidiendo de ese modo que el elemento móvil ("pistón")
30 se mueva hasta que se libere el dispositivo de bloqueo, normalmente interrumpiendo la carga electrostática en el electrodo.

La figura 6A muestra una vista en despiece ordenado de la misma pequeña sección mostrada en la figura 5 y revela que en esta realización la lámina delgada en la que se han grabado formas en serpentina precisas para crear un
35 elemento móvil ("pistón") con el centro de cada forma fijado con una capa magnetizada en la parte superior y en la parte inferior, está centrada y alojada en las cavidades de imagen especular en el dieléctrico de la parte superior 602 y de la parte inferior 603.

La figura 7A muestra una forma en serpentina y un subensamblado de elementos móviles construido y operativo según una realización preferida de la presente invención. Una vista estática desde arriba de la lámina delgada muestra que el elemento móvil en esta realización se construye normalmente grabando una forma en serpentina redonda y precisa que proporciona a la parte central de la forma 701 una libertad de movimiento limitada por las flexuras de las formas 703 que se han grabado en el material para formar de ese modo cavidades intercaladas 702. Una vista en sección transversal revela que la lámina presenta normalmente capas de imanes alineadas polares fijadas tanto a la parte superior 704 como a la parte inferior 705 de la capa de elementos móviles de lámina delgada. Como una alternativa a esta realización, una capa de imanes puede fijarse solamente a un lado de la lámina delgada.

La figura 7C es una vista ilustrativa de un único elemento en movimiento que muestra la libertad de movimiento ascendente de determinadas realizaciones en las que el centro magnetizado 706 de una única forma en serpentina es libre para extenderse hacia arriba mientras es guiado y está contenido en las flexuras grabadas en forma de serpentina 707. En la ilustración no se muestra el movimiento opuesto (descendente) de la forma en serpentina cuando se desplaza en el sentido opuesto y, al realizar esto, las flexuras se entienden hacia abajo.

55 En determinadas realizaciones, la parte superior del centro de cada forma y la parte inferior de cada capa son capas magnetizadas fijadas que se han alineado en la misma polaridad magnética.

La figura 8A muestra un diagrama de bloques del sistema de altavoz según una realización preferida de la presente invención. En determinadas realizaciones, la señal de entrada digital (protocolos comunes son I2S, I2C o SPDIF)
60 801 entra en un procesador lógico 802 que a su vez convierte la señal para definir el mecanismo de bloqueo de cada agrupación de elementos móviles. El direccionamiento de los grupos se divide normalmente en dos grupos principales, uno para bloquear los elementos móviles en la parte superior y otro para bloquear los elementos móviles en la parte inferior de sus carreras. Normalmente, cada grupo se divide adicionalmente en grupos de direccionamiento lógico, empezando normalmente por un grupo de al menos un elemento móvil, seguido por otro grupo que dobla los elementos móviles del grupo anterior, seguido por otro grupo que dobla de nuevo el número de elementos del grupo anterior y así sucesivamente hasta que se hayan agrupado todos los elementos móviles de
65

toda la disposición. El enésimo grupo comprende 2^{N-1} elementos móviles.

En la realización ilustrada en el diagrama de bloques de la figura 8A se muestra el grupo superior de un grupo de un elemento 803, un grupo de dos elementos 804 y un grupo de cuatro elementos 805 y así sucesivamente hasta que se haya direccionado el número total de elementos móviles del ensamblado de la disposición de transductores para recibir una señal de control procedente del procesador 802.

El mismo patrón de agrupamiento se repite normalmente para los mecanismos de bloqueo inferiores, donde un grupo de un elemento 807 puede estar seguido por un grupo de dos elementos 808, después por un grupo de cuatro elementos 809 y así sucesivamente hasta que se haya direccionado el número total de elementos móviles del ensamblado de la disposición de transductores para recibir una señal de control procedente del procesador 802.

El procesador 802 también puede controlar un flujo de corriente alterna para la bobina que rodea toda la disposición de transductores creando y controlando de esta manera el campo magnético a través de toda la disposición. En determinadas realizaciones puede utilizarse un amplificador de potencia 811 para aumentar la corriente para la bobina.

La figura 8B ilustra un diagrama de flujo del sistema de altavoz. En determinadas realizaciones en las que la tasa de muestreo de la señal de entrada digital 813 puede ser diferente de la tasa de muestreo natural del dispositivo, el módulo de remuestreo 814 puede volver a muestrear la señal para que coincida con la tasa de muestreo del dispositivo. En otro caso, el módulo de remuestreo 814 transfiere la señal sin modificarse.

El módulo de escalado 815 añade normalmente un nivel de sesgo a la señal y la escala, suponiendo que la resolución de la señal entrante 813 es de M bits por muestra, y los valores de muestra X oscilan entre $-2^{(M-1)}$ y $2^{(M-1)}-1$.

También se supone que en determinadas realizaciones la disposición del altavoz tiene N grupos de elementos (numerados de 1 a N), como se muestra en la figura 8A.

K se define como $K=N-M$.

Normalmente, si la resolución de entrada es mayor que el número de grupos del altavoz ($M>N$), K es negativa y la señal de entrada se escala de manera descendente. Si la resolución de entrada es menor que el número de grupos del altavoz ($M<N$), K es positiva y la señal de entrada se escala de manera ascendente. Si son iguales, la señal de entrada no se escala, sólo queda sesgada. La salida Y del módulo de escalado 815 puede ser: $Y=2^K[X+2^{M-1}]$. La salida Y se redondea al entero más próximo. El valor de Y oscila ahora entre 0 y $2N-1$.

Se examinan los bits que comprenden el valor binario de Y. Cada bit controla un grupo diferente de elementos móviles. El bit menos significativo (bit1) controla el grupo más pequeño (grupo 1). El siguiente bit (bits2) controla un grupo que es el doble de grande (grupo 2). El siguiente bit (bit3) controla un grupo que es el doble de grande que el grupo 2, etc. El bit más significativo (bitN) controla el grupo más grande (grupo N). Los estados de todos los bits que comprenden Y se examinan normalmente de manera simultánea mediante los bloques 816, 823,... 824.

Los bits se tratan de manera similar. A continuación se describe un algoritmo preferido para examinar el bit1:

El bloque 816 comprueba el bit1 (bit menos significativo) de Y. Si tiene un valor elevado, se compara con su estado anterior 817. Si el bit1 tenía un valor elevado anteriormente, no es necesario cambiar la posición de los elementos móviles del grupo 1. Si tenía un valor bajo anteriormente, el procesador espera que el campo magnético apunte hacia arriba, como se indica mediante el número de referencia 818 y después, como se indica mediante el número de referencia 819, el procesador normalmente libera el mecanismo de bloqueo inferior B1, mientras activa el mecanismo de bloqueo superior T1, permitiendo que los elementos móviles del grupo 1 se muevan desde la parte inferior hasta la parte superior del dispositivo.

Si el bloque 816 determina que el bit1 de Y tiene un valor bajo, se compara con su estado anterior 820. Si el bit1 tenía un valor bajo anteriormente, no es necesario modificar la posición de los elementos móviles del grupo 1. Si tenía un valor alto anteriormente, el procesador espera que el campo magnético apunte hacia abajo, como se indica mediante el número de referencia 821 y después, como se indica mediante el número de referencia 822, el procesador libera el mecanismo de bloqueo superior T1, mientras activa el mecanismo de bloqueo inferior B1, permitiendo que los elementos móviles del grupo 1 se muevan desde la parte superior hasta la parte inferior del dispositivo.

La figura 9A muestra relaciones típicas entre las diferentes fuerzas principales aplicadas a los elementos móviles. Las diferentes fuerzas que se aplican a los elementos móviles funcionan normalmente en armonía para equilibrarse entre sí para conseguir la función deseada. Las fuerzas dirigidas hacia la parte central se muestran como fuerzas negativas, mientras que las fuerzas que alejan al elemento de la parte central (ya sea hacia el mecanismo de bloqueo superior o inferior) se muestran como fuerzas positivas.

En la presente realización, el elemento móvil se ve afectado por 3 fuerzas principales:

- 5 a. Fuerza magnética, creada mediante la interacción del campo magnético y el imán duro. La dirección de esta fuerza depende de la polaridad del imán del elemento móvil, la dirección del campo magnético y el gradiente del campo magnético.
- 10 b. Fuerza electrostática, creada normalmente aplicando una determinada carga al electrodo y una carga opuesta al elemento móvil. La dirección de esta fuerza es tal que atrae el elemento móvil al electrodo (definida como positiva en esta figura). Esta fuerza aumenta significativamente cuando la distancia entre el elemento móvil y el electrodo se hace muy pequeña, y/o cuando esta separación comprende material con una alta constante dieléctrica.
- 15 c. Fuerza de retracción creada por las flexuras (las cuales actúan como resortes). La dirección de esta fuerza está siempre dirigida hacia el centro del dispositivo (definida como negativa en esta figura). Esta fuerza es relativamente pequeña, ya que las flexuras son distensibles, y tiene una naturaleza lineal.

La relación entre las fuerzas muestra que, normalmente, a medida que el elemento móvil se aproxima al final de su carrera, la fuerza electrostática (generada por el mecanismo de bloqueo) aumenta, consiguiendo en última instancia una fuerza suficiente para atraer y bloquear el elemento móvil. Cuando se libera el dispositivo de bloqueo, la fuerza de retracción y la fuerza magnética pueden alejar el elemento móvil con respecto al dispositivo de bloqueo y dirigirlo hacia la parte central, desplazando de ese modo el elemento móvil. Normalmente, a medida que el elemento móvil se desplaza hacia el centro, la fuerza de retracción de la flexura disminuye y, en última instancia, se supera, y después se controla mediante la fuerza electromagnética y la energía cinética del elemento móvil.

25 La figura 10A muestra una vista seccionada del patrón de agrupamiento aplicado en determinadas realizaciones al elemento móvil ("pistones") con el objeto de un direccionamiento digital, como se ha descrito anteriormente en la figura 8. En esta realización hay un grupo formado por un elemento en la parte central 1001 seguido por un grupo de dos elementos 1002, seguido por un grupo de cuatro elementos 1003, seguido por un grupo de ocho elementos 1004, seguido por un grupo de 16 elementos 1005 y así sucesivamente.

30 Tal y como se muestra en una realización, cada grupo creciente se ha dispuesto, en la medida de lo posible, para extenderse alrededor del grupo anterior, pero esta configuración geométrica puede alterarse para obtener diferentes objetivos de construcción y/o de audio. Por ejemplo, mover el "epicentro" hacia la circunferencia exterior de la disposición de transductores permite un encaminamiento más sencillo de los cables entre cada grupo y el procesador 802 (consúltese las figuras 8A y 8B).

40 La figura 11A muestra un gráfico preferido de tiempos y de control. El gráfico de tiempos describe una lógica y algoritmos preferidos para generar una forma de onda de sonido específica. En el alcance de esta descripción, la línea de tiempo está dividida en ranuras, numeradas como I1, I2, etc. Este ejemplo sencillo muestra un dispositivo que utiliza 7 elementos móviles divididos en 3 grupos. El primer grupo comprende un elemento móvil "P1" y está controlado por el mecanismo de bloqueo superior "T1" y el mecanismo de bloqueo inferior "B1". El segundo grupo comprende dos elementos móviles "P2" y "P3" que están sincronizados y que se mueven conjuntamente. Este grupo está controlado por el mecanismo de bloqueo superior "T2" y el mecanismo de bloqueo inferior "B2". El segundo grupo comprende cuatro elementos móviles "P4", "P5", "P6" y "P7", que están sincronizados y se mueven conjuntamente. Este grupo está controlado por el mecanismo de bloqueo superior "T3" y por el mecanismo de bloqueo inferior "B3".

50 El gráfico de "reloj" en la parte superior de la figura representa el reloj del sistema. Estas señales de reloj se generan normalmente fuera del dispositivo y se transfieren al procesador 802 (consúltese la figura 8) junto con la señal de sonido. En una realización típica, la tasa de muestreo del dispositivo es de 44100 Hz. En este caso, la duración de cada intervalo de reloj es de 22µs y el reloj cambia su estado cada 11µs.

55 La "señal" mostrada en este ejemplo es la forma de onda analógica que el dispositivo está generando. El gráfico de "valores" muestra el valor de muestra digital de la señal en cada intervalo de reloj. El gráfico "magnético" muestra la dirección (polaridad) del campo magnético generado por la bobina. La polaridad cambia de manera síncrona con el reloj del sistema.

60 Esta figura muestra el estado de cada elemento móvil usando la siguiente convención de visualización: un elemento ("P1" ... "P7") que está bloqueado en la parte superior 1101 está coloreado de negro. Un elemento que está bloqueado en la parte inferior 1102 está coloreado de blanco, y un elemento que está moviéndose 1103 está sombreado.

65 El valor de muestra digital indica cuántos elementos pueden estar bloqueados en la parte superior y cuántos en la parte inferior de la disposición. En este ejemplo, posibles valores de muestras digitales son -3, -2, -1, 0, 1, 2, 3 y 4. Cada valor está representado por 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6 y 7 elementos, respectivamente, bloqueados en la parte superior.

En la partición de tiempo I1, el valor de muestra digital es 0. Esto requiere 3 elementos bloqueados en la parte superior y 4 en la parte inferior. La polaridad de campo magnético es ascendente. Los mecanismos de bloqueo superiores T1 y T2 están activos, así como el mecanismo de bloqueo inferior B3. Al mismo tiempo, los mecanismos de bloqueo inferiores B1 y B2 están desactivados, así como el mecanismo de bloqueo superior T3. Los elementos móviles P1, P2 y P3 están bloqueados en la parte superior, mientras que P4, P5, P6 y P7 están bloqueados en la parte inferior.

En la partición de tiempo I3, el valor de muestra digital cambia a 1. Esto requiere 4 elementos bloqueados en la parte superior y 3 en la parte inferior. La polarización de campo magnético es ascendente. El dispositivo de bloqueo inferior B3 está desactivado, liberando los elementos P4, P5, P6 y P7 para que puedan moverse libremente. Al mismo tiempo, se activa el mecanismo de bloqueo superior T3. Los elementos se mueven de manera ascendente bajo la influencia del campo magnético y quedan bloqueados por el mecanismo T3 actualmente activado.

En este momento, los 7 elementos móviles están bloqueados en la parte superior. En la siguiente partición I4, los elementos móviles P1, P2 y P3 estarán bloqueados en la parte inferior para garantizar que el dispositivo está en el estado deseado (4 elementos en la parte superior y 3 en la parte inferior). En la partición I4, la polaridad del campo magnético cambia y se dirige hacia abajo. Los mecanismos de bloqueo superiores T1 y T2 se desactivan y liberan los elementos móviles P1, P2 y P3. Al mismo tiempo, los mecanismos de bloqueo inferiores B1 y B2 se activan y los elementos móviles P1, P2 y P3 que están acercándose quedan bloqueados en la posición inferior. Los elementos móviles P4, P5, P6 y P7 quedan retenidos mediante el mecanismo de bloqueo superior T3 y, por lo tanto, no pueden desplazarse hacia abajo junto con los otros elementos móviles. El estado del dispositivo en este punto es: P1, P2 y P3 están bloqueados en la parte inferior y P4, P5, P6 y P7 están bloqueados en la parte superior. En las particiones de tiempo I5 a I14, los mecanismos de bloqueo se activan y se desactivan para permitir que los elementos móviles se muevan y cambien su estado según los valores de muestras digitales.

La figura 12A muestra propiedades magnéticas preferidas de elementos móviles para permitir una realización alternativa. Una vista estática desde arriba de la lámina de elemento móvil muestra una posible realización alternativa de los elementos móviles. En esta realización se han creado dos segmentos de grupo diferentes de los elementos móviles 1201 y 1202, permitiendo que una sola disposición de transductores procese y genere una señal más potente o, como alternativa, dos señales diferentes (tales como las señales de audio izquierda y derecha de un sistema estéreo). La vista en sección transversal muestra que para obtener los dos grupos de esta realización (perceptibles mediante la línea de separación 1203), cada segmento de grupo tiene normalmente una polaridad magnética opuesta.

En un grupo de sección 1201, la capa de imanes fijada al elemento móvil de la lámina delgada se ha polarizado de manera que el Norte (N) está en el lado superior de la lámina 1204 y el Sur (S) está en el lado inferior 1205; por otro lado, en el segundo grupo de sección 1202 la capa de imanes del elemento móvil de lámina delgada se ha polarizado de manera que el Sur (S) está en el lado superior de la lámina 1206 y el Norte (N) está en el lado inferior 1207.

La figura 13 muestra una agrupación de electrodos en una realización alternativa. De manera similar a la figura 10A, la figura 13 ilustra un esquema de direccionamiento alternativo para la realización alternativa descrita en la figura 12A. En este caso, el patrón de agrupamiento aplicado al elemento móvil con el objetivo de un direccionamiento digital está dividido en dos segmentos de grupo primarios, donde una mitad de la disposición de transductores está en un grupo de segmentos primario y la otra mitad en el otro grupo de segmentos primario, como se ha descrito en la figura 12A.

En esta realización hay dos grupos iguales, donde cada grupo tiene el mismo número de elementos móviles empezando por dos grupos 1301 y 1302 de un elemento móvil, seguidos cada uno por dos grupos 1303 y 1304 con dos elementos en cada grupo, seguidos por dos grupos 1305 y 1306 de cuatro elementos en cada grupo, seguidos por dos grupos 1307 y 1308 de ocho elementos en cada grupo, seguidos por dos grupos 1309 y 1310 de dieciséis elementos en cada grupo y así sucesivamente hasta que se hayan agrupado y direccionado todos los elementos móviles de la disposición de transductores.

Tal y como se muestra en la presente realización, cada grupo creciente se ha dispuesto, en la medida de lo posible, para extenderse alrededor del grupo anterior, pero esta configuración geométrica puede alterarse para obtener diferentes objetivos de construcción y/o de audio; por ejemplo, mover los "epicentros" hacia los grupos primarios en los lados opuestos de la circunferencia exterior de la disposición de transductores permite un encaminamiento más sencillo de los cables entre cada grupo y el procesador 1042 (consúltese la figura 14). También permite al dispositivo funcionar en dos modos: monofónico, en el que ambos grupos se utilizan para generar una forma de onda con el doble de amplitud, y estereofónico, en el que cada grupo genera una onda de sonido distinta para permitir la reconstrucción de una señal estereofónica.

La figura 14 muestra un diagrama de bloques del sistema de altavoz en una realización de direccionamiento alternativa. La figura 14 describe el direccionamiento de la realización alternativa mostrada en las figuras 12 y 13. La señal de entrada digital (protocolos I2S, I2C o SPDIF) 1401 se introduce en un procesador lógico 1402 que, a su

vez, convierte la señal para definir el mecanismo de bloqueo de cada uno de los dos grupos principales de elementos móviles. Cada grupo de direccionamiento se divide en dos grupos principales, uno para el mecanismo de bloqueo superior y otro para el mecanismo de bloqueo inferior. Cada grupo se divide adicionalmente en grupos de direccionamiento lógico, empezando por un grupo de un elemento móvil, seguido por otro grupo que dobla los elementos móviles del grupo anterior, seguido por otro grupo que dobla el número de elementos del grupo anterior, y así sucesivamente hasta que se hayan agrupado todos los elementos móviles de toda la disposición.

En la realización descrita en el diagrama de bloques de la figura 14, la carrera superior de un segmento principal de elementos móviles empieza por un grupo de un elemento 1403, seguido por un grupo de dos elementos 1404, seguido por un grupo de cuatro elementos 1405 y así sucesivamente hasta que se haya direccionado el número total de elementos móviles en el ensamblado de la disposición de transductores para recibir una señal de control procedente del procesador 1402.

El mismo patrón de agrupamiento se repite para la carrera inferior, donde un grupo de un elemento 1407 va seguido por un grupo de dos elementos 1408, después por un grupo de cuatro elementos 1409 y así sucesivamente hasta que se haya direccionado el número total de elementos móviles del ensamblado de la disposición de transductores para recibir una señal de control procedente del procesador 1042.

Este mismo patrón se repite para el segundo segmento principal de elementos móviles, donde el grupo de carrera superior empieza por un grupo de un elemento 1413, seguido por un grupo de dos elementos 1414, seguido por un grupo de cuatro elementos 1415 y así sucesivamente hasta que se haya direccionado el número total de elementos móviles del ensamblado de la disposición de transductores para recibir una señal de control procedente del procesador 1402.

Esto se repite para la carrera inferior del segundo segmento que empieza por un grupo de un elemento 1417, seguido por un grupo de dos elementos 1418, después por un grupo de cuatro elementos 1419 y así sucesivamente hasta que se haya direccionado el número total de elementos móviles del ensamblado de la disposición de transductores para recibir una señal de control procedente del procesador 1402.

El procesador 1402 también controlará un flujo de corriente alterna para la bobina que normalmente rodea toda la disposición de transductores, incluyendo ambos segmentos principales 1412, creando y controlando de este modo el campo magnético a través de toda la disposición. En determinadas realizaciones puede utilizarse un amplificador de potencia 1411 para aumentar la corriente para la bobina.

La figura 15A muestra un gráfico de tiempos y de control para una realización alternativa. Un diagrama de tiempos, que describe la lógica y los algoritmos, puede utilizarse para generar una forma de onda de sonido específica en la realización alternativa descrita en las figuras 12 a 14. Las convenciones de visualización son similares a las utilizadas en la figura 11A, reproduciéndose la misma señal.

La línea de tiempo está dividida en ranuras, numeradas como I1, I2 y así sucesivamente. Este ejemplo sencillo muestra un dispositivo que utiliza 14 elementos móviles divididos en dos grupos principales (L y R), cada uno dividido en 3 grupos secundarios 1, 2 y 3.

El valor de muestra digital indica cuántos elementos pueden estar bloqueados en la parte superior y cuántos en la parte inferior de la disposición. En este ejemplo posibles valores de muestras digitales son -3, -2, -1, 0, 1, 2, 3 y 4. Cada valor está representado por 0, 2, 4, 6, 8, 10, 12 y 14 elementos, respectivamente, bloqueados en la parte superior.

En la partición de tiempo I3, el valor de muestra digital cambia de 0 a 1. Esto requiere 8 elementos bloqueados en la parte superior y 6 en la parte inferior. La polarización de campo magnético es ascendente. Los dispositivos de bloqueo superiores RT1 y RT2, así como el dispositivo de bloqueo inferior LB3, se desactivan, liberando los elementos RP1, RP2, RP3, LP4, LP5, LP6 y LP7 para que puedan moverse libremente. La polaridad magnética de LP4, LP5, LP6 y LP7 crea una fuerza ascendente, llevando estos elementos hacia arriba. La polaridad magnética de RP1, RP2 y RP3 es opuesta y la fuerza de accionamiento es descendente. Al mismo tiempo, los mecanismos de bloqueo opuestos al movimiento de los elementos se activan para bloquear los elementos móviles que se acercan e inmovilizarlos.

En la partición I4, la polaridad del campo magnético cambia y se dirige hacia abajo. Los dispositivos de bloqueo superiores LT1 y LT2, así como el dispositivo de bloqueo inferior RB3, se desactivan, liberando los elementos LP1, LP2, LP3, RP4, RP5, RP6 y RP7 para que puedan moverse libremente. La polaridad magnética de RP4, RP5, RP6 y RP7 crea una fuerza ascendente, llevando estos elementos hacia arriba. La polaridad magnética de LP1, LP2 y LP3 es opuesta y la fuerza de accionamiento es descendente. Al mismo tiempo, los mecanismos de bloqueo opuestos al movimiento de los elementos se activan para bloquear los elementos móviles que se acercan e inmovilizarlos.

En las particiones de tiempo I5 a I14, los mecanismos de bloqueo se activan y se desactivan para permitir que los elementos móviles se desplacen y cambien su estado según los valores de muestras digitales.

La figura 15C ilustra la generación de tres tonos diferentes (22 KHz, 11 KHz y 4,4 KHz) en los gráficos de sonido II a IV, respectivamente. El gráfico I muestra el reloj del sistema que, en el ejemplo ilustrado, es de 44 KHz. En la realización ilustrada, el altavoz utilizado para generar estos tonos tiene 2047 elementos móviles. Cuando se genera el sonido de 22 KHz (mitad del reloj), todos los 2047 elementos cambian de posición (desde la parte superior hasta la parte inferior, o viceversa) en cada señal de reloj. Cuando se genera el sonido de 11 KHz (un cuarto del reloj), la mitad de los 2047 elementos móviles cambia de posición en cada señal de reloj. Por ejemplo, si en la primera señal de reloj todos los 2047 elementos móviles están en su posición superior, en la segunda señal de reloj, 1023 de los mismos han descendido, en la tercera señal de reloj los 1024 elementos restantes han descendido, en la cuarta señal de reloj 1023 ascienden y en la quinta señal de reloj los 1024 elementos restantes ascienden, y así sucesivamente. Cuando se genera el sonido de 4,4 KHz (1/10 del reloj), el número de elementos que están en la posición superior en cada señal de reloj (1340, 1852, ...) se muestran en la parte superior del gráfico IV, mientras que el número de elementos que están en la posición inferior en cada señal de reloj (707, 195,...) se muestra en la parte inferior del gráfico IV.

La figura 16A muestra una pequeña sección del subensamblado de elementos móviles.

Las figuras 16A y 16B proporcionan vistas ilustrativas de los elementos móviles en diferentes realizaciones.

La realización mostrada en la figura 16A está formada por elementos móviles ("pistones") construidos a partir de una lámina delgada de material 1601 con una forma en serpentina redonda y precisa grabada en el material que permite que el centro de la forma 1602 tenga una libertad de movimiento limitada por las flexuras de la forma.

La figura 16B muestra una pequeña sección de una realización diferente del ensamblado de elementos móviles que utiliza un sustrato flexible. Esta realización está formada por elementos móviles ("pistones") construidos a partir de un material con la suficiente elasticidad, tal como caucho de polietileno 1603, que o bien presenta depósitos de material magnético en formas y dimensiones específicas en la parte superior y en la parte inferior de la superficie del material, o bien el material está fijado a un disco magnetizado de dimensiones particulares 1604, permitiendo una libertad de movimiento que está limitada por el propio material.

La figura 2C muestra una pequeña sección de una realización diferente del subensamblado de elementos móviles que utiliza componentes flotantes. Esta realización está formada por elementos flotantes ("pistones") construidos a partir de material magnetizado con polaridad opuesta en cada lado. En esta realización particular, el Norte está en la parte superior y el Sur en la parte inferior.

La figura 3B ilustra una vista desde arriba de una estructura completa de la disposición de transductores en determinadas realizaciones, basada en un diseño de panel, que permite un factor de llenado del 48 por ciento del área de superficie. La figura 17 ilustra una vista desde arriba de una estructura completa de la disposición de transductores en determinadas realizaciones, basada en un diseño cuadrangular que permite un factor de llenado del 38 por ciento del área de superficie.

La figura 18 muestra una vista en despiece ordenado de una pequeña sección de una realización que utiliza elementos de forma cuadrada. Esta realización muestra una estructura de disposición de transductores que utiliza elementos de forma cuadrada destinados a aumentar el factor de llenado y permitir mayores niveles de presión de sonido por área de transductor.

Se utilizan los mismos elementos estructurales que en las realizaciones anteriores. Una bobina rodea toda la disposición de transductores (no mostrada). Cuando se aplica un voltaje, la bobina genera una fuerza de accionamiento electromagnética a través de toda la estructura de la disposición.

Una construcción de capa superior, que comprende normalmente una capa dieléctrica con una disposición de cavidades separadas de manera precisa 1802, presentando cada una un anillo de electrodos, está fijada en la parte superior de cada cavidad para crear un mecanismo de bloqueo electrostático 1801.

Los elementos móviles ("pistones") de esta realización comprenden una lámina delgada de material magnetizado conductor recortada o grabada con muchas formas en "serpentina" muy precisas que proporcionan a la lámina una cantidad específica de libertad de movimiento 1803 con una parte superior 1804 y una parte inferior 1805 magnetizadas. Cada elemento móvil es guiado por y está alojado en cuatro flexuras.

Una construcción de capa inferior, que comprende normalmente una capa dieléctrica con una disposición de cavidades separadas de manera precisa 1806, presentando cada una un anillo de electrodos fijado en la parte inferior de cada cavidad, crea un mecanismo de bloqueo electrostático 1807.

La figura 19 muestra un aparato que incluye una pluralidad (disposición) de dispositivos. La estructura muestra el uso de la pluralidad en determinadas realizaciones de los transductores 1902 de la disposición para crear un dispositivo 1901 que puede generar mayores niveles de presión de sonido o utilizar técnicas de conformación de haz

(que van más allá del alcance de esta invención) para crear ondas de sonido direccionales.

La disposición puede tener cualquier forma deseada y las formas redondas de la descripción solo tienen fines ilustrativos.

5 El dispositivo construido y operativo según una realización de la presente invención y descrito anteriormente con referencia a las figuras 1B, 2A a 2C, 3A a 3C, 4A, 5, 6A, 7A y 7B, 8A y 8B, 9A, 10A, 11A, 12A, 13, 14, 15A, 16A a 16C y 17 a 19 se describe a continuación de manera más genérica, por ejemplo, con referencia a la figura 1A, y en mayor detalle. También se describen realizaciones alternativas.

10 A continuación se hace referencia a la figura 1A, que es una ilustración simplificada de un diagrama de bloques funcionales de un aparato actuador para generar un efecto físico, donde al menos un atributo del mismo corresponde a al menos una característica de una señal de entrada digital muestreada periódicamente según un reloj. Según una realización preferida de la presente invención, el aparato de la figura 1A comprende al menos un dispositivo actuador, donde cada dispositivo actuador incluye una disposición 10 de elementos móviles que están obligados normalmente cada uno a desplazarse de manera alterna hacia atrás y hacia delante a lo largo de un eje respectivo en respuesta a una fuerza electromagnética alterna aplicada a la disposición 10 de elementos móviles. Cada elemento móvil está construido y funciona para responder a una fuerza electromagnética. Por lo tanto, cada elemento móvil puede comprender un conductor, puede estar formado por un material ferromagnético, puede comprender un imán permanente, por ejemplo como el mostrado en la figura 6C, y puede comprender una bobina que transporta corriente.

25 Un dispositivo de bloqueo 20 funciona para bloquear de manera selectiva al menos un subconjunto de los elementos móviles 10 en al menos una posición de bloqueo para impedir de ese modo que los elementos móviles individuales 10 respondan a la fuerza electromagnética. Un controlador de campos electromagnéticos 30 funciona para recibir señales de reloj y, por consiguiente, para controlar la aplicación de la fuerza electromagnética mediante un generador de campos magnéticos, 40, a la disposición de elementos móviles. Un controlador de dispositivos de bloqueo 50 funciona para recibir la señal de entrada digital y controlar el dispositivo de bloqueo en consecuencia. El controlador de dispositivos de bloqueo 50, en al menos un modo de la operación de control de dispositivos de bloqueo, funciona para fijar el número de elementos móviles 10 que oscilan libremente en respuesta a la fuerza electromagnética aplicada por el generador de campos magnéticos, por ejemplo la bobina 40, para que sea sustancialmente proporcional a la intensidad del sonido codificado en la señal de entrada digital que recibe. Preferentemente, cuando la intensidad del sonido codificado en la señal de entrada digital está en un máximo local positivo, todos los elementos móviles están bloqueados en una primera posición de extremo. Cuando la intensidad del sonido codificado en la señal de entrada digital está en un máximo local negativo, todos los elementos móviles están bloqueados en una segunda posición de extremo opuesta.

40 Preferentemente, un efecto físico, por ejemplo un sonido, que se asemeja a la señal de entrada se consigue ajustando el número de elementos móviles que están en una posición de extremo, por ejemplo, una posición superior descrita en este documento, al valor de muestra digital, normalmente después de un nuevo muestro y de un escalado, como se describe posteriormente en detalle. Por ejemplo, si el valor de muestra digital es actualmente 10, 10 elementos móviles denotados en este documento como ME1, ..., ME10 pueden estar en sus posiciones superiores. Si el valor de muestra digital cambia posteriormente a 13, tres elementos móviles adicionales denotados en este documento como ME11, ME12 y ME13 pueden elevarse hasta su posición superior para reflejar esto. Si el siguiente valor de muestra es aún 13, no es necesario mover ningún elemento móvil para reflejar esto. Si el valor de muestra digital cambia después a 16, 3 elementos móviles diferentes (ya que ME11, ME12 y ME13 ya están en su posición superior), denotados en este documento como M14, M15 y M16, pueden elevarse hasta sus posiciones superiores para reflejar esto.

50 En algunas realizaciones, descritas posteriormente en detalle, los elementos móviles están construidos y están operativos para hacerse funcionar conjuntamente en grupos, tal como un conjunto de grupos cuyo número de elementos móviles son todas potencias secuenciales de dos, tales como 31 elementos móviles construidos para hacerse funcionar en grupos que tienen cada uno 1, 2, 4, 8, 16 elementos móviles, respectivamente. En este caso, y utilizando el ejemplo anterior, cuando el valor de muestra es, digamos, 10, los dos grupos que incluyen 8 y 2 elementos móviles respectivamente son, digamos, ascendentes, es decir, todos los elementos móviles de los mismos están en sus posiciones superiores. Sin embargo, cuando el valor de muestra cambia a 13, normalmente es poco práctico conmutar directamente 3 elementos móviles desde su posición inferior hasta su posición superior ya que, en este ejemplo, debido a la agrupación binaria, esto sólo puede realizarse elevando los dos grupos que incluyen 1 y 2 elementos móviles respectivamente, aunque el grupo que incluye 2 elementos móviles ya se ha elevado. Sin embargo, el número de píxeles superiores puede ajustarse de otro modo al valor de muestra, 13. Puesto que $13 = 8 + 4 + 1$, los dos grupos que incluyen 4 y 1 píxeles pueden elevarse, y el grupo que incluye 2 píxeles puede bajarse, generando un cambio de presión neta de +3, para generar de ese modo un sonido que se asemeja a la señal de entrada deseada, normalmente después del remuestreo y el escalado.

65 Más en general, los elementos móviles trasladados hacia una primera posición de extremo, tal como la posición superior, generan presión en una primera dirección denominada en este documento como presión positiva. Los

elementos móviles trasladados hacia la posición de extremo opuesta, tal como la posición inferior, generan presión en el sentido opuesto, denominada en este documento como presión negativa. Una determinada cantidad de presión positiva o negativa puede obtenerse trasladando el número apropiado de elementos móviles en la dirección correspondiente o trasladando n elementos móviles en la dirección correspondiente y otros m elementos en la

5 dirección opuesta, de manera que la diferencia n-m corresponde, por ejemplo es igual, al valor de señal muestreada, normalmente después del remuestreo y el escalado.

Los elementos móviles están formados normalmente por un material que conduce electricidad al menos de manera moderada, tal como silicio o silicio cubierto por un metal, como el oro.

10 Si los elementos móviles comprenden imanes permanentes, los imanes permanentes se magnetizan normalmente durante la fabricación, de manera que los polos magnéticos son colineales con respecto a los ejes de movimiento deseados. Una bobina que rodea normalmente toda la disposición de transductores genera la fuerza de accionamiento. Para controlar cada elemento móvil se utilizan normalmente dos elementos de bloqueo (que

15 comprenden normalmente dispositivos de bloqueo electrostáticos o "electrodos"), por ejemplo uno encima y otro debajo de los elementos móviles.

Según una realización, el actuador es un altavoz y la disposición de elementos móviles 10 está dispuesta en un medio fluido. Los controladores 30 y 50 funcionan para definir al menos un atributo del sonido que se corresponda

20 con al menos una característica de la señal de entrada digital. El sonido tiene al menos una longitud de onda para definir de ese modo la longitud de onda más corta presente en el sonido, y cada elemento móvil 10 define normalmente una sección transversal que es perpendicular al eje del elemento móvil y que define la dimensión más grande del mismo, donde la dimensión más grande de cada sección transversal es normalmente pequeña con respecto a, por ejemplo, un orden de magnitud más pequeño que la longitud de onda más corta. La figura 1B es una

25 ilustración isométrica de la disposición 10 de elementos móviles construidos y operativos según una realización preferida de la presente invención. En esta realización, cada elemento móvil 10 comprende un imán y cada uno está obligado a desplazarse, excepto cuando está bloqueado, de manera alterna hacia atrás y hacia delante a lo largo de un eje respectivo en respuesta a una fuerza electromagnética alterna aplicada a la disposición de elementos móviles 10 por el generador de campos magnéticos 40.

Las figuras 1C a 1G son ilustraciones simplificadas de vistas superiores de elementos de bloqueo 72, 73, 74, 76 y 77, cada uno de los cuales puede, en combinación con otros similares o distintos, formar el dispositivo de bloqueo electrostático 20 según realizaciones alternativas de la presente invención. Al menos uno de los elementos de

35 bloqueo, 72, puede tener una configuración perforada, tal y como se muestra en la figura 1C. En la figura 1D, un elemento de bloqueo 73 se muestra con una configuración dentada para permitir la concentración de cargas electrostáticas en las partes afiladas del dispositivo de bloqueo para aumentar de ese modo la fuerza de bloqueo aplicada al elemento móvil correspondiente. En la figura 1E, al menos un elemento de bloqueo, 74, tiene una configuración que incluye un área central 75 que impide que pase aire para retrasar el escape de aire y amortiguar de ese modo el contacto entre el elemento móvil 10 y el propio elemento de bloqueo. Al menos un elemento de

40 bloqueo, 76, puede tener una configuración en anillo, como la mostrada en la figura 1F y, a modo de ejemplo, en la figura 1B. El elemento de bloqueo 77 de la figura 1G es otra realización alternativa que es similar al elemento de bloqueo 74 de la figura 1E, excepto en que se proporciona al menos una muesca radial 78 para eliminar la corriente inducida en el dispositivo de bloqueo.

La figura 2A muestra la disposición de la figura 1B en una primera posición de extremo inferior en respuesta a la fuerza magnética aplicada de manera descendente por la bobina u otro generador de campos magnéticos 40 de la

45 figura 1A. La figura 2B muestra la disposición de la figura 1B en una segunda posición de extremo superior en respuesta a una fuerza electromagnética aplicada de manera ascendente por la bobina u otro generador de campos magnéticos 40 de la figura 1A. La figura 2C es similar a la figura 2B excepto en que uno de los imanes móviles individuales, 204, no responde a la fuerza ascendente aplicada por el generador de campos magnéticos 40 ya que el imán individual está bloqueado en su posición de extremo superior mediante una carga eléctrica correspondiente dispuesta encima del elemento móvil individual y que funciona como un dispositivo de bloqueo superior. Debe

50 apreciarse que en la realización de las figuras 1A a 2C, el dispositivo de bloqueo 20 comprende un dispositivo de bloqueo electrostático, aunque esto no es necesario.

Normalmente, el aparato de las figuras 2A a 2C comprende un par de elementos de bloqueo 205 y 207 para cada elemento móvil, denominados en este documento como elementos de bloqueo "superiores" e "inferiores" por motivos de simplicidad, aunque no es necesario que uno esté encima de otro, incluyendo los elementos de bloqueo uno o

60 más electrodos y un mantenedor de espacio 220 que separa los electrodos. En realizaciones en las que el dispositivo de bloqueo 20 comprende un dispositivo de bloqueo electrostático, el mantenedor de espacio 220 puede estar formado por un material aislante.

Cada par de elementos de bloqueo funciona para bloquear de manera selectiva su elemento móvil individual 10 en una de dos posiciones de bloqueo seleccionables, denominadas en este documento como la primera y la segunda

65 posición de bloqueo o, por motivos de simplicidad, las posiciones de bloqueo "superior" e "inferior", para impedir de ese modo que los elementos móviles individuales respondan a la fuerza electromagnética. Si se considera que el eje

a lo largo del cual se desplaza cada elemento móvil 10 comprende un primer semieje y un segundo semieje colineal, la primera posición de bloqueo está dispuesta normalmente en el primer semieje y la segunda posición de bloqueo está dispuesta normalmente en el segundo semieje, como se muestra, por ejemplo, en las figuras 2A a 2C.

5 Las figuras 3A a 3C son, respectivamente, una vista desde arriba, una vista en sección transversal y una vista isométrica de una disposición oblicua de elementos móviles 10, cada uno de los cuales está obligado a desplazarse de manera alterna hacia atrás y hacia delante a lo largo de un eje respectivo en respuesta a una fuerza electromagnética alterna aplicada a la disposición de elementos móviles 10, por ejemplo por una bobina 40 enrollada alrededor de la disposición tal y como se muestra. La figura 4A es una vista en despiece ordenado de un dispositivo
10 actuador estratificado que incluye una disposición de elementos móviles 403, cada uno obligado a desplazarse de manera alterna hacia atrás y hacia delante a lo largo de un eje respectivo en respuesta a una fuerza electromagnética alterna aplicada a la disposición de elementos móviles 403 por una bobina 401, y un dispositivo de bloqueo, formado como al menos una capa, que funciona para bloquear de manera selectiva al menos un subconjunto de los elementos móviles 403 en al menos una posición de bloqueo para impedir de ese modo que los
15 elementos móviles individuales 403 respondan a la fuerza electromagnética. Normalmente, la fuerza electromagnética se genera usando una bobina 401 que rodea la disposición 403, tal y como se muestra.

El dispositivo de bloqueo comprende normalmente un par de capas: una capa de dispositivo de bloqueo superior 402 y una capa de dispositivo de bloqueo inferior 404 que, cuando están cargadas y cuando los elementos móviles
20 están en un campo electromagnético apropiado como se describe en este documento, bloquean los elementos móviles en una posición de extremo superior y una posición de extremo inferior, respectivamente. Cada una de las capas de dispositivo de bloqueo 402 y 404 comprende normalmente una capa de electrodos y capa separadora, como se muestra en detalle en las figuras 5 a 6A. Las capas separadoras 402 a 404 pueden formarse generalmente a partir de cualquier material dieléctrico adecuado. Opcionalmente pueden añadirse partículas de ferrita o partículas
25 ferromagnéticas al material dieléctrico para reducir las interacciones no deseadas entre los imanes de la capa de imanes.

En las figuras 5 a 6A se proporcionan tanto flexuras como imanes, conductores o ferroimanes anulares, aunque debe apreciarse que esto no pretende ser limitativo. Como alternativa, por ejemplo, pueden proporcionarse imanes
30 con otras formas, o los elementos anulares puede sustituirse por bobinas y los elementos móviles flotantes pueden proporcionarse sin flexuras, o los elementos móviles pueden tener una parte periférica elástica o flexible o pueden estar asociados con un elemento periférico elástico o flexible, tal y como se muestra y se describe en detalle en este documento.

La figura 4B es una ilustración simplificada de un diagrama de flujo de un método de accionamiento preferido que funciona según una realización preferida de la presente invención. En la figura 4B se genera un efecto físico, donde
35 al menos un atributo del mismo corresponde a al menos una característica de una señal de entrada digital muestreada periódicamente según una señal de reloj del sistema. Tal y como se muestra, el método comprende normalmente (etapa 450) proporcionar al menos una disposición de elementos móviles 10, cada uno obligado a desplazarse de manera alterna hacia atrás y hacia delante a lo largo de un eje 15 (figura 1B) en respuesta a una
40 fuerza electromagnética alterna aplicada a la disposición de elementos móviles 10, por ejemplo por un generador de campos magnéticos 40. En la etapa 460, al menos un subconjunto de los elementos móviles 10 se bloquea de manera selectiva en al menos una posición de bloqueo mediante un dispositivo de bloqueo 20 para impedir de ese modo que los elementos móviles individuales 10 respondan a la fuerza electromagnética aplicada por el generador de campo magnético 40. En la etapa 470 se recibe la señal de reloj del sistema y, por consiguiente, se controla la aplicación de la fuerza electromagnética a la disposición de elementos móviles. En la etapa 480 se recibe la señal de entrada digital y en la etapa de bloqueo 460 se controla en consecuencia. Normalmente, tal y como se ha descrito anteriormente, el dispositivo de bloqueo 20 comprende un par de capas, comprendiendo cada capa una disposición de elementos de bloqueo electrostáticos y al menos una capa de mantenimiento de espacio que separa las capas de
45 dispositivos de bloqueo electrostáticos, y está formado por un material aislante. Normalmente, el dispositivo de bloqueo y al menos un mantenedor de espacio se fabrican usando tecnología de producción de PCI (figura 4B, etapa 450). La disposición de elementos móviles comprende normalmente una capa magnética 403 intercalada entre un par de capas de electrodos separadas de la capa magnética por un par de capas separadoras dieléctricas. Normalmente, al menos una de las capas se fabrica usando tecnología de soldadura de obleas, tecnología de laminación de capas y/o tecnología de fabricación de PCI y/o una combinación de estas tecnologías (figura 4B, etapa 455).

La figura 5 es una vista estática isométrica del dispositivo actuador de la figura 4A construido y operativo según una realización preferida de la presente invención, en el que la disposición de elementos móviles 10 está formada por
60 una lámina delgada, estando alojado cada elemento móvil en flexuras formadas de manera solidaria 606 que lo rodean. Las flexuras incluyen normalmente partes de lámina 703 intercaladas con partes recortadas 702. La figura 6A es una vista en despiece ordenado de una parte del dispositivo actuador de la figura 5.

Según una realización preferida de la presente invención, se proporcionan 3 flexuras ya que se requieren al menos
65 tres flexuras para definir un plano. En el caso de los elementos móviles mostrados y descritos en este documento, el plano definido por las flexuras es normalmente un plano perpendicular a los ejes de desplazamiento deseados de los

elementos móviles o cualquier plano seleccionado de manera adecuada para obligar a que los elementos móviles se desplacen a lo largo de los ejes deseados.

5 Generalmente, es deseable minimizar el área de las flexuras para aprovechar el área disponible del dispositivo para los propios elementos móviles, ya que el proceso de accionamiento se lleva a cabo mediante los elementos móviles de manera que, desde el punto de vista de la funcionalidad del dispositivo, el área de las flexuras está sobrecargada. Por ejemplo, si el actuador es un altavoz, los elementos móviles empujan aire para crear de ese modo sonido, mientras que las flexuras y los espacios que las definen no llevan a cabo esta acción. Por lo tanto, generalmente es deseable que la longitud total de las flexuras sea similar al perímetro de los elementos móviles (por ejemplo, no siendo el doble del perímetro de los elementos móviles). Por lo tanto, puede ser deseable tratar la longitud total dada de las flexuras y, por consiguiente, cuanta más flexuras se proporcionen, más corta será cada flexura, lo que implica una mayor tensión en la misma traslación, es decir, para conseguir la misma amplitud de movimiento de los elementos móviles.

15 Como resultado, se considera preferible proporcionar solamente tres flexuras, es decir, no más que el número mínimo de flexuras requeridas para bloquear el elemento móvil, por ejemplo, para definir un plano normal al eje de movimiento de los elementos móviles.

20 Las figuras 6B y 6C son, respectivamente, ilustraciones de una vista isométrica y de una vista en despiece ordenado de un ensamblado de elementos móviles, dispositivos de bloqueo y elementos separadores construidos y operativos según una realización preferida, con una baja fuga de aire, de la presente invención. El término "fuga de aire" se refiere al aire que pasa desde el espacio situado por encima del elemento móvil hasta el espacio situado por debajo del elemento móvil, o viceversa.

25 La figura 6D es una vista en sección transversal del aparato de las figuras 6B y 6C que muestra tres elementos móviles 10 en las posiciones de extremo superior, de extremo inferior e intermedia 610, 620 y 630, respectivamente. La figura 6E es la leyenda para la figura 6D. Normalmente, en la realización de las figuras 6B y 6E, al menos uno de los elementos móviles está configurado para impedir la fuga de aire a través de al menos una flexura. Tal y como se muestra, al menos un mantenedor de espacio 640 está dispuesto entre la disposición de elementos móviles 10 y el mecanismo de bloqueo 20, definiendo el mantenedor de espacio un cilindro 660 que presenta una sección transversal, y donde al menos uno de los elementos móviles 10 comprende un elemento alargado 670 cuya sección transversal es lo bastante pequeña para evitar las flexuras y un elemento delantero 680 montado en el mismo cuya sección transversal es similar a la sección transversal del cilindro 660. Debe apreciarse que por motivos de simplicidad, solo se muestra una parte de las flexuras 606.

35 La figura 7A es una ilustración de una vista desde arriba parcial y estática de la capa de elementos móviles de las figuras 5 a 6C. La figura 7B es una vista en sección transversal de la capa de elementos móviles de las figuras 5 y 6 tomada a lo largo del eje A-A mostrado en la figura 7A. La figura 7C es una vista en perspectiva de la capa de elementos móviles de las figuras 5 a 7B, en la que se muestra un elemento móvil individual que se desplaza de manera ascendente hacia su posición de extremo superior, de manera que sus flexuras se curvan y se extienden hacia arriba fuera del plano de la lámina delgada. Tal y como se muestra, en las figuras 7A a 7C, al menos uno de los elementos móviles 10 de la figura 1A tiene una sección transversal que define una periferia 706 y está contenido en al menos una flexura acoplada a la periferia. Normalmente, al menos un elemento móvil 10 y sus flexuras de contención normalmente en serpentina están formados a partir de una única lámina de material. Como alternativa, tal y como se muestra en la figura 16B, al menos una flexura 1605 puede estar formada por un material elástico. Debe apreciarse que la realización basada en flexuras es solamente una posible realización de la presente invención. Por el contrario, tal y como se muestra, por ejemplo, en la figura 1B, cada elemento móvil puede comprender simplemente un elemento flotante.

50 La figura 7D es una vista en perspectiva de una capa de elementos móviles construida y operativa según una realización alternativa de la presente invención. La figura 7E es una ilustración de una vista lateral de la parte central contenida en flexura 705 de un elemento móvil individual. En la realización de las figuras 7D y 7E, los elementos móviles 10 de la figura 1A comprenden imanes permanentes normalmente anulares 710 en lugar de los imanes permanentes en forma de disco 502 de las realizaciones de las figuras 5 a 7C. Normalmente, cada elemento móvil 10 tiene una primera y una segunda superficie opuestas normalmente circulares 711 y 712 enfrentadas al primer y segundo punto de extremo 713 y 714 del eje de movimiento del elemento móvil, respectivamente, y al menos un imán permanente 710 está dispuesto en al menos una de la primera y segunda superficie circular 711 y 712. Si se proporcionan dos imanes permanentes 710, entonces los dos están alineados de manera que el mismo polo apunta en la misma dirección, como se muestra en la figura 7E.

60 La figura 8A es un diagrama de control que ilustra el control del dispositivo de bloqueo 20, mediante el controlador de dispositivos de bloqueo 50 de la figura 1A, y de la fuerza electromagnética normalmente inducida por bobina, mediante el controlador 30 de la figura 1A, para un ejemplo particular en el que los elementos móviles 10 están dispuestos en grupos G1, G2, ..., GN que pueden accionarse cada uno colectivamente, de manera seleccionable, donde cada dispositivo de bloqueo de la capa de bloqueo está normalmente asociado con un imán permanente, y donde los polos de todos los imanes permanentes de la capa de bloqueo están dispuestos de la misma forma. El

dispositivo de bloqueo comprende normalmente, para cada grupo o para cada elemento móvil de cada grupo, un dispositivo de bloqueo superior y un dispositivo de bloqueo inferior. Los dispositivos de bloqueo superior e inferior para un grupo G_k ($k = 1, \dots, N$) están denotados como T_k y B_k , respectivamente. En la figura 8A, los dos controladores están implementados en el procesador 802.

5 La figura 8B es un diagrama de flujo que ilustra un método preferido mediante el cual el controlador de bloqueo 50 de la figura 1A puede procesar una señal de entrada entrante 801 y controlar los dispositivos de bloqueo 20 de los elementos móviles 10 de manera correspondiente, en grupos. La abreviatura "EM" indica una fuerza electromagnética aplicada hacia arriba o hacia abajo, dependiendo de la dirección de la flecha asociada, a un grupo pertinente de elementos móviles. En la realización ilustrada en la figura 8B, si en el tiempo t , el LSB de la señal PCM reescalada es 1 (etapa 816), esto indica que los elementos de altavoz del grupo G_1 puede estar en la posición de extremo seleccionada. Si (etapa 817) el grupo G_1 ya está en la posición de extremo seleccionada, no se requiere ninguna acción adicional; sin embargo, si el grupo G_1 no está todavía en la posición de extremo seleccionada, el controlador de bloqueo 50 espera (etapa 818) a que el campo electromagnético sea ascendente y, después, (etapa 819) libera los dispositivos de bloqueo inferiores del conjunto B_1 y activa los dispositivos de bloqueo superiores del conjunto T_1 . Este es también el caso, mutatis mutandis, para el resto de grupos G_2, \dots, G_N .

20 En la figura 8B, la notación T_k o B_k seguida de un flecha que apunta hacia arriba o que apunta hacia abajo indica el bloqueo o la liberación (flecha hacia arriba o hacia abajo, respectivamente) del dispositivo de bloqueo superior o inferior (T o B , respectivamente) del k -ésimo grupo de elementos móviles.

25 La figura 8C es una ilustración simplificada de un diagrama de bloques funcionales de un procesador, tal como el procesador 802 de la figura 8A, que es útil para controlar sustancialmente cualquiera de los dispositivos actuadores con mecanismos de bloqueo electrostáticos mostrados y descritos en este documento. Un único procesador, en la realización de la figura 8C, implementa tanto el controlador de campos electromagnéticos 30 como el controlador de dispositivos de bloqueo 50. El controlador de campos electromagnéticos 30 recibe normalmente la señal de reloj del sistema que es normalmente una onda cuadrada y genera una onda sinusoidal con la misma frecuencia y fase, proporcionándola a la bobina 40 como una señal de accionamiento. El DSP 810 puede comprender, por ejemplo, un procesador de señales digitales TI 6000 programado de manera adecuada y distribuido comercialmente por Texas Instruments. El programa para el DSP 810 puede residir en un chip de memoria adecuado tal como una memoria flash. El controlador de dispositivos de bloqueo 50, en al menos un modo de funcionamiento de control de dispositivo de bloqueo, funciona para fijar el número de elementos móviles que oscilan libremente en respuesta a la fuerza electromagnética aplicada por la bobina 40 para que sea sustancialmente proporcional a la intensidad del sonido codificado en la señal de entrada digital.

35 El controlador de campos electromagnéticos 30 controla normalmente un flujo de corriente alterna para la bobina 40 que rodea normalmente toda la disposición de elementos móviles 10, creando y controlando de este modo el campo magnético a través de toda la disposición. En determinadas realizaciones, un amplificador de potencia 811 puede utilizarse para aumentar la corriente para la bobina 40. El controlador de campos electromagnéticos 30 genera normalmente una fuerza electromagnética alterna cuya alternancia es sincrónica con la señal de reloj del sistema, como se describe posteriormente en detalle con referencia a la figura 11A, gráfico I.

45 El controlador de dispositivos de bloqueo 50 funciona para recibir la señal de entrada digital 801 y para controlar el mecanismo de bloqueo 20 en consecuencia. Normalmente, cada elemento móvil individual 10 lleva a cabo al menos una transición por señal de reloj, es decir, durante una señal de reloj dada, donde cada elemento móvil puede moverse desde su posición inferior hasta su posición superior o moverse desde su posición superior hasta su posición inferior, o permanecer en una cualquiera de estas dos posiciones. Un modo de funcionamiento preferido del controlador de dispositivos de bloqueo 50 se describe posteriormente con referencia a la figura 11A. Según una realización preferida de la presente invención, la retención de los elementos móviles 10 en sus posiciones de extremo adecuadas se ve afectada por el controlador de bloqueo 50.

55 Preferentemente, el controlador de bloqueo 50 actúa sobre los elementos móviles en grupos, denominados en este documento como "grupos controlados". Todos los elementos móviles de cualquier grupo dado de elementos móviles pueden seleccionarse ya sea bloqueados en sus posiciones superiores o en sus posiciones inferiores, o desbloqueados. Preferentemente, los "grupos controlados" forman una secuencia G_1, G_2, \dots , y el número de elementos de altavoz en cada grupo controlado G_k es un entero, tal como 2, a la potencia de $(k-1)$, permitiendo de ese modo manejar cualquier número deseado de elementos de altavoz (bloqueados en su posición superior, en su posición inferior, o no bloqueados) ya que cualquier número dado puede expresarse como una suma de potencias de, por ejemplo, dos o diez u otro entero adecuado. Si el número total de elementos de altavoz se selecciona para que sea menor que una potencia integral (N) de 2 tal como 2047, es posible dividir el número total de elementos de altavoz en un número integral de grupos controlados, concretamente N . Por ejemplo, si hay 2047 elementos de altavoz, el número de grupos controlados de la secuencia G_1, G_2, \dots , es 11.

65 En esta realización, puesto que cualquier valor individual de la señal PCM reescalada puede representarse como una suma de las potencias integrales de 2, un número adecuado de elementos de altavoz siempre puede colocarse en la posición de extremo seleccionada llevando colectivamente todos los elementos de grupos controlados

adecuados a esa posición de extremo. Por ejemplo, si en el tiempo t el valor de la señal PCM reescalada es 100 entonces, puesto que $100 = 64 + 32 + 4$, los grupos G3, G6 y G7 incluyen exactamente de manera conjunta 100 elementos de altavoz y, por lo tanto, en el tiempo t , todos los elementos de estos tres grupos se llevan colectivamente a la posición de extremo seleccionada, tal como la posición "de arriba" o "superior", y, al mismo tiempo, todos los elementos de todos los grupos diferentes a estos tres grupos se llevan colectivamente hasta la posición de extremo no seleccionada, tal como la posición "de abajo" o "inferior". Debe apreciarse que cada elemento móvil tiene un dispositivo de bloqueo inferior y un dispositivo de bloqueo superior, donde cada uno se genera normalmente aplicando de manera selectiva fuerzas electrostáticas locales adecuadas, asociados con el mismo para bloquearse en su posición "inferior" y en su posición "superior", respectivamente. El conjunto de dispositivos de bloqueo inferiores y superiores de los elementos de altavoz del grupo Gk se denominan dispositivos de bloqueo Bk y Tk, respectivamente.

La figura 8D es una ilustración simplificada de un diagrama de flujo de un método preferido para inicializar el aparato de las figuras 1A a 8C. Según el método de la figura 8D, la disposición de elementos móviles 10 realiza un movimiento inicial que incluye llevar cada elemento móvil 10 de la disposición de elementos móviles a al menos una posición de bloqueo. Tal y como se describe en este documento, tanto la posición de bloqueo superior como la inferior se proporcionan normalmente para cada elemento móvil 10, en cuyo caso la etapa de llevar cada elemento móvil de la disposición a al menos una posición de bloqueo comprende normalmente llevar un primer subconjunto de los elementos móviles de la disposición a sus posiciones de bloqueo superiores y un segundo subconjunto, que comprende todos los elementos restantes de la disposición, a sus posiciones de bloqueo inferiores. El primer y el segundo subconjunto se seleccionan preferentemente de manera que cuando los elementos móviles del primer y del segundo subconjunto están en sus posiciones de bloqueo superiores e inferiores respectivamente, la presión total producida por un fluido, tal como aire, desplazado por los elementos móviles 10 del primer subconjunto es igual en magnitud y opuesta en dirección a la presión total producida por un fluido, tal como aire, desplazado por los elementos móviles del segundo subconjunto.

Los elementos móviles 10 llevan normalmente una carga que tiene una polaridad predeterminada, y cada uno de los elementos móviles define una frecuencia de resonancia natural individual que tiende a diferir ligeramente con respecto a la de otros elementos móviles debido a la generación de tolerancias, para definir de este modo un intervalo de frecuencias de resonancia naturales, tal como entre 42 y 46 KHz, para la disposición de elementos móviles. Normalmente, tal y como se describe en este documento, el primer y el segundo elemento de bloqueo electrostático se proporcionan para bloquear los elementos móviles 10 en las posiciones de bloqueo superior e inferior, respectivamente, y la etapa de poner en movimiento la disposición de elementos móviles comprende:

Etapa 850: cargar el primer dispositivo de bloqueo electrostático (superior o inferior) de cada elemento móvil incluido en el primer subconjunto con una polaridad opuesta al polo, del elemento móvil, enfrentado a ese dispositivo de bloqueo. El primer y el segundo subconjunto pueden comprender cada uno el 50% del número total de elementos móviles.

Etapa 855: cargar el segundo dispositivo de bloqueo electrostático (inferior o superior) de cada elemento móvil incluido en el segundo subconjunto con una polaridad opuesta al polo, del elemento móvil, enfrentado a ese dispositivo de bloqueo.

Etapa 860: tal y como se ha descrito anteriormente, los elementos móviles están diseñados para tener una determinada frecuencia de resonancia natural, f_r . Las herramientas de diseño pueden incluir herramientas de modelización asistidas por ordenador, tales como un software de análisis de elementos finitos (FEA). En la etapa 860, F_{CLK} , la frecuencia del reloj del sistema, que determina los tiempos de la alternancia del campo electromagnético en el que están dispuestos los elementos móviles, está fijada a la frecuencia de resonancia natural del elemento móvil de la disposición que tiene la frecuencia de resonancia natural más baja denominada como f_{min} y determinada normalmente de manera experimental o mediante una modelización asistida por ordenador.

Etapas 865 a 870: la frecuencia de reloj del sistema puede aumentar después monotónicamente, desde un valor inicial de f_{min} hasta valores de frecuencia subsiguientes separados por Δf , hasta que la frecuencia de reloj del sistema haya alcanzado la frecuencia de resonancia natural del elemento móvil de la disposición que tiene la frecuencia de resonancia natural más alta, denominada como f_{max} y determinada normalmente de manera experimental o mediante una modelización asistida por ordenador. Sin embargo, debe apreciarse que, como alternativa, la frecuencia de reloj del sistema puede disminuir monotónicamente, desde f_{max} hasta f_{min} , o puede variar de manera no monotónica.

Debe apreciarse que cuando un elemento móvil 10 se excita a su frecuencia de resonancia natural, f_r , el elemento móvil aumenta su amplitud con cada ciclo hasta que alcanza una determinada amplitud máxima, denominada en lo sucesivo como A_{max} . Normalmente, la duración Δt requerida para que el elemento móvil llegue a A_{max} se registra durante la configuración, y la fuerza magnética aplicada durante la secuencia de inicialización se selecciona de manera que A_{max} sea dos veces más grande que el espacio que necesita recorrer el elemento móvil desde su estado inactivo hasta el dispositivo de bloqueo superior o inferior.

- El factor Q o el factor de calidad es un factor conocido que compara la constante de tiempo de disminución de la amplitud de un sistema físico oscilante con su periodo de oscilación. De manera equivalente, compara la frecuencia a la que un sistema oscila con la velocidad a la que se disipa su energía. Un factor Q más grande indica una menor velocidad de disipación de energía con respecto a la frecuencia de oscilación. Preferentemente, el factor Q de los elementos móviles se determina de manera computacional o experimental. El factor Q determinado describe la cantidad en la que debe suprimirse la frecuencia F_{CLK} con respecto a f_r (dos posibles valores, uno inferior a f_r y otro superior a f_r) antes de que amplitud baje hasta el 50% de A_{max} . La diferencia entre los dos valores posibles es Δf .
- Como resultado de las etapas anteriores, una secuencia de fuerzas electromagnéticas de polaridades alternas se aplica ahora a la disposición de elementos móviles. El intervalo de tiempo entre aplicaciones de fuerza consecutivas de la misma polaridad varía en el tiempo debido a cambios inducidos en el reloj del sistema, para definir de ese modo un nivel de frecuencia variable para la secuencia. Esto da como resultado un aumento, en cualquier tiempo t , de la amplitud de oscilación de todos los elementos móviles cuya frecuencia de resonancia natural individual es suficientemente familiar al nivel de frecuencia en el tiempo t . El nivel de frecuencia varía de manera suficientemente lenta (es decir, solamente después de un intervalo Δt adecuado, que puede ser igual o no en todas las iteraciones) para permitir que el conjunto S, de todos los elementos móviles cuya frecuencia de resonancia natural es similar al nivel de frecuencia actual, se bloquee antes de que el nivel de frecuencia de alternancia de campo electromagnético sea muy diferente de su frecuencia de resonancia natural para que deje de crecer la amplitud de oscilación del conjunto S de elementos móviles. El alcance de la variación del nivel de frecuencia corresponde al intervalo de frecuencias de resonancia naturales. Normalmente, al final de la secuencia de inicio (etapa 872), el reloj de sistema F_{CLK} se fija a la frecuencia de sistema predefinida, que es normalmente la frecuencia de resonancia natural media o promedio de los elementos móviles de la disposición, es decir, 44 KHz.
- Un método para determinar el intervalo de las frecuencias de resonancia naturales de los elementos móviles es examinar la disposición de elementos móviles usando un vibrómetro y excitar la disposición a diferentes frecuencias.
- La figura 8E es una ilustración simplificada de una vista isométrica de un sistema de altavoz ensamblado construido y operativo según una realización preferida de la presente invención. Montada en una PCI 2100 está la disposición de elementos de actuador, que incluye elementos móviles 10 (no mostrados) intercalados entre elementos de bloqueo 20. La disposición está rodeada por una bobina 40. Se muestran líneas de control 2110 sobre las cuales las señales de control de bloqueo generadas por el controlador de dispositivos de bloqueo 50 (no mostrado) del procesador 802 se desplazan hasta los elementos de bloqueo 20. El amplificador 811 amplifica las señales proporcionadas por el controlador de generación de campos magnéticos 30 (no mostrado) del procesador 802 a la bobina 40. Un conector 2120 conecta el aparato de la figura 8E a una fuente de sonido digital. Por motivos de simplicidad no se muestran componentes convencionales tales como componentes de una fuente de alimentación.
- A continuación se describirá un método de funcionamiento preferido para generar un sonido usando un aparato construido y operativo según una realización de la presente invención con referencia a la figura 8F. El método de la figura 8F está basado preferentemente en la representación del sonido en el dominio de tiempo, normalmente una representación PCM (modulación por código de impulsos).
- Remuestreador 814 de la figura 8F: A no ser que la tasa de muestreo de la PCM sea la misma que el reloj del sistema, la PCM se remuestrea para aumentar o disminuir su tasa de muestreo hasta la frecuencia de reloj del sistema (fila superior en la figura 11A) del aparato de la figura 1A.
- Generalmente puede utilizarse cualquier tasa de muestreo adecuada. Específicamente, el sistema de la presente invención genera ondas de sonido que tienen al menos dos frecuencias diferentes, una de las cuales es la frecuencia deseada determinada por la señal de entrada y la otra es un artefacto. La frecuencia de artefacto es la frecuencia de reloj, es decir, la tasa de muestreo del sistema. Por lo tanto, preferentemente, la tasa de muestreo del sistema se selecciona para que esté fuera del campo de audición humano, es decir, al menos 20 KHz. El teorema de muestreo de Nyquist dice que el reloj del sistema debe seleccionarse para que sea al menos el doble que la frecuencia más alta que el altavoz está diseñado para producir.
- Escalador 815: La longitud de palabra PCM es normalmente de 8, 16 ó 24 bits. Las representaciones PCM de 8 bits no tienen signo, con valores de amplitud que varían en el tiempo entre 0 y 255, y las representaciones PCM de 16 y 24 bits tienen signo, con valores de amplitud que varían en el tiempo entre -32768 y 32767 y entre -8388608 y 8388607, respectivamente. El altavoz de las figuras 1 a 2C utiliza normalmente una señal PCM sin signo y, por lo tanto, si la señal PCM tiene signo, por ejemplo si la longitud de palabra PCM es de 16 ó 24 bits, se añade un sesgo adecuado para obtener una señal sin signo correspondiente. Si la longitud de palabra PCM es de 16 bits, se añade un sesgo de 32768 unidades de amplitud para obtener un nuevo intervalo comprendido entre 0 y 65535 unidades de amplitud. Si la longitud de palabra PCM es de 24 bits, se añade un sesgo de 8388608 unidades de amplitud para obtener un nuevo intervalo comprendido entre 0 y 16777215 unidades de amplitud.
- Después, la señal PCM vuelve a escalarse adicionalmente según sea necesario de manera que su intervalo, en unidades de amplitud, sea igual al número de elementos de altavoz del aparato de las figuras 1 a 2C. Por ejemplo, si

el número de elementos de altavoz es de 2047 y la señal PCM es una señal de 8 bits, la señal se multiplica por un factor de $2048/256 = 8$; o, si el número de elementos de altavoz es de 2047 y la señal PCM es una señal de 16 bits, la señal se multiplica por un factor de $2048/65536 = 1/32$.

5 Después se genera sonido para representar la señal PCM reescalada activando un número adecuado de elementos de altavoz según el valor actual de la señal PCM reescalada. Debe apreciarse que los elementos de altavoz tienen dos estados de extremo posible, denominados en este documento como estados de extremo "inferior" y "superior", respectivamente, e ilustrados de manera esquemática en las figuras 2A y 2B, respectivamente. Se selecciona un estado individual de estos estados de extremo y el número de elementos de altavoz de ese estado de extremo en cualquier instante de tiempo dado coincide con el valor actual de la señal PCM reescalada, estando el resto de elementos de altavoz en el estado de extremo opuesto en el mismo instante de tiempo. Por ejemplo, si hay 2047 elementos de altavoz, el estado de extremo seleccionado es "superior" y el valor de la señal PCM reescalada en el tiempo t es de 100, el número de elementos de altavoz en los estados de extremo "superior" e "inferior" en el tiempo t son 100 y 1947, respectivamente. Según determinadas realizaciones de la invención, no tiene importancia que los elementos de altavoz particulares seleccionados estén en estado "superior" siempre que su número total corresponda al valor actual de la señal PCM reescalada.

Después, el siguiente bucle se lleva a cabo M veces cada vez que el escalador 815 genera una muestra. M es el número de elementos de actuador del aparato de la figura 1A; i es el índice del bucle actual; V_t se utiliza para designar el valor de muestra actual que sale del escalador 815 (para el que se llevan a cabo M iteraciones del bucle). Generalmente, el número de elementos móviles que se bloquean en sus posiciones superiores es exactamente igual al valor de V_t , y el resto de elementos móviles se bloquean en sus posiciones inferiores. Por lo tanto, cuando i es todavía más pequeño que V_t , el i -ésimo elemento móvil o píxel, denominado en la figura 8F como "Pi" está bloqueado en su posición superior. Esto se realiza comprobando (figura 8F, etapa 840) si, cuando el elemento móvil i se procesó en el bucle anterior ($t-1$), estaba en su posición de bloqueo superior o en su posición de bloqueo inferior. Si estaba en su posición de bloqueo superior, no es necesario realizar ninguna acción y el método pasa a la etapa de incremento 842. Si estaba en su posición de bloqueo inferior, el elemento i se marca como un elemento que necesita bloquearse en su posición superior (etapa 839). Para bloquear todos los elementos móviles restantes en sus posiciones inferiores hay que realizar lo siguiente para todos los elementos móviles cuyo índice supere V_t : comprobar (etapa 838) que ya están en sus posiciones inferiores; estos elementos móviles no necesitan ningún tratamiento adicional. Todos los demás están marcados (etapa 841) como elementos que necesitan bloquearse en sus posiciones inferiores. Una vez que todos los elementos M se hayan marcado o no de la manera indicada anteriormente, hay que realizar lo siguiente:

35 Verificar que el campo magnético apunta hacia arriba o esperar a que esto ocurra (etapa 843) y, para los V_t o menos píxeles que van a elevarse, descargar los dispositivos de bloqueo inferiores y cargar los dispositivos de bloqueo superiores (etapa 844). Después, esperar que el campo magnético apunte hacia abajo (etapa 845) y, para los $(M-V_t)$ o menos píxeles que van a bajarse, descargar los dispositivos de bloqueo superiores y cargar los dispositivos de bloqueo inferiores (etapa 846). En este momento, el flujo espera que el escalador 815 produzca la siguiente muestra y después inicia las M iteraciones del bucle que acaba de describirse para esa muestra.

Debe apreciarse que las etapas anteriores a la etapa 843 se ejecutan preferentemente en medio ciclo de reloj en el que la polaridad del campo magnético es descendente. La etapa 844 se ejecuta preferentemente en el momento en que el campo magnético cambia su polaridad de abajo a arriba. Asimismo, la etapa 846 se ejecuta preferentemente en el momento en que el campo magnético cambia de nuevo su polaridad de arriba a abajo. También debe apreciarse que para que el dispositivo permanezca sincronizado con la señal de entrada digitalizada, las etapas 814 a 846 se ejecutan preferentemente en menos de un ciclo de reloj.

La figura 9A es un gráfico que resume las diversas fuerzas aplicadas a los elementos móviles 10 según una realización preferida de la presente invención.

La figura 9B es una ilustración pictórica simplificada de una capa de inducción de gradiente de campo magnético construida y operativa según una realización preferida de la presente invención y que comprende al menos un elemento conductor bobinado 2600 incrustado en un sustrato dieléctrico y configurado normalmente para enrollarse entre una disposición de canales 2610. Normalmente no hay canales 2610 a lo largo del perímetro de la capa conductora de la figura 9B, de manera que el gradiente inducido en los canales adyacentes al perímetro es sustancialmente el mismo que el gradiente inducido en los canales adyacentes al centro de la capa conductora.

Si la capa de la figura 9B está separada de las capas separadoras descritas anteriormente, entonces los canales de la capa de la figura 9B están dispuestos de manera opuesta y como una continuación de los canales de las capas separadoras descritas en detalle anteriormente. Las dimensiones de sección transversal, por ejemplo diámetros, de los canales 2610 pueden ser diferentes de los diámetros de los canales de la capa separadora. Como alternativa, la capa de la figura 9B puede servir como una capa separadora y como una capa de inducción de campo magnético, en cuyo caso los canales 2610 de la figura 9B son exactamente los canales de capa separadora descritos anteriormente en este documento. Debe apreciarse que por motivos de simplicidad, los electrodos que forman parte de la capa separadora no se muestran en la figura 9B.

Las figuras 9C y 9D ilustran la función de inducción de gradiente de campo magnético de la capa conductora de la figura 9B. En la figura 9C, la corriente que fluye a través del elemento bobinado 2600 se indica mediante las flechas 2620. La dirección del campo magnético resultante se indica mediante las X 2630 y los puntos rodeados por un círculo 2640 de la figura 9C, que indican ubicaciones en las que el campo magnético resultante entra y sale de la página, respectivamente.

La figura 10A es una ilustración simplificada en sección transversal desde arriba de una capa de bloqueo incluida en el dispositivo de bloqueo 20 de la figura 1A según una realización preferida de la presente invención. La capa de bloqueo de la figura 10A es adecuada para bloquear elementos móviles repartidos en varios grupos G1, G2, ..., cuyos dispositivos de bloqueo están interconectados eléctricamente, como se muestra, para permitir un accionamiento colectivo de los dispositivos de bloqueo. Esta realización se caracteriza normalmente porque puede activarse cualquier número de elementos móviles cargando colectivamente los dispositivos de bloqueo de grupos seleccionados de entre los diferentes grupos, estando normalmente asociado cada dispositivo de bloqueo de la capa de bloqueo con un imán permanente, donde los polos de todos los imanes permanentes de la capa de bloqueo están dispuestos de la misma forma. Cada grupo G_k puede comprender 2 a la potencia de (k-1) elementos móviles. Los grupos de elementos móviles pueden estar dispuestos en espiral con respecto al centro de la disposición de elementos móviles, donde los grupos más pequeños están más cerca del centro, tal y como se muestra.

La figura 10B es un diagrama electrónico simplificado de una realización alternativa de la capa de bloqueo de la figura 10A, donde cada dispositivo de bloqueo se controla (es decir, se carga) de manera individual en lugar de manera colectiva por el controlador de bloqueo 50 de la figura 1A. Debe apreciarse que los dispositivos de bloqueo se muestran con una forma anular pero, como alternativa, pueden tener cualquier otra configuración adecuada descrita, por ejemplo, en este documento. La capa de la figura 10B comprende una rejilla de cables verticales y horizontales que definen conexiones. Una puerta, tal como un transistor de efecto de campo bipolar, está prevista normalmente en cada conexión. Para abrir una puerta individual para cargar de ese modo el dispositivo de bloqueo correspondiente, se proporcionan voltajes adecuados a lo largo de los cables verticales y horizontales correspondientes.

La figura 11A es un diagrama de tiempos que muestra un esquema de control de carga preferido que puede utilizarse por el controlador de dispositivos de bloqueo 50 de la figura 1A en aplicaciones de altavoz unidireccionales en las que se recibe una señal de entrada que representa un sonido deseado, y elementos móviles 10 construidos y operativos según una realización preferida de la presente invención se controlan mediante respuestas a determinados estímulos, cargando de manera apropiada sus respectivos dispositivos de bloqueo, para obtener un patrón de sonido en el que el volumen delante del altavoz es mayor que en otras áreas, estando asociado cada dispositivo de bloqueo de la capa de bloqueo con un imán permanente, y los polos de todos los imanes permanentes de la capa de bloqueo están dispuestos de la misma forma. La figura 11B es una ilustración esquemática de una disposición de ejemplo de elementos móviles 10 a la que pertenece el diagrama de tiempos de la figura 11A.

A continuación se describirá un modo de funcionamiento preferido del controlador de dispositivos de bloqueo 50 con referencia a las figuras 11A y 11B. Por motivos de claridad, el modo de funcionamiento preferido se describe simplemente a modo de ejemplo con referencia a un altavoz que comprende 7 píxeles enumerados como P1, P2, ..., P7, tal y como se muestra en la figura 11B. Además, según el ejemplo utilizado para explicar el modo de funcionamiento preferido del controlador de dispositivos de bloqueo 50, los 7 píxeles se activan en tres grupos que comprenden 1, 2 y 4 píxeles respectivamente. Generalmente, el controlador de dispositivos de bloqueo 50 utiliza varios parámetros de decisión, descritos en detalle en este documento, para determinar cómo controlar cada elemento móvil individual en cada intervalo de tiempo. Los altavoces construidos y operativos según una realización preferida de la presente invención funcionan normalmente para reproducir un sonido que está representado mediante la señal analógica del gráfico II, y después se digitaliza y se suministra a un altavoz de la presente invención. Los valores de la señal digital se muestran en la figura 11A, gráfico III.

El gráfico IV muestra la alternancia de la fuerza electromagnética aplicada a los elementos móviles 10 por la bobina u otro generador de campo magnético 40. El gráfico V es la señal proporcionada por el controlador de bloqueo 50 al dispositivo de bloqueo superior de un elemento móvil individual, P1 en la figura 11B, que forma, por sí mismo, un primer grupo G1 de elementos móviles que consiste solamente en P1. El gráfico VI es la señal proporcionada por el controlador de bloqueo 50 al dispositivo de bloqueo inferior de P1. Los estados de P1, debido al funcionamiento de los dispositivos de bloqueo asociados con los mismos, se muestran en el gráfico VII, en el que el color negro indica la posición de extremo superior en la que el dispositivo de bloqueo superior retiene a P1, el color blanco indica la posición de extremo inferior en la que el dispositivo de bloqueo inferior retiene a P1, y el sombreado indica posiciones intermedias.

El gráfico VIII es la señal proporcionada por el controlador de bloqueo 50 al (a los) dispositivo(s) de bloqueo superior(es) de cada, o de ambos, elementos móviles P2 y P3 de la figura 11B, que forman conjuntamente un segundo grupo G2 de elementos móviles. El gráfico IX es la señal proporcionada por el controlador de bloqueo 50 al (a los) dispositivo(s) de bloqueo inferior(es) de G2. Los estados de P2 y P3, debido al funcionamiento de los dispositivos de bloqueo asociados con los mismos, se muestran en los gráficos X y XI, respectivamente, en los que

el color negro indica la posición de extremo superior en la que el dispositivo de bloqueo superior retiene al elemento móvil pertinente, el color blanco indica la posición de extremo inferior en la que el dispositivo de bloqueo inferior retiene al elemento móvil pertinente, y el sombreado indica posiciones intermedias del elemento móvil pertinente.

- 5 El gráfico XII es la señal proporcionada por el controlador de bloqueo 50 al (a los) dispositivo(s) de bloqueo superior(es) de cada, o de todos, los elementos móviles P4 a P7 de la figura 11B, que forman conjuntamente un tercer grupo G3 de elementos móviles. El gráfico XIII es la señal proporcionada por el controlador de bloqueo 50 al (a los) dispositivo(s) de bloqueo inferior(es) de G3. Los estados de P4 a P7, debido al funcionamiento de los dispositivos de bloqueo asociados con los mismos, se muestran en los gráficos XIV a XVII, respectivamente, en los
- 10 que el color negro indica la posición de extremo superior en la que el dispositivo de bloqueo superior retiene al elemento móvil pertinente, el color blanco indica la posición de extremo inferior en la que el dispositivo de bloqueo inferior retiene al elemento móvil pertinente, y el sombreado indica posiciones intermedias del elemento móvil pertinente.
- 15 El gráfico XVIII ilustra esquemáticamente los elementos móviles P1 a P7 de la figura 11B en sus diversas posiciones en función del tiempo.

Por ejemplo, en el intervalo I5, la señal de reloj es alta (gráfico I), el valor de muestra digitalizada es 2 (gráfico III), lo que indica que 5 elementos necesitan estar en sus posiciones superiores y 2 elementos en sus posiciones inferiores, como se muestra en el intervalo I5 del gráfico XVIII. Puesto que en esta realización la activación de los dispositivos de bloqueo es colectiva, esto se consigue seleccionando los grupos G1 y G3 que tienen conjuntamente 5 elementos (1 + 4) en sus posiciones superiores, mientras que los dos elementos móviles de G2 estarán en sus posiciones inferiores. El campo magnético apunta hacia arriba en el intervalo I5, como se muestra en el gráfico IV. En el intervalo I4, el elemento móvil de G1 estaba en su posición inferior, como se muestra en el gráfico XVIII, y, por lo tanto, necesita elevarse. Para ello, la señal de control B1 baja su valor (gráfico VI) y la señal de control T1 sube su valor (gráfico V). Como resultado, el elemento móvil de G1 adopta su posición superior, como se muestra en el gráfico VII. En el intervalo I4, los elementos móviles de G2 ya están en sus posiciones inferiores, tal y como se muestra en el gráfico XVIII, y, por lo tanto, la señal de control superior T2 permanece a un valor bajo, como se observa en el gráfico VIII, la señal de control inferior B2 permanece con un valor elevado, como se observa en el gráfico IX, y, por consiguiente, tal y como se muestra en los gráficos X y XI respectivamente, los dos elementos móviles (P2 y P3) de G2 permanecen en sus posiciones de extremo inferiores. En cuanto al grupo G3, en el intervalo I4, los elementos móviles de G3 ya están en sus posiciones superiores, como se muestra en el gráfico XVIII, y, por lo tanto, la señal de control superior T3 permanece con un valor elevado, como se observa en el gráfico XII, la señal de control inferior B3 permanece con un valor bajo, como se observa en el gráfico XIII, y, por consiguiente, como se muestra en los gráficos XIV a XVII respectivamente, los cuatro elementos móviles (P4 a P7) de G3 permanecen en sus posiciones de extremo superiores.

20

25

30

35

Preferentemente, cuando la señal de entrada en el gráfico II está en un máximo local positivo, todos los elementos móviles están en su posición superior. Cuando la señal de entrada está en un máximo local negativo, todos los elementos móviles están en su posición inferior.

40

La figura 11C es un diagrama de tiempos que muestra un esquema de control preferido utilizado por el controlador de dispositivos de bloqueo 50 en aplicaciones de altavoz omnidireccionales en las que se recibe una señal de entrada que representa un sonido deseado, y elementos móviles construidos y operativos según una realización preferida de la presente invención se controlan mediante respuestas a determinados estímulos para obtener un patrón de sonido en el que la intensidad del sonido en un área situada a una determinada distancia delante del altavoz es similar a la sonoridad en todas las demás áreas que rodean al altavoz a la misma distancia del altavoz.

45

Tal y como se muestra, la etapa de bloqueo selectivo comprende bloquear elementos móviles específicos en un instante de tiempo determinado por la distancia de los elementos móviles específicos desde el centro de la disposición (por ejemplo, como se indica mediante r en la disposición circular de la figura 11B). Normalmente, cuando se desea bloquear un subconjunto particular de elementos móviles, que normalmente corresponde en número a la intensidad de un sonido deseado, los elementos móviles no se bloquean simultáneamente, sino secuencialmente, donde los elementos móviles más cercanos al centro se bloquean en primer lugar, seguidos por los elementos móviles dispuestos, normalmente en capas, de manera concéntrica hacia fuera desde el centro. Normalmente, los elementos móviles de cada capa se activan de manera simultánea. Normalmente, la distancia temporal Δt entre el momento en que se bloquea un elemento móvil particular y entre el momento en el que el primer o primeros elementos móviles centrales se bloquearon es r/c , donde c es la velocidad del sonido.

50

55

Debe apreciarse que los elementos móviles del gráfico XI de la figura 11C se muestran para comprender particiones periféricas flexibles, aunque esto es simplemente un ejemplo y no pretende ser limitativo.

60

Las figuras 12A y 12B son respectivamente ilustraciones simplificadas de una vista desde arriba y de una vista en sección transversal de la capa de elementos móviles según una realización preferida de la presente invención, donde la mitad de imanes permanentes tienen el polo norte hacia arriba y la otra mitad tiene el polo norte hacia abajo. Una ventaja particular de esta realización es que los elementos móviles pueden elevarse cuando el campo

65

electromagnético apunta hacia arriba y cuando apunta hacia abajo, en lugar de esperar a que el campo apunte hacia arriba antes de elevar un elemento móvil y de esperar a que el campo apunte hacia abajo antes de bajar un elemento móvil. Aunque la realización ilustrada muestra los dos subconjuntos separados entre sí, esto no tiene por qué ser el caso. Los dos subconjuntos pueden estar intercalados entre sí.

5 La figura 13 es una ilustración simplificada de una vista desde arriba similar a la figura 10A, excepto en que la mitad de imanes permanentes de la capa de bloqueo están dispuestos con el polo norte hacia arriba y la mitad restante de imanes permanentes de la capa de bloqueo están dispuestos con el polo norte hacia abajo. Mientras que en la realización de la figura 10A había grupos que tenían cada uno un tamaño de 1, 2, 4, ... (que pueden estar dispuestos secuencialmente alrededor de la parte central, como se muestra en la figura 10A, aunque esto no tiene por qué ser el caso), en la realización de la figura 13 hay dos grupos de cada tamaño, generándose de ese modo dos secuencias de grupos de tamaño 1, 2, 4, ... En la realización ilustrada, los grupos de la primera secuencia se denotan como G1L, G2L, G3L, ..., y los grupos de la primera secuencia se denotan como G1R, G2R, G3R, Cada una de estas secuencias está dispuesta en un semicírculo, tales como los semicírculos izquierdos y derechos mostrados. La disposición de los grupos dentro de su semicírculo no necesita estar ordenada por el tamaño del grupo, extendiéndose de manera concéntrica hacia fuera tal y como se muestra, y puede ser cualquier disposición deseada aunque, preferentemente, ambos grupos están dispuestos de manera simétrica entre sí dentro de su semicírculo individual. Debe apreciarse que usando cualquier diseño de bobina adecuado puede conseguirse el mismo efecto usando imanes permanentes que estén todos polarizados en la misma dirección mientras que la bobina genera campos magnéticos que tienen una determinada polarización a través de la mitad de elementos móviles y que tienen una polarización puesta a través de la otra mitad.

Una característica particular de las realizaciones de las figuras 10A y 13 es que los elementos de bloqueo correspondientes a determinados elementos móviles están interconectados eléctricamente para formar de ese modo grupos de elementos móviles que pueden bloquearse o liberarse colectivamente cargando o descargando respectivamente, de manera colectiva, sus dispositivos de bloqueo eléctricamente interconectados.

La figura 14 es diagrama de control que ilustra el control de los dispositivos de bloqueo y de la fuerza electromagnética inducida por bobina para un ejemplo particular en el que los elementos móviles están dispuestos en grupos que puede activarse colectivamente, de manera selectiva, similares a la figura 8A, excepto en que la mitad de imanes permanentes de la capa de bloqueo están dispuestos con el polo norte hacia arriba y la mitad restante de imanes permanentes de la capa de bloqueo están dispuestos con el polo norte hacia abajo, como se muestra en la figura 13, mientras que en la figura 8A los polos de todos los imanes permanentes de la capa de bloqueo están dispuestos de la misma forma. Tal y como se muestra en la figura 14, las señales de bloqueo se proporcionan a todos los grupos G1L, G2L, G3L, ..., y G1R, G2R, G3R. Las señales de bloqueo superior para estos grupos se indican como LT1, LT2, LT3, ... y RT1, RT2, RT3, respectivamente. Las señales de bloqueo inferior para esos grupos se indican como LB1, LB2, LB3, ... y RB1, RB2, RB3.

La figura 15A es un diagrama de tiempos que muestra un esquema de control preferido utilizado por el controlador de dispositivos de bloqueo 50 en aplicaciones de altavoces unidireccionales, que es similar al diagrama de tiempos de la figura 11A, excepto que la mitad de imanes permanentes de la capa de bloqueo están dispuestos con el polo norte hacia arriba y la mitad restante de imanes permanentes de la capa de bloqueo están dispuestos con el polo norte hacia abajo, como se muestra en la figura 13, mientras que en la figura 11A los polos de todos los imanes permanentes de la capa de bloqueo están dispuestos de la misma forma. La figura 15B es una ilustración esquemática de una disposición de ejemplo de elementos móviles a la que pertenece el diagrama de tiempos de la figura 15A.

Tal y como se ha descrito anteriormente, una ventaja particular de la realización de las figuras 13 a 15A opuesta a la realización de las figuras 8A, 10A y 11A es que los elementos móviles pueden elevarse cuando el campo electromagnético apunta hacia arriba y cuando apunta hacia abajo, en lugar de esperar a que el campo apunte hacia arriba antes de elevar un elemento móvil y de esperar que el campo apunte hacia abajo antes de bajar un elemento móvil. Debe apreciarse que ningún elemento se desplaza durante el 50% de las ranuras de tiempo de la figura 11A, lo que puede introducir distorsión del sonido y es relativamente ineficaz. Por el contrario, los elementos se mueven durante el 100% de las ranuras de tiempo de la figura 15A (diferentes a las ranuras en las que no se requiere ningún movimiento ya que el valor de señal digital no cambia), impidiendo de ese modo distorsiones y mejorando la eficacia.

Por ejemplo, en el intervalo I5, el valor de señal digitalizada cambia de 1 a 2, como se muestra en el gráfico II de las figuras 11A y 15A. Por consiguiente, el elemento móvil P1 de la figura 11A necesita elevarse, es decir, liberarse de su posición de extremo inferior actual y bloquearse en su posición de extremo superior; sin embargo, en I5, la señal de control B1 baja su valor y la señal control T1 aumenta su valor; en el intervalo I6 no ocurre nada. Por el contrario, en la figura 15A, cuando los elementos móviles LP1 (y RP1) necesitan elevarse, la señal de control LB1 baja de valor y la señal de control LT1 sube de valor en el intervalo I5 e, inmediatamente después, en el intervalo I6, la señal de control RB1 baja su valor y la señal RT1 aumenta su valor, dando como resultado un movimiento ascendente de RP1 sin el retardo producido en la figura 11A.

65 Generalmente, en la realización de las figuras 13 a 15A, puesto que la mitad de imanes (digamos, la mitad izquierda)

tiene el polo norte hacia arriba y la otra mitad (derecha) tiene el polo norte hacia abajo, cuando se desea mover los elementos 10 hacia arriba, esto siempre puede llevarse a cabo sin ningún retardo. Si el campo magnético apunta hacia arriba, los elementos móviles de la mitad izquierda de la disposición pueden moverse hacia arriba antes que los de la mitad derecha, mientras que si el campo magnético apunta hacia abajo, los elementos móviles de la mitad derecha de la disposición pueden moverse hacia arriba antes que los de la mitad izquierda.

La figura 15C es un gráfico que muestra cambios en el número de elementos móviles dispuestos en las posiciones de extremo superior e inferior en diferentes instantes de tiempo y en función de la frecuencia de la señal de entrada recibida por el controlador de bloqueo 50 de la figura 1A.

La figura 16A es una ilustración de una vista isométrica de una capa de elemento móvil que es una alternativa a la capa de elementos móviles mostrada en las figuras 1A y 2A a 2C, donde la capa está formada a partir de una lámina delgada de manera que cada elemento móvil comprende una parte central y partes circundantes.

La figura 16B es una ilustración de una vista isométrica de otra realización alternativa de la capa de elementos móviles mostrada en las figuras 1A y 2A a 2C, donde la estructura de flexura en la periferia de cada elemento móvil comprende una lámina de material flexible, por ejemplo caucho. El área central de cada elemento móvil comprende un imán que puede estar montado o no en un disco rígido.

La figura 16C es una vista isométrica de una realización preferida de los elementos móviles y las flexuras circundantes ilustrados en las figuras 7A a 7E ó 16A, donde las flexuras tienen un grosor variable. En la figura 16C, por motivos de simplicidad, no se muestra el componente que provoca que el elemento móvil 1620 esté afectado por el campo magnético, componente que puede comprender preferentemente un imán o, como alternativa, un ferromán, un material conductor o una bobina. Tal y como se muestra, el elemento móvil 1620 comprende flexuras periféricas en serpentina 1630 con partes de grosor variable que conectan un parte central 1640 del elemento móvil a una lámina 1650 que interconecta todos o muchos elementos móviles. Por ejemplo, las partes de grosor variable pueden incluir partes más gruesas 1660 y partes más delgadas 1670, respectivamente, tal y como se muestra. Por ejemplo, si el diámetro de la parte central 1640 de cada elemento móvil es de 300 micrones y la lámina es de silicio, entonces, en determinadas condiciones, las partes 1670 pueden tener un grosor de 50 micrones, mientras que las partes 1660 pueden tener un grosor de 100 micrones. Más en general, el grosor se calcula en función de los materiales para proporcionar niveles de resistencia y flexibilidad específicos de la aplicación, por ejemplo usando herramientas FEA (análisis de elementos finitos).

La figura 16D es una ilustración isométrica de una alternativa económica al aparato de la figura 16C, donde las flexuras tienen un ancho variable. Al igual que en la figura 16C, por motivos de simplicidad no se muestra el componente que hace que el elemento móvil 1720 se vea afectado por el campo magnético, componente que puede comprender preferentemente un imán o, como alternativa, un ferromán, un material conductor o una bobina. Tal y como se muestra, el elemento móvil 1720 comprende flexuras periféricas en serpentina 1730 que tienen partes con un ancho variable que conectan un parte central 1740 del elemento móvil a una lámina 1750 que interconecta todos o muchos elementos móviles. Por ejemplo, las partes de anchura variable pueden incluir partes más anchas 1760 y partes más estrechas 1770, respectivamente, como se muestra. Por ejemplo, si el diámetro de la parte central 1740 de cada elemento móvil es de 300 micrones y la lámina es de silicio, entonces, en determinadas condiciones, las partes 1770 pueden tener un ancho de 20 micrones, mientras que las partes 1760 pueden tener un ancho de 60 micrones. Más en general, el ancho se calcula en función de los materiales para proporcionar niveles de resistencia y flexibilidad específicos de la aplicación, por ejemplo usando herramientas FEA (análisis de elementos finitos).

Debe apreciarse que las realizaciones de las figuras 16C y 16D pueden combinarse de manera adecuada, por ejemplo, para proporcionar flexuras de grosor variable y ancho variable, y/o pueden modificarse, por ejemplo, para proporcionar flexuras cuyo ancho y/o grosor varíen de manera continua o discontinua, como se muestra, y de manera regular, como se muestra, o irregular.

En la descripción anterior, "grosor" es la dimensión de la flexura en la dirección de movimiento del elemento móvil, mientras que "ancho" es la dimensión de la flexura en la dirección perpendicular a la dirección de movimiento del elemento móvil.

Una ventaja particular de las realizaciones de las figuras 16C y 16D es que en las flexuras de secciones transversales variables, por ejemplo que varían en grosor o en anchura, la tensión no está concentrada en la raíz 1680 ó 1780 de las flexuras, sino que está distribuida por todas las partes delgadas y/o estrechas de las flexuras. Además, en general, la tensión en las flexuras como resultado de la curvatura de las mismas es una función empinada del grosor, normalmente una función cúbica del mismo, y también es una función del ancho, normalmente una función lineal del mismo. Se considera que es poco práctico, al menos para determinados materiales tales como silicio y al menos para determinadas aplicaciones que utilizan un gran desplazamiento de los elementos móviles, por ejemplo altavoces dirigidos al público, seleccionar dimensiones de flexura que sean lo bastante delgadas o lo bastante estrechas de manera uniforme para generar una tensión lo bastante baja como para impedir roturas, y que al mismo tiempo sean lo bastante rígidas como para permitir una frecuencia de resonancia natural a un intervalo deseable, por ejemplo 44 KHz. Por este motivo también se considera que es ventajoso utilizar flexuras de grosor y/o

ancho variable, por ejemplo como se ilustra en las figuras 16C y 16D.

5 La figura 17 es una ilustración de una vista desde arriba en sección transversal de una disposición de elementos de actuador similar a la disposición de la figura 3A, excepto en que mientras en la figura 3A filas consecutivas de elementos móviles o dispositivos de bloqueo individuales son oblicuas entre sí para aumentar el número de elementos de actuador que pueden incluirse en un área dada, las filas de la figura 17 no son oblicuas y comprenden normalmente una disposición rectangular en la que las filas están alineadas entre sí.

10 La figura 18 es una vista en despiece ordenado de una realización alternativa de una disposición de elementos de actuador, que incluye una capa 1810 de elementos móviles intercalados entre una capa de bloqueo superior 1820 y una capa de bloqueo inferior 1830. El aparato de la figura 18 está caracterizado porque la sección transversal de cada elemento de actuador es cuadrada en vez de redonda. Cada elemento de actuador también puede tener cualquier otra forma de sección transversal, tal como un hexágono o un triángulo.

15 La figura 19 es una disposición isométrica de actuadores soportados en una estructura de soporte que proporciona un área activa que es la suma de las áreas activas de las disposiciones de actuadores individuales. Dicho de otro modo, en la figura 19, en lugar de un único dispositivo actuador, se proporciona una pluralidad de dispositivos actuadores. No es necesario que los dispositivos sean idénticos y cada uno puede tener diferentes características tales como, pero sin limitarse a, diferentes frecuencias de reloj, diferentes tamaños de elementos de actuador y diferentes desplazamientos. Los dispositivos pueden compartir o no componentes tales como, pero sin limitarse a, bobinas 40 y/o controladores de campo magnético 30 y/o un controlador de dispositivos de bloqueo 50.

25 El término "área activa" se refiere a la suma de las áreas de sección transversal de todos los elementos de actuador de cada disposición. Debe apreciarse que, en general, el intervalo del volumen de sonido (o, para un actuador general que no es un altavoz, la ganancia) que puede producirse por un altavoz construido y operativo según una realización preferida de la presente invención está limitado normalmente por el área activa. Además, la resolución del volumen de sonido que puede producirse es proporcional al número de elementos de actuador proporcionados que, de nuevo, está limitado por el área activa. Normalmente, hay un límite práctico para el tamaño de cada disposición de actuadores, por ejemplo si cada disposición de actuadores reside en una oblea.

30 Si el altavoz sirve como un auricular, solo es necesario proporcionar un intervalo relativamente pequeño del volumen de sonido. Los altavoces domésticos requieren normalmente un intervalo de volumen de sonido intermedio, mientras que altavoces dirigidos al público tienen normalmente un gran intervalo de volumen de sonido, por ejemplo su volumen máximo puede ser de 120 dB. Las aplicaciones de los altavoces también difieren en la cantidad de espacio físico disponible para el altavoz. Finalmente, la resolución del volumen de sonido para una aplicación particular se determina por la calidad de sonido deseada; por ejemplo, los teléfonos móviles no requieren normalmente una gran calidad de sonido, aunque el espacio es limitado.

40 Según determinadas realizaciones de la presente invención, las capas de imanes sobre los elementos móviles pueden estar magnetizadas para que estén polarizadas en direcciones diferentes a la dirección de movimiento del elemento para obtener una fuerza máxima a lo largo del gradiente de campo electromagnético alineado con la dirección de movimiento del elemento deseado.

45 Haciendo de nuevo referencia a las figuras 12A a 15A, entre otras, debe apreciarse que si la bobina utilizada tiene un diseño que utiliza conductores que transportan corriente en ambos lados de los elementos, y todos los imanes están polarizados en la misma dirección, entonces los elementos de un lado de cada conductor se moverán en direcciones opuestas cuando fluya corriente en la bobina.

50 Una característica particular de una realización preferida de la presente invención es que la carrera de movimiento llevada a cabo por los elementos móviles es relativamente larga porque el campo aplicado a los mismos es magnético y, por tanto, disminuye a un ritmo que es inversamente proporcional a la distancia entre los elementos móviles y la corriente que produce el campo magnético. Por el contrario, un campo electrostático disminuye a un ritmo que es inversamente proporcional al cuadrado de la distancia entre los elementos móviles y la carga eléctrica que produce el campo electrostático. Como resultado de la larga carrera llevada a cabo por los elementos móviles, la velocidad conseguida de este modo aumenta ya que la sonoridad que puede conseguirse aumenta debido a la creciente presión de aire generada por el movimiento de alta velocidad de los elementos móviles.

60 Debe apreciarse que las realizaciones ilustradas específicamente en este documento no pretenden ser limitativas, por ejemplo, en el sentido que no es necesario que todos los elementos móviles tengan el mismo tamaño, no es necesario que los grupos de elementos móviles, o elementos móviles individuales si actúan de manera individual, funcionen a la misma resonancia ni con el mismo reloj, y no es necesario que los elementos móviles tengan la misma amplitud de desplazamiento.

65 Los dispositivos de altavoz mostrados y descritos en este documento funcionan normalmente para generar un sonido cuya intensidad corresponde a valores de intensidad codificados en una señal digital de entrada. Puede utilizarse cualquier protocolo adecuado para generar la señal digital de entrada tal como, pero sin limitarse a,

protocolos PCM o PWM (SACD). Como alternativa o de manera adicional, el dispositivo puede soportar protocolos digitales comprimidos tales como ADPCM, MP3, AAC o AC3, en cuyo caso un decodificador convierte normalmente la señal comprimida en una forma no comprimida tal como PCM.

5 El diseño de altavoces digitales según cualquiera de las realizaciones mostradas y descritas en este documento puede facilitarse mediante modelizaciones y simulaciones informáticas de aplicación específica. Los cálculos de la sonoridad pueden llevarse a cabo de manera convencional, por ejemplo usando una modelización informática de elementos finitos de dinámica de fluidos y experimentación empírica.

10 Generalmente, cuantos más elementos de altavoz (elementos móviles) se proporcionen, mayor será el intervalo dinámico (diferencia entre el volumen más alto y más bajo que puede producirse), menor será la distorsión (el sonido que menos se parece a la señal de entrada) y mayor será el intervalo de frecuencias. Por otro lado, si se proporcionan menos elementos de altavoz, el aparato será más pequeño y más económico.

15 Generalmente, si los elementos móviles tienen diámetros grandes, la relación entre las áreas activas e inactivas (el factor de llenado) mejora, y habrá menos tensión en las flexuras (si la hubiera), suponiendo que el desplazamiento de la vibración no varía, lo que supone una mayor vida útil del equipo. Por otro lado, si los elementos móviles tienen diámetros pequeños, se proporcionan más elementos por unidad de área y, debido a la menor masa, se necesita menos corriente en la bobina o en otro generador de fuerzas electromagnéticas, lo que implica menos requisitos de energía.

20 Generalmente, si el desplazamiento de la vibración de los elementos móviles es grande, una disposición de un tamaño dado produce más volumen, mientras que si la misma cantidad es pequeña, hay menos tensión en las flexuras, si la hubiera, y los requisitos de energía son menores.

25 Generalmente, si la tasa de muestreo es alta, la frecuencia más alta que puede producirse es alta y se reduce el ruido audible. Por otro lado, si la tasa de muestreo es baja, las aceleraciones, fuerzas, tensiones en las flexuras, si las hubiera, y los requisitos de energía son menores.

30 A continuación se describen tres ejemplos de altavoces de aplicación específica.

Ejemplo 1: puede desearse fabricar un altavoz de teléfono móvil que sea muy pequeño, económico y lo bastante potente como para oírse las llamadas en una habitación contigua, pero que solo tenga una calidad de sonido modesta. El reducido tamaño y coste deseados sugieren un altavoz con un área relativamente pequeña, tal como de hasta 300 mm^2 . Si se desea una sonoridad máxima objetivo relativamente alta, tal como 90dB SPL, esto sugiere un gran desplazamiento. Niveles de distorsión aceptables (10%) y un intervalo dinámico aceptable (60dB) en altavoces de teléfonos móviles implican un tamaño mínimo de disposición de 1000 elementos (calculado usando $M = 10^{(60/20)}$). Por lo tanto, un altavoz adecuado puede comprender 1023 elementos móviles repartidos en 10 grupos binarios, donde cada uno ocupa un área de $0,3 \text{ mm}^2$ aproximadamente. Por lo tanto, el tamaño de la célula será de $550 \mu\text{m} \times 550 \mu\text{m}$ aproximadamente.

Por razones prácticas, el elemento móvil más grande que cabe en este espacio puede tener un diámetro de $450 \mu\text{m}$. Un desplazamiento razonable para un elemento móvil de este tipo puede ser de $100 \mu\text{m}$ PTP (de pico a pico), lo que permite obtener la sonoridad objetivo. La tasa de muestreo puede ser inferior, por ejemplo 32 KHz, ya que el sonido de los teléfonos móviles está limitado por el canal celular a 4KHz.

Ejemplo 2: puede desearse fabricar auriculares de alta fidelidad que tengan una calidad de sonido muy alta (la más alta posible) y muy poco ruido, y que sean además lo bastante pequeños para que puedan llevarse cómodamente y, finalmente, que sean lo más económicos posible.

Para conseguir sonido de alta calidad, puede utilizarse un gran intervalo dinámico (de al menos 96dB), un gran intervalo de frecuencias (de 20Hz a 20KHz) y una distorsión muy baja ($<0,1\%$). El número mínimo de elementos puede ser, dadas estas suposiciones, de 63000. Por lo tanto, por ejemplo, el altavoz puede tener 65535 elementos repartidos en 16 grupos binarios. La sonoridad máxima puede mantenerse baja (80dB) para permitir desplazamientos de $30 \mu\text{m}$ PTP aproximadamente. El elemento móvil más pequeño capaz de tales desplazamientos tiene un diámetro aproximado de $150 \mu\text{m}$. Un elemento de este tipo puede ocupar una célula de $200 \mu\text{m} \times 200 \mu\text{m}$ o de $0,04 \text{ m}^2$, de manera que caben 65535 elementos en un área de 2621 mm^2 , por ejemplo de $52 \text{ mm} \times 52 \text{ mm}$. La tasa de muestreo es al menos normalmente el doble que la frecuencia más alta que el altavoz puede producir, o 40 KHz. La tasa de muestreo estándar más cercana es de $44,1 \text{ KHz}$.

Ejemplo 3: puede desearse fabricar un altavoz dirigido al público, por ejemplo para una discoteca, que sea muy potente, tenga una gran intervalo de frecuencias, alcance frecuencias muy bajas y que tenga una baja distorsión. Por lo tanto, los altavoces dirigidos al público tendrán normalmente muchos elementos móviles grandes. Pueden utilizarse elementos móviles de $600 \mu\text{m}$, que son capaces de desplazamientos de $150 \mu\text{m}$ PTP. Tales elementos ocupan células de $750 \mu\text{m} \times 750 \mu\text{m}$, o de $0,5625 \text{ mm}^2$. Debido a los requisitos de baja frecuencia, puede utilizarse un

mínimo de 262143 elementos móviles repartidos en 18 grupos binarios. El tamaño del altavoz puede ser de 40cm x 40 cm. Este altavoz alcanza normalmente niveles de sonoridad máximos de 120dB SPL y puede bajar hasta los 15KHz.

5 A continuación se hace referencia a las figuras 20A y 20B que son ilustraciones simplificadas de diagramas de bloques funcionales generalmente explícitos de sistemas preferidos para conseguir un patrón de directividad deseado para un flujo de sonido deseado utilizando un altavoz digital directo como cualquiera de los mostrados en este documento en las figuras 1A a 19 o como un altavoz digital directo convencional que puede comprender, por ejemplo, el mostrado y descrito en la patente estadounidense 6.403.995 a nombre de David Thomas, cedida a Texas Instruments y publicada el 11 de junio de 2002, o en el documento "*Digital sound reconstruction using arrays of CMOS-MEMS micro-speakers*", *Transducers '03*, de Diamond Brett M. et al., *The 12th International Conference on Solid State Sensors, Actuators and Microsystems*, Boston, del 8 al 12 de junio de 2003.

15 Si el altavoz digital directo de la figura 1A se utiliza para conseguir un patrón de directividad deseado para un flujo de sonido deseado, entonces, normalmente, los bloques 3020, 3030 y 3040 de la figura 20A comprenden los bloques 20, 30 y 40 de la figura 1A, respectivamente, y el bloque 3050 comprende el controlador de dispositivos de bloqueo 50 de la figura 1A, programado para implementar el funcionamiento por señal de reloj del bloque 3050, por ejemplo, como se muestra y se describe en este documento con referencia a la figura 21.

20 La figura 21 es una ilustración simplificada de un diagrama de flujo de un funcionamiento por señal de reloj del controlador de retención de elemento móvil 3050 de las figuras 20A y 20B, según determinadas realizaciones de la presente invención.

25 La etapa 3100 determina cuántos elementos móviles deben moverse durante la señal de reloj actual. Normalmente, y como se ha descrito en detalle anteriormente con referencia a las figuras 1 a 19, el número de elementos móviles que se moverán durante una señal de reloj dada es generalmente proporcional a la intensidad de la señal de entrada durante esa señal de reloj, normalizada de manera adecuada, por ejemplo, como se ha descrito anteriormente con referencia al remuestrador 814 y al escalador 815 de la figura 8B.

30 La etapa 3200 determina qué elementos móviles deben moverse durante la señal de reloj actual usando, en algunas realizaciones, una LUT de selección de elementos móviles adecuada que se carga normalmente en la memoria del controlador de retención 3050 de las figuras 20A y 20B durante la configuración en la fábrica. Cada LUT se genera normalmente para una disposición de elementos móviles específica teniendo en cuenta, entre otras cosas, el tamaño de la disposición y si la disposición es oblicua o no. Cada patrón de directividad que se desea conseguir requiere normalmente su propia LUT.

La etapa 3300 determina la cantidad de retardo con la que hacer funcionar cada uno de los elementos móviles de la disposición de elementos móviles 3010 ó 3012 de las figuras 20A y 20B.

40 A continuación se describirá en detalle la etapa 3200. A continuación se describe un método preferido para llevar a cabo la etapa 3200. La etapa 3200 utiliza normalmente una LUT (tabla de consulta) que tiene celdas que se corresponden una a una con los elementos de generación de presión de la disposición. Por ejemplo, si la disposición comprende un rectángulo de 100 x 200 elementos de generación de presión, entonces la LUT puede tener 100 x 200 celdas. Cada celda contiene un entero que solo aparece una vez comprendido entre 1 y el número total de elementos de generación de presión, tal como 20000 en el ejemplo ilustrado. Por lo tanto, la LUT asigna un número ordinal a cada elemento de generación de presión de la disposición. Asociado en la memoria con la LUT hay un parámetro entero P que almacena una indicación del número de elementos de generación de presión que están actualmente en una primera configuración operativa de entre dos configuraciones operativas, caracterizadas porque la transición de los elementos de generación de presión entre las mismas produce presión en el medio, tal como aire, en el que está dispuesto el aparato de la invención. En algunas realizaciones se obtiene presión en direcciones opuestas cuando los elementos pasan de la primera configuración a la segunda, a diferencia de cuando los elementos pasan de la segunda configuración a la primera. En otras realizaciones, la presión se obtiene siempre que los elementos estén en la primera configuración, y no se obtiene ninguna presión cuando los elementos están en la segunda configuración.

55 Normalmente, P se inicializa durante la configuración como se describe posteriormente y después se le asigna un valor actual en cada señal de reloj en la etapa 3100. En la etapa inmediatamente posterior 3200 en la misma señal de reloj, P elementos de generación de presión se llevan a su primera configuración operativa y N-P elementos de generación de presión se llevan a su segunda configuración operativa, donde N es el número de elementos de generación de presión de la disposición. Los P elementos seleccionados para estar en su primera configuración operativa son aquéllos cuyo número ordinal determinado por la LUT es más pequeño que P. Los N-P elementos seleccionados para estar en su segunda configuración operativa son aquéllos cuyo número ordinal determinado por la LUT es mayor o igual que P.

65 Una de estas configuraciones, digamos la primera, se considera normalmente de manera arbitraria como la configuración "positiva", mientras que la otra configuración, digamos la segunda, se considera entonces como la

configuración "negativa". Como alternativa, en algunas aplicaciones puede haber una razón física para seleccionar una configuración específica de las configuraciones como la configuración positiva. La presión generada cuando un elemento de generación de presión pasa de la segunda configuración a esta primera configuración se denomina "presión positiva", mientras que la presión generada cuando un elemento de generación de presión pasa de la segunda configuración a esta primera configuración se denomina "presión positiva". La presión generada por una sola transición desde una configuración a la otra se denomina en este documento como "impulso" de presión.

Durante la configuración se asigna al parámetro P un valor inicial igual a la mitad del número de elementos de generación de presión de la disposición, tal como 10000 en el presente ejemplo. Después, la disposición se inicializa de manera que cada elemento de generación de presión cuyo número ordinal determinado por la LUT es menor que P se lleva a su primera configuración y el resto de elementos de generación de presión se lleva a su segunda configuración.

Una LUT (tabla de consulta) adecuada, que tiene celdas que se corresponden una a una con los N elementos de generación de presión de la disposición, que almacena enteros de 1 a N, puede generarse de la siguiente manera: En primer lugar se determina un criterio para la calidad de la LUT, que puede ser específico de la aplicación. A continuación se describirá un criterio adecuado para la calidad de la LUT.

Se prepara una lista de todos los posibles subconjuntos de enteros consecutivos comprendidos entre 1 y N. En el presente ejemplo, el primer subconjunto, denominado en lo sucesivo como S_{2_1} , incluye 2 enteros: 1 y 2; el segundo subconjunto, S_{2_2} , incluye los enteros 2 y 3, y así sucesivamente para todos los subconjuntos que contienen dos enteros. El último subconjunto de dos elementos, $S_{2_{19999}}$, contiene los enteros 19999 y 20000. La lista incluye además todos los posibles subconjuntos de tres elementos, a saber, siguiendo el ejemplo, S_{3_1} (que incluye los enteros 1, 2, 3), S_{3_2} (que incluye los enteros 2, 3, 4), ..., $S_{3_{19998}}$ (que incluye los enteros 19998, 19999, 20000). La lista también incluye todos los subconjuntos de 4 elementos, los subconjuntos de 5 elementos y así sucesivamente. El último subconjunto, S_{20000_1} , contiene todos los 20000 elementos. En general, un subconjunto que contiene K enteros, comenzando por i, se etiqueta como SK_i . Debe apreciarse que para una LUT que contiene N celdas, el número M de posibles subconjuntos es igual a $(N-1)*N/2$.

Para cada subconjunto SK_i , un conjunto de coordenadas se define como $(X_i, Y_i), (X_{i+1}, Y_{i+1}), \dots, (X_{i+k-1}, Y_{i+k-1})$, de manera que las coordenadas representan la posición de los elementos de generación de presión cuyos números ordinales son i, i+1, ..., i+k-1 según la LUT actual.

Para cada subconjunto SK_i , un ángulo de propagación θK_i se calcula, por ejemplo, usando métodos de cálculo analíticos o numéricos, usando normalmente aplicaciones de simulación informática adecuadas tales como Matlab, MatCAD o Mathematica. Los ángulos de propagación de las ondas de sonido se calculan para K fuentes de sonido coherentes, dispuestas en posiciones $(X_i, Y_i), (X_{i+1}, Y_{i+1}), \dots, (X_{i+k-1}, Y_{i+k-1})$, donde todas generan ondas sinusoidales en la misma fase y a una frecuencia igual a la tasa de muestreo del sistema, por ejemplo, 44100Hz.

Un "ángulo de propagación de un subconjunto" se define de la siguiente manera: cada subconjunto corresponde a un subconjunto de elementos de generación de presión. Un eje de referencia se define como pasando a través del centro de masa de la disposición de elementos de generación de presión y perpendicular a su superficie principal. La intensidad del sonido generado por el subconjunto de elementos de generación de presión se aproxima a un máximo a medida que uno se retira de la disposición de elementos de generación de presión a lo largo del eje de referencia. Por lo tanto, la intensidad máxima del subconjunto puede definirse midiendo la intensidad en una ubicación L que está en el eje de referencia y está lo bastante lejos de la disposición como para garantizar que las diferencias entre la distancia de la ubicación L y cada uno de los elementos de generación de presión del subconjunto sean suficientemente, por ejemplo un orden de magnitud, menores que la longitud de onda λ asociada con el reloj del sistema. Se define al menos un plano de referencia que incluye el eje de referencia. Debe apreciarse que existe un número infinito de tales planos de referencia. Para aplicaciones de propagación cilíndrica en las que se define un eje focal, se selecciona un plano de referencia que incluye el eje focal. Debe apreciarse que una LUT construida de esta manera también será adecuada para aplicaciones omnidireccionales. Para aplicaciones de propagación en las que un punto focal se define de la manera descrita en este documento, se selecciona un plano de referencia que incluye el punto focal. Si existe más de un plano de referencia de este tipo, se seleccionan dos planos de referencia que sean perpendiculares entre sí.

El ángulo de propagación del subconjunto, denominado en este documento θK_i , se define para cada plano de referencia seleccionado para ese subconjunto de la siguiente manera: se define un círculo imaginario dentro del plano de referencia cuyo centro está en el punto de intersección entre el eje de referencia y la superficie principal de la disposición y cuyo radio es la distancia entre L y la superficie principal de la disposición. Se seleccionan dos ubicaciones en la circunferencia del círculo en ambos lados del eje de referencia, respectivamente, donde la intensidad de sonido generada por el subconjunto de elementos de generación de presión es la mitad de la intensidad máxima medida en L. El ángulo definido entre dos radios que conectan el centro del círculo con estas dos ubicaciones respectivamente se denomina como el ángulo de propagación del subconjunto para ese plano de referencia. Si el subconjunto tiene dos planos de referencia perpendiculares como los descritos anteriormente, puede calcularse una media simple o ponderada de los dos ángulos de propagación para obtener un único ángulo

de propagación θK_i para el subconjunto. Si el patrón de directividad a través de un determinado plano de referencia, por ejemplo un plano vertical, es más importante que a través de otro plano, plano de referencia perpendicular, se asigna un mayor peso al plano más importante. Por ejemplo, en determinadas aplicaciones, la consideración más importante puede ser impedir que ruido no deseado llegue a ubicaciones de diferentes pisos, en cuyo caso un plano de referencia vertical tendrá un peso mucho mayor que el plano de referencia horizontal.

Un ejemplo de un criterio adecuado para la optimización de una LUT específica es:

$$LUT_{\text{objetivo}} = 1/[\text{media de todos los } \theta K_i] \times (\text{desviación estándar de todos los } \theta K_i)]$$

Para determinar la LUT más adecuada, puede utilizarse una simulación informática para probar y evaluar todas las permutaciones posibles, es decir, todas las LUT de N celdas, y seleccionar la mejor de las mismas.

Debe apreciarse que el número de LUT, donde cada una contiene N celdas, es N! (N factorial). Si N es elevado, resulta poco práctico probar y evaluar todas las LUT posibles, es decir, todas las posibles permutaciones de enteros en celdas de una LUT. Si este es el caso, puede seleccionarse un número más pequeño de permutaciones de LUT, por ejemplo aleatoriamente, y se selecciona la mejor de las mismas.

Debe apreciarse que, como alternativa, la etapa 3200 puede llevarse a cabo sin recurrir a una LUT fija almacenada durante la configuración. En cambio, el conjunto de P_t - P_{t-1} elementos de generación de presión que van a activarse puede seleccionarse seleccionando el mejor subconjunto de P_t - P_{t-1} elementos de entre el conjunto de elementos de generación de presión que están actualmente en la segunda configuración operativa. Esto puede realizarse estimando el ángulo de propagación θ para cada posible subconjunto de P_t - P_{t-1} elementos y seleccionando el subconjunto que se adapte mejor al patrón de propagación deseado.

P_t se refiere al valor actual de P, mientras que P_{t-1} se refiere al valor de P en la señal de reloj de sistema anterior.

Además, debe apreciarse que en aplicaciones en las que el patrón de directividad no es importante, puede utilizarse cualquier conjunto de elementos de generación de presión para conseguir un patrón de presión temporal dictaminado por la señal de entrada.

La etapa 3300, en la que se calcula la cantidad de retardo con la que hacer funcionar cada uno de los elementos móviles de la disposición de elementos móviles 3010 ó 3012 de las figuras 20A y 20B, determina la direccionalidad del sonido generado por el altavoz. A continuación se describen métodos y fórmulas preferidos para colocar de manera óptima la disposición de elementos móviles en función de la direccionalidad de propagación deseada, si es posible, y para calcular retardos también en función de la direccionalidad de propagación deseada, con referencia a tres patrones de propagación de ejemplo denominados en este documento como omnidireccional, cilíndrico y unidireccional. Debe apreciarse que los tres patrones de propagación descritos de manera particular en este documento se describen simplemente a modo de ejemplo.

Las figuras 22A y 22B, tomadas conjuntamente, describen un ejemplo simplificado de una solución para llevar a cabo la etapa 3300 cuando se desea conseguir un sonido omnidireccional, es decir, un sonido que se propaga hacia fuera a través de un espacio tridimensional desde un punto dado denominado en este documento como "punto focal" del sonido omnidireccional. Específicamente, la figura 22A es un diagrama simplificado de un patrón de propagación omnidireccional que tiene un punto focal 3400, y la figura 22B es un diagrama de una colocación preferida de una disposición de elementos móviles con respecto al punto focal del patrón de propagación de sonido omnidireccional deseado de la figura 22A. En la realización ilustrada, la disposición de los elementos móviles denominada genéricamente como 3010 ó 3012 en las figuras 20A y 20B comprende, simplemente a modo de ejemplo, una disposición normalmente no oblicua 3410 de 14 x 21 elementos móviles. Tal y como se muestra, la disposición de elementos móviles está colocada preferentemente, aunque no necesariamente, como se ilustra en la figura 22B, de manera que su centro geométrico (situado entre la séptima y la octava fila, en la décimo primera columna) de la disposición de elementos móviles coincide con el punto focal 3400 del patrón omnidireccional, situado en el centro de los círculos concéntricos que representan el patrón omnidireccional mostrado en la figura 22A. El centro de la disposición también puede situarse en la proyección del punto focal del patrón omnidireccional sobre el plano de la disposición de elementos móviles 3410. Debe apreciarse que no es necesario que la disposición esté colocada de la manera ilustrada y, en cambio, puede colocarse en cualquier ubicación adecuada, tal como una ubicación fija independiente del patrón de propagación particular seleccionado actualmente por un usuario.

Debe apreciarse que no es necesario que la disposición tenga las dimensiones o la forma especificadas. De hecho, realizaciones preferidas de altavoces digitales directos están comprendidas entre miles y cientos de miles de elementos de generación de presión. La forma de la disposición puede cambiar según la aplicación y/o el uso.

También debe apreciarse que no es necesario que el punto focal al que se hace referencia en este documento esté colocado sobre la superficie principal definida por la disposición de elementos de generación de presión. Modificar la distancia entre el punto focal y la superficie principal de la disposición de los elementos de generación cambia el patrón de direccionalidad del dispositivo. Por ejemplo, colocar el punto focal sobre la superficie (distancia cero)

producirá un patrón de directividad omnidireccional en el que la intensidad de sonido permanece esencialmente igual independientemente del ángulo en el que se propague el sonido. Colocar el punto focal a una determinada distancia, d, por detrás de la superficie de elementos de generación de presión define un cono de proyección (en el caso de una disposición redonda) o una pirámide de proyección (en el caso de una disposición cuadrada o rectangular) caracterizados por un ángulo inferior a 180 grados. Colocar el punto focal a una distancia infinita por detrás de la superficie principal de los elementos de generación de presión (dado que el sonido producido por los elementos de generación de presión se produce delante de la superficie principal) define normalmente un cono de proyección o una pirámide de proyección que es muy estrecha y producirá un verdadero patrón de directividad unidireccional. Normalmente, la intensidad de sonido por todo el cono de proyección o por toda la pirámide de proyección permanece sustancialmente igual, mientras que la intensidad fuera del cono o de la pirámide es significativamente inferior. Debe apreciarse que d puede ser 0 o infinito en determinadas aplicaciones. En determinadas aplicaciones, d puede determinarse en función de un control de usuario.

La figura 23 es una ilustración pictórica simplificada de un aparato de tipo altavoz construido y operativo según las figuras 20A a 22B y operativo, por ejemplo, en virtud de haberse programado de esta manera para generar sonido omnidireccional que es particularmente adecuado para el entorno ilustrado en la figura 23 en el que los oyentes rodean completamente el altavoz, normalmente en más de un nivel, incluyendo un nivel de suelo y un nivel de primer piso, como se muestra.

Para aplicaciones en las que se conoce un punto focal predeterminado y fijo de propagación de sonido omnidireccional, por ejemplo en un planetario convencional, un circo o un auditorio circular, la disposición de elementos móviles proporcionada según determinadas realizaciones de la presente invención está colocada preferentemente, aunque no necesariamente, de manera que el centro de la disposición coincide con el punto focal deseado del patrón de propagación omnidireccional deseado descrito anteriormente con referencia a las figuras 22A y 22B. Sin embargo, debe apreciarse que aunque es preferible colocar la disposición de elementos móviles de manera que su centro esté dispuesto lo más cerca posible de un punto focal actualmente deseado, por ejemplo seleccionado por el usuario, de un patrón de propagación omnidireccional actualmente deseado, por ejemplo seleccionado por el usuario, realizaciones de la invención mostradas y descritas en este documento permiten una propagación omnidireccional desde una gran variedad de focos que se consigue usando una disposición de elementos móviles que pueden ser estacionarios, no siendo necesario que esté centrada en el punto focal del patrón de directividad omnidireccional.

Haciendo de nuevo referencia a la figura 22A, cada círculo mostrado representa la mitad de una fase y tiene un radio r que se calcula usando la siguiente fórmula:

$$r = (N d \lambda / 2 + N^2 \lambda / 4)^{0.5}$$

donde:

N = número de orden del círculo, contando hacia fuera desde el centro y empezando por 1,

d = la distancia del plano de la disposición no oblicua desde el punto focal del sonido omnidireccional,

$\lambda = c T$, donde c = la velocidad del sonido a través del medio en que el altavoz está funcionando, normalmente aire, y T = el periodo del reloj del sistema de las figuras 20A ó 20B (no mostrado).

Debe apreciarse que valores de retardo específicos para los elementos móviles de la disposición 3410, adecuados para obtener el patrón omnidireccional de la figura 22A, pueden determinarse de la siguiente manera:

(a) A cualquier elemento móvil que coincida con un círculo cuyo número de orden sea N se le asigna un valor de retardo de $N T / 2$.

(b) A cualquier elemento móvil que no coincida con un círculo, y que esté en cambio entre un par de círculos cuyos números de orden sean N y N+1, se le asigna un valor de retardo interpolando, por ejemplo de manera lineal, entre los dos valores siguientes $NT/2$ y $(N+1)T/2$.

Como alternativa, posteriormente se describe en detalle una fórmula adecuada para determinar retardos.

La figura 24 es un diagrama de un patrón cilíndrico de directividad de sonido que puede obtenerse usando una realización del aparato de la presente invención. Tal y como se muestra, el sonido se propaga en cada punto del plano de manera omnidireccional y de igual manera desde cada punto a lo largo de un eje focal dado 3510.

La figura 25 es un diagrama que muestra una colocación preferida de la disposición de elementos móviles 3010, mostrada con una forma rectangular a modo de ejemplo, con respecto al patrón cilíndrico de la directividad de sonido mostrada en la figura 24. Si es posible, la disposición de elementos móviles está dispuesta preferentemente de manera simétrica en torno al eje focal de manera que, como se muestra, sus lados son respectivamente

perpendiculares o paralelos al eje focal o, menos preferentemente y como se ilustra, la disposición de elementos móviles está dispuesta preferentemente de manera simétrica en torno a la proyección del eje focal sobre el plano definido por la disposición. Debe apreciarse que no es necesario proporcionar las colocaciones particulares descritas e ilustradas en este documento y, como alternativa, la disposición de elementos móviles puede estar dispuesta y orientada en cualquier ubicación adecuada dictaminada por la aplicación.

La figura 26 es una vista isométrica de la disposición de elementos móviles 3010 ó 3012 de las figuras 20A y 20B, que muestra el sonido unidireccional generado por esa disposición móvil y que se propaga en una dirección α deseada o predeterminada indicada por las flechas.

La figura 27 es una ilustración pictórica de una aplicación preferida de un aparato de tipo altavoz 3600 construido y operativo según la presente invención, que está construido, por ejemplo programado, para generar sonido unidireccional en al menos una dirección normalmente seleccionada por el usuario. En la realización de la figura 27, cualquiera o ambos flujos de sonido unidireccional 3610 y 3620 se generan para dar servicio a los oyentes en las posiciones 3630 y 3640, respectivamente.

Si la disposición de elementos móviles es un rectángulo 3650 que presenta un primer y segundo par de lados internamente paralelos y mutuamente perpendiculares, entonces la disposición está normalmente orientada de manera que la proyección de la dirección deseada de la propagación sobre el plano de la disposición, que puede ser vertical como se muestra en la figura 27, es paralela a uno de los pares de lados y, por tanto, perpendicular al otro par de lados, como se muestra en la figura 26. En este caso, el retardo de cada elemento móvil de la disposición puede ser el producto del coseno de alfa (donde alfa es el ángulo de propagación mostrado en la figura 22) y la distancia x de ese elemento móvil desde un lado seleccionado del par de lados perpendiculares.

Como sugiere la figura 27, puede desearse producir dos flujos de sonido percibidos exclusiva y simultáneamente por oyentes situados en dos posiciones acimutales respectivas con respecto al altavoz, como se describe a continuación. Según esta realización, algunos de los elementos móviles de la disposición están dedicados a producir el primer flujo de sonido, y los elementos restantes de la disposición están dedicados a producir el segundo sonido. Los retardos utilizados para cada elemento móvil se determinan como se ha descrito anteriormente en el caso unidireccional. Debe apreciarse que, de manera más general, puede producirse cualquier número adecuado de flujos de sonido en lugar de simplemente dos flujos de sonido.

La realización unidireccional ilustrada en las figuras 26 ó 27 tiene una gran variedad de aplicaciones tales como, pero sin limitarse a, (a) proveedores de contenido de entretenimiento, tales como televisión, ordenadores, reproductores de música o radio, que incluyen un altavoz direccional programable operativo para enviar sonido unidireccional exclusivamente a una o más direcciones seleccionadas por el usuario. Diferente contenido, tal como una pluralidad de versiones de lenguaje correspondientes a un único elemento de contenido visual, puede enviarse simultáneamente a una pluralidad de direcciones seleccionadas por el usuario, para permitir de ese modo que un grupo de amigos o los miembros de una familia compartan una experiencia visual pero recibiendo simultánea y exclusivamente contenido de audio individualizado, por ejemplo cada uno en su propio idioma, correspondiente a la experiencia visual; y (b) juguetes que producen sonido que incluyen un sensor que funciona para supervisar la posición acimutal y de elevación del niño con respecto al juguete y un altavoz direccional que funciona para enviar sonido unidireccional exclusivamente hacia el niño en una dirección que corresponde a la posición acimutal y de elevación actual del niño con respecto al juguete.

De manera genérica, una fórmula adecuada para determinar una cantidad de retardo adecuada para cada elemento móvil, para una propagación de sonido omnidireccional, es la siguiente:

$$\text{retardo} = [(d^2+r^2)^{0.5}-d]/c$$

donde:

r = distancia entre la proyección del punto focal sobre el plano de la disposición de elementos móviles y un elemento móvil dado,

d = la distancia del plano de la disposición de los elementos móviles desde el punto focal del sonido omnidireccional,

c = la velocidad del sonido a través del medio en el que está funcionando el altavoz, normalmente aire.

Puede utilizarse la misma fórmula para una propagación cilíndrica del sonido; sin embargo, d se define en este caso como la distancia del plano de la disposición de elementos móviles desde el eje focal que es normalmente paralelo al mismo.

Para una propagación de sonido unidireccional, como la descrita anteriormente, la fórmula utilizada puede ser:

$$\text{retardo} = x \cos \alpha$$

donde:

x = la distancia desde el plano del borde de la disposición de elementos móviles y un elemento móvil dado, y

5

α = el ángulo entre la dirección y el plano de la disposición de elementos móviles.

Debe apreciarse que las realizaciones mostradas y descritas en este documento generan patrones de propagación de sonido que se aproximan a patrones deseados tales como patrones omnidireccionales, cilíndricos y uni-, bi- o incluso multidireccionales. Sin embargo, al menos debido al tamaño finito de la disposición de elementos móviles, el patrón de propagación de sonido real nunca es exactamente idéntico al patrón de propagación teóricamente deseado. Generalmente, el patrón de propagación teóricamente deseado se consigue mejor en ubicaciones próximas a la disposición de elementos móviles que en ubicaciones alejadas de la disposición de elementos móviles.

10

15

También debe apreciarse que cuanto más grande sea la disposición (tanto en lo que respecta al número de elementos de generación de presión como a las dimensiones), más aproximado será el patrón de propagación deseado obtenido.

20

Una característica particular de determinadas realizaciones de la presente invención es que un único altavoz que incluye una o más disposiciones de elementos de generación de presión, disposiciones que pueden ser fijas, puede programarse para generar una pluralidad de patrones de directividad que difieren en la parametrización o incluso en la forma.

25

Debe apreciarse que puede proporcionarse un patrón de propagación multidireccional en el que el usuario puede, si lo desea, seleccionar el número de y/o la dirección y/u otras características de más de un haz unidireccional. La realización unidireccional se ha descrito en este documento y la generalización de la realización unidireccional descrita en este documento con respecto a una realización multiunidireccional puede conseguirse utilizando técnicas conocidas en la técnica, tales como técnicas utilizadas para definir la dirección, el número de y/u otras características del (de los) haz (haces) producido(s) por aplicaciones de elementos en fase de múltiples haces, por ejemplo haces de un radar. Más en general, debe apreciarse que puede proporcionarse una combinación de patrones de propagación, en la que el usuario puede seleccionar, si lo desea, el número y/o la dirección y/u otras características de más de un patrón de propagación de componentes, cada uno de los cuales puede comprender cualquier patrón adecuado tal como, pero sin limitarse a, un patrón unidireccional, un patrón omnidireccional, un patrón cilíndrico o cualquier combinación de los mismos. En este documento se han descrito varios patrones de propagación, pudiendo conseguirse una combinación de los mismos utilizando técnicas conocidas en la técnica tales como técnicas utilizadas para definir la dirección, el número de y/u otras características del (de los) haz (haces) producido(s) por aplicaciones de elementos en fase de múltiples haces, por ejemplo haces de un radar.

30

35

40

Debe apreciarse que no es necesario que la disposición de elementos móviles sea plana, como se ha ilustrado, y que, como alternativa, las enseñanzas de la presente invención pueden modificarse de manera apropiada para permitir una disposición no plana de elementos móviles.

45

La figura 28 es una ilustración pictórica simplificada de una disposición no rectangular de elementos móviles. Según una realización de la presente invención, los retardos de los elementos móviles en disposiciones no rectangulares pueden calcularse circunscribiendo la disposición no rectangular en una disposición rectangular y procediendo a calcular retardos de la manera descrita en este documento para la disposición rectangular de circunscripción. Cada elemento móvil de la disposición no rectangular tiene asignado un valor de retardo que es igual al valor de retardo calculado por este proceso, es decir, según su posición en la disposición rectangular de circunscripción (imaginaria).

50

Si la disposición de elementos móviles no es rectangular, pueden utilizarse las siguientes reglas para colocar la disposición aunque, como alternativa, la invención puede permitir una disposición de elementos móviles colocada de manera arbitraria:

55

i. Si se desea una propagación omnidireccional y el diseñador es totalmente libre de colocar la disposición, la disposición puede colocarse de manera que el centro de masa de la disposición no rectangular coincida con el punto focal de la propagación omnidireccional. Preferentemente y más en general, la disposición puede colocarse de manera que el centro de masa de la disposición no rectangular esté lo más cerca posible del punto focal de la propagación omnidireccional.

60

ii. Si se desea una propagación cilíndrica y el diseñador es totalmente libre de colocar la disposición, la disposición puede colocarse de manera que un eje de masa 3700 de la disposición no rectangular, que divide la disposición en dos subdisposiciones 3720 y 3730 que tienen la misma área como se muestra en la figura 28, esté dispuesto a lo largo del eje focal de la propagación cilíndrica. Si hay varios ejes de masa, normalmente se selecciona el eje más largo. Preferentemente y más en general, la disposición puede colocarse de manera que un eje de masa, preferentemente el más largo disponible, de la disposición no rectangular, esté dispuesto en paralelo con el eje focal de la propagación cilíndrica.

65

iii. Si se desea una propagación unidireccional y el diseñador es libre de colocar la disposición, la disposición puede colocarse de manera que la dirección de propagación deseada sea casi perpendicular a la superficie principal de la disposición.

5 El alcance de la presente invención incluye, pero no está limitado a, un método para controlar un aparato de tipo altavoz digital directo que recibe una señal de entrada digital y que genera sonido en consecuencia, comprendiendo el método proporcionar una disposición de elementos de generación de presión, y calcular un patrón de tiempos que determina si cada elemento de generación de presión está operativo y cuándo está operativo para producir impulsos de presión para conseguir un patrón de directividad deseado. Después, la disposición se hace funcionar según el patrón de tiempos para conseguir sonido que tenga el patrón de directividad deseado.

15 Opcionalmente, las etapas de provisión y de cálculo se llevan a cabo varias veces para obtener de ese modo una pluralidad correspondiente de disposiciones y una pluralidad correspondiente de patrones de tiempos que definen una pluralidad correspondiente de patrones de directividad. El método comprende además la etapa de hacer funcionar la pluralidad de disposiciones de manera simultánea según la pluralidad correspondiente de patrones de tiempos para obtener de ese modo un único patrón de directividad que comprende una combinación de los patrones de directividad correspondientes a la pluralidad de patrones de tiempo. De hecho, la pluralidad de disposiciones puede comprender partes de una única disposición más grande. Así, por ejemplo, una única disposición de elementos de generación de presión, tales como cualquiera de los mostrados y descritos en este documento, puede dividirse en regiones, por ejemplo cuartos, y los elementos de generación de presión de cada región pueden hacerse funcionar según su propio patrón de tiempos o patrón de retardos particulares. Por ejemplo, esto permite obtener un patrón de varios, digamos cuatro, haces unidireccionales diferentes. Como alternativa, para ofrecer otro ejemplo, esto permite, digamos, que un sonido de fondo omnidireccional se superponga a uno o más flujos de sonido preferentes diferentes, presentando cada uno respectivamente su propio, digamos, patrón de propagación unidireccional, cilíndrico u omnidireccional. Debe apreciarse que en realizaciones multidireccionales, cada dicho haz unidireccional puede producir una señal de entrada digital diferente, por ejemplo los canales izquierdo y derecho de una señal estereofónica.

30 Debe apreciarse que el controlador de campos electromagnéticos 30 está diseñado preferentemente para garantizar que la corriente alterna que fluye a través de la bobina mantenga siempre una intensidad de campo magnético apropiada bajo todas las condiciones con el fin de permitir una proximidad suficiente entre los elementos móviles 10 y los dispositivos de bloqueo electrostáticos 20 para permitir el bloqueo, impidiendo al mismo tiempo que los elementos móviles 10 se muevan demasiado rápido y se dañen ellos mismos o los dispositivos de bloqueo 20 como resultado de algún impacto.

40 Con referencia específica a las Figuras, se resalta que las particularidades mostradas son simplemente ejemplos y sólo tienen como objetivo ilustrar las realizaciones preferidas de la presente invención, y se presentan para proporcionar lo que se considera como la descripción más útil y fácilmente inteligible de los principios y aspectos conceptuales de la invención. A este respecto, no se pretende mostrar detalles estructurales de la invención en mayor detalle del necesario para un entendimiento fundamental de la invención. La descripción tomada junto con los dibujos indica a los expertos en la técnica cómo poner en práctica las diversas formas de la invención.

45 Características de la presente invención que se han descrito en el contexto de realizaciones diferentes también pueden proporcionarse de manera combinada en una única realización. A la inversa, características de la invención que se han descrito por brevedad en el contexto de una única realización pueden proporcionarse por separado o en cualquier subcombinación adecuada. Por ejemplo, los elementos móviles pueden ser flotantes, pueden estar montados en flexuras a modo de filamento o pueden tener una parte circundante formada por un material flexible. Independientemente de esto, el aparato puede estar configurado o no para reducir las fugas de aire en el mismo como se ha descrito anteriormente. Independientemente de todo esto, el elemento móvil puede, por ejemplo, comprender un conductor, una bobina, un imán permanente en forma de anillo o de disco, o un ferromán en forma de anillo o de disco, y los imanes, si los hubiera, pueden estar dispuestos o no de manera que los polos de algunos de los mismos, por ejemplo el 50%, estén dispuestos de manera opuesta a los polos de los imanes restantes, es decir, el otro 50%. Independientemente de todo esto, la forma del dispositivo de bloqueo puede ser, en sección transversal, maciza, anular, perforada con o sin una gran parte central, dentada o puede tener cualquier otra configuración adecuada. Independientemente de todo esto, el control de los dispositivos de bloqueo puede ser individual o por grupos o cualquier combinación de los mismos. Independientemente de todo esto, puede haber una o más disposiciones de elementos de actuador que pueden ser o no oblicuas, y la sección transversal de cada elemento de actuador puede ser circular, cuadrada, triangular, hexagonal o puede tener cualquier otra forma adecuada.

65 La presente invención se ha descrito con un determinado grado de particularidad, pero los expertos en la técnica apreciarán fácilmente que pueden llevarse a cabo varias alteraciones y modificaciones para incluir el alcance de las siguientes reivindicaciones.

REIVINDICACIONES

- 1.- Aparato de tipo altavoz digital directo que recibe una señal de entrada digital y que genera sonido en consecuencia, comprendiendo el aparato:
- 5 una disposición de elementos de generación de presión, y
- un controlador (50) que funciona para calcular un patrón de tiempos que determina si cada elemento de generación de presión está activo y cuándo se activa para obtener un patrón de directividad deseado;
- 10 caracterizado porque el aparato comprende además al menos un dispositivo de bloqueo (20) que funciona para bloquear de manera selectiva al menos un subconjunto de dichos elementos de generación de presión en al menos una posición de bloqueo, y porque dicho controlador (50) comprende un controlador de dispositivos de bloqueo que funciona para recibir dicha señal de entrada digital y controlar dicho al menos un dispositivo de bloqueo (20) en consecuencia.
- 15 2.- Aparato según la reivindicación 1, en el que al menos un elemento de generación de presión puede producir impulsos de presión positiva y al menos un elemento de generación de presión puede producir impulsos de presión negativa.
- 20 3.- Aparato según la reivindicación 1, en el que dichos elementos se mueven de manera armónica y tienen una única amplitud y una única frecuencia.
- 4.- Aparato según la reivindicación 1, en el que cada elemento de generación de presión comprende un elemento móvil (10), que funciona para desplazarse de manera alterna hacia atrás y hacia delante a lo largo de una trayectoria respectiva.
- 25 5.- Aparato según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4, que comprende además una interfaz de usuario que recibe un patrón de directividad deseada de un usuario.
- 30 6.- Aparato según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4, en el que dicho patrón de directividad es omnidireccional y define un punto focal.
- 7.- Aparato según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4, en el que dicho patrón de directividad es cilíndrico y define un eje focal.
- 35 8.- Aparato según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4, en el que dicho patrón de directividad es unidireccional y define un ángulo de propagación.
- 9.- Aparato según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4, en el que dicho patrón de directividad comprende una combinación de una pluralidad de patrones de directividad unidireccionales.
- 40 10.- Aparato según la reivindicación 8, en el que dicho patrón de tiempos comprende utilizar un retardo adecuado para al menos algunos de dichos elementos de generación de presión, usando la fórmula: $\text{retardo} = x \cos \alpha$, donde x = la distancia desde un plano definido por un borde de la disposición de elementos de generación de presión y un elemento de generación de presión dado, y α = el ángulo entre una dirección definida por la propagación unidireccional y dicho plano.
- 45 11.- Aparato según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4, en el que cada elemento de generación de presión responde a campos magnéticos alternos y en el que al menos un dispositivo de bloqueo (20), que se hace funcionar para bloquear de manera selectiva (20) al menos un subconjunto de dichos elementos de generación de presión en al menos una posición de bloqueo, impide de ese modo que al menos dicho subconjunto de elementos de generación de presión responda a dichos campos magnéticos alternos, y en el que dicho controlador (50) comprende además:
- 50 un sistema de control de campos magnéticos que funciona para recibir señales de reloj y, en consecuencia, para controlar la aplicación de dichos campos magnéticos alternos a dicha disposición de elementos de generación de presión.
- 55 12.- Aparato según la reivindicación 6, en el que dicha disposición define un plano y en el que dicho patrón de tiempos comprende utilizar un retardo adecuado para al menos algunos de dichos elementos de generación de presión, usando la fórmula: $\text{retardo} = [(d^2 + r^2)^{0.5} - d]/c$, donde r = la distancia entre la proyección del punto focal sobre la disposición de elementos de generación de presión y un elemento de generación de presión dado, d = la distancia del plano de la disposición de los elementos de generación de presión desde el punto focal, y c = la velocidad de propagación del sonido a través de un medio en el que está funcionando el aparato.
- 60 65

13.- Un método para controlar un aparato de tipo altavoz digital directo que recibe una señal de entrada digital y que genera sonido en consecuencia, comprendiendo el método:

proporcionar una disposición de elementos de generación de presión, y

5 calcular un patrón de tiempos que determina si cada elemento de generación de presión está funcionando y cuándo se hace funcionar para producir impulsos de presión para obtener un patrón de directividad deseado;

10 caracterizado porque el método comprende además usar al menos un dispositivo de bloqueo (20) para bloquear de manera selectiva al menos un subconjunto de dichos elementos de generación de presión en al menos una posición de bloqueo.

14.- Un método según la reivindicación 13, en el que dicha provisión de disposición y dicho cálculo se llevan a cabo varias veces para obtener de ese modo una pluralidad correspondiente de disposiciones y una pluralidad correspondiente de patrones de tiempos que definen una pluralidad correspondiente de patrones de directividad; comprendiendo además el método hacer funcionar dichas disposiciones de manera simultánea según dicha pluralidad correspondiente de patrones de tiempos respectivamente para obtener de ese modo un único patrón de directividad que comprende una combinación de los patrones de directividad correspondientes a dicha pluralidad de patrones de tiempos.

20 15.- Un método según la reivindicación 13, que comprende además la lectura en un patrón de directividad deseado proporcionado por un usuario.

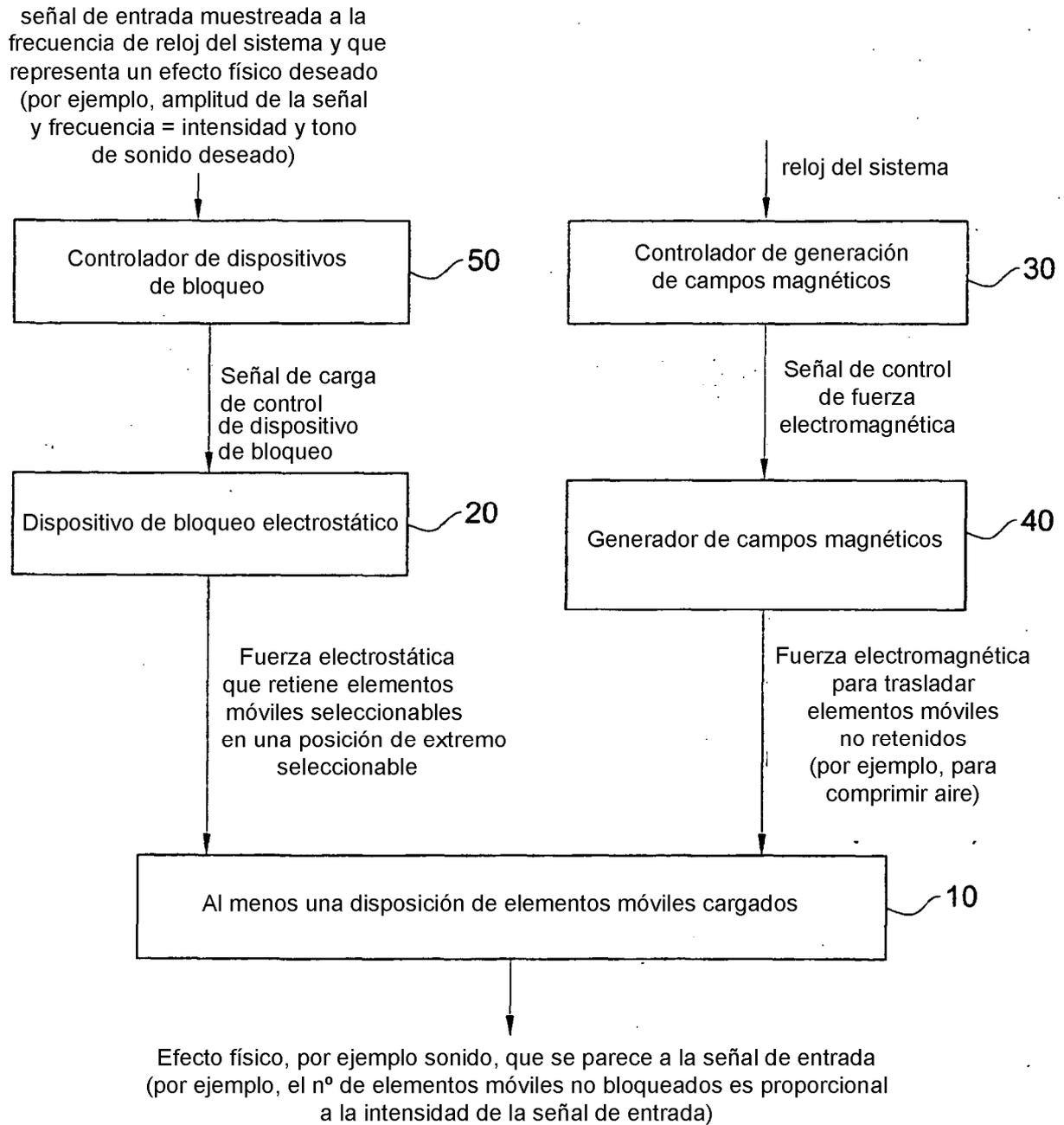


FIG. 1A

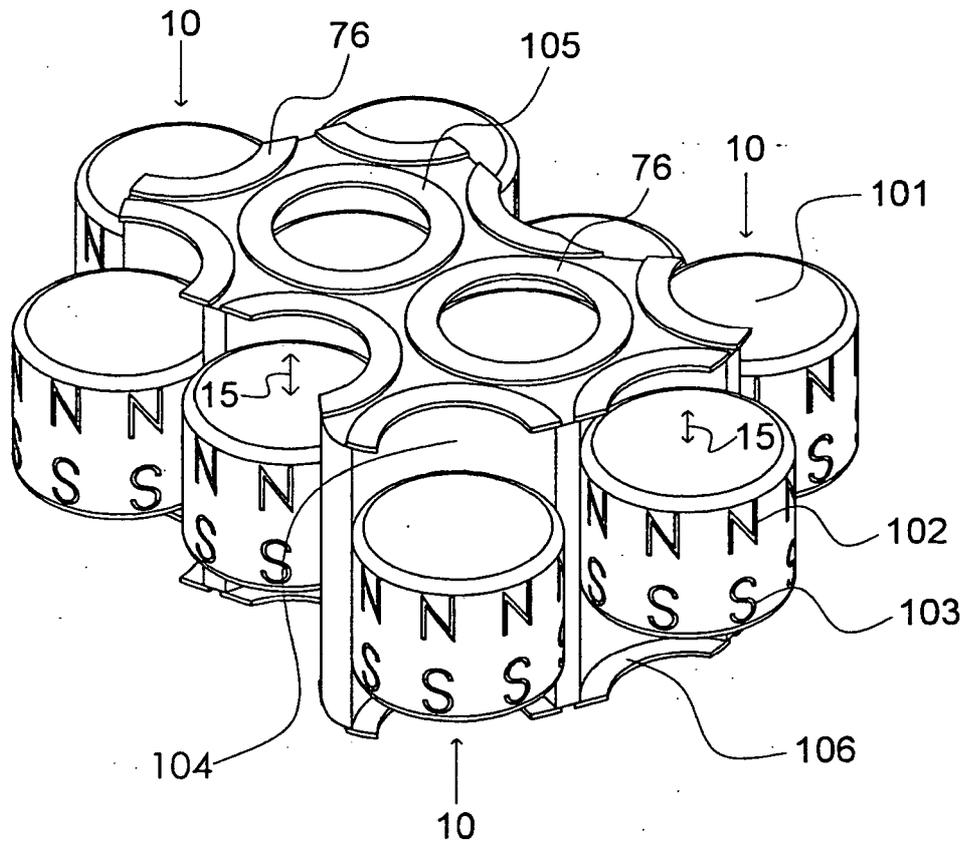


Fig. 1B

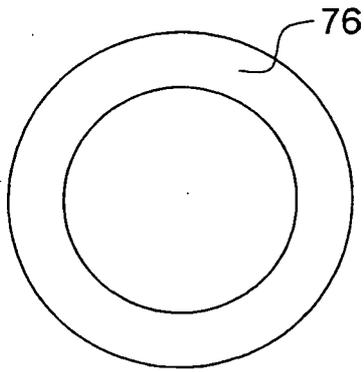


Fig. 1F

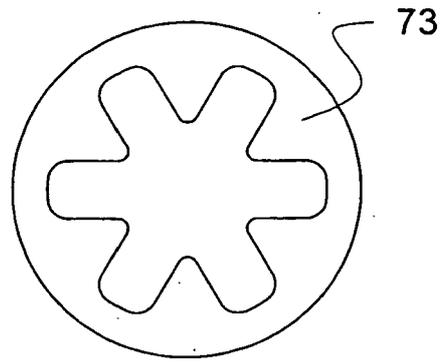


Fig. 1D

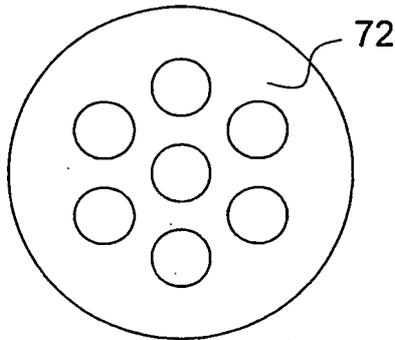


Fig. 1C

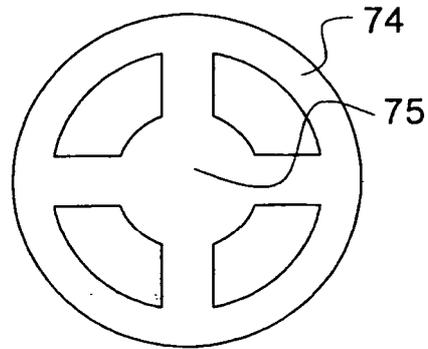


Fig. 1E

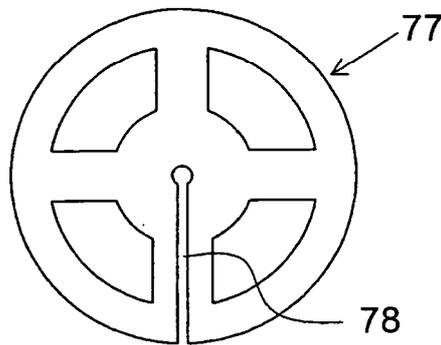


Fig. 1G

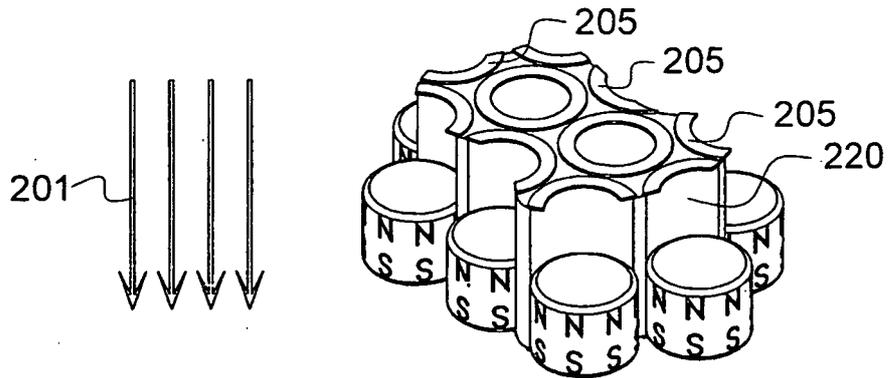


Fig. 2A

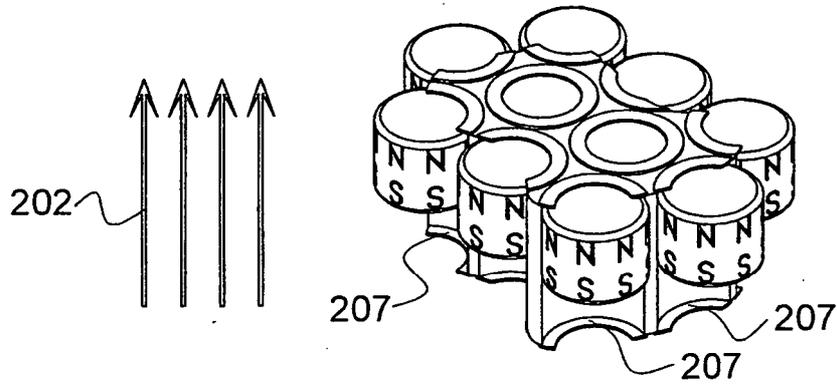


Fig. 2B

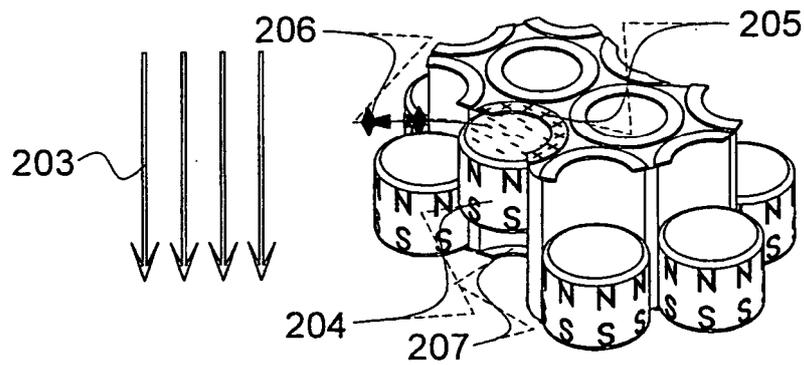


Fig. 2C

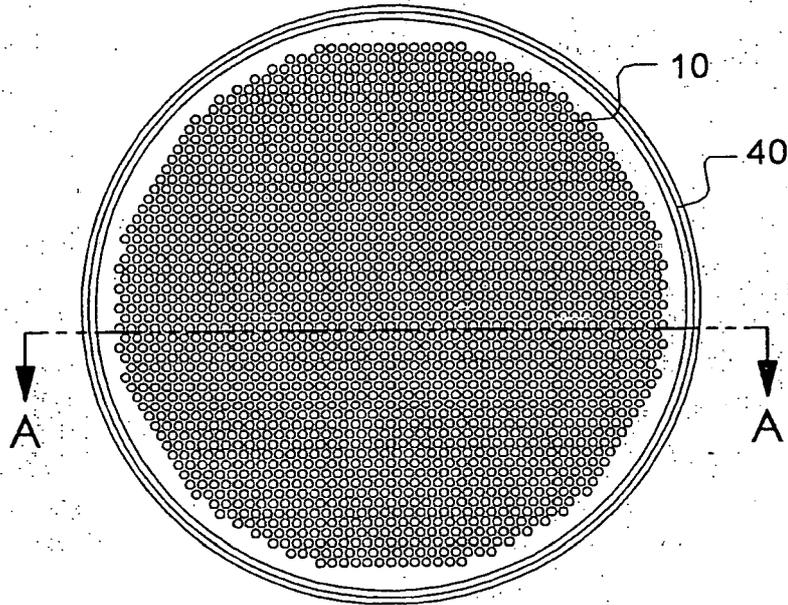


Fig. 3A

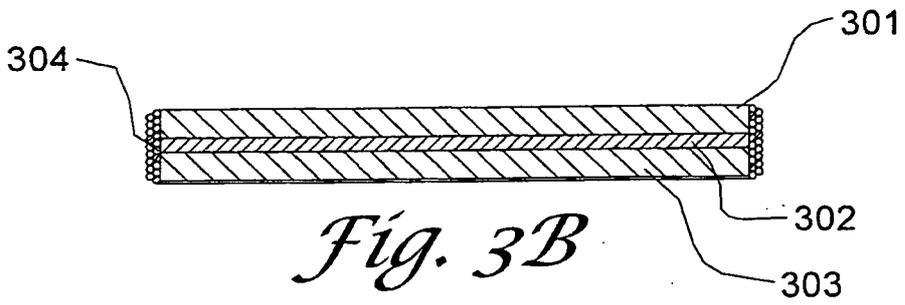


Fig. 3B

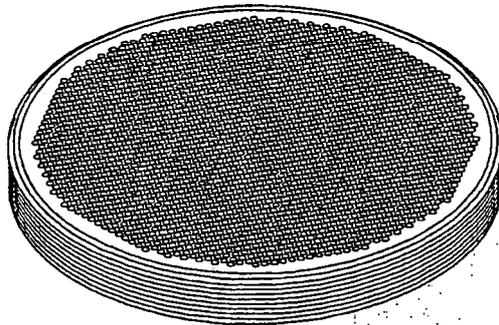


Fig. 3C

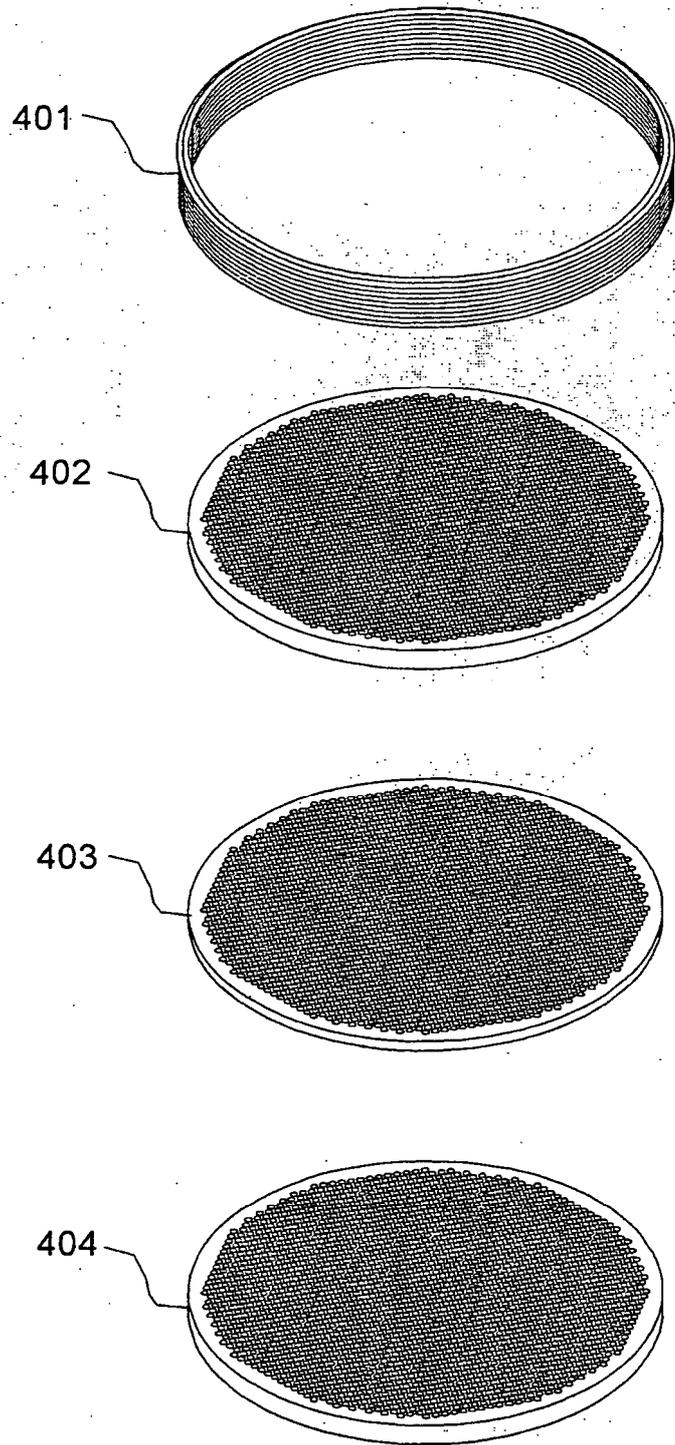


Fig. 4A

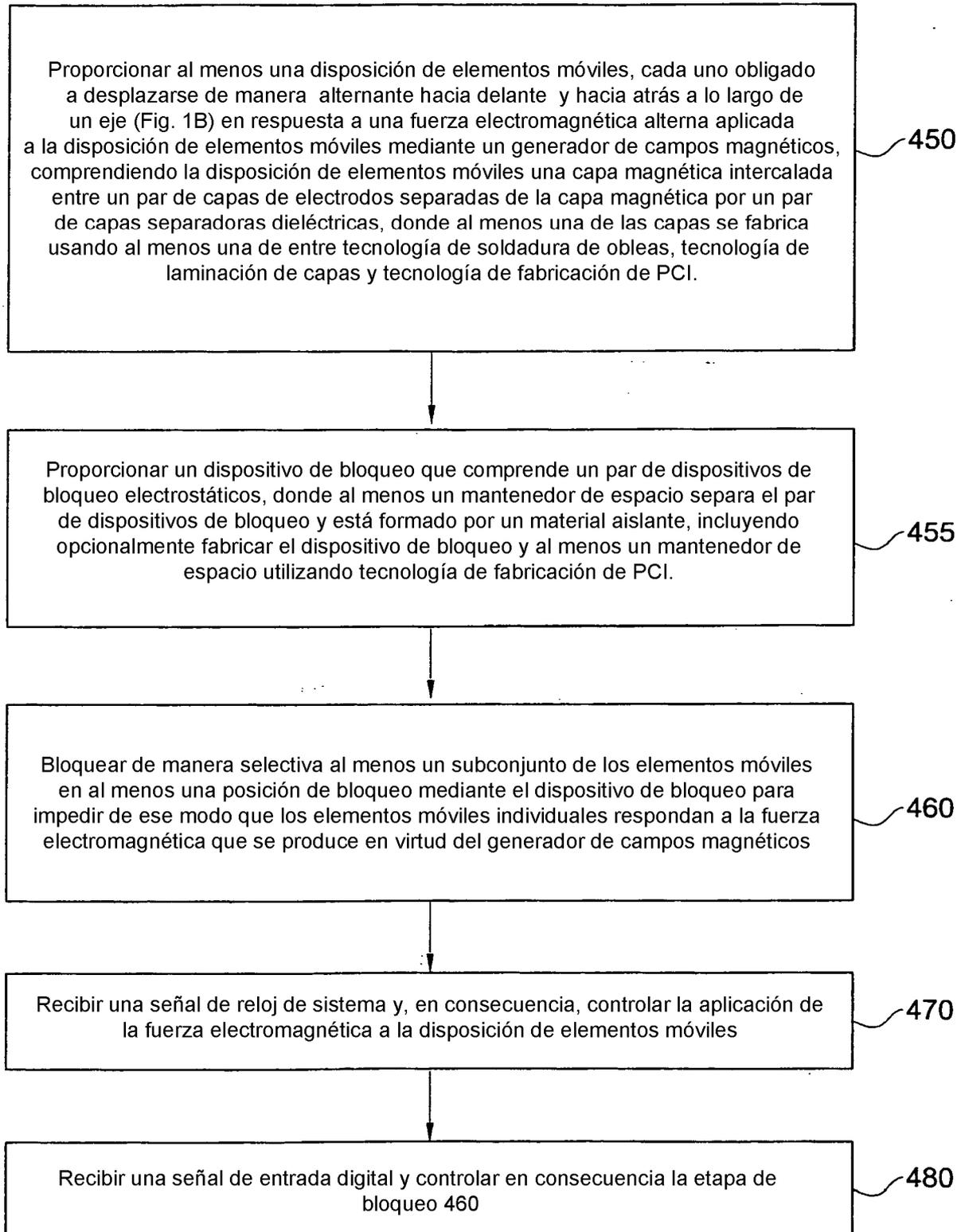


FIG. 4B

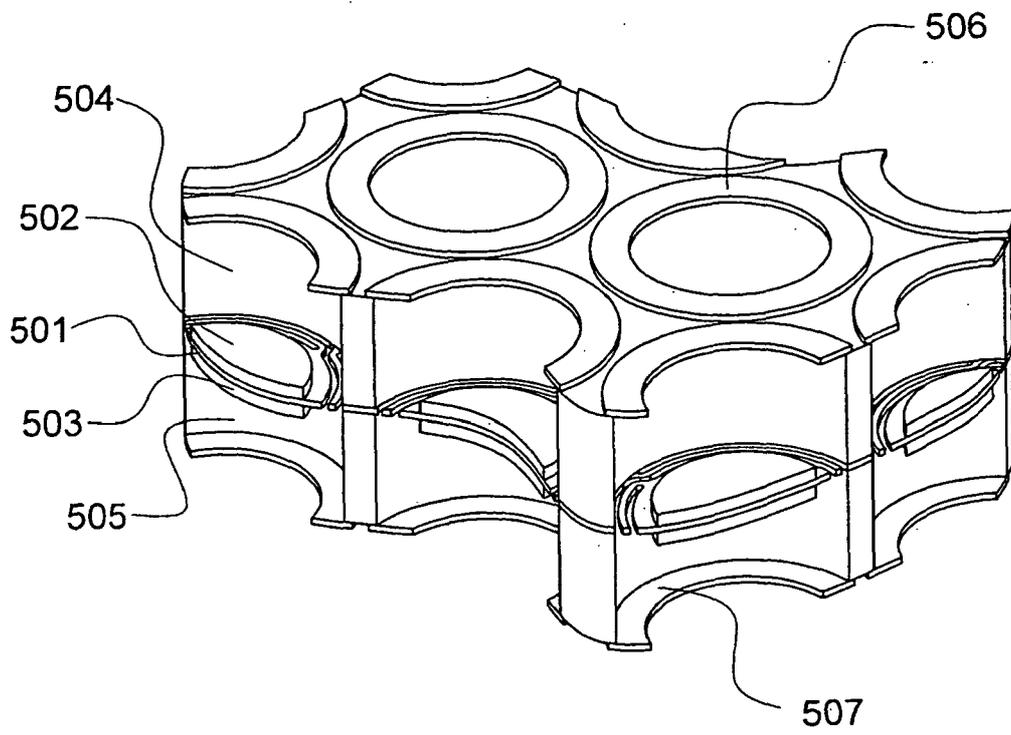


Fig. 5

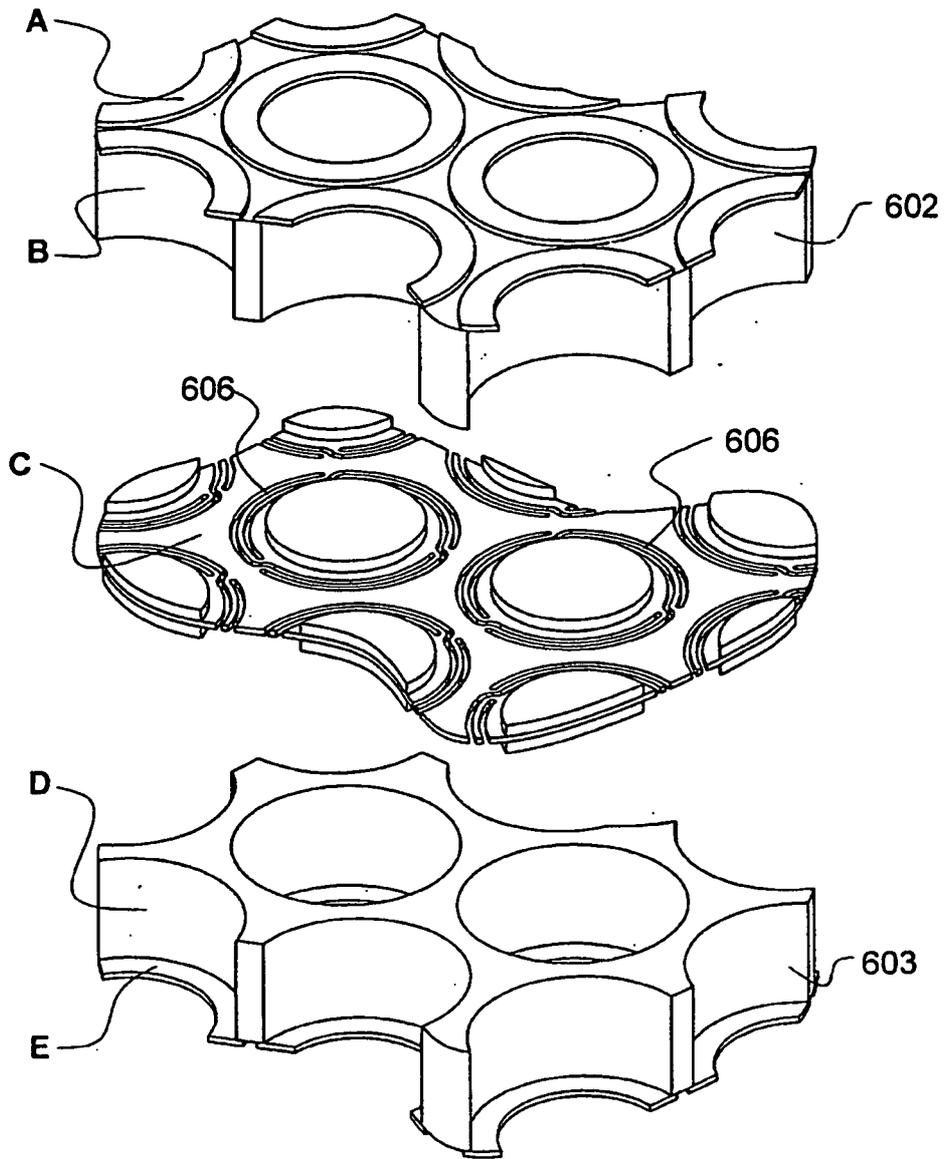


Fig. 6A

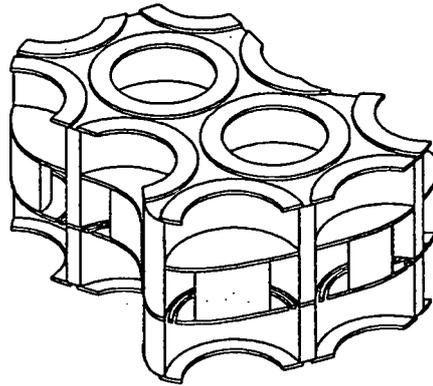


Fig. 6B

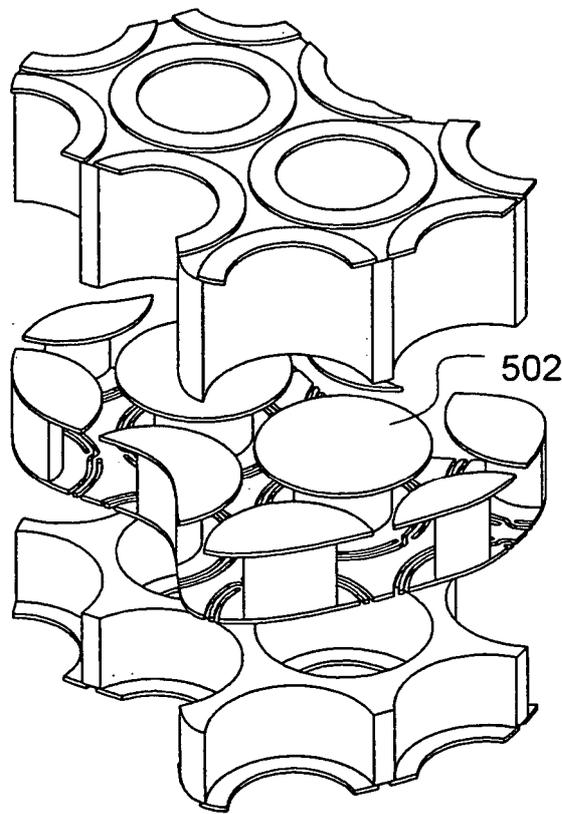


Fig. 6C

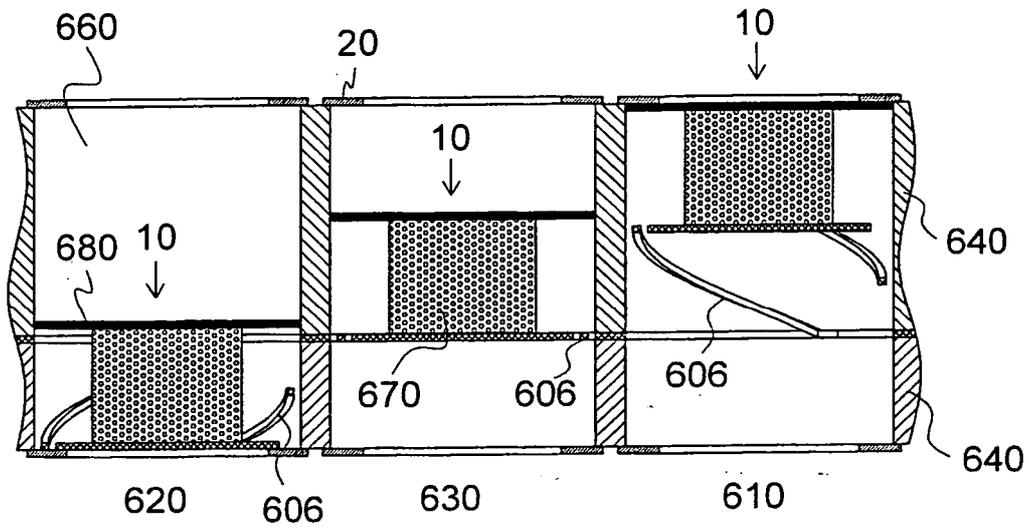


Fig. 6D

Sombreado		Representa
	I	Dispositivo de bloqueo electrostático
	II	Junta obturadora
	III	Imán
	IV	Flexura
	V	Separador superior
	VI	Separador inferior

Fig. 6E

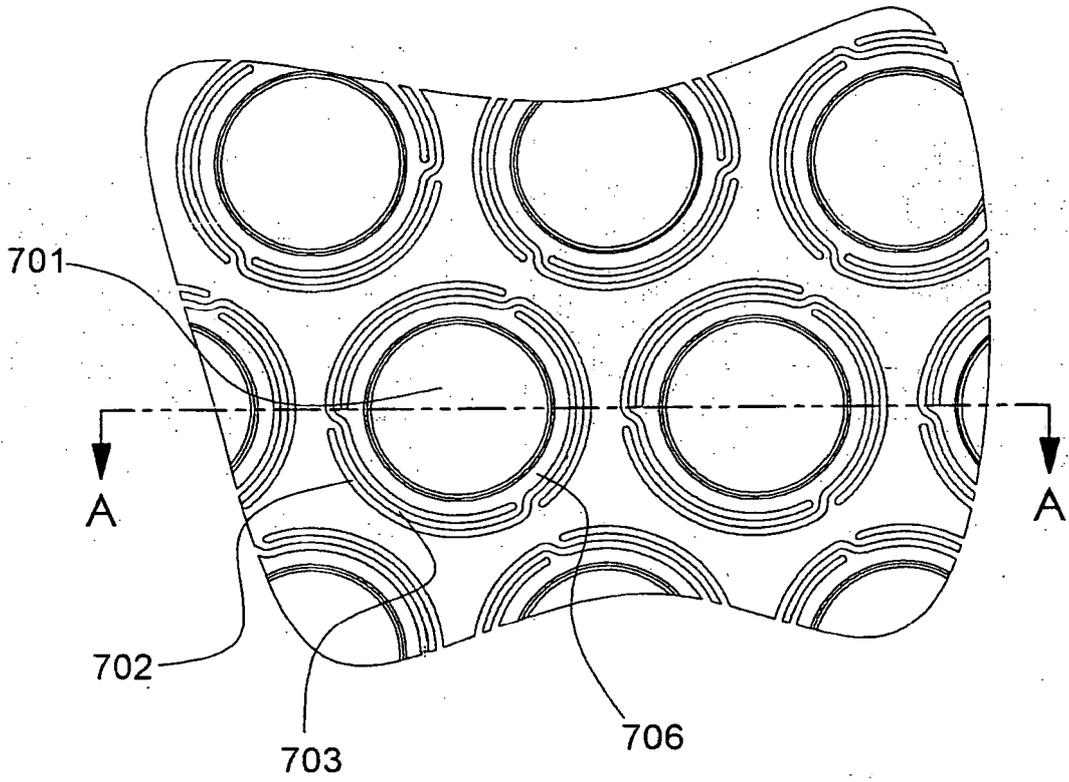


Fig. 7A

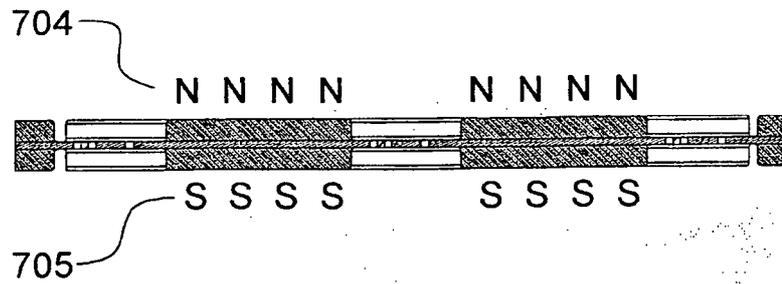


Fig. 7B

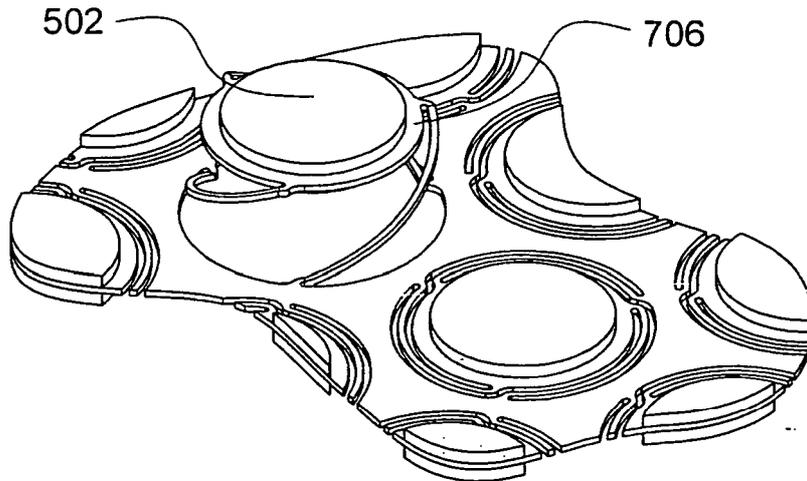


Fig. 7C

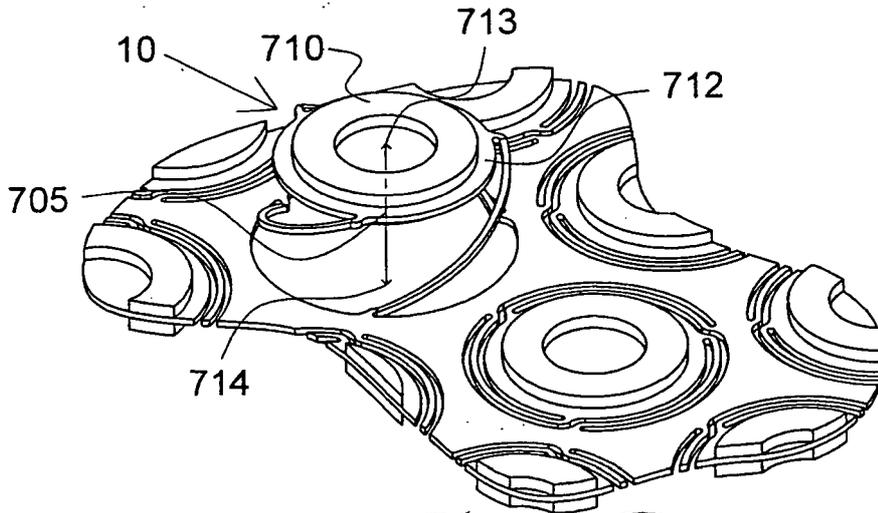


Fig. 7D

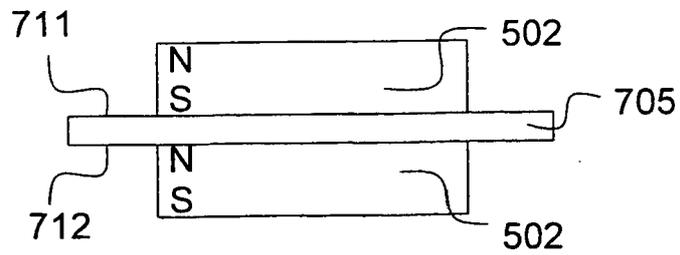


Fig. 7E

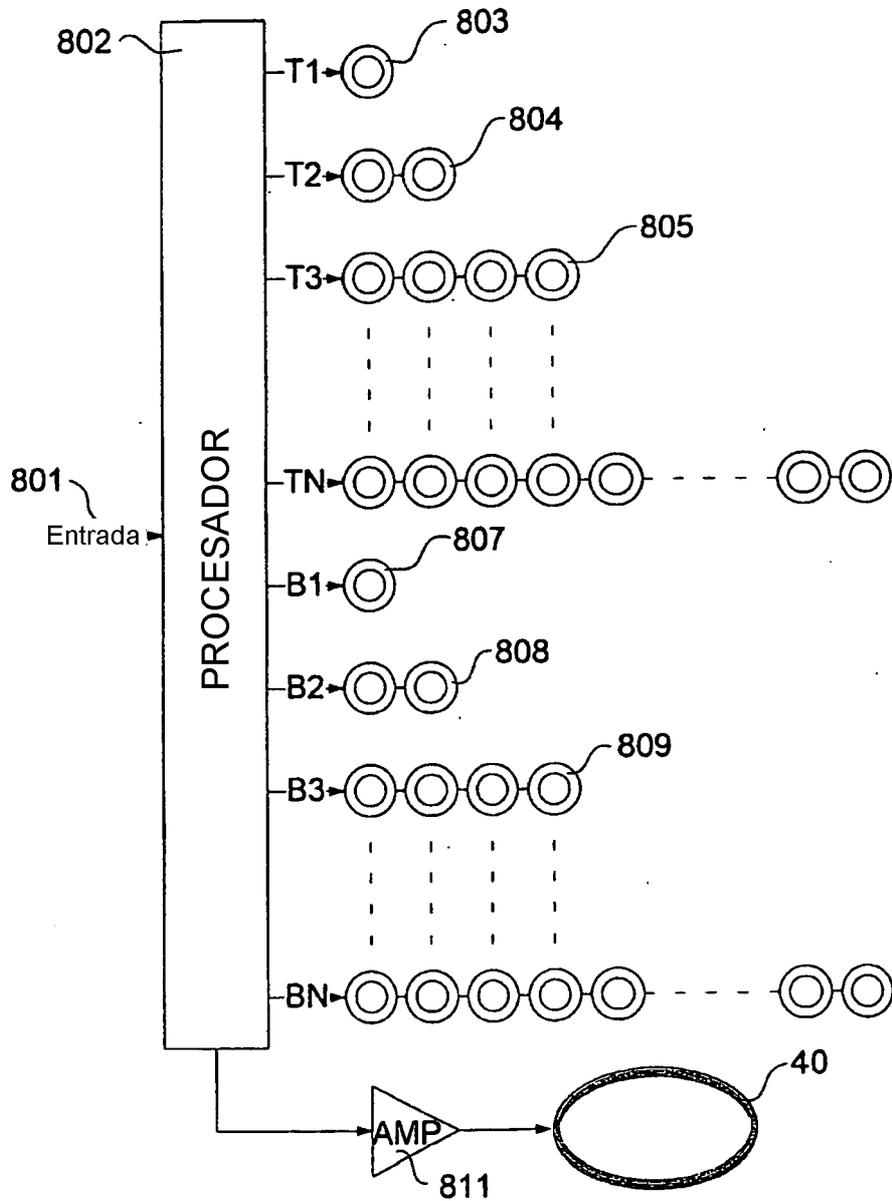


Fig. 8A

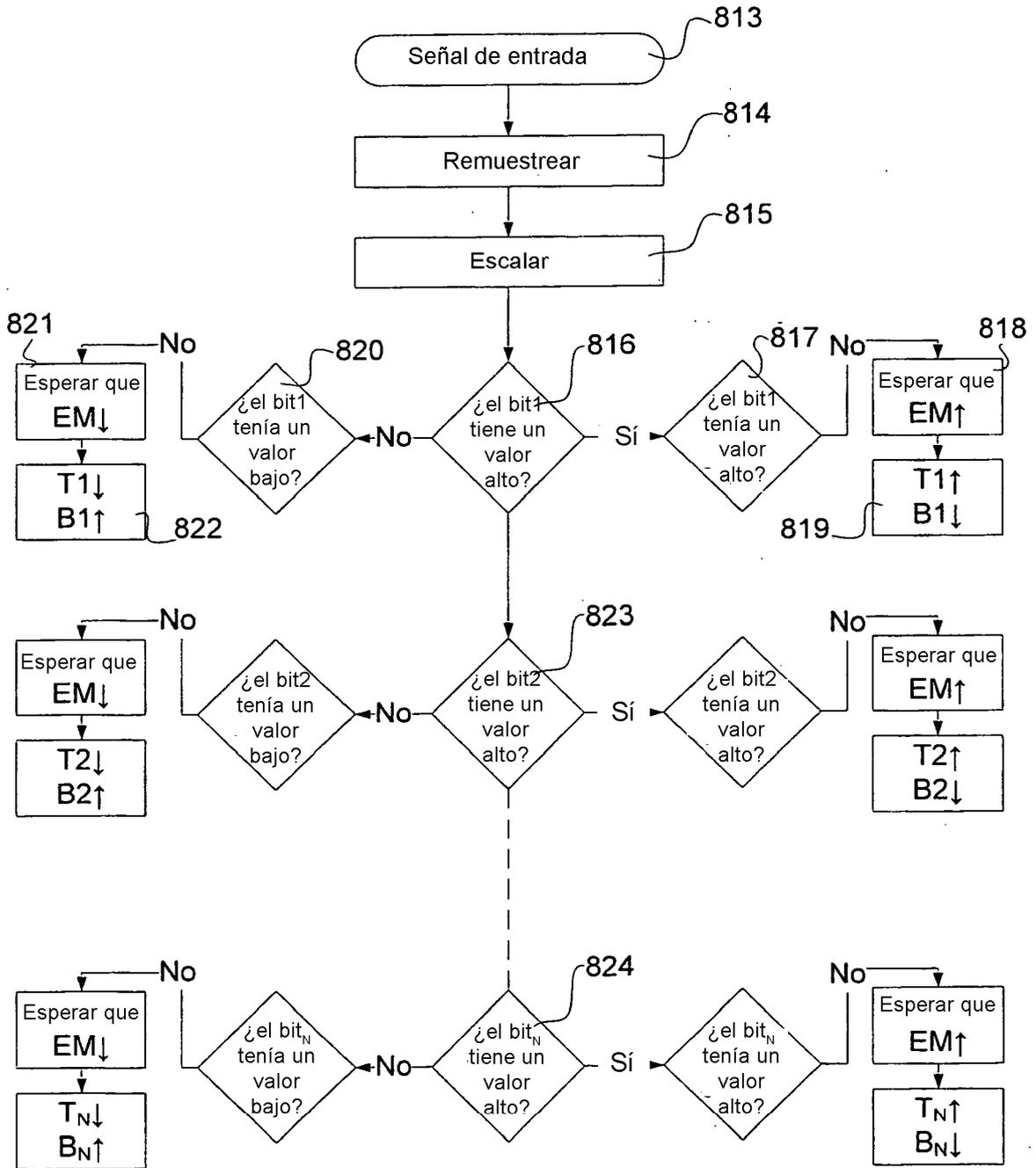


Fig. 8B

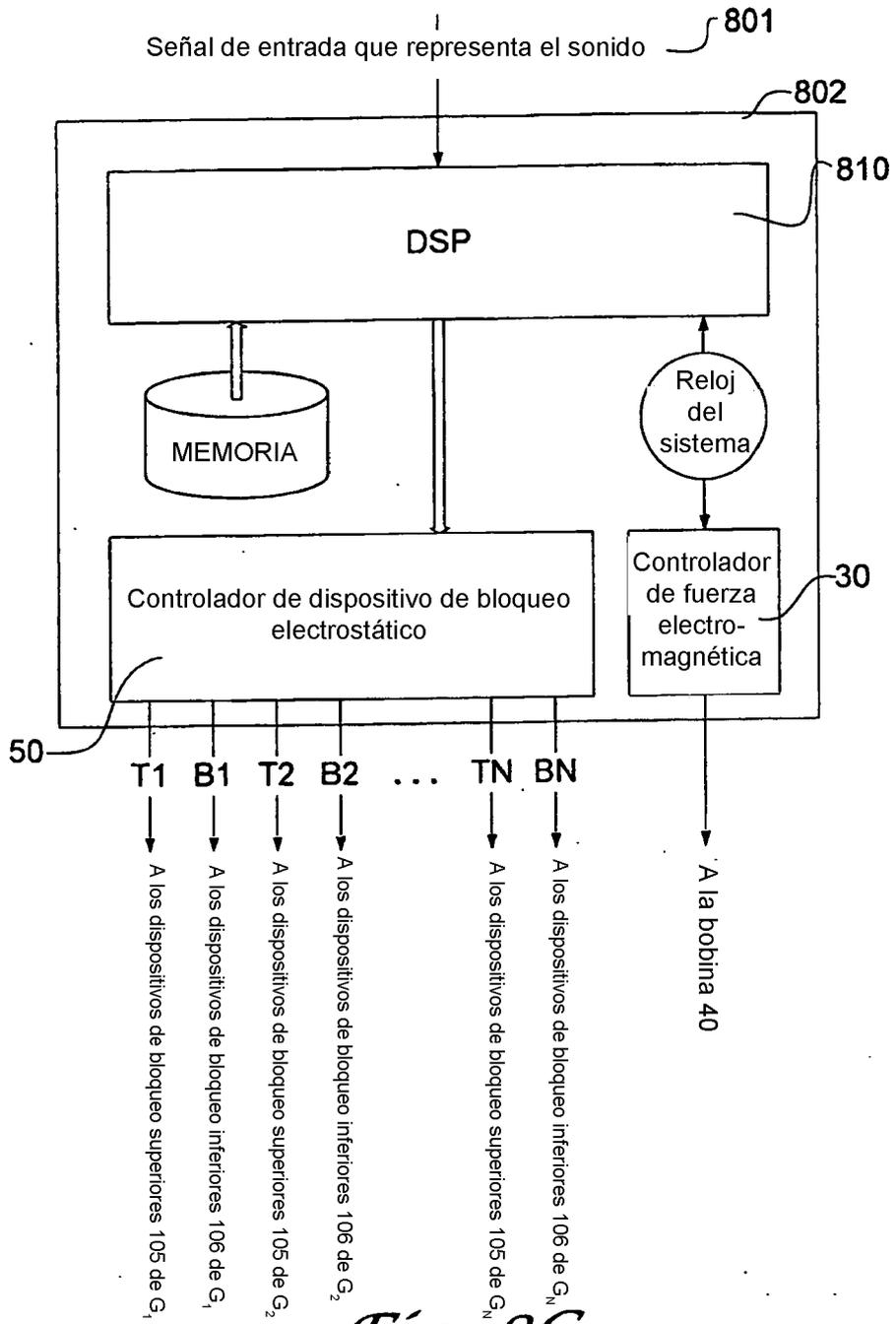


Fig. 8C

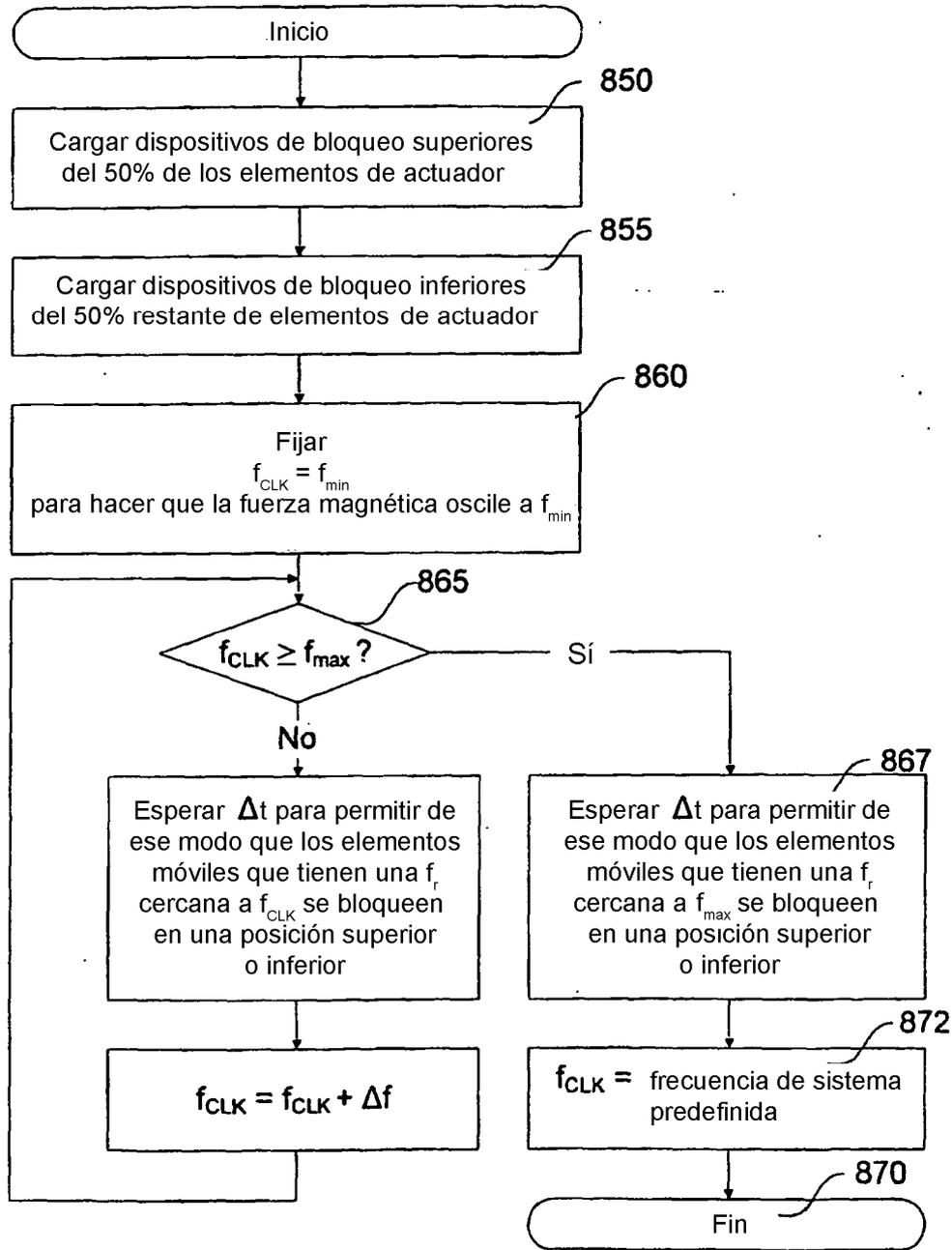


Fig. 8D

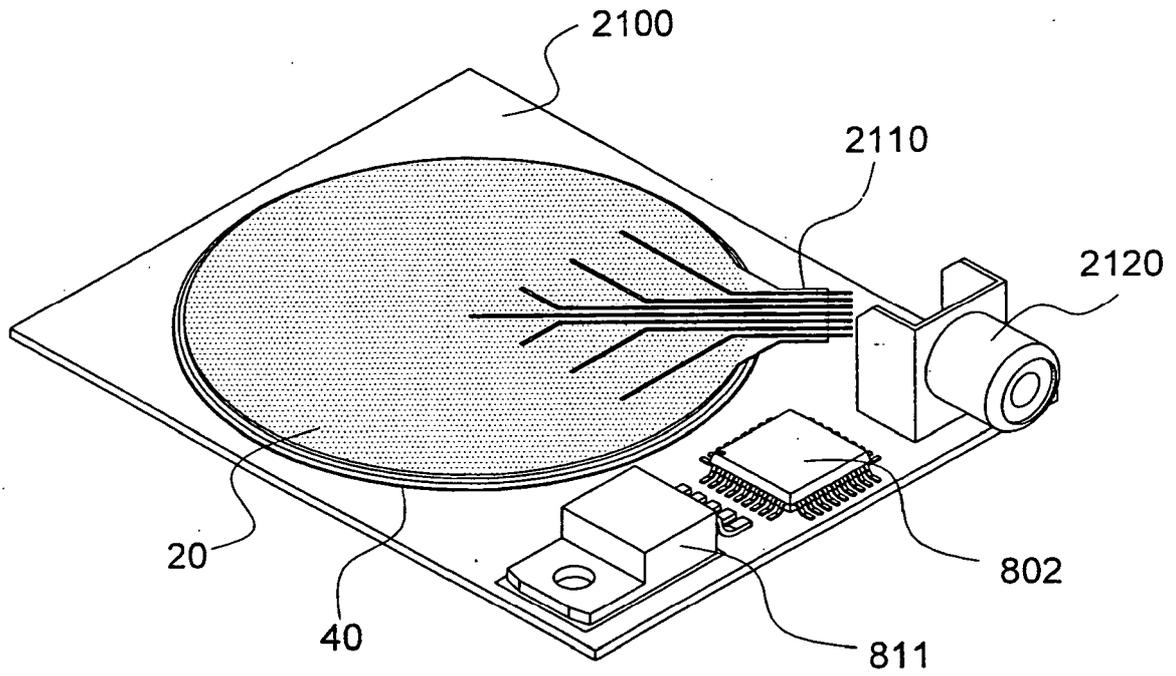


Fig. 8E

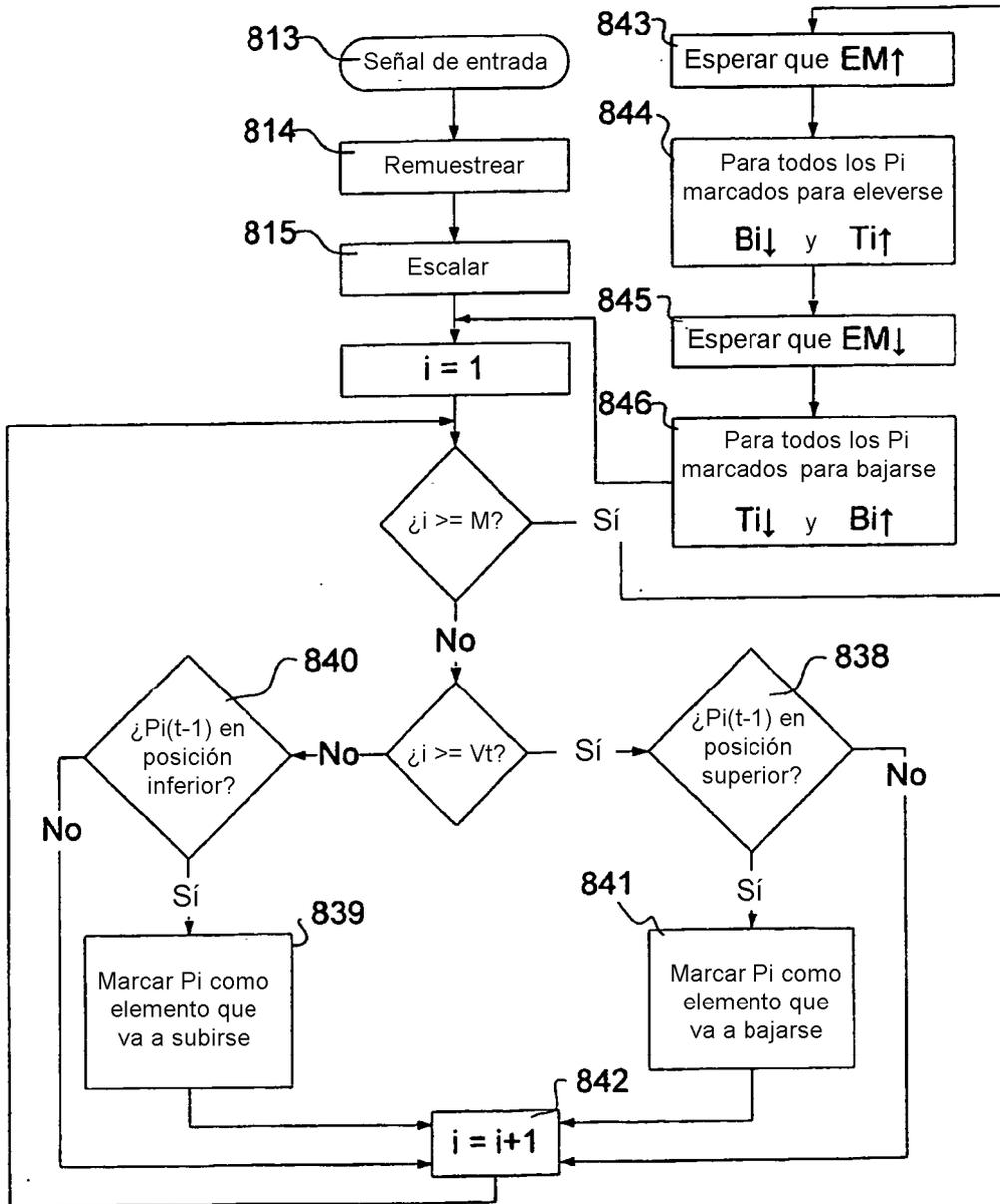


Fig. 8F

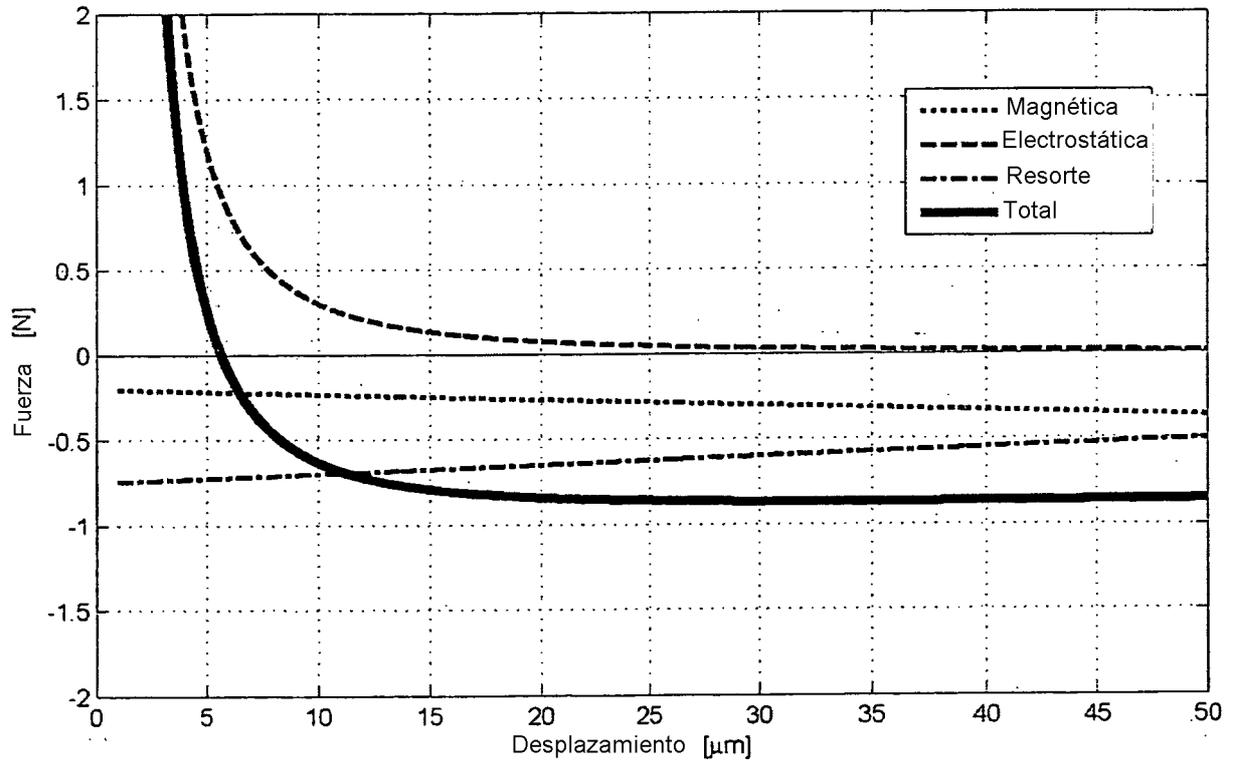


Fig. 9A

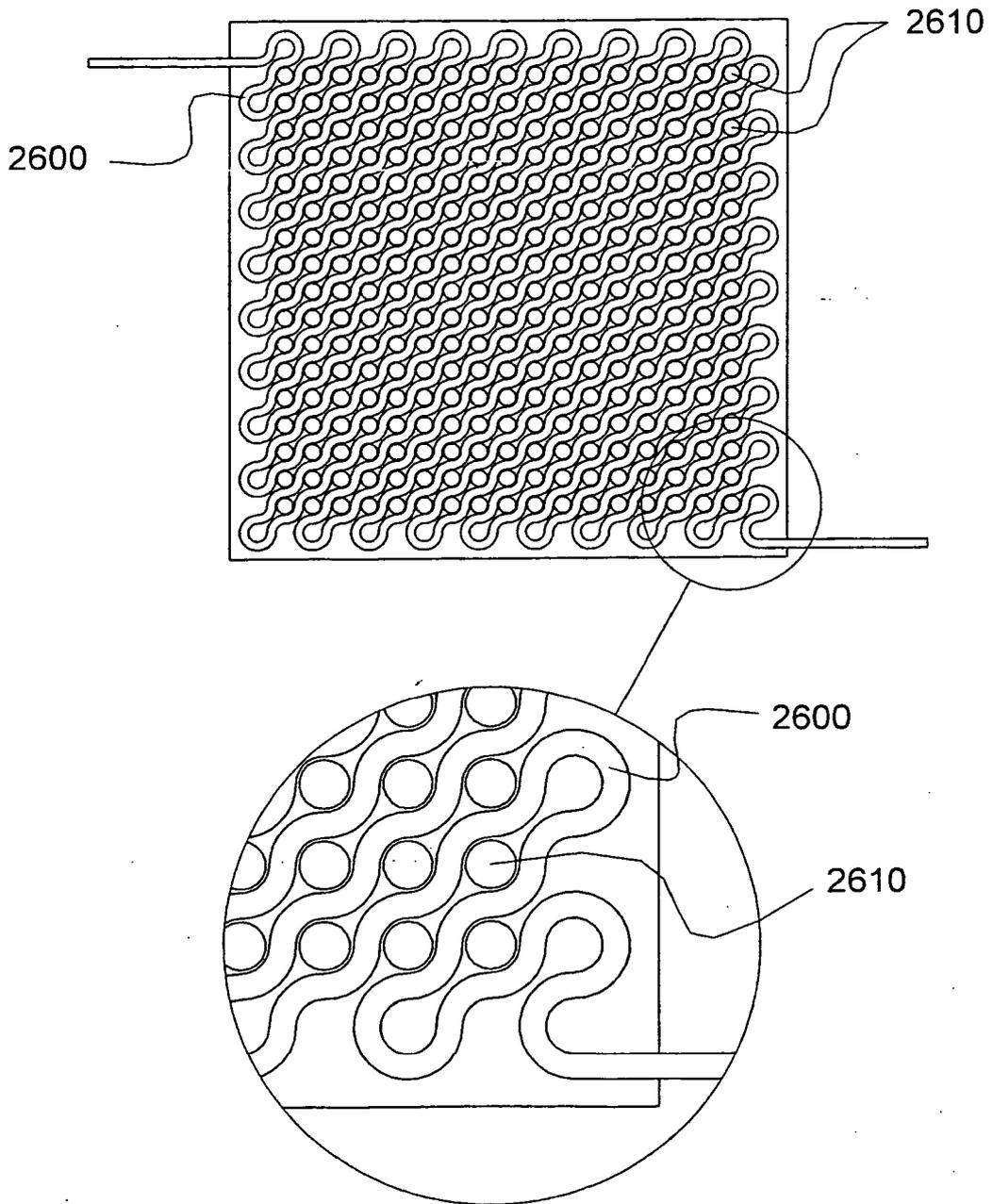


Fig. 9B

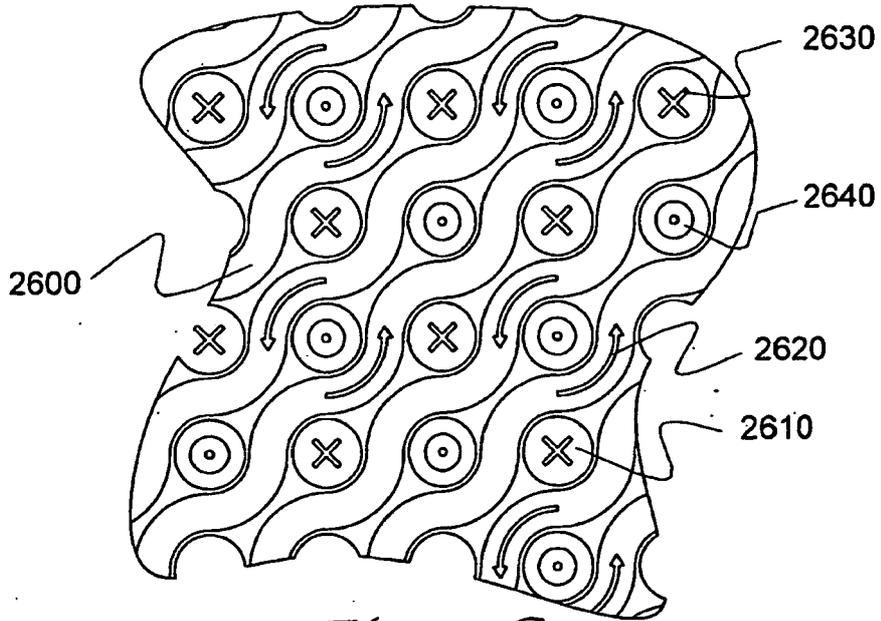


Fig. 9C

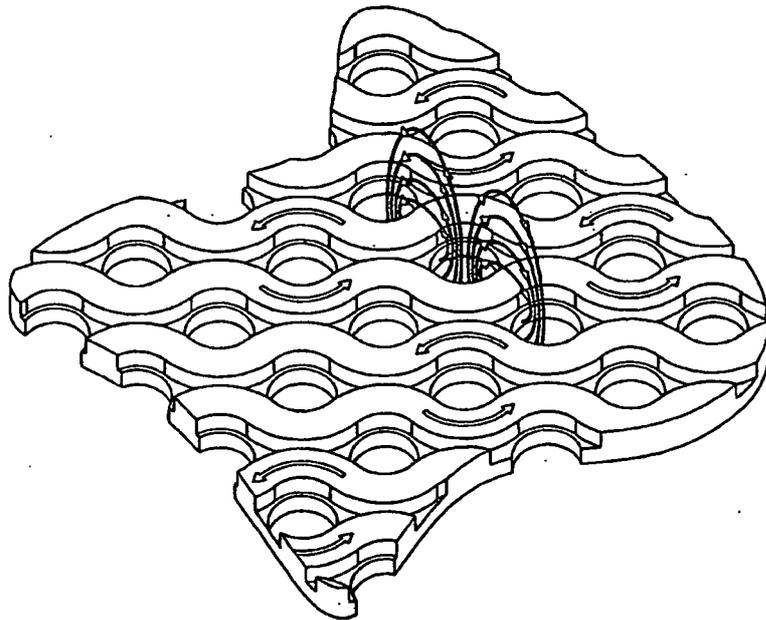
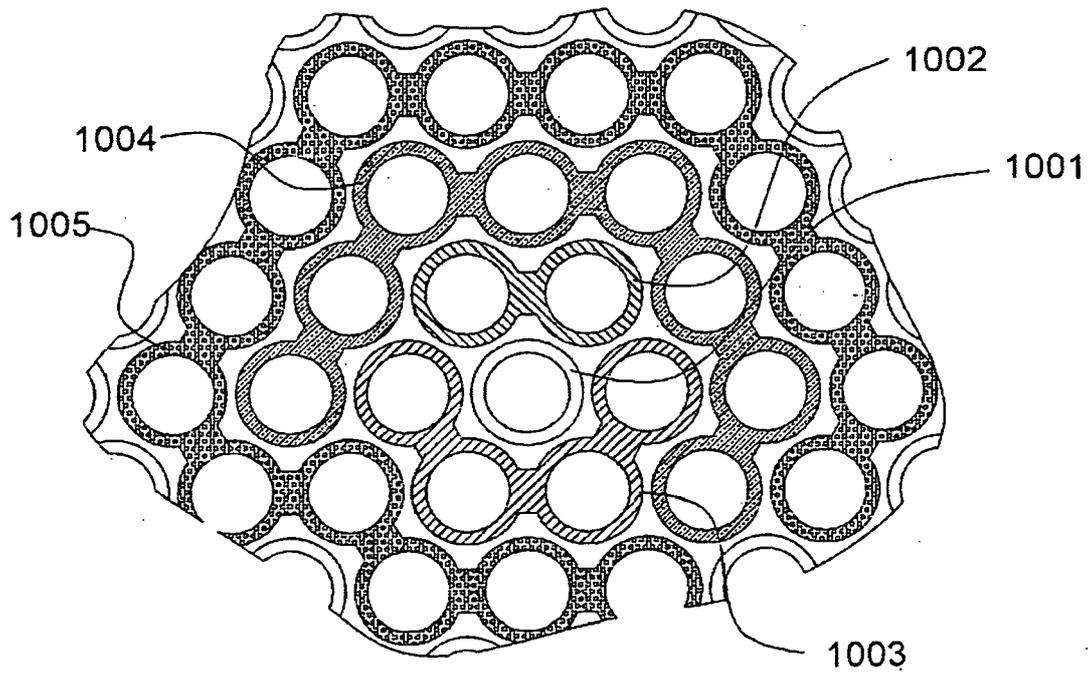


Fig. 9D



-  =G1, G6
-  =G2
-  =G3
-  =G4
-  =G5

Fig. 10A

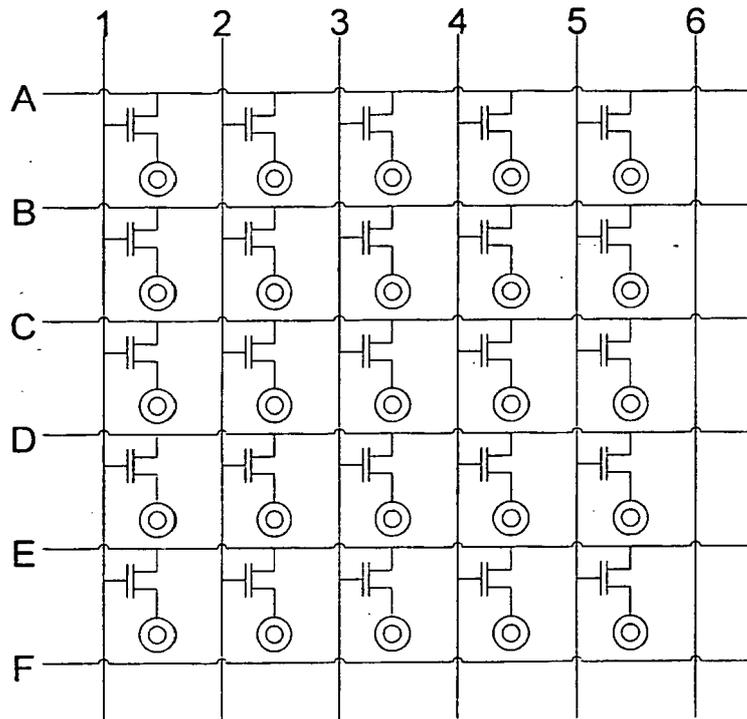


Fig. 10B

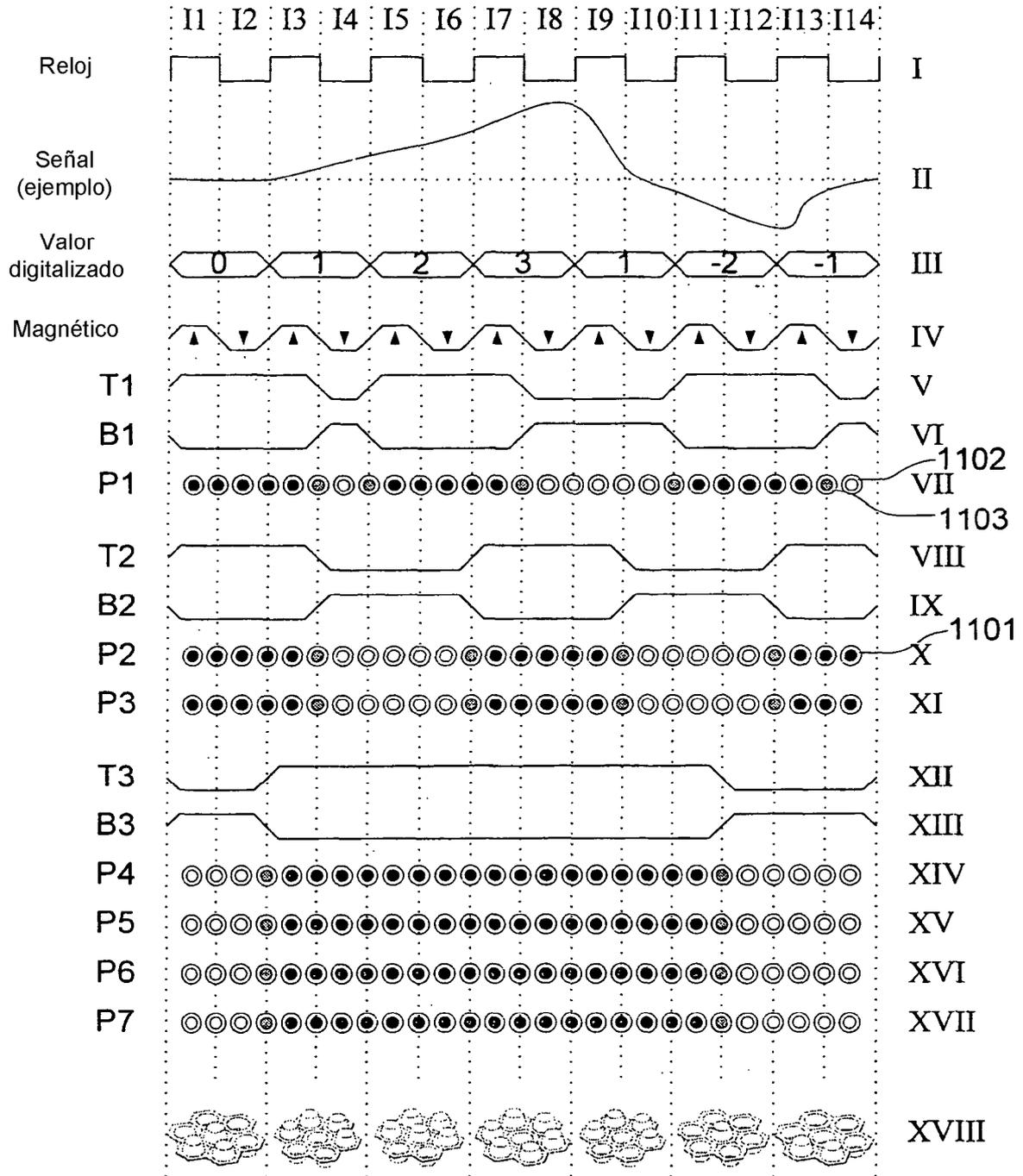


Fig. 11A

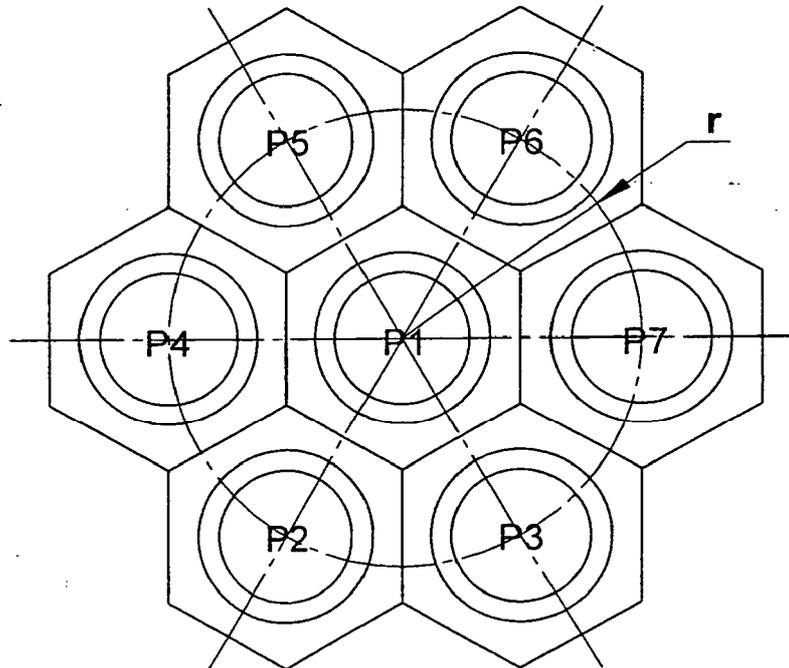


Fig. 11B

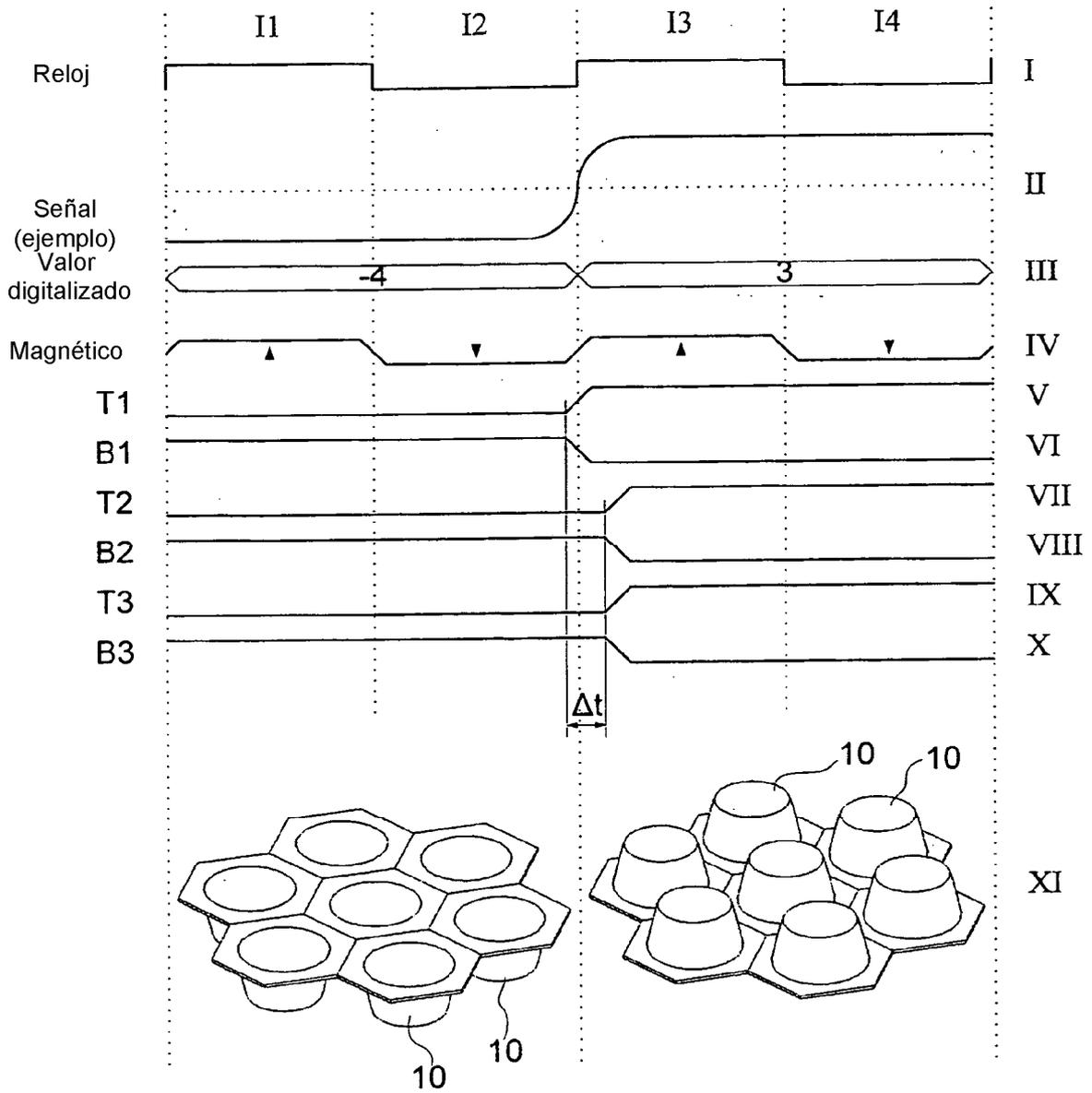


Fig. 11C

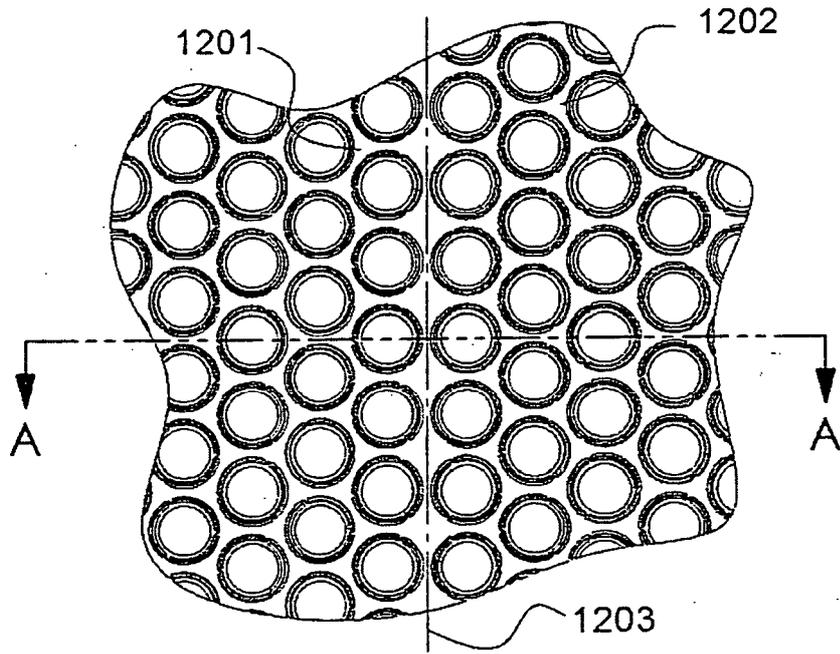


Fig. 12A

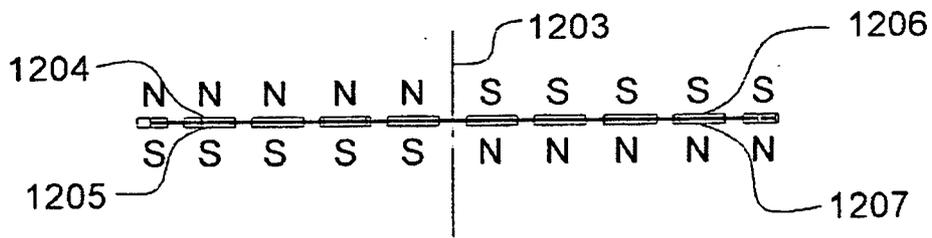


Fig. 12B

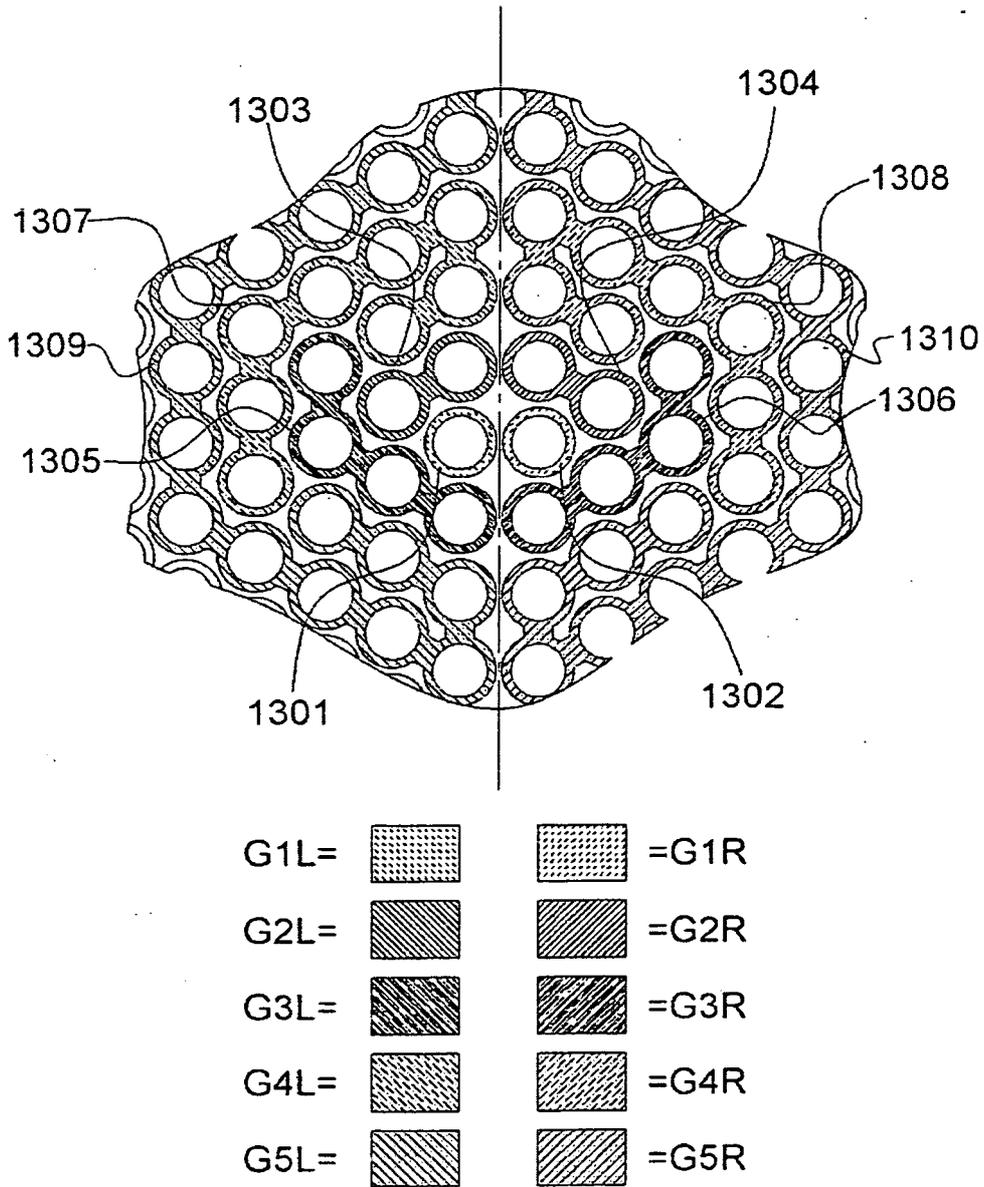


Fig. 13

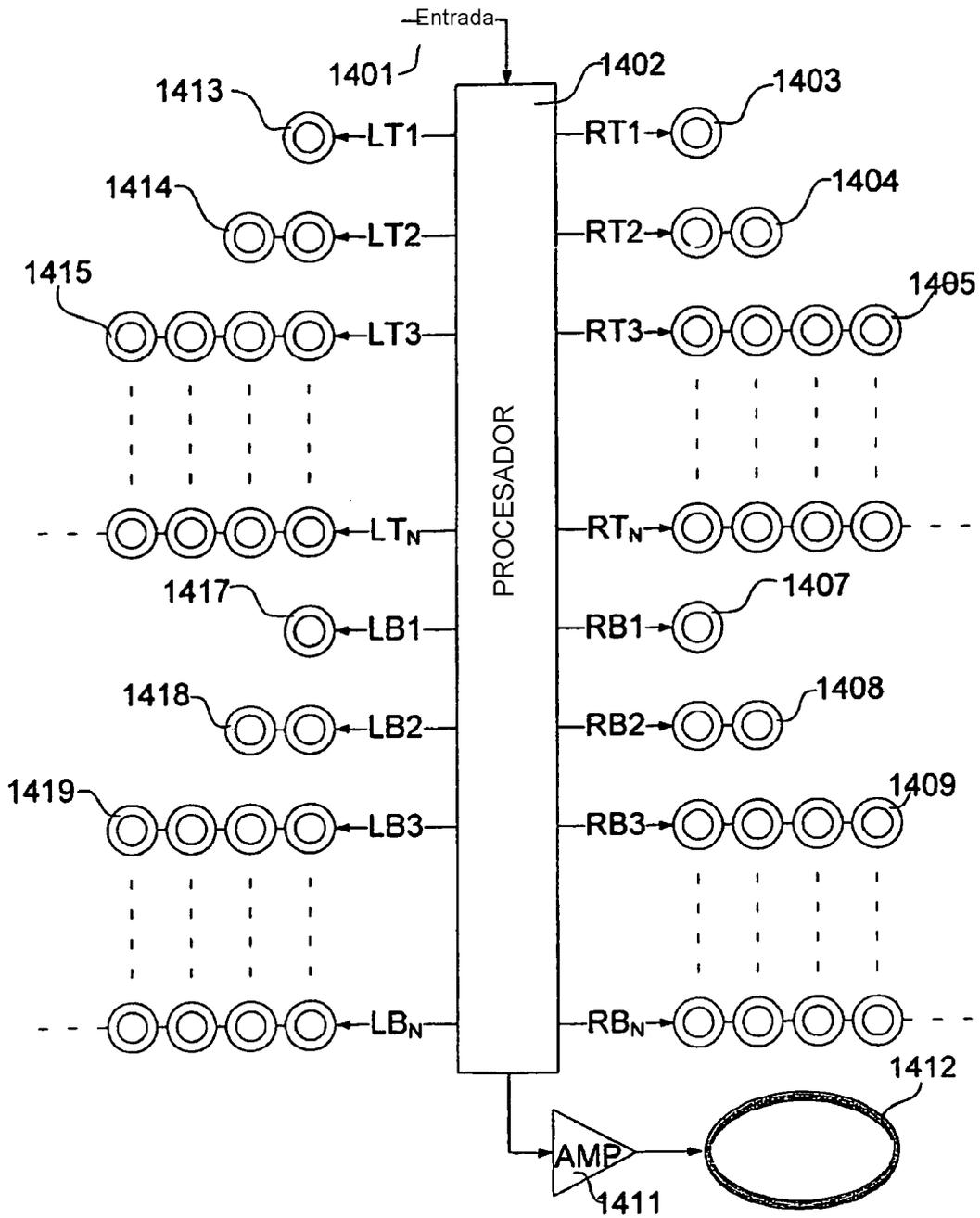


Fig. 14

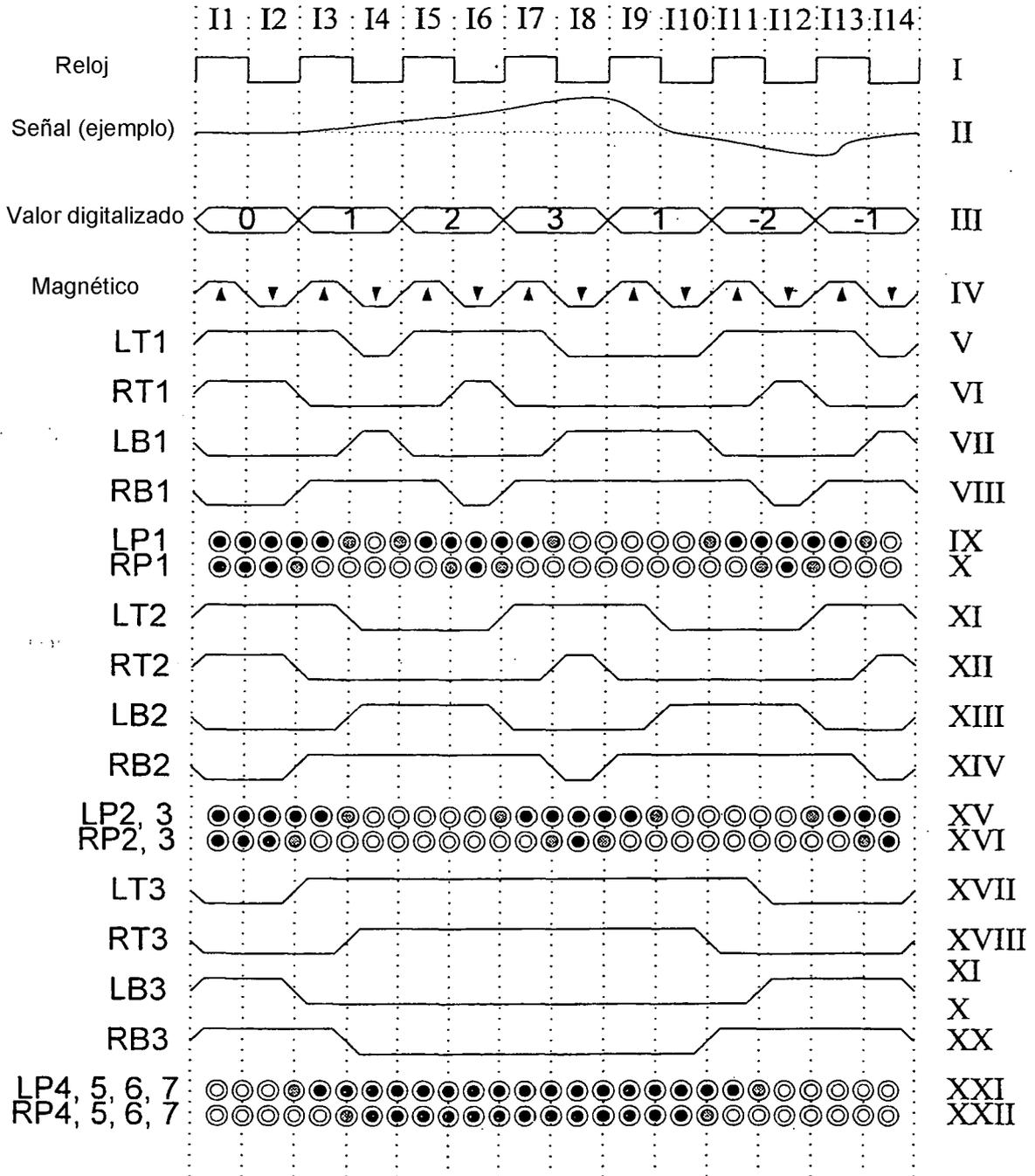


Fig. 15A

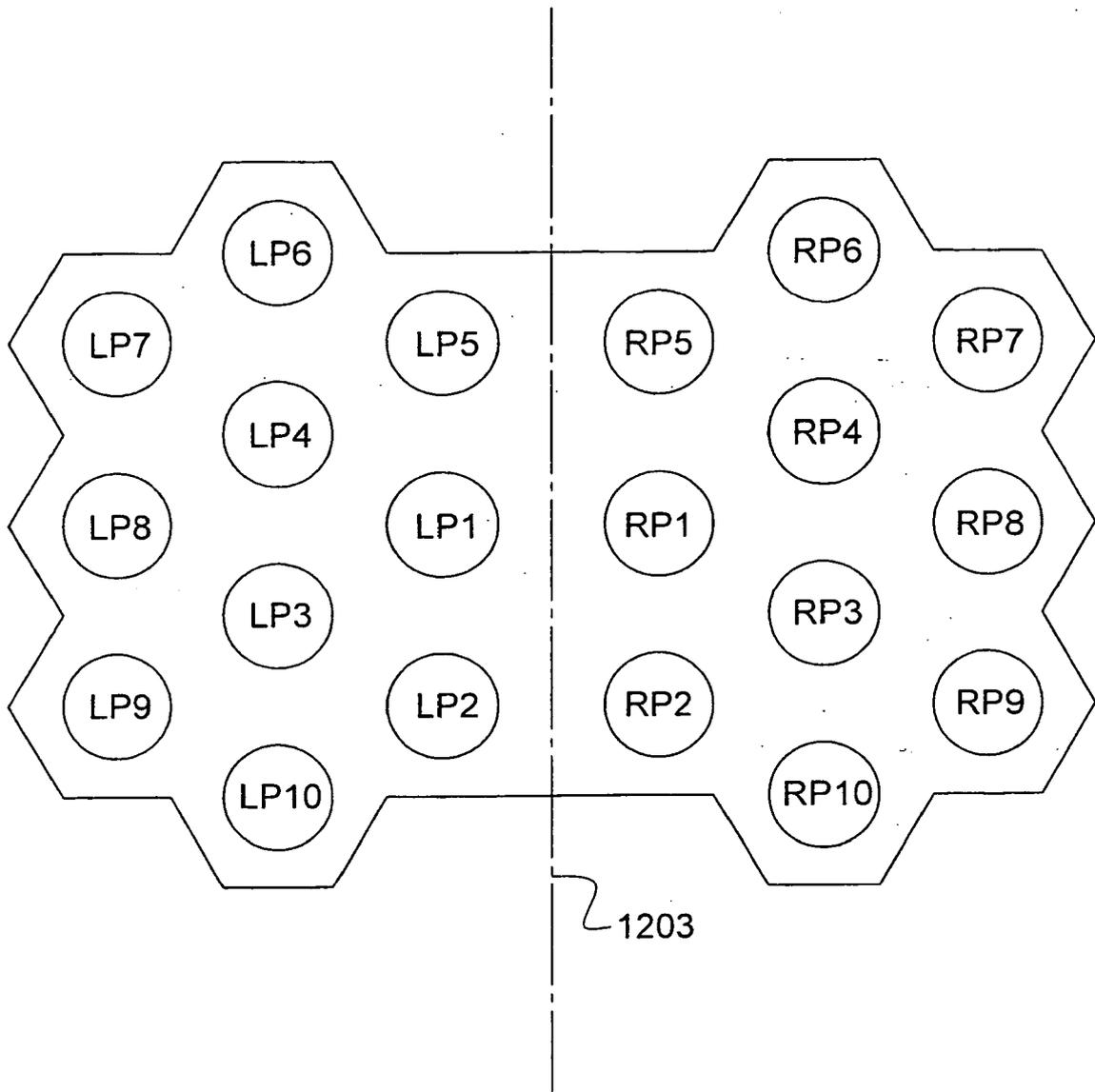


Fig. 15B

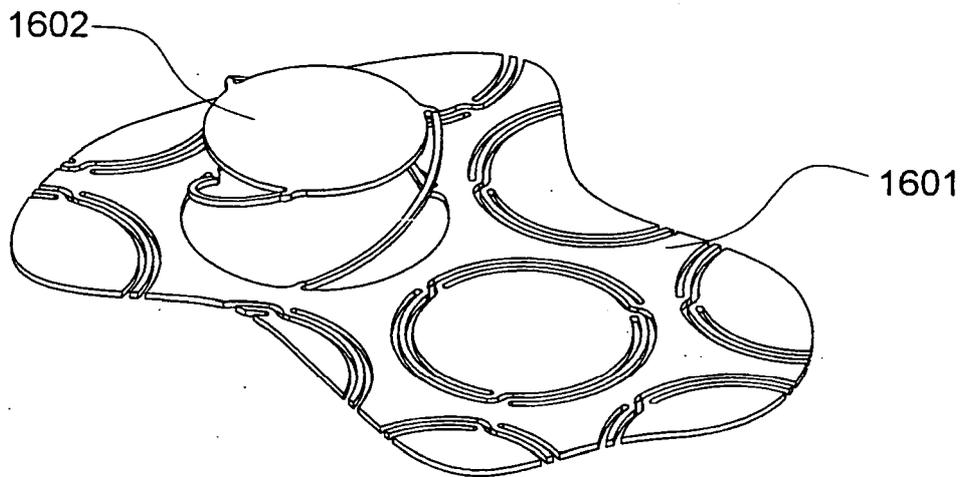


Fig. 16A

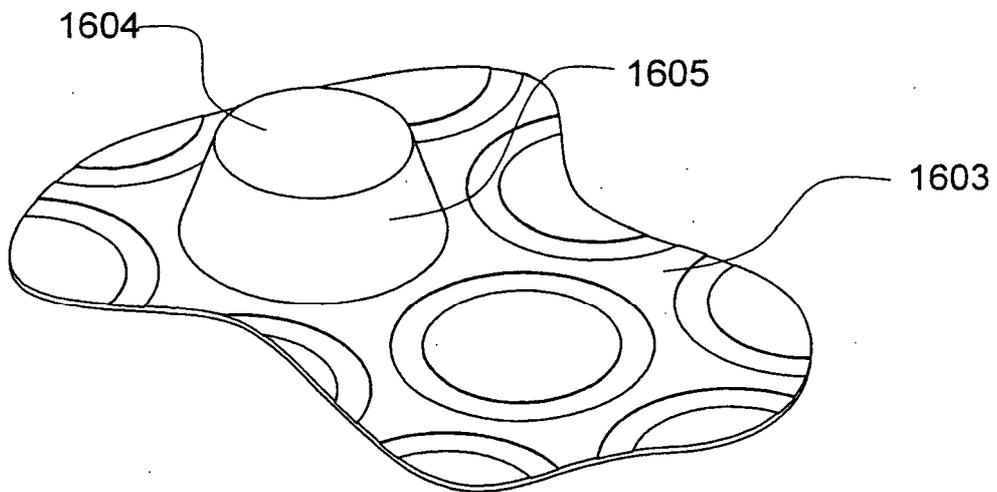


Fig. 16B

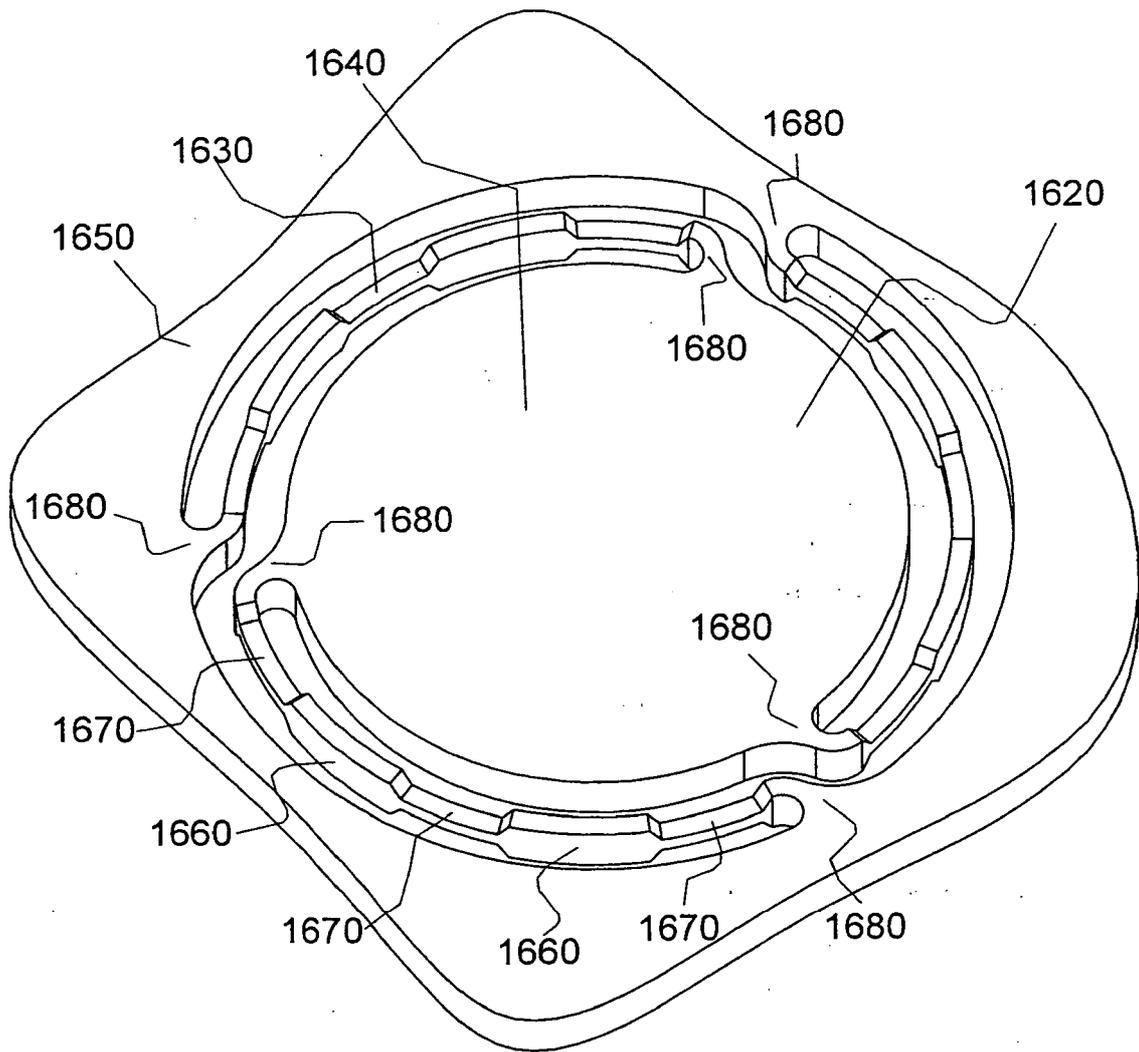


Fig. 16C

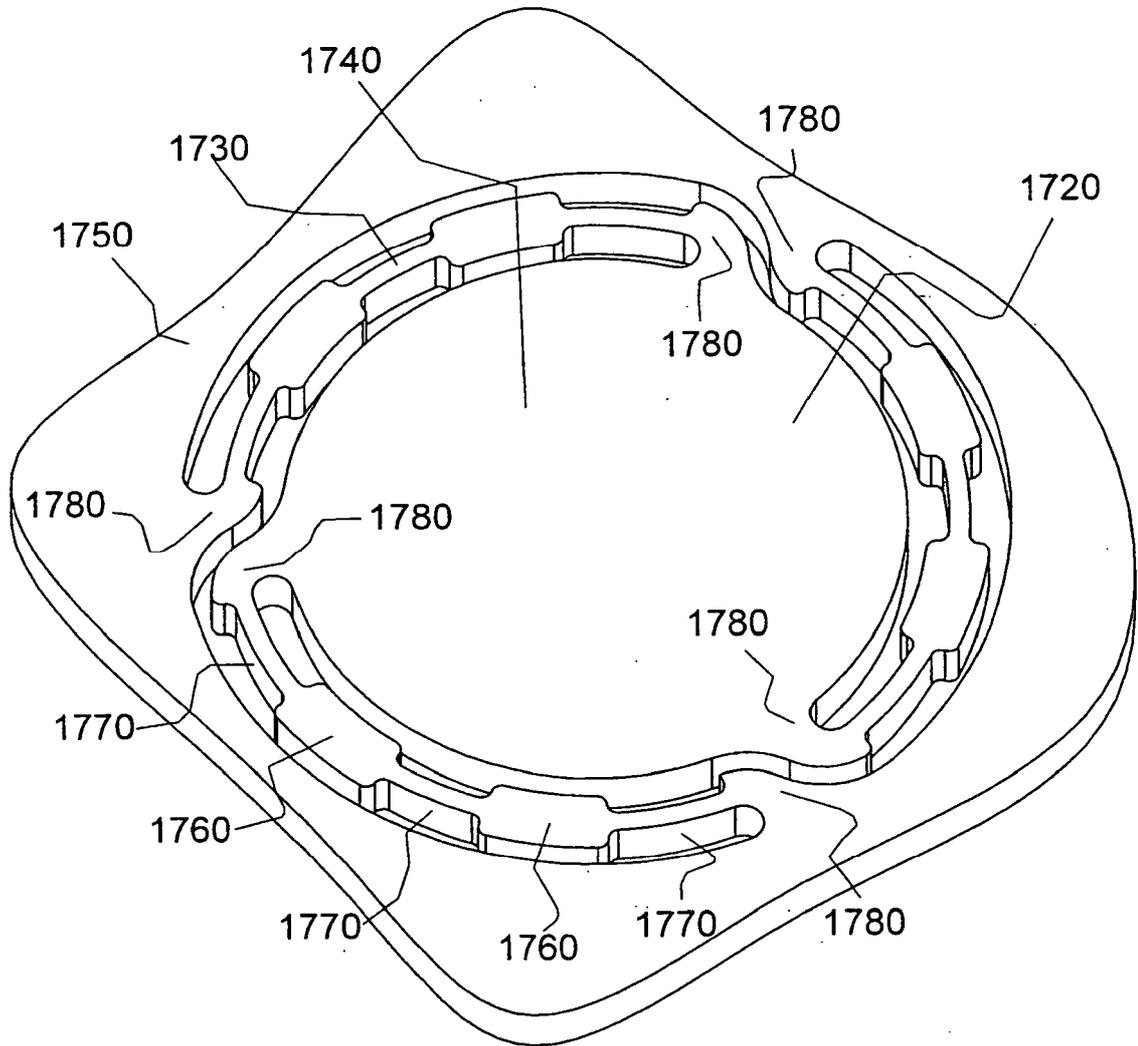


Fig. 16D

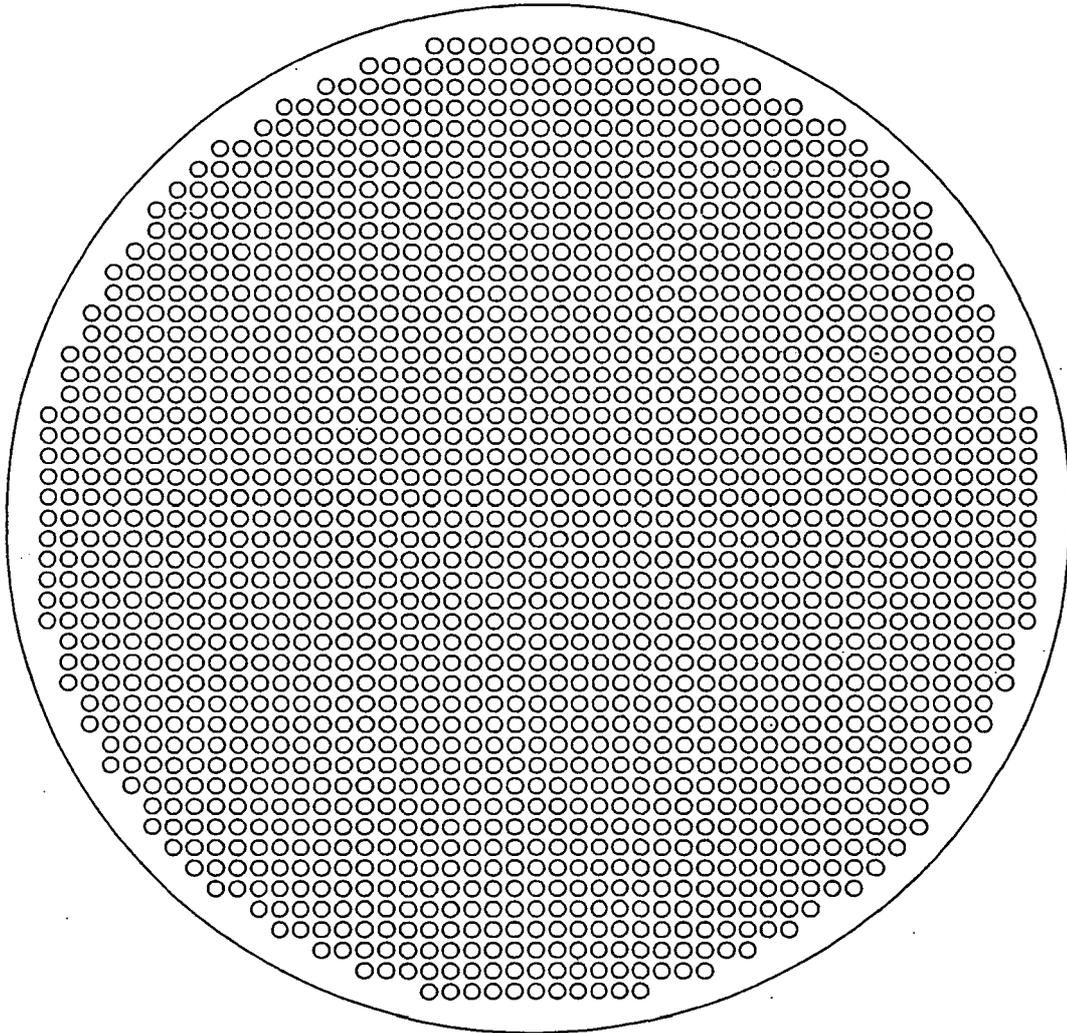


Fig. 17

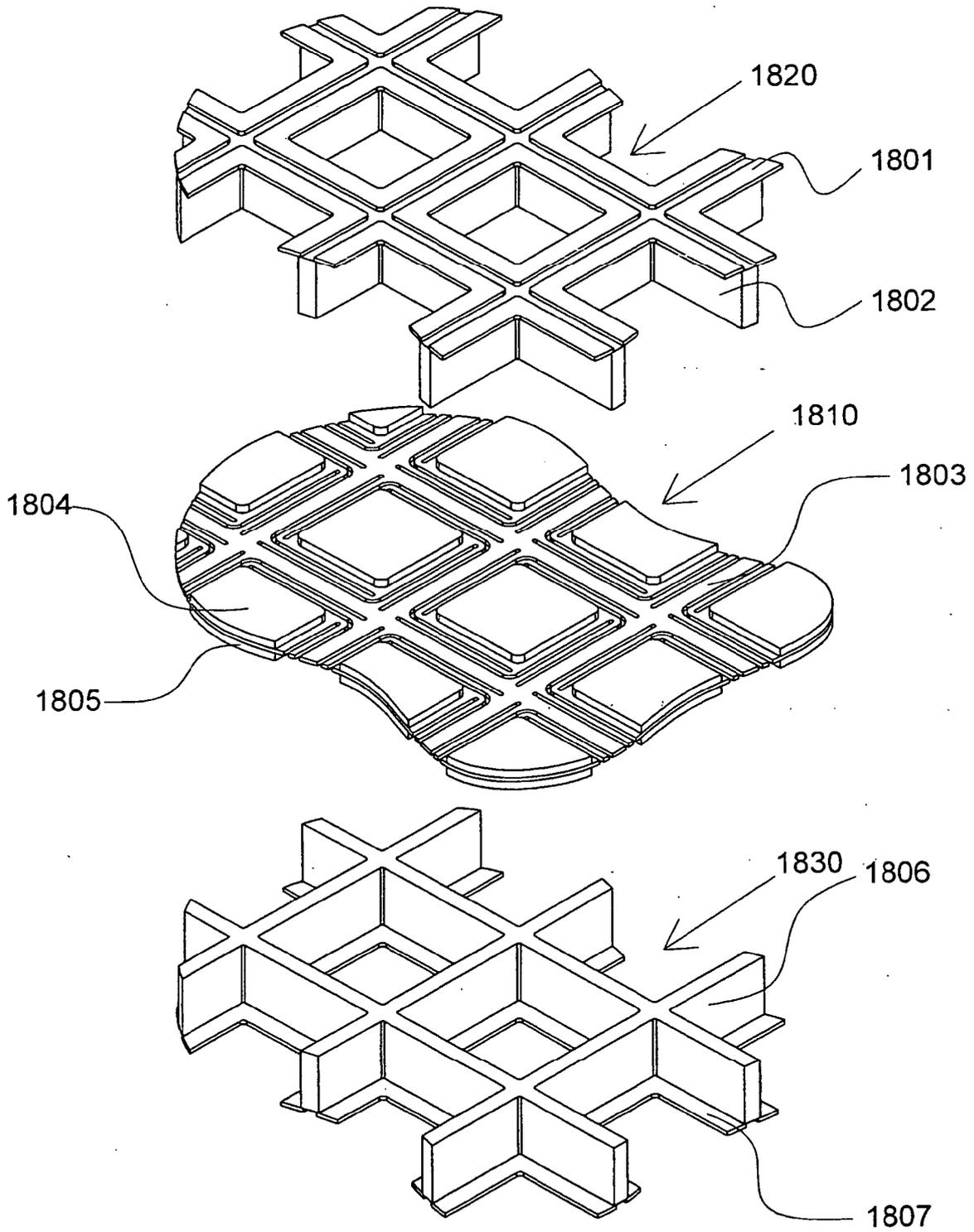


Fig. 18

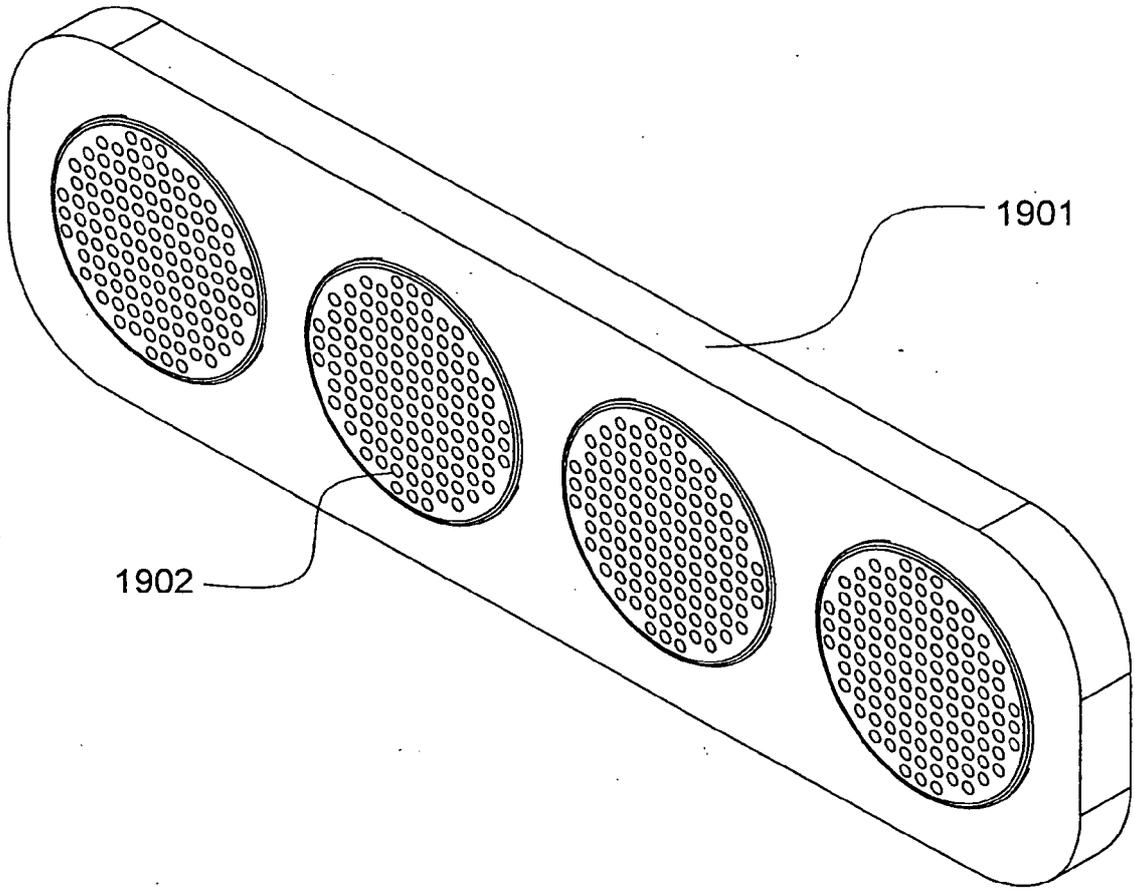
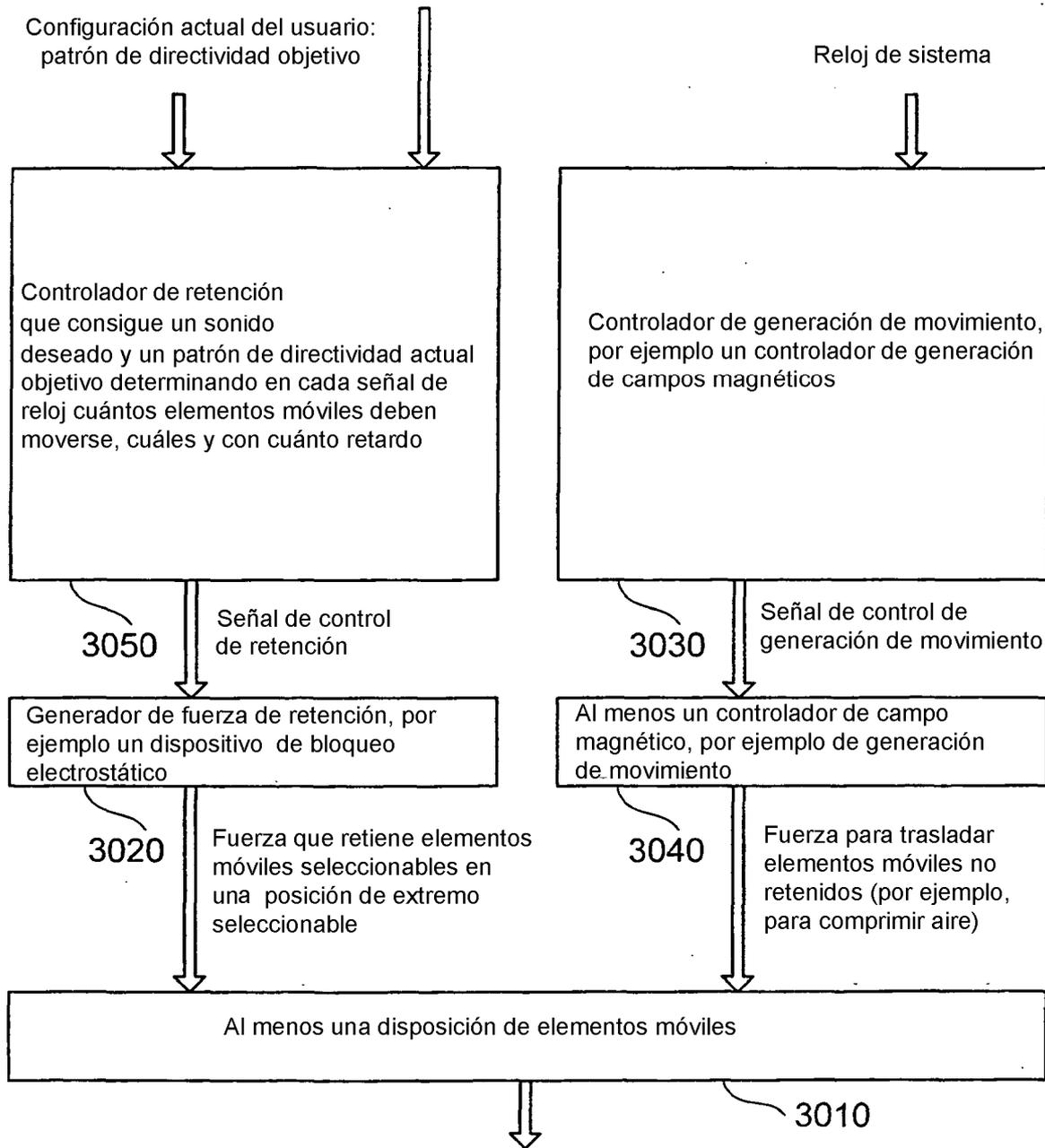


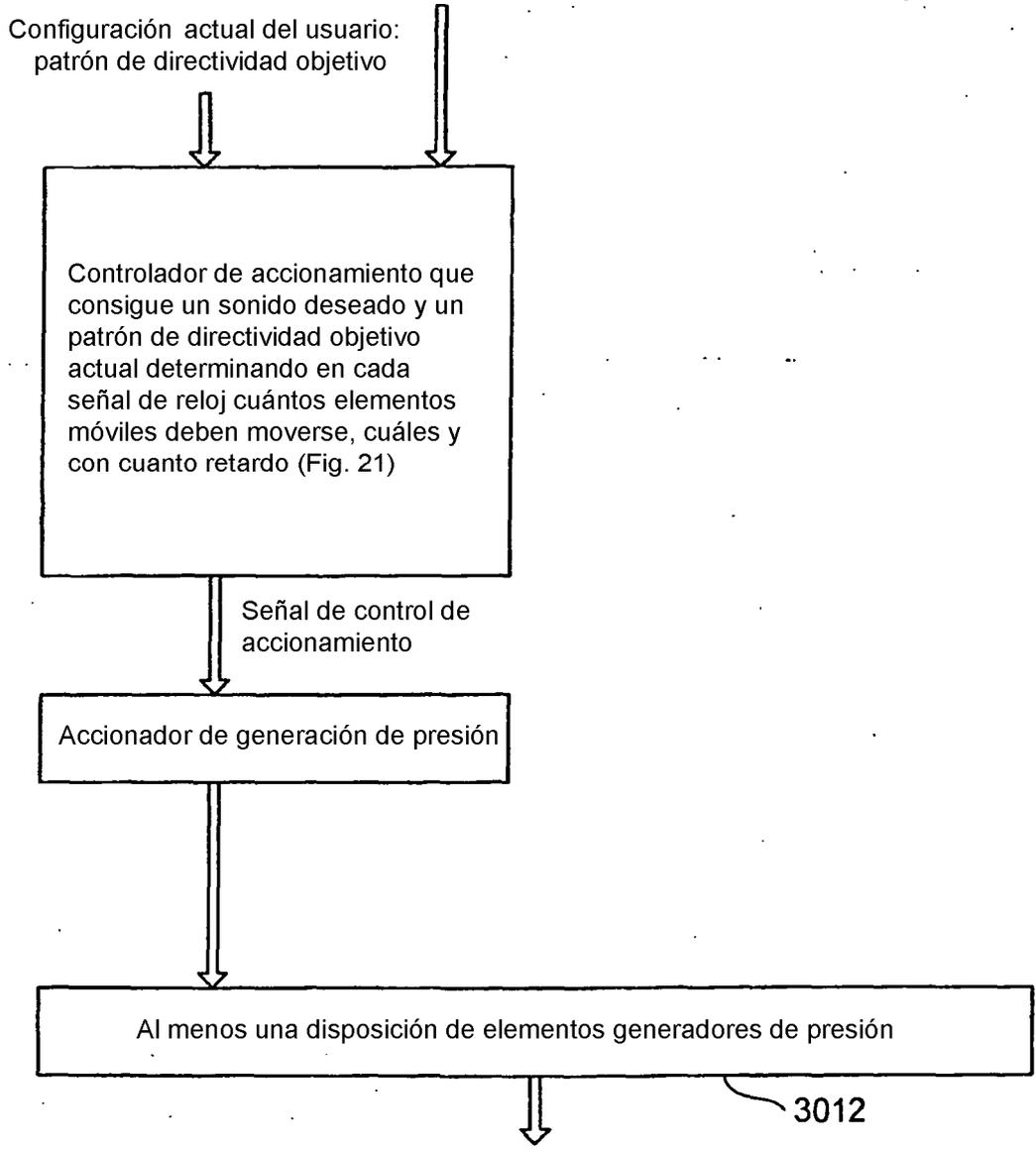
Fig. 19

Flujo de entrada: señal de entrada codificada digitalmente, muestreada a la tasa de muestreo del sistema y que representa un efecto físico deseado (por ejemplo, valor muestreado digitalmente = intensidad instantánea de sonido deseado)



Efecto físico, por ejemplo sonido, que se parece a la señal de entrada (por ejemplo, el número de elementos móviles no retenidos es proporcional a la intensidad de señal de entrada)

Flujo de entrada: señal de entrada codificada digitalmente, muestreada a la tasa de muestreo del sistema y que representa el efecto físico deseado (por ejemplo, valor muestreado digitalmente = intensidad instantánea de sonido deseado)



Efecto físico, por ejemplo sonido, que se parece a la señal de entrada (por ejemplo, el número de elementos móviles activos es proporcional a la intensidad de señal de entrada)

Fig. 20B

Flujo de entrada: señal de entrada codificada digitalmente, muestreada a la tasa de muestreo del sistema y que representa el efecto físico deseado (por ejemplo, valor muestreado digitalmente = intensidad instantánea de sonido deseado)

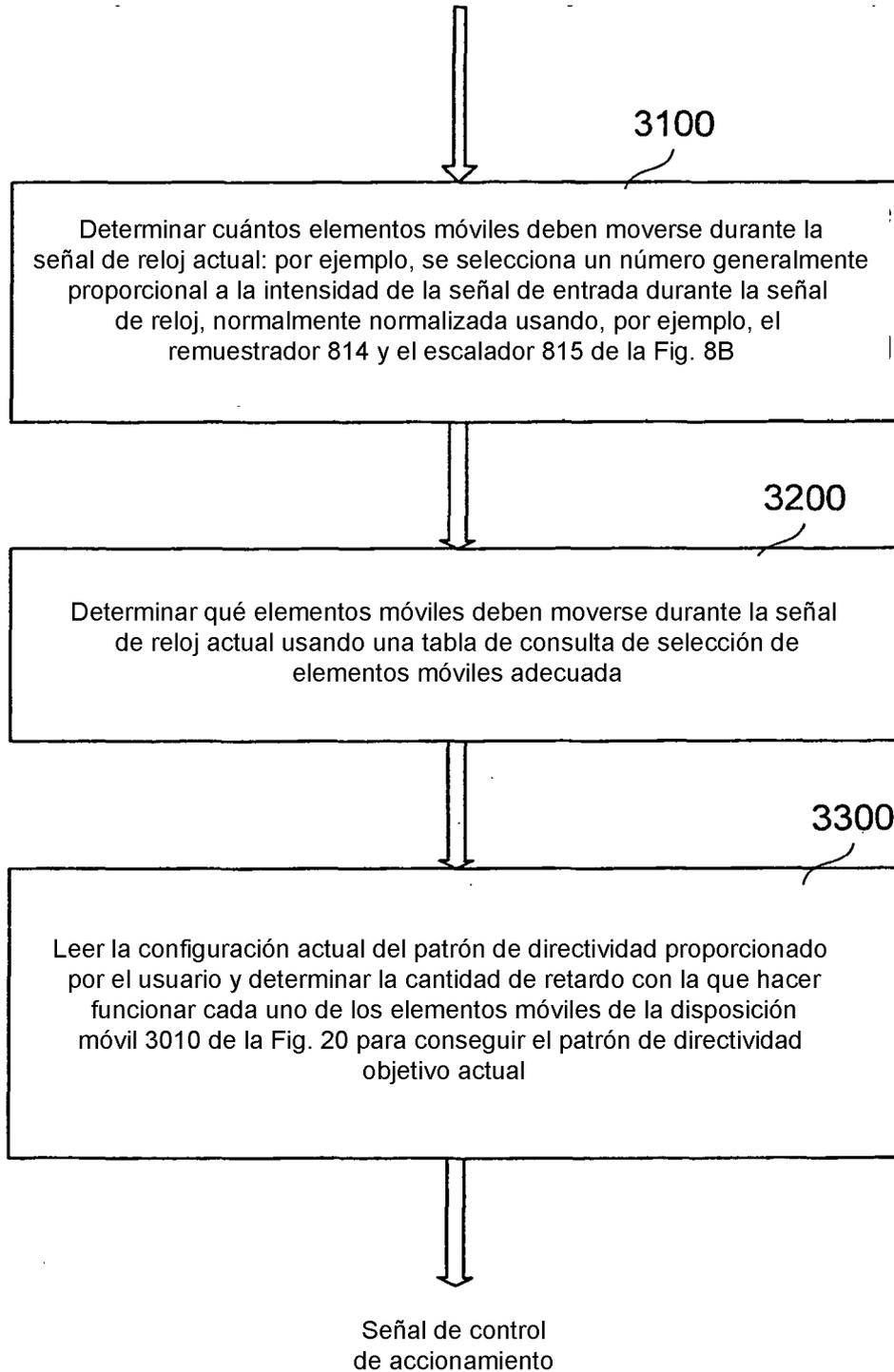


Fig. 21

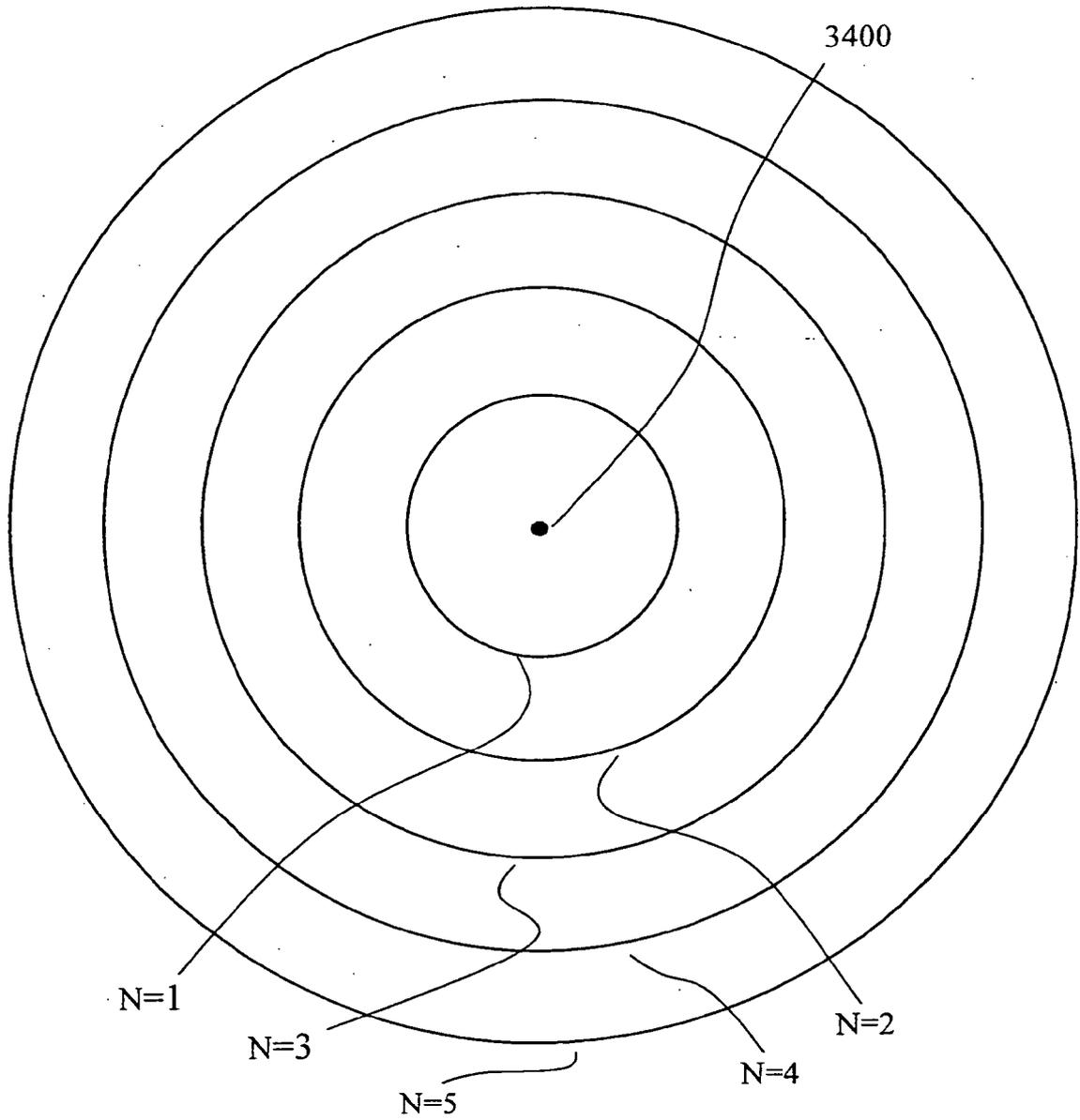


Fig. 22A

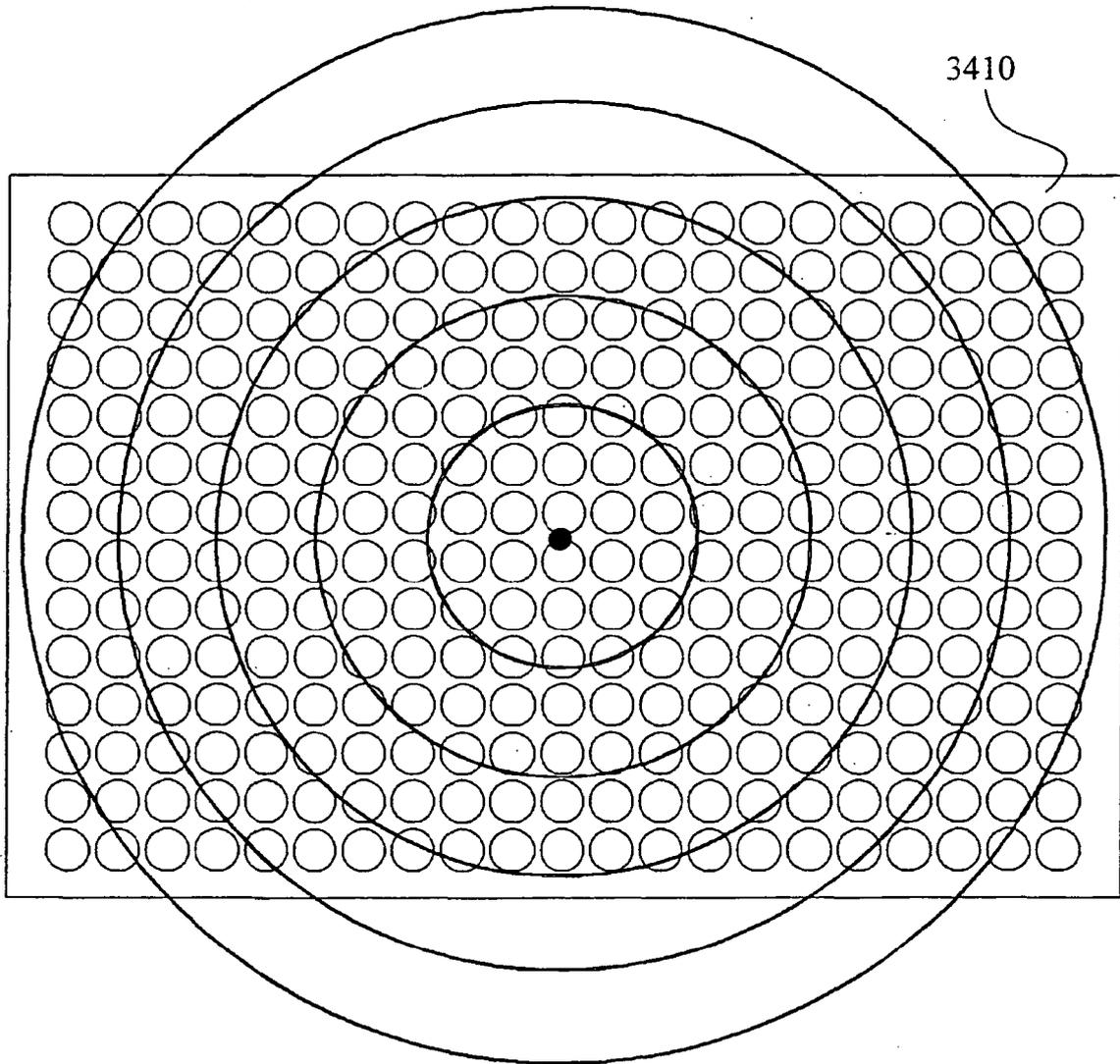


Fig. 22B

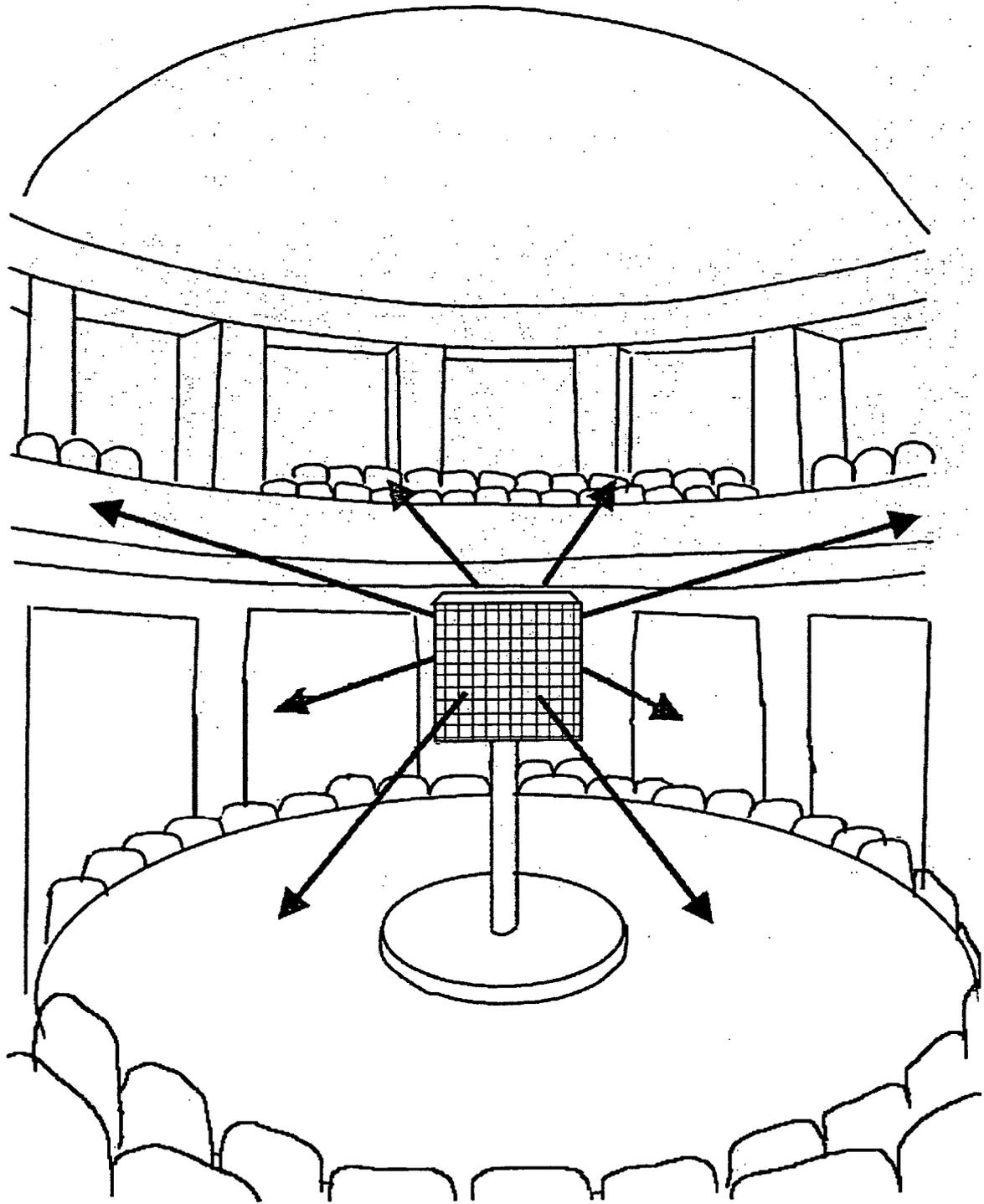


Fig. 23

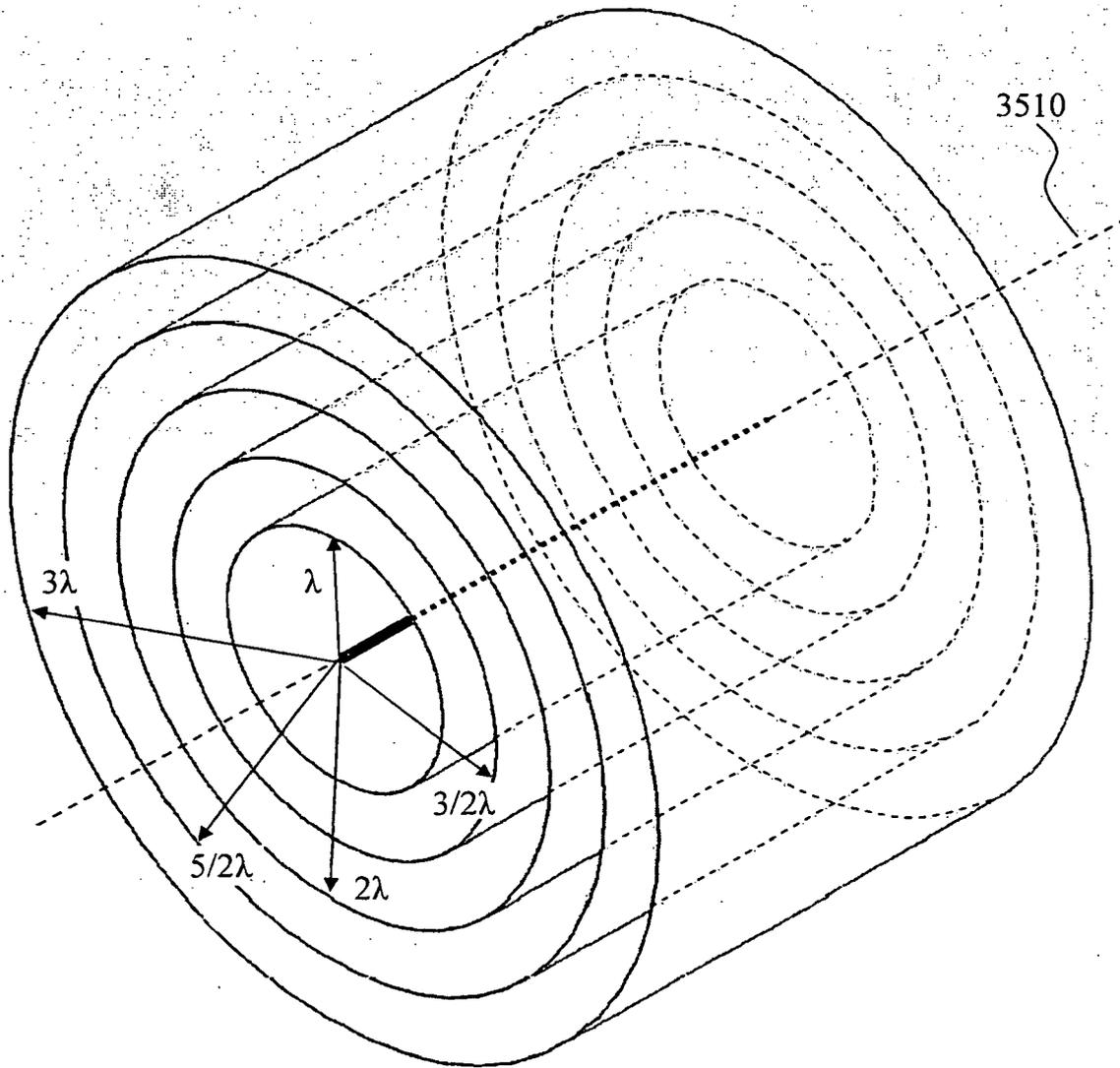


Fig. 24

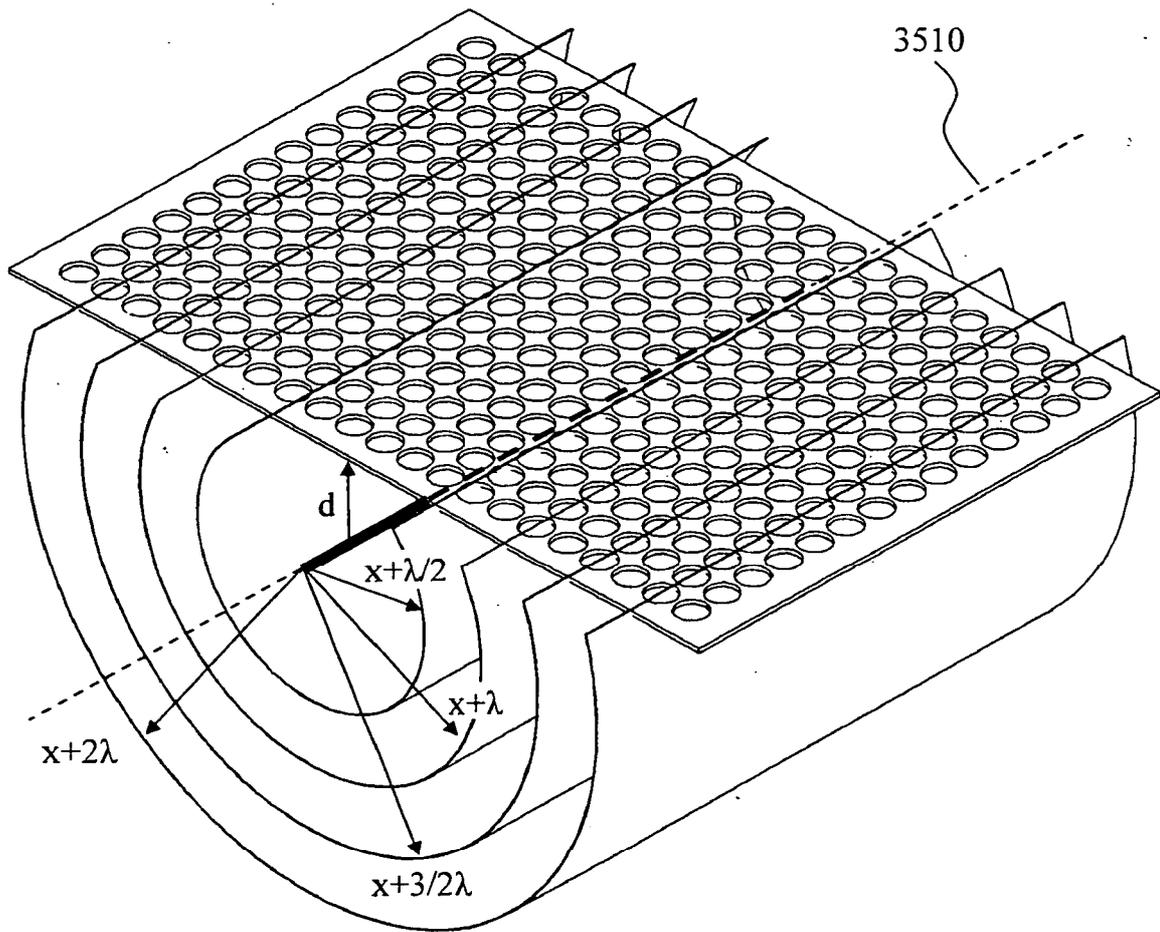


Fig. 25

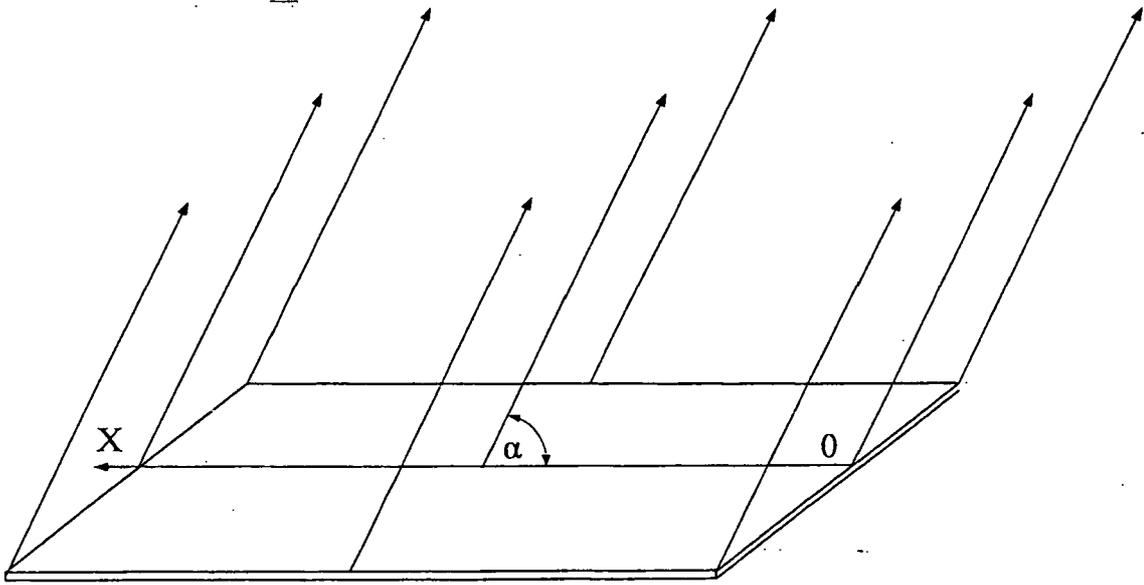


Fig. 26

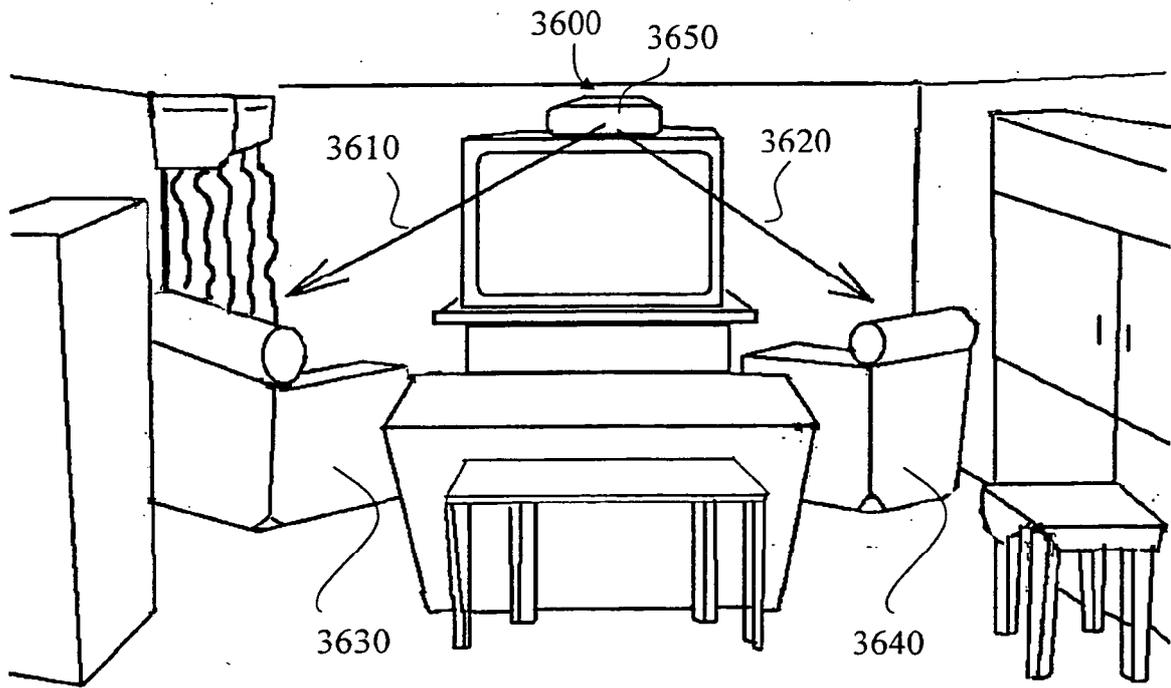


Fig. 27

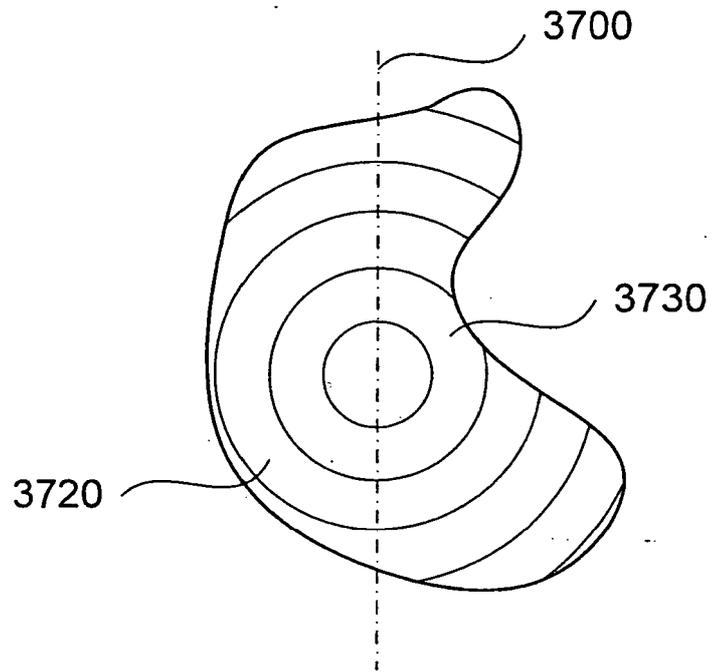


Fig. 28