

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 978 724**

51 Int. Cl.:

**A61B 17/00** (2006.01)  
**A61B 17/22** (2006.01)  
**A61B 17/225** (2006.01)  
**A61H 23/00** (2006.01)  
**A61N 7/00** (2006.01)  
**G10K 15/06** (2006.01)

12

## TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **14.07.2017** **PCT/US2017/042122**  
87 Fecha y número de publicación internacional: **25.01.2018** **WO18017414**  
96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **14.07.2017** **E 17831599 (0)**  
97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **27.03.2024** **EP 3487414**

54 Título: **Aparato generador de ondas de choque electrohidráulicas (eh) de pulso rápido con una vida útil de electrodo mejorada**

30 Prioridad:

**21.07.2016 US 201662365099 P**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:  
**18.09.2024**

73 Titular/es:

**SOLITON, INC. (100.0%)**  
**1 N. Waukegan Road**  
**North Chicago, IL 60064, US**

72 Inventor/es:

**CAPELLI, CHRISTOPHER, C.;**  
**KISHINEVSKY, MICHAEL;**  
**MASSE, DANIEL;**  
**SUMMERSON, JOHN;**  
**ROBERTSON, DAVID;**  
**KLEMP, WALTER y**  
**CROWLEY, ROBERT**

74 Agente/Representante:

**SÁNCHEZ SILVA, Jesús Eladio**

ES 2 978 724 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 generador de ondas de choque electrohidráulicas (eh) de pulso rápido con una vida útil de electrodo mejorada

## 5 Referencia cruzada a aplicaciones relacionadas

Esta solicitud reivindica el beneficio de la solicitud provisional de los Estados Unidos núm. 62/365.099, presentada el 21 de julio de 2016.

## 10 Campo de la invención

La presente invención se refiere, en general, a usos terapéuticos para ondas de choque u ondas de choque. Más particularmente, pero no a modo de limitación, la presente invención se refiere a un aparato para generar ondas de choque terapéuticas u ondas de choque (ondas de choque con usos terapéuticos) con una vida útil mejorada de los electrodos.

15

Descripción de la técnica relacionada

Las ondas de choque acústicas se han usado para determinadas terapias durante varios años. "Onda de choque" u "onda de choque" se utiliza, generalmente, para referirse a un fenómeno acústico (por ejemplo, resultante de una explosión o un rayo) que crea un cambio repentino e intenso de presión. Estos cambios de presión intensos pueden producir fuertes ondas de energía que pueden viajar a través de medios elásticos como el aire, el agua, el tejido blando humano o ciertas sustancias sólidas como el hueso, y/o pueden inducir una respuesta inelástica en tales medios elásticos. Algunos métodos para crear ondas de choque para usos terapéuticos incluyen: (1) electrohidráulico (EH) o distancia de chispa; (2) electromagnético o EMSE (por las siglas en inglés de emisión de ondas de choque Electromagnéticas); y (3) piezoeléctrico. Cada uno se basa en sus propios principios físicos únicos.

25

A. Dispositivos y sistemas para la generación de ondas de choque

La solicitud de patente de los Estados Unidos 13/574.228 (una solicitud de fase nacional de PCT/US-2011/021692, que se publicó como WO 2011/091020 A1), de uno de los presentes inventores, describe un dispositivo para producir ondas de choque a una alta velocidad de pulso usando un transductor. Ese dispositivo incluye un generador de ondas acústicas configurado para emitir ondas acústicas que tengan al menos una frecuencia entre 1 MHz y 1.000 MHz; un alojamiento de ondas de choque acoplado al generador de ondas acústicas; y un medio de ondas de choque dispuesto en el alojamiento de ondas de choque; donde el aparato está configurado de manera que, si el generador de ondas acústicas emite ondas acústicas, entonces al menos una parte de las ondas acústicas viajará a través del medio de ondas de choque y formará ondas de choque. Ese dispositivo puede accionarse para formar ondas de choque configuradas para provocar que las partículas dentro de un paciente rompan una o más células del paciente, y las ondas de choque pueden dirigirse a las células de un paciente de manera que las ondas de choque provoquen que las partículas rompan una o más de las células. Este dispositivo transductor acústico puede producir ondas de choque de alta potencia a altas frecuencias o velocidades de pulso.

35

40

De forma adicional, la solicitud de patente de los Estados Unidos 13/798712, también de los presentes inventores, describe aparatos y métodos para la generación electrohidráulica de ondas de choque a una velocidad de 10 Hz y 5 MHz que comprenden: un alojamiento que define una cámara y una salida de ondas de choque; un líquido dispuesto en la cámara; una pluralidad de electrodos (por ejemplo, en un cabezal de chispa o módulo) configurada para disponerse en la cámara para definir una o más distancias de chispa; y un sistema de generación de pulsos configurado para aplicar pulsos de voltaje a los electrodos a una velocidad de entre 10 Hz y 5 MHz.

45

Otros sistemas para producir ondas de choque pueden incluir un generador de ondas electrohidráulico (EH). Los sistemas EH, generalmente, pueden suministrar niveles de energía similares a otros métodos, pero pueden configurarse para suministrar esa energía en un área más amplia y, por lo tanto, suministrar una mayor cantidad de energía de ondas de choque al tejido diana durante un período de tiempo más corto. Los sistemas EH generalmente incorporan un electrodo (es decir, una bujía) para iniciar una onda de choque. En los sistemas EH, se generan ondas de choque de alta energía cuando se aplica electricidad a un electrodo sumergido en agua tratada contenida en un espacio cerrado. Cuando se dispara la carga eléctrica, se vaporiza una pequeña cantidad de agua en la punta del electrodo y la expansión rápida, casi instantánea, del agua vaporizada crea una onda de choque que se propaga hacia fuera a través del agua líquida. En algunas realizaciones, el agua está contenida en un espacio cerrado elipsoide. En estas realizaciones, la onda de choque puede rebotar desde los lados del espacio cerrado elipsoide y converger en un punto focal que coincide con la ubicación del área que se va a tratar.

55

60

Por ejemplo, la patente de los Estados Unidos núm. 7.189.209 (la patente '209) describe un método para tratar afecciones patológicas asociadas con entornos óseos y musculoesqueléticos y tejidos blandos mediante la aplicación de ondas de choque acústicas. La patente '209 describe que las ondas de choque inducen traumatismos localizados y apoptosis celular en los mismos, incluidas microfrazuras, así como también inducen respuestas osteoblásticas tales como reclutamiento celular, estimulan la formación de morfógenos moleculares y factores de crecimiento de hueso,

65

cartílago, tendón, fascia y tejido blando, e inducen la neoangiogénesis vascular. La patente '209 reivindica varias implementaciones específicas de su método. Por ejemplo, la patente '209 reivindica un método para tratar una úlcera del pie diabético o una úlcera por presión, que comprende: ubicar un sitio o sitio sospechado de la úlcera del pie diabético o úlcera por presión en un paciente humano; generar ondas de choque acústicas; enfocar las ondas de choque acústicas por todo el sitio ubicado; y aplicar más de 500 a alrededor de 2.500 ondas de choque acústicas por tratamiento al sitio ubicado para inducir microlesiones y una mayor vascularización, induciendo o acelerando de este modo la curación. La patente '209 describe un rango de frecuencia de aproximadamente 0,5 a 4 Hz y una aplicación de alrededor de 300 a 2500 o de alrededor de 500 a 8.000 ondas de choque acústicas por sitio de tratamiento, lo que puede dar como resultado una duración del tratamiento para cada sitio de tratamiento y/o un "tiempo total por tratamiento" para todos los sitios que sea inconvenientemente prolongado. Por ejemplo, la patente '209 describe tiempos totales por tratamiento para diferentes ejemplos que varían de 20 minutos a 3 horas.

La patente de los Estados Unidos 5.529.572 (la patente '572) incluye otro ejemplo del uso de ondas de choque generadas electrohidráulicamente para producir un efecto terapéutico en los tejidos. La patente '572 describe un método para aumentar la densidad y resistencia del hueso (para tratar la osteoporosis), que comprende someter dicho hueso a ondas de choque de compresión colimadas, sustancialmente planas, que tengan una intensidad sustancialmente constante en función de una distancia desde una fuente de ondas de choque, y en donde dichas ondas de choque colimadas se aplican al hueso a una intensidad de 50 a 500 atmósferas. La patente '572 describe la aplicación de ondas de choque sin enfoque para producir una carga dinámica repetitiva del hueso para aumentar la densidad ósea media y, de este modo, fortalecer el hueso contra la fractura. Como se describe en la patente '572, "Las ondas de choque no enfocadas se aplican, preferiblemente, sobre una superficie relativamente grande del hueso que se va a tratar, por ejemplo, para cubrir un área de 10 a 150 cm<sup>2</sup>. La intensidad de las ondas de choque puede ser de 50 - 500 atmósferas. Cada onda de choque tiene una duración de unos pocos microsegundos, como en un litotriptor convencional y, preferiblemente, se aplica a una frecuencia de 1 - 10 ondas de choque por segundo durante un período de 5 - 30 minutos en cada tratamiento. El número de tratamientos depende del paciente en particular".

La solicitud de patente de los Estados Unidos núm. 10/415.293 (la solicitud '293), que también se publica como US-2004/0006288, describe otra realización del uso de ondas de choque generadas por EH para proporcionar un efecto terapéutico en los tejidos. La solicitud '293 describe un dispositivo, un sistema y un método para la generación de ondas de choque acústicas terapéuticas para separar al menos parcialmente un depósito de una estructura vascular. La solicitud '293 describe que el dispositivo puede producir ondas de choque a una velocidad de pulso de alrededor de 50 a alrededor de 500 pulsos por minuto (es decir, 0,83 a 8,33 Hz) con un número de pulsos por sitio de tratamiento (en términos de longitud de unidad vascular tratada) de alrededor de 100 a alrededor de 5.000 por 1 cm<sup>2</sup>.

#### B. Velocidad de ondas de choque

La literatura de la técnica anterior ha indicado que unas velocidades de pulso más rápidas que usan sistemas EH para proporcionar ondas de choque pueden provocar daño tisular. Por ejemplo, en un estudio (Delijs, Jordan y col., 1988) [2], se examinó el efecto de las ondas de choque en riñones caninos normales en grupos de perros cuyos riñones se expusieron a 3000 ondas de choque. Los grupos diferían únicamente en la velocidad de administración de las ondas de choque, que fue de 100 Hz y 1 Hz, respectivamente. La autopsia se realizó entre 24 y 30 horas después. Macroscópica e histológicamente, se produjeron significativamente más hemorragias en el parénquima renal si se administraron ondas de choque a una velocidad de 100 Hz (frente a 1 Hz). Los resultados mostraron que el daño renal depende de la velocidad de administración de las ondas de choque.

En otro estudio (Madbouly y col., 2005) [7], la velocidad de litotricia por ondas de choque (SWL, por sus siglas en inglés) lenta se asoció con una tasa de éxito significativamente mayor con un número menor de ondas de choque totales en comparación con la velocidad de litotricia por ondas de choque rápida. En este artículo, los autores analizan cómo los estudios en humanos también han demostrado una disminución en la incidencia de lesión renal inducida por la SWL o la necesidad de anestesia cuando se utilizaron velocidades más lentas de SWL de prueba.

En otro estudio más (Gillitzer y col., 2009) [5], reducir la velocidad de suministro de 60 a 30 ondas de choque por minuto también proporciona un efecto protector espectacular sobre la integridad de la vasculatura real en un modelo porcino. Estos hallazgos respaldan posibles estrategias de reducción de la frecuencia de velocidad de pulso para mejorar la seguridad y eficacia en la litotricia extracorpórea por ondas de choque.

Los tejidos blandos pueden pasar de un comportamiento elástico a viscoso para velocidades de pulso (PR, por sus siglas en inglés) entre 1 Hz y 10 Hz. Como resultado, el posible daño al tejido por parte de las ondas de choque a PR entre 1 Hz y 10 Hz es impredecible cuando se usan niveles de energía típicos de la litotricia. Quizás, como resultado, la técnica anterior enseña PR más lentas y tiempos totales por tratamiento (TTPT, por sus siglas en inglés) prolongados. Por ejemplo, los sistemas de ondas de choque EH actualmente conocidos suministran, generalmente, PR de menos de 10 Hz y requieren tiempos totales por tratamiento (TTPT) prolongados (por ejemplo, períodos de TTPT de minutos o, incluso, horas incluso para un único sitio de tratamiento). Cuando, como puede ser típico, un tratamiento requiere recolocar un dispositivo en múltiples sitios de tratamiento, el TTPT se vuelve prolongado y potencialmente poco práctico para muchos pacientes y muchas necesidades de tratamiento.

Si bien los tiempos de tratamiento prolongados pueden ser aceptables para la litotricia extracorpórea por ondas de choque, el uso de ondas de choque para proporcionar efectos terapéuticos distintos de la litotricia en el tejido en el contexto médico es menos que óptimo, si no poco práctico. Por ejemplo, el coste del tratamiento suele aumentar con el tiempo necesario para administrar un tratamiento (por ejemplo, debido a los costes de mano de obra, las instalaciones y otros recursos asignados a la administración del tratamiento). Así mismo, además de los costes, en algún momento, la duración de la prestación del tratamiento al paciente se vuelve insostenible para el paciente que recibe el tratamiento y para el personal sanitario que lo proporciona.

El documento WO 91/10227 A1 describe un dispositivo de descarga eléctrica que comprende un circuito de descarga eléctrica para un medio líquido de descarga entre al menos dos electrodos sumergidos en el medio líquido. Una fuente de corriente está conectada a los electrodos a través de al menos un condensador de descarga. El dispositivo comprende un medio para reducir la inductancia del circuito de descarga.

El documento US-3 364 708 A describe un método para generar explosivos que simulen ondas de choque.

El documento WO 2015/176001 A1 describe sistemas amplificadores de pulsos de radiofrecuencia que incorporan una matriz de energía que comprende múltiples condensadores conectados en paralelo.

El documento DE 10 2007 046 902 A1 describe un generador de pulsos para un aparato de terapia por ondas de choque. Un medio de descarga de chispa comprende una fuente de energía, al menos un condensador y al menos un elemento de conmutación.

El documento US-5 509 200 A describe técnicas para fabricar placas de circuito impreso multicapa con patrón de paso fino.

## Resumen

Esta descripción incluye realizaciones de aparatos para la generación electrohidráulica de pulsos acústicos rápidos que tienen una vida útil mejorada de los electrodos. Según la invención, se proporciona un aparato según lo indicado en la reivindicación independiente. Las reivindicaciones dependientes definen realizaciones. En ciertas realizaciones, esta vida útil mejorada de los electrodos se logra mediante el aprovechamiento de un enfoque de descarga de pulsos de dos etapas para la generación de ondas de choque. Según estas realizaciones, en la primera etapa, el sistema de generación de pulsos está configurado para aplicar, simultáneamente, pulsos de voltaje a la pluralidad de electrodos en la cámara de electrodos de manera que partes del líquido contenido en ellos se vaporicen para proporcionar una trayectoria conductora entre electrodos; y aplicar pulsos de voltaje a una pluralidad de condensadores ubicados adyacentes a dichos electrodos para cargar dicha pluralidad de condensadores. En la segunda etapa, la pluralidad cargada de condensadores se descarga a los electrodos para generar un arco corto entre electrodos, a través de la trayectoria conductora entre electrodos establecida, lo que da como resultado una onda de choque acústica. El arco corto entre electrodos minimiza la erosión del electrodo, lo que mejora la vida útil de los electrodos.

La vida útil mejorada de los electrodos es el resultado de la rápida descarga de los condensadores ubicados adyacentes a los electrodos dentro de la cámara. El sistema de generación de pulsos está configurado para aplicar, simultáneamente, pulsos de voltaje a la pluralidad de electrodos en la cámara de electrodos de manera que partes del líquido se vaporicen para proporcionar una trayectoria conductora entre electrodos; y aplicar pulsos de voltaje a la pluralidad de condensadores ubicados adyacentes a dichos electrodos para cargar dicha pluralidad de condensadores. En una realización, la pluralidad de condensadores comprende al menos 10 condensadores planos en paralelo, en donde cada condensador tiene una capacitancia no superior a 100 nanofaradios. En una realización, la pluralidad de condensadores planos se ubica en una pluralidad de placas de circuito apiladas adyacentes a los electrodos, y en donde la pluralidad de condensadores planos se ubica en lados opuestos de cada placa de circuito apilable en un patrón de baja inductancia. La ubicación de estos condensadores adyacentes a los electrodos permite que el arco se descargue completa y rápidamente. Una vez que se descargan los condensadores, el arco entre electrodos termina, lo que minimiza la erosión de los electrodos.

Algunas realizaciones de los presentes aparatos (por ejemplo, para generar ondas de choque terapéuticas) comprenden: un alojamiento que define una cámara y una salida de ondas de choque; un líquido dispuesto en la cámara; una pluralidad de electrodos configurada para disponerse en la cámara para definir una o más distancias de chispa; una pluralidad de condensadores portados mediante el alojamiento y en comunicación eléctrica con la pluralidad de electrodos; y un sistema de generación de pulsos configurado para acoplarse a la pluralidad de electrodos de manera que: (i) el alojamiento sea móvil con respecto al sistema de generación de pulsos, y (ii) el sistema de generación de pulsos esté en comunicación eléctrica con la pluralidad de electrodos y la pluralidad de condensadores; donde el sistema de generación de pulsos está configurado para aplicar pulsos de voltaje simultáneamente a: la pluralidad de electrodos (por ejemplo, para comenzar a vaporizar e ionizar partes del líquido para proporcionar al menos una trayectoria conductora entre electrodos entre la pluralidad de electrodos, y la pluralidad de condensadores para cargar la pluralidad de condensadores); y donde la pluralidad de condensadores están configurados para, al alcanzar una carga umbral, descargarse a la pluralidad de electrodos para generar uno o más arcos a lo largo de las

una o más trayectorias conductoras entre electrodos para vaporizar partes adicionales del líquido y generar una o más ondas de choque acústicas.

5 En algunas realizaciones de los presentes aparatos, el sistema de generación de pulsos está configurado para proporcionar una trayectoria conductora entre electrodos al aplicar voltaje para cargar la pluralidad de condensadores durante el período en donde el sistema de generación de pulsos aplica voltaje a la pluralidad de electrodos.

10 Algunas realizaciones de los presentes aparatos (por ejemplo, para generar ondas de choque terapéuticas) comprenden: un alojamiento que define una cámara y una salida de ondas de choque, estando la cámara configurada para llenarse con un líquido; una pluralidad de electrodos configurada para disponerse en la cámara para definir una o más distancias de chispa; una pluralidad de condensadores portados mediante el alojamiento y en comunicación eléctrica con la pluralidad de electrodos; y un sistema de generación de pulsos configurado para acoplarse a la pluralidad de electrodos de manera que: (i) el alojamiento sea móvil con respecto al sistema de generación de pulsos, y (ii) el sistema de generación de pulsos esté en comunicación eléctrica con la pluralidad de electrodos y la pluralidad de condensadores; donde el sistema de generación de pulsos está configurado para aplicar pulsos de voltaje simultáneamente a: la pluralidad de electrodos (por ejemplo, para comenzar a vaporizar e ionizar partes del líquido para proporcionar al menos una trayectoria conductora entre electrodos entre la pluralidad de electrodos), y la pluralidad de condensadores para cargar la pluralidad de condensadores; donde la pluralidad de condensadores están configurados para, al alcanzar una carga umbral, descargarse a la pluralidad de electrodos para generar uno o más arcos a lo largo de las una o más trayectorias conductoras entre electrodos para vaporizar partes adicionales del líquido y generar una o más ondas de choque acústicas.

25 Algunas realizaciones de los presentes aparatos (por ejemplo, para generar ondas de choque terapéuticas) comprenden: un alojamiento que define una cámara y una salida de ondas de choque, estando la cámara configurada para llenarse con un líquido; una pluralidad de electrodos configurada para disponerse en la cámara para definir una o más distancias de chispa; una pluralidad de condensadores portados mediante el alojamiento y en comunicación eléctrica con la pluralidad de electrodos; y donde la pluralidad de electrodos está configurada para acoplarse a un sistema de generación de pulsos de manera que: (i) el alojamiento sea móvil con respecto al sistema de generación de pulsos, y (ii) el sistema de generación de pulsos esté en comunicación eléctrica con la pluralidad de electrodos y la pluralidad de condensadores de manera que la pluralidad de electrodos y la pluralidad de condensadores puedan recibir, simultáneamente, pulsos de voltaje desde el sistema de generación de pulsos; y donde la pluralidad de condensadores están configurados para, al alcanzar una carga umbral, descargarse a la pluralidad de electrodos.

35 En algunas realizaciones de los presentes aparatos, cada uno de la pluralidad de condensadores es plano. En algunas realizaciones, la pluralidad de condensadores está dispuesta en un circuito que tiene una inductancia global de entre 2 nH y 200 nH. En algunas realizaciones, la pluralidad de condensadores comprende entre 2 y 20 conjuntos de condensadores, estando los conjuntos de condensadores conectados en paralelo. En algunas realizaciones, cada conjunto de condensadores comprende menos de 50 condensadores. En algunas realizaciones, cada conjunto de condensadores comprende 10 o más condensadores en serie.

40 En algunas realizaciones de los presentes aparatos, cada condensador tiene una capacitancia no superior a 100 nanofaradios.

45 En algunas realizaciones de los presentes aparatos, la pluralidad de condensadores está acoplada a una pluralidad de placas de circuito apilables. En algunas realizaciones, la pluralidad de condensadores está dispuesta en una pluralidad de patrones circulares. En algunas realizaciones, la pluralidad de placas de circuito apilables comprende una primera placa de circuito apilable y una segunda placa de circuito apilable acoplada a la primera placa de circuito apilable. En algunas realizaciones, una primera parte de la pluralidad de condensadores está acoplada a la primera placa de circuito apilable, y una segunda parte de la pluralidad de condensadores está acoplada a la segunda placa de circuito apilable. En algunas realizaciones, la primera parte de la pluralidad de condensadores está dispuesta en un primer lado de una primera placa de circuito apilable, y la segunda parte de la pluralidad de condensadores está dispuesta en un segundo lado de una segunda placa de circuito apilable, y el segundo lado de la segunda placa de circuito es opuesto al primer lado de la primera placa de circuito apilable. En algunas realizaciones, la primera placa de circuito apilable y la segunda placa de circuito apilable son circulares. En algunas realizaciones, una primera parte de la pluralidad de condensadores está acoplada a la primera placa de circuito apilable y una segunda parte de la pluralidad de condensadores está acoplada a la segunda placa de circuito apilable. En algunas realizaciones, la primera parte de la pluralidad de condensadores está acoplada a la primera placa de circuito apilable en un patrón circular; y la segunda parte de la pluralidad de condensadores está acoplada a la segunda placa de circuito apilable en un patrón circular. En algunas realizaciones, cada conjunto de condensadores comprende 10 o más condensadores en serie. En algunas realizaciones, la primera placa de circuito apilable comprende además, un borde exterior y un centro, la segunda placa de circuito apilable comprende además, un borde exterior y un centro; y la primera parte de la pluralidad de condensadores está configurada para provocar que una corriente fluya desde el borde exterior de la primera placa de circuito apilable hacia el centro de la primera placa de circuito apilable, y la segunda parte de la pluralidad de condensadores está configurada para provocar que una corriente fluya desde el borde exterior de la segunda placa de circuito apilable hacia el centro de la segunda placa de circuito apilable. En algunas realizaciones, la primera placa de circuito apilable está acoplada eléctricamente a la segunda placa de circuito apilable mediante

unos conectores dispuestos a lo largo de los bordes exteriores de las placas de circuito apilables. En algunas realizaciones, la pluralidad de placas de circuito apilables tiene cada una un grosor de entre 0,5 mm y 5 mm (0,02 pulgadas a 0,2 pulgadas).

- 5 En algunas realizaciones de los presentes aparatos, la pluralidad de condensadores tiene cada uno una longitud de entre 2 mm y 4 mm, y una anchura de entre 1 mm y 3 mm.

En algunas realizaciones de los presentes aparatos, la pluralidad de condensadores comprende al menos 100 condensadores.

- 10 Algunas realizaciones del presente aparato de matriz de condensadores (por ejemplo, para su uso en la generación de ondas de choque terapéuticas) comprenden: una o más placas de circuito; y una pluralidad de condensadores acoplada a las una o más placas de circuito; donde una primera parte de los condensadores está dispuesta en un primer patrón definido por una pluralidad de conjuntos de condensadores, una segunda parte de la pluralidad de condensadores está dispuesta en un segundo patrón definido por una pluralidad de conjuntos de condensadores, comprendiendo cada conjunto de condensadores dos o más de los condensadores conectados en serie; los conjuntos de condensadores que definen el primer patrón están conectados en paralelo, y los conjuntos de condensadores que definen el segundo patrón están conectados en paralelo; y donde las una o más placas de circuito están configuradas para acoplarse a un electrodo de manera que el electrodo esté en comunicación eléctrica con los condensadores y esté fijado en al menos dos grados de libertad con respecto a las una o más placas de circuito.

- 25 En algunas realizaciones de los presentes aparatos de matriz de condensadores, la pluralidad de condensadores es plana. En algunas realizaciones, la pluralidad de condensadores está dispuesta en un circuito que tiene una inductancia global de entre 2 nH y 200 nH. En algunas realizaciones, la pluralidad de condensadores comprende entre 2 y 20 conjuntos de condensadores, estando los conjuntos de condensadores conectados en paralelo. En algunas realizaciones, cada conjunto de condensadores comprende menos de 50 condensadores.

- 30 En algunas realizaciones de los presentes aparatos de matriz de condensadores, cada conjunto de condensadores comprende 10 o más condensadores en serie.

- En algunas realizaciones de los presentes aparatos de matriz de condensadores, cada condensador tiene una capacitancia no superior a 100 nanofaradios.

- 35 En algunas realizaciones de los presentes aparatos de matriz de condensadores, las una o más placas de circuito comprenden una pluralidad de placas de circuito apilables. En algunas realizaciones, el primer y el segundo patrón son circulares. En algunas realizaciones, la pluralidad de placas de circuito apilables comprende una primera placa de circuito apilable y una segunda placa de circuito apilable acoplada a la primera placa de circuito apilable. En algunas realizaciones, la primera parte de los condensadores está acoplada a la primera placa de circuito apilable, y la segunda parte de los condensadores está acoplada a la segunda placa de circuito apilable. En algunas realizaciones, la primera parte de los condensadores está dispuesta en un primer lado de una primera placa de circuito apilable, y la segunda parte de la pluralidad de condensadores está dispuesta en un segundo lado de una segunda placa de circuito apilable, y el segundo lado de la segunda placa de circuito es opuesto al primer lado de la primera placa de circuito apilable. En algunas realizaciones de los presentes aparatos de matriz de condensadores, la primera parte de la pluralidad de condensadores está acoplada a la primera placa de circuito apilable en un patrón circular; y la segunda parte de la pluralidad de condensadores está acoplada a la segunda placa de circuito apilable en un patrón circular. En algunas realizaciones, cada conjunto de condensadores comprende además, 10 o más condensadores conectados en paralelo. En algunas realizaciones, la primera placa de circuito apilable comprende además, un borde exterior y un centro, la segunda placa de circuito apilable comprende además, un borde exterior y un centro; y la primera parte de la pluralidad de condensadores está configurada para provocar que una corriente fluya desde el borde exterior de la primera placa de circuito apilable hacia el centro de la primera placa de circuito apilable, y la segunda parte de la pluralidad de condensadores está configurada para provocar que una corriente fluya desde el borde exterior de la segunda placa de circuito apilable hacia el centro de la segunda placa de circuito apilable. En algunas realizaciones, la primera placa de circuito apilable está acoplada eléctricamente a la segunda placa de circuito apilable mediante unos conectores dispuestos a lo largo de los bordes exteriores de las placas de circuito apilables. En algunas realizaciones, la pluralidad de placas de circuito apilables tiene cada una un grosor de entre 0,5 mm y 5 mm (0,02 pulgadas a 0,2 pulgadas).

- 60 En algunas realizaciones de los presentes aparatos de matriz de condensadores, la pluralidad de condensadores tiene cada uno una longitud de entre 2 mm y 4 mm, y una anchura de entre 1 mm y 3 mm.

- En algunas realizaciones de los presentes aparatos de matriz de condensadores, la pluralidad de condensadores comprende al menos 100 condensadores.

- 65 Algunas realizaciones de los presentes métodos no reivindicados (por ejemplo, de producción de una onda acústica comprimida usando un aparato para generar ondas de choque terapéuticas) comprenden: aplicar pulsos de voltaje a una pluralidad de electrodos en una cámara definida por un alojamiento y llena con líquido de manera que partes del

líquido comiencen a vaporizarse e ionizarse para proporcionar una trayectoria conductora entre electrodos; aplicar voltaje a una pluralidad de condensadores portados mediante el alojamiento y en comunicación eléctrica con la pluralidad de electrodos para cargar la pluralidad de condensadores; y, al alcanzar la pluralidad de condensadores una carga umbral, descargar la pluralidad de condensadores a los electrodos para generar un arco entre electrodos a lo largo de la trayectoria conductora entre electrodos establecida y generar, de este modo, al menos una onda de choque acústica. En algunas realizaciones, los pulsos de voltaje aplicados a la pluralidad de electrodos están entre 500 V y 10.000 voltios (V). En algunas realizaciones, los pulsos de voltaje aplicados a la pluralidad de condensadores están entre 500 V y 10.000 V.

El término “acoplado/a(s)” se define como conectado/a(s), aunque no necesariamente de forma directa ni necesariamente mecánica; dos elementos que están “acoplados” pueden ser unitarios entre sí. Los términos “un” y “una” se definen como uno o más, a menos que esta descripción requiera explícitamente lo contrario. El término “sustancialmente” se define como en gran medida, pero no necesariamente en su totalidad, lo que se especifica (e incluye lo que se especifica; por ejemplo, sustancialmente 90 grados incluye 90 grados y sustancialmente paralelo incluye paralelo), como lo entiende una persona con experiencia en la técnica. En cualquier realización descrita, los términos “sustancialmente”, “aproximadamente” y “alrededor de” pueden sustituirse por “dentro de [un porcentaje] de” lo que se especifica, donde el porcentaje incluye 0,1, 1, 5 y 10 por ciento. En la realización descrita, el término “adyacente(s)” se define, generalmente, ubicado/a(s) en la misma cámara, el mismo alojamiento o el mismo módulo discreto.

Los términos “comprender” (y cualquier forma de comprender, tales como “comprende” y “que comprende(n)”), “tener” (y cualquier forma de tener, tales como “tiene” y “que tiene(n)”), “incluir” (y cualquier forma de incluir, como “incluye” y “que incluye(n)”) y “contener” (y cualquier forma de contener, como “contiene” y “que contiene(n)”) son verbos copulativos abiertos. Como resultado, un sistema o aparato que “comprende”, “tiene”, “incluye” o “contiene” uno o más elementos posee esos uno o más elementos, pero no se limita a poseer únicamente esos elementos. De la misma manera, un método que “comprende”, “tiene”, “incluye” o “contiene” una o más etapas posee esas una o más etapas, pero no se limita a poseer únicamente esas una o más etapas.

Además, una estructura (por ejemplo, un componente de un aparato) que está configurada de cierta manera está configurada al menos de esa manera, pero también puede configurarse de otras maneras además de las descritas específicamente.

Cualquier realización de cualquiera de los presentes sistemas, aparatos y métodos puede consistir en, o consistir esencialmente en, (en lugar de comprender/incluir/contener/tener) cualquiera de las etapas, los elementos y/o las características descritas. Por lo tanto, en cualquiera de las reivindicaciones, el término “que consiste en” o “que consiste esencialmente en” puede sustituirse por cualquiera de los verbos copulativos abiertos citados anteriormente para cambiar el alcance de una reivindicación dada de lo que, de cualquier otra manera, sería usando el verbo copulativo abierto.

Los detalles asociados con las realizaciones descritas anteriormente y otras se presentan a continuación.

La invención está definida por la reivindicación 1 independiente adjunta y las realizaciones preferidas por las reivindicaciones dependientes adjuntas.

## Breve descripción de los dibujos

Los siguientes dibujos ilustran a modo de ejemplo y no de limitación. En aras de la brevedad y la claridad, no siempre cada característica de una estructura dada está etiquetada en cada figura en la que aparece esa estructura. Los números de referencia idénticos no indican necesariamente una estructura idéntica. Más bien, se puede utilizar el mismo número de referencia para indicar una característica similar o una característica con una funcionalidad similar, al igual que números de referencia no idénticos. Las figuras están dibujadas a escala (salvo que se indique lo contrario), lo que significa que los tamaños de los elementos ilustrados son precisos entre sí para al menos la realización representada en las figuras.

La **Figura 1** es un gráfico que ilustra una onda acústica procedente de sistemas electrohidráulicos de la técnica anterior.

La **Figura 2A** ilustra una etapa 1 de un sistema de generación de pulsos: calentamiento de solución salina entre electrodos y vaporización inicial.

La **Figura 2B** ilustra una etapa 2 de un sistema de generación de pulsos: ionización de vapor entre electrodos.

La **Figura 2C** ilustra una etapa 3 de un sistema de generación de pulsos: formación de arco entre electrodos.

La **Figura 2D** ilustra una etapa 4 de un sistema de generación de pulsos: arco intenso entre electrodos.

La **Figura 3** ilustra un diagrama esquemático de una realización de un sistema de generación de ondas de choque electrohidráulicas para su uso en, o con, algunas realizaciones de los presentes sistemas.

Las **Figuras 4A - 4E** ilustran diversas vistas de una realización de una placa de circuito apilable que comprende una pluralidad de condensadores.

Las **Figuras 5A - 5E** ilustran diversas vistas de una segunda realización de una matriz de condensadores fijada a un par de placas de circuito apilables acopladas.

Las **Figuras 6A - 6D** ilustran diversas vistas de una matriz de condensadores fijada a un par de placas de circuito apilables acopladas y componentes de acoplamiento.

Las **Figuras 7A - 7C** ilustran diversas vistas de una matriz de condensadores fijada a un par de placas de circuito apilables acopladas a un par de electrodos en una cámara de generación de ondas de choque.

Las **Figuras 8A y 8B** ilustran el desgaste reducido de los electrodos resultante del uso de una realización del presente aparato en comparación con los sistemas de la técnica anterior.

La **Figura 9** ilustra un gráfico que ilustra una comparación de una onda acústica comprimida de una realización del presente aparato y una onda acústica de un aparato de la técnica anterior.

La **Figura 10** ilustra una vista en perspectiva despiezada de una realización prototipo adicional de las presentes sondas que tienen un cabezal de chispa o módulo.

Las **Figuras 11A y 11B** ilustran partes del conjunto de la sonda de la Figura 10.

Las **Figuras 12A y 12B** ilustran vistas en perspectiva y en corte transversal lateral, respectivamente, de la sonda de la Figura 10.

La **Figura 12C** ilustra una vista en corte transversal lateral ampliada de una distancia de chispa de la sonda de la Figura 10.

#### Descripción de las realizaciones ilustrativas

Ciertas realizaciones de los presentes sistemas y aparatos están configuradas para generar ondas de choque de alta frecuencia al mismo tiempo que tienen una vida útil mejorada de los electrodos. En algunas realizaciones, las ondas de choque EH generadas se pueden usar en aplicaciones terapéuticas médicas y/o estéticas (por ejemplo, cuando se dirigen y/o suministran al tejido diana de un paciente). Algunos ejemplos de aplicaciones terapéuticas médicas y/o estéticas en el que se pueden usar los presentes sistemas se describen en: (1) solicitud de patente de los Estados Unidos núm. 13/574.228, publicada como US-2013/0046207; (2) solicitud de patente de los Estados Unidos núm. 13/547.995, publicada como US-2013/0018287; y (3) solicitud de patente de los Estados Unidos núm. 13/798.710, publicada como US-2014/0257144.

En una realización, el aparato para la generación electrohidráulica de ondas de choque comprende: un alojamiento que define una cámara y una salida de ondas de choque; un líquido dispuesto en la cámara; una pluralidad de electrodos (por ejemplo, en el cabezal de chispa o módulo) configurada para disponerse en la cámara para definir una o más distancias de chispa; y un sistema de generación de pulsos configurado para aplicar pulsos de voltaje a los electrodos a una velocidad de entre 10 Hz y 5 MHz. La velocidad de los pulsos de voltaje puede ser de 25 Hz, 50 Hz, 75 Hz, 100 Hz, 150 Hz, 200 Hz, 250 Hz, 300 Hz, 400 Hz, 500 Hz, 600 Hz, 700 Hz, 800 Hz, 900 Hz, 1 KHz, 5 KHz, 10 KHz, 25 KHz, 50 KHz, 100 KHz, 200 KHz, 300 KHz, 400 KHz, 500 KHz, 600 KHz, 700 KHz, 800 KHz, 900 KHz, 1 MHz, 2 MHz, 3 MHz y 4 MHz.

#### A. Sistemas de la técnica anterior

Con referencia ahora a los dibujos, la **Figura 1** ilustra una descarga de pulso típica de sistemas electrohidráulicos de la técnica anterior que producen una onda acústica de amplio espectro de frecuencia (de forma típica, en el rango de 16 Hz a 30 MHz) que consiste en una gran onda **100** de pulso compresiva, seguida de una pequeña onda **102** de tracción. La onda **100** de pulso compresiva consiste en dos partes: una parte delantera **104** acústica de subida rápida (también denominada parte delantera de onda de choque) seguida de una parte trasera **106** acústica larga y compresiva. La parte delantera **104** acústica y rápida se produce en una escala de tiempo de nanosegundos, mientras que la parte trasera **106** acústica larga y compresiva se produce en una escala de tiempo de microsegundos.

Los sistemas electrohidráulicos de la técnica anterior de este tipo crean un evento de descarga de pulsos entre dos electrodos que tiene lugar en cuatro etapas: (1) calentamiento de solución salina entre electrodos y vaporización inicial; (2) ionización de vapor; (3) formación de arco entre electrodos; y (4) arco intenso.



La Figura **2A** ilustra la etapa 1 del evento de descarga de pulsos de la técnica anterior: calentamiento de solución salina entre electrodos y vaporización inicial. Durante esta etapa del pulso, una cámara **200** está llena con solución salina **202**. A continuación, un sistema de generación de pulsos aplica voltaje directamente a los electrodos **204**, **206** para producir una trayectoria conductora **208** entre electrodos. Específicamente, una corriente **210** se conduce a través de la mayor cantidad de solución salina **202** desde un electrodo **204** hasta otro **206**. Esto da como resultado que la solución salina **202** se caliente, lo que da como resultado la vaporización de partes de la solución salina **202** en los sitios iniciales de nucleación de burbujas ubicados en las puntas de la superficie de los electrodos **204**, **206**. Debido a que la conductividad eléctrica de la solución salina aumenta con la temperatura, durante esta etapa, la corriente del electrodo aumenta a medida que aumenta la temperatura de la solución salina. En esta etapa, no se producen daños en los electrodos durante el calentamiento de la solución salina y la vaporización inicial. La corriente se distribuye aproximadamente de forma uniforme a lo largo de las puntas de la superficie de los electrodos **204**, **206** y la temperatura de la solución salina es baja (hasta aproximadamente 100 °C), mientras que la impedancia global es alta (aproximadamente 50 S2 para solución salina al 1 %).

La Figura **2B** ilustra la etapa 2 del evento de descarga de pulsos de la técnica anterior: ionización de vapor entre electrodos, que se superpone con la etapa 1, como se muestra en la Figura **2A**. Durante esta etapa del pulso, una corriente **210** todavía se conduce, principalmente, a través de la mayor cantidad de solución salina **202** desde un electrodo **204** hasta otro **206**. La solución salina **202** continúa vaporizándose y expandiéndose desde los sitios iniciales de nucleación de burbujas. Una vez que la solución salina **202** se vaporiza y su densidad es lo suficientemente baja, el aumento de las trayectorias libres de los electrones les permite adquirir la energía suficiente para la ionización por colisión y se forman descargas **212** de plasma en avalancha. Al igual que en la etapa 1, durante esta etapa, se producen daños insignificantes al electrodo. El bombardeo de iones puede provocar la retirada de material de electrodo mediante metalizado al vacío, pero las velocidades son extremadamente bajas en comparación con las etapas 3 y 4 del evento de descarga de pulsos. La impedancia global es alta (aproximadamente 50 S2 para solución salina al 1 %).

La Figura **2C** ilustra la etapa 3 del evento de descarga de pulsos de la técnica anterior: formación de arco entre electrodos. Durante esta etapa del pulso, se producen múltiples eventos casi simultáneamente. La descarga a través de la capa de plasma de vapor de solución salina provoca que se formen puntos de cátodo y ánodo en las superficies de los electrodos. Estos diminutos e intensos chorros de material de electrodo y electrones suministran el material conductor necesario para formar un arco **214** completo. Los chorros que emanan de los puntos de cátodo y ánodo comienzan a conectarse y pasan al arco intenso de la etapa 4. La corriente neta a través de los electrodos **204**, **206** comienza a aumentar rápidamente a medida que el arco inicial **214** provoca una vaporización de solución salina y propagación del arco rápida y completa. La impedancia global comienza a caer desde aproximadamente 50 S2 a 0,1  $\Omega$ .

La Figura **2D** ilustra una etapa 4 del evento de descarga de pulsos de la técnica anterior: arco intenso entre electrodos. El modo **216** de arco intenso es muy brillante y parece cubrir el ánodo y el cátodo, y llenar la distancia **218** de electrodo. Otros puntos de cátodo y ánodo están presentes y eyectan continuamente material de electrodo hacia la distancia **218** que suministra el material alimentador para el arco de baja impedancia. El modo **216** de arco intenso producido por los sistemas de generación de pulsos de la técnica anterior se caracteriza por una erosión severa en el ánodo y el cátodo [1]. El voltaje del arco es bajo y la corriente es alta, debido a la baja impedancia global (aproximadamente 0,1 S2). La erosión de ánodo suele ser más severa que la erosión de cátodo porque los puntos de ánodo son, de forma típica, menos y más intensos, mientras que los puntos de cátodo son más numerosos y están distribuidos [1].

La erosión severa de los electrodos **204**, **206** usando los sistemas electrohidráulicos de la técnica anterior limita la vida útil de los electrodos en esos sistemas. Debido a que muchas aplicaciones para sistemas electrohidráulicos requieren grandes números o velocidades rápidas de pulsos para ser eficaces, los enfoques de la técnica anterior para generar estas ondas acústicas dan como resultado una reducción de la vida útil limitada de los electrodos **204**, **206**, lo que requiere un reemplazo frecuente de electrodos o el uso de un sistema alimentador de electrodos costoso y complicado. Debido a la vida útil limitada de los electrodos, estos requisitos han constreñido la utilidad comercial de los sistemas electrohidráulicos.

## B. Sistemas, componentes y métodos mejorados

Ciertas realizaciones de los presentes aparatos y métodos no reivindicados están configuradas para generar electrohidráulicamente ondas de choque al mismo tiempo que proporcionan una vida útil mejorada de los electrodos. Ciertas realizaciones logran una vida útil mejorada de los electrodos al aprovechar un enfoque de descarga de pulsos de dos etapas para la generación de ondas de choque. En algunas realizaciones, en la primera etapa, el sistema de generación de pulsos está configurado para simultáneamente: (1) aplicar pulsos de voltaje a una pluralidad de electrodos en una cámara de electrodos de manera que una parte de un líquido contenido dentro de la cámara se vaporice para proporcionar una trayectoria conductora entre electrodos; y (2) aplicar pulsos de voltaje para cargar una pluralidad de condensadores ubicados adyacentes a la pluralidad de electrodos. En tales realizaciones, en la segunda etapa, la pluralidad cargada de condensadores se descarga para generar un arco corto entre electrodos a través de la trayectoria conductora entre electrodos establecida, lo que da como resultado una onda de choque acústica. Un

arco entre electrodos más corto puede minimizar la erosión del electrodo y, de este modo, mejorar la vida útil de los electrodos.

En la generación de ondas de choque electrohidráulicas, puede ser necesaria una alta capacitancia para obtener la corriente pico de pulso requerida con la forma de onda deseada en los electrodos. En algunas de las presentes realizaciones, condensadores grandes pueden estar dispuestos cerca de los electrodos para ser capaces de proporcionar el pulso de alto voltaje a los electrodos necesarios para producir un arco corto entre electrodos. Sin embargo, el uso repetido de grandes descargas de fase de voltaje y corriente requeridas para generar ondas de choque de pulso puede provocar daños a condensadores grandes, lo que, a su vez, puede provocar fallas en el generador de ondas de choque. Se teoriza que el daño a los condensadores que se mantiene en estos sistemas de la técnica anterior es secundario que el efecto piezoeléctrico de las placas de los condensadores conduzca a fallas mecánicas. Este problema puede limitar la capacidad de producir un generador de ondas de choque de pulso rápido comercialmente viable que tenga una vida útil de los electrodos de longitud aceptable.

En algunas de las presentes realizaciones, se puede usar una pluralidad de condensadores pequeños en paralelo, dispuestos (por ejemplo, en un patrón de baja inductancia) adyacentes a los electrodos (por ejemplo, dentro de, o sobre, un alojamiento portátil en el que están dispuestos los electrodos) para producir un arco corto entre electrodos. En esta realización, una pluralidad de condensadores pequeños en paralelo, dispuestos en un patrón de baja inductancia adyacentes a los electrodos, es capaz de proporcionar las descargas repetidas y rápidas de pulsos de corriente y voltaje grandes necesarias para generar ondas de choque de pulsos rápidos sin dañar los condensadores. El efecto piezoeléctrico sobre los materiales de cada condensador pequeño está limitado cuando se usa dentro de la pluralidad de condensadores pequeños en paralelo para generar ondas de choque de pulsos rápidos. Como resultado, en tales realizaciones, se evitan fallas mecánicas catastróficas en el condensador, mejorando de este modo la viabilidad comercial de los generadores de ondas de choque de pulsos rápidos.

En algunas de las presentes realizaciones, una pluralidad de condensadores pequeños en paralelo puede ubicarse en una pluralidad de placas de circuito apiladas para condensar el área requerida para los condensadores. De forma adicional, ubicar la pluralidad de condensadores pequeños en lados opuestos de cada placa de circuito apilable da como resultado no únicamente una reducción adicional del área de superficie requerida para los condensadores, sino también una reducción de la inductancia provocada por el uso de la pluralidad de condensadores.

La Figura 3 ilustra un esquema representativo de una realización del aparato electrohidráulico descrito. En la realización mostrada, un sistema 300 de generación de pulsos está acoplado a un cabezal 302 mediante un cable 304. El cabezal 302 incluye una pluralidad de electrodos 306 configurada para definir una o más distancias 308 de chispa, y una pluralidad de condensadores 310 (por ejemplo, portándose los electrodos y condensadores mediante un alojamiento). Como se describe a continuación, los condensadores pueden configurarse, por ejemplo, en un patrón de baja inductancia. En algunas de tales realizaciones, el alojamiento o cuerpo del cabezal 302 define un alojamiento dentro del que está dispuesta la pluralidad de electrodos 306 (por ejemplo, extendiéndose una parte de cada electrodo hacia el interior de la cámara), y la pluralidad de condensadores 310 es portada por el alojamiento (y/o puede estar dispuesta en una cámara 312). La cámara 312 está configurada para llenarse con un líquido. En la realización mostrada, el sistema 300 de generación de pulsos comprende un suministro 314 de energía de alto voltaje, un condensador 316, un conmutador primario 318, una sonda 320 de corriente, un resistor 322, un inductor 324 y una sonda 326 de voltaje. El suministro 314 de energía de alto voltaje puede, por ejemplo, configurarse para suministrar 3000 voltios (V). El sistema 300 de generación de pulsos está configurado para aplicar pulsos de voltaje a la pluralidad de electrodos 306 de manera que la parte del líquido dispuesto en la cámara 312 se vaporice para proporcionar una trayectoria conductora entre electrodos. El sistema 300 de generación de pulsos también está configurado para (por ejemplo, simultáneamente) aplicar voltaje a la pluralidad de condensadores 310 dentro de la cámara. Una vez cargada, la pluralidad de condensadores 310 puede descargarse dentro de la trayectoria conductora entre electrodos establecida para producir un arco de descarga entre electrodos corto. Este arco de descarga da como resultado la formación de una onda de choque.

En algunas realizaciones, como la que se muestra en las Figuras 4A a 4E, al menos una parte de la pluralidad de condensadores 310 está acoplada a una placa 400 de circuito apilable en un patrón circular de baja inductancia tanto en el lado superior 408 como el lado inferior 406 de la placa 400 de circuito apilable. La Figura 4A ilustra una vista de abajo hacia arriba de una realización de una placa 400 de circuito apilable que tiene una pluralidad de condensadores 310 acoplada al lado inferior 406 de la placa 400 de circuito apilable. En la realización mostrada, la placa 400 de circuito apilable es circular y tiene un borde exterior 402 y un orificio central 404. Rodeando el orificio central 404, la placa 400 de circuito apilable tiene una pluralidad de orificios adicionales 410 y una pluralidad de pasadores 412. En esta realización, catorce (14) pasadores 412 están acoplados a la placa 400 de circuito apilable. Otras realizaciones pueden incluir 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 15, 16, 17, 18, 19, 20 o más pasadores 412 rodeando el orificio central 404. Los pasadores 412 pueden ser, por ejemplo, pasadores pogo u otros conectores configurados para establecer, al menos temporalmente, una conexión eléctrica entre múltiples placas de circuito. De forma adicional, en la realización mostrada, la placa 400 de circuito apilable tiene una pluralidad de conectores 414 de placa a placa que discurren alrededor de su borde exterior 402. Los conectores 414 pueden disponerse en una única fila, como se muestra, o en dos filas, y facilitar el acoplamiento eléctrico de la placa 400 de

circuito apilable con placas de circuito adicionales. Los conectores **414** pueden, por ejemplo, configurarse para operar en un rango de temperaturas entre -55 °C y 125 °C.

En la realización mostrada, los condensadores **310** están acoplados a unas placas **400** de circuito apilables en un patrón de baja inductancia. Como se muestra, un patrón de condensadores de baja inductancia puede comprender una pluralidad de conjuntos de condensadores, comprendiendo cada conjunto de condensadores una pluralidad de condensadores individuales. En el patrón de baja inductancia, los conjuntos de condensadores están dispuestos de manera que cada conjunto esté en paralelo entre sí. Según una realización, como se muestra en las Figuras **4A - 4E**, cada conjunto de condensadores está acoplado a la placa **400** de circuito apilable de manera que un condensador esté acoplado a la placa **400** cerca del orificio central **404** y una pluralidad de condensadores adicionales está acoplada a la placa **400** de manera que estén en comunicación eléctrica entre sí y se extiendan radialmente lejos del orificio central **404** hacia el borde exterior **402**. Esta parte de condensadores del conjunto está configurada, además, de manera que estén en comunicación eléctrica con una parte adicional de condensadores situada en el lado opuesto de la placa (u otra placa, como se muestra en las Figuras **6A - 6D**). Esta parte adicional de condensadores está configurada similarmente de manera que se extiendan en serie desde el borde de la placa **402** hacia el orificio central **404**. Según la realización descrita, la configuración global de condensadores es de manera que múltiples conjuntos de condensadores, cada uno con una parte de la pluralidad global de condensadores, se extiendan desde el orificio central **404** hacia fuera hasta el borde central **402**, continúen hasta el lado opuesto de la placa (o hasta otra placa) y, luego, se extiendan desde el borde de la placa **402** de regreso hacia el orificio central **404**. Los condensadores **310**, cuando están configurados así, pueden provocar que la corriente fluya desde el borde exterior **402** de la placa **400** de circuito apilable hacia el orificio central **404** o desde el orificio central **404** de la placa de circuito apilable **400** hacia el borde exterior **402**. Se ha demostrado que una configuración de este tipo da como resultado una inductancia reducida en la totalidad de la matriz de condensadores. Por ejemplo, en algunas de tales realizaciones, ciertos conjuntos de los condensadores están configurados para provocar que la corriente fluya radialmente hacia dentro y otros de los conjuntos de condensadores están configurados para provocar que la corriente fluya radialmente hacia fuera, lo que da como resultado "contraflujos" de corriente que tienden para cancelar o, de cualquier otra manera (por ejemplo, mediante interferencia destructiva), la inductancia durante su uso. En algunas realizaciones, partes de los condensadores están acopladas a cada una de una pluralidad de placas de circuito apilables, que pueden incluir 2, 3, 4, 5 o más placas individuales. Algunas porciones de la pluralidad de condensadores pueden acoplarse a cualquier lado (o ambos lados) de cualquiera de las placas de circuito apilables. Como se muestra, una placa **400** de circuito apilable puede tener forma circular y puede tener un recorte **416** que se extienda hacia dentro desde el borde exterior **402** hacia el orificio central.

En una realización, al menos diez (10) condensadores planos en paralelo, cada uno con una capacitancia no superior a 100 nanofaradios (nF), son capaces de proporcionar las descargas repetidas de pulsos de alto voltaje necesarias para generar ondas de choque de pulsos rápidos sin dañar los condensadores. En otras realizaciones, se puede utilizar en paralelo un mínimo de 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45 o 50 condensadores planos. De forma adicional, según otras realizaciones, cada condensador puede tener una capacitancia máxima de 95 nF, 90 nF, 85 nF, 80 nF, 75 nF, 70 nF, 65 nF, 60 nF, 55 nF o 50 nF. En una realización, los condensadores tienen, cada uno, una longitud de entre 2 mm y 4 mm, y una anchura de entre 1 mm y 3 mm.

En realizaciones en las que los condensadores están dispuestos en conjuntos de condensadores, una pluralidad de condensadores se puede disponer entre 2 y 20 conjuntos de condensadores, estando los conjuntos conectados en paralelo (por ejemplo, y los condensadores dentro de cada conjunto conectados en serie). Alternativamente, la pluralidad de condensadores puede comprender 2, 5, 10 o 15 conjuntos de condensadores. En algunas realizaciones, cada conjunto de condensadores comprende menos de 50 condensadores, pero puede, alternativamente, comprender 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40 o 45 condensadores por conjunto. En algunas realizaciones, la pluralidad de condensadores comprende al menos 100 condensadores. En algunas realizaciones, la pluralidad de condensadores está dispuesta en un circuito que tiene una inductancia global de entre 2 nH y 200 nH.

Las Figuras **5A - 5E** ilustran vistas en perspectiva, en corte transversal, superior y lateral de una realización de los presentes conjuntos de placas de circuito apilables que incluyen una matriz de condensadores para su uso en aparatos de generación de pulsos de ondas de choque. La Figura **5A** ilustra una vista en perspectiva de una realización de los presentes conjuntos de placas de circuito apilables; la Figura **5B** ilustra otra vista en perspectiva del conjunto; la Figura **5C** ilustra una vista en corte transversal lateral del conjunto; la Figura **5D** ilustra una vista superior del conjunto; y la Figura **5E** ilustra una vista lateral del conjunto. Como se muestra, en este conjunto, la placa **400** de circuito está acoplada a la segunda placa **500** de circuito apilable a través de unos conectores **414** de manera que los condensadores **310** de la placa **400** de circuito estén conectados eléctricamente a la segunda placa **500** de circuito apilable a través de los conectores (**414**). La placa **400** de circuito también está acoplada mecánicamente a la placa **500** de circuito a través de un conjunto **502** de cubo central. Según esta realización, la placa **500** de circuito proporciona la trayectoria de retorno de baja inductancia desde el pasador central hasta la fila lo más exterior de condensadores **310**.

Las Figuras **6A - 6D** ilustran vistas en perspectiva despiezada, en corte transversal y en perspectiva de otra realización de la presente matriz de condensadores para su uso en aparatos de generación rápida de ondas de choque terapéuticas y métodos no reivindicados. La Figura **6A** ilustra una vista en perspectiva del conjunto de

condensadores; la Figura **6B** ilustra una segunda vista en perspectiva del conjunto de condensadores; la Figura **6C** ilustra una vista en corte transversal del conjunto de condensadores; y la Figura **6D** ilustra una vista despiezada de la matriz de condensadores. En esta realización, la pluralidad de condensadores **310** está ubicada en una primera placa **400** de circuito apilada y una segunda placa **500** de circuito apilada, adyacentes a una pluralidad de electrodos en donde la pluralidad de condensadores pequeños **310** está ubicada en lados opuestos de cada placa **400**, **500** de circuito apilable en un patrón de baja inductancia. Las placas **400**, **500** de circuito están ambas acopladas eléctricamente entre sí mediante conectores **414** de placa a placa y acoplados mecánicamente entre sí mediante un conjunto **502** mecánico central.

En la realización mostrada, ubicar la pluralidad de condensadores **310** cerca de los electrodos permite que el arco se descargue completa y rápidamente. Una vez que los condensadores **310** dentro del cabezal de cámara (como se ilustra en la realización representada en la Figura **3**) se descargan, el arco entre electrodos termina, lo que minimiza la erosión del electrodo.

En algunas realizaciones, la vida útil mejorada de los electrodos es el resultado de la descarga de la pluralidad de condensadores **310** cerca de los electrodos. Ubicar la pluralidad de condensadores **310** cerca de los electrodos en un patrón de baja inductancia proporciona una baja inductancia global a la configuración de condensadores/electrodos. Como resultado, la pluralidad de condensadores **310** dentro de la cámara puede descargarse completa y rápidamente.

Como se muestra, el conjunto mecánico central **502** comprende un anillo **600** de contacto, un adaptador **602** de anillo, un espaciador **604**, un receptáculo **606** de repuesto, un pasador central **608**, y una pluralidad de tuercas **610**. El adaptador **602** de anillo puede tener una pluralidad de dientes **612** que están configurados para insertarse en unos orificios en la segunda placa **500** placa de circuito apilable de manera que los dientes **612** impidan que la segunda placa **500** de circuito apilable gire independientemente del adaptador **602** de anillo.

En la realización mostrada, los condensadores pueden configurarse para provocar que la corriente fluya desde el centro de la segunda placa **500** de circuito apilable hacia su borde exterior, a través de los conectores **414** de placa a placa hasta el borde exterior de la primera placa **400** de circuito apilable y, desde ahí, hasta el centro de la primera placa **400** de circuito apilable. Cada placa **400**, **500** de circuito apilable puede tener un grosor de entre 0,5 mm y 5 mm (0,02 pulgadas a 0,2 pulgadas). Alternativamente, las placas **400**, **500** puede tener grosores de entre 0,76 y 3,18 mm (0,03 a 0,125 pulgadas), o entre 1 y 2,54 mm (0,04 a 0,1 pulgadas).

Las Figuras **7A - 7C** ilustran vistas en corte transversal y lateral de una realización de la cámara de generación de ondas de choque acoplada a una matriz de condensadores descrita. Según la realización como se muestra en la Figura **7A**, la matriz **700** de condensadores está acoplada a una pluralidad de electrodos que comprenden un electrodo proximal **702** y un electrodo distal **704**. En esta realización, tanto el electrodo proximal **702** como el electrodo distal **704** están dispuestos en una cámara **706**, que está configurada para llenarse con líquido. En al menos una realización, la cámara **706** está configurada para llenarse con solución salina. En otra realización más, la cámara **706** está llena de solución salina. Los electrodos **702**, **704** están configurados para tener una distancia corta entre ellos que defina la ubicación **708** de descarga. La matriz **700** de condensadores, junto con los electrodos **702**, **704** acoplados y la cámara **706**, está configurada para realizar el enfoque de descarga de dos etapas para la generación de ondas de choque. En la primera etapa, el sistema de generación de pulsos está configurado para simultáneamente: (1) aplicar pulsos de voltaje a una pluralidad de electrodos **702**, **704** en una cámara **706** de electrodos de manera que una parte de un líquido contenido dentro de la cámara **706** se vaporice para proporcionar una trayectoria conductora entre electrodos en la ubicación **708** de descarga; y (2) aplicar pulsos de voltaje para cargar una pluralidad de condensadores ubicados adyacentes a la pluralidad de electrodos **702**, **704** en la matriz **700** de condensadores. Según esta realización, en la segunda etapa, la pluralidad cargada de condensadores se descarga para generar un arco corto entre electrodos a través de la trayectoria conductora entre electrodos establecida en la ubicación **708** de descarga, lo que da como resultado una onda de choque acústica.

En algunas realizaciones, el uso de un enfoque de descarga de pulsos de dos etapas para generar ondas de choque da como resultado unos tiempos cortos de arco entre electrodos que minimizan la erosión del electrodo, lo que conduce a una vida útil mejorada de los electrodos. Los sistemas electrohidráulicos que usan un enfoque de descarga de pulsos de una única etapa (por ejemplo, donde el sistema de generación de pulsos aplica pulsos de voltaje directamente a los electrodos para formar secuencialmente la trayectoria conductora entre electrodos y, a continuación, generar el arco entre electrodos) sufren de unos tiempos prolongados de arco de descarga y, por lo tanto, una erosión significativa del electrodo. Esta erosión significativa de los electrodos conduce a un aparato de ondas de choque electrohidráulicas con una vida útil corta de los electrodos, lo que aumenta el tiempo y los gastos necesarios para su mantenimiento.

Por ejemplo, las Figuras **8A** y **8B** ilustran fotografías que comparan un electrodo usado por un sistema de la técnica anterior con un electrodo que implementa el sistema descrito. La Figura **8A** ilustra una realización de un recorrido de electrodo con un suministro de energía pulsado de la técnica anterior usando el enfoque de una única etapa. Por el contrario, la Figura **8B** ilustra un recorrido de electrodo con una realización del sistema de generación pulsada de dos etapas descrito en el presente documento. Como se puede observar al comparar las Figuras **8A** y **8B**, el recorrido de electrodo que usa el suministro de energía pulsado de la técnica anterior (**Figura 8A**) mostró una erosión significativa después de menos de 100 pulsos. Unos grandes cráteres indican una fusión generalizada del electrodo debido a la

duración severa prolongada del arco resultante del sistema de una única etapa de la técnica anterior. A diferencia del electrodo que implementa el sistema de la técnica anterior, el recorrido de electrodo con el sistema de generación de pulsos de dos etapas (**Figura 8B**) demostró únicamente una erosión mínima después de 6.200 pulsos. El electrodo que implementa el sistema de dos etapas tuvo una reducción de la velocidad de desgaste de 15 veces en comparación con el electrodo que implementa el sistema de la técnica anterior. Por ejemplo, a velocidades de pulso equivalentes, los electrodos representados en la Figura 8A acoplados a un sistema de generación de pulsos de la técnica anterior exhibieron una velocidad de desgaste de aproximadamente 0,095 mm (3750 micropulgadas) por minuto, mientras que los electrodos representados en la Figura 8B acoplados a uno de los presentes enfoques inventivos de generación de pulsos de dos etapas (que incluyen un sistema de generación de pulsos y una matriz de condensadores portada en un alojamiento), exhibió una velocidad de desgaste de únicamente 0,006 mm (250 micropulgadas) por minuto.

De forma adicional, según una realización, los aparatos y el método no reivindicado para la generación electrohidráulica de ondas de choque usando el enfoque de dos etapas descrito en el presente documento generan ondas acústicas que están “comprimidas” en comparación con aquellas ondas generadas mediante los sistemas de la técnica anterior. La Figura 9 ilustra un gráfico que ilustra la presión a lo largo del tiempo de una onda acústica generada tanto por el sistema **900** de la técnica anterior como una onda acústica generada por el enfoque **902** de dos etapas propuesto. Como se puede observar a partir de la Figura 9, en comparación con el sistema de la técnica anterior, la onda acústica generada por el enfoque de dos etapas tiene una parte delantera **904** acústica de subida más rápida que la del enfoque de la técnica anterior. Más importante aún, la larga parte trasera **906** acústica se comprime significativamente como resultado del rápido tiempo de descarga del condensador hacia una trayectoria conductora entre electrodos ya establecida. Por último, el enfoque de dos etapas pone más energía en el pulso acústico y menos energía total en el arco en comparación con el enfoque de la técnica anterior. Menos energía total hacia el arco conduce directamente a una vida útil mejorada del electrodo.

Así mismo, las ondas acústicas comprimidas representadas en la Figura 9 son menos dolorosas y dañinas cuando se aplican al tejido. La descarga de pulsos típica de los sistemas electrohidráulicos de la técnica anterior produce una onda acústica de amplio espectro de frecuencia, de forma típica, en el rango de 16 Hz a 30 MHz. La larga parte trasera **906** compresiva de la onda acústica comprende el espectro de frecuencia más baja de la onda acústica. Estos componentes de baja frecuencia, a las presiones acústicas que se usan de forma típica, son la fuente principal de grandes burbujas de cavitación. Estas grandes burbujas de cavitación, cuando se generan en el tejido, dan como resultado dolor y daño tisular. Debido a la corta descarga del condensador y al arco rápido resultante, la larga parte trasera **906** compresiva de la onda acústica se comprime. Como resultado, se minimizan las grandes burbujas de cavitación secundarias a una larga parte trasera.

En una realización, los presentes sistemas y aparatos de generación de ondas de choque incorporan las sondas representadas en las Figuras **10 - 12C**. En esta realización, la sonda **1000** comprende: un alojamiento **1002** que define una cámara **1004** y una salida **1006** de ondas de choque; un líquido dispuesto en la cámara **1004**; una pluralidad de electrodos **306** (por ejemplo, en el cabezal de chispa o módulo **1008**) configurada para disponerse en la cámara para definir una o más distancias de chispa; y está configurada para acoplarse a un sistema (**300**) de generación de pulsos configurado para aplicar pulsos de voltaje a los electrodos a una velocidad de entre 10 Hz y 5 MHz.

En la realización mostrada, el cabezal **1008** de chispa incluye una pared lateral o cuerpo **1010** y una pluralidad de electrodos **306** que definen una distancia de chispa. En esta realización, la sonda **1000** está configurada para permitir que el líquido se circule a través de la cámara **1004** a través de conectores o puertos **1012** y **1014** de líquido, uno de los cuales está acoplado al cabezal **1008** de chispa y el otro de los cuales está acoplado al alojamiento **1002**, como se muestra. En esta realización, el alojamiento **1002** está configurado para recibir el cabezal **1008** de chispa, como se muestra, de manera que el alojamiento **1002** y el alojamiento **1010** cooperen para definir la cámara **1004** (por ejemplo, de manera que el cabezal **1008** de chispa y el alojamiento **1002** incluyan superficies parabólicas complementarias que cooperen para definir la cámara). En esta realización, el alojamiento **1002** y el cabezal **1008** de chispa incluyen un canal **1016** (por ejemplo, a lo largo de un eje longitudinal central del cabezal **1008** de chispa) que se extiende entre el conector **1012** de líquido y la cámara **1004**, y alineados con la distancia de chispa entre electrodos **306** de manera que el agua en circulación fluya muy cerca y/o a través de la distancia de chispa. En la realización mostrada, el alojamiento **1002** incluye un canal **1018** que se extiende entre el conector **1014** de líquido y la cámara **1004**. En esta realización, el alojamiento **1010** incluye una ranura **1020** configurada para recibir una junta elástica o junta tórica **1022** para sellar la interfaz entre el cabezal **1008** de chispa y el alojamiento **1002**, y el alojamiento **1002** incluye una ranura **1024** configurada para recibir una junta elástica o junta tórica **1026** para sellar la interfaz entre el alojamiento **1002** y un miembro **1028** de tapa cuando el miembro **1028** de tapa se asegura al alojamiento **1002** mediante el anillo **1030** y un cuello **1032** de restricción.

En la realización mostrada, los electrodos **306** incluyen cada uno una porción **1034** de barra plana y una parte cilíndrica **1036** perpendicular (por ejemplo, que comprende tungsteno para una mayor durabilidad) en comunicación eléctrica (por ejemplo, unitaria con) la porción **1034** de barra de manera que la parte cilíndrica **1036** pueda extenderse a través de una abertura **1038** correspondiente en el cabezal **1008** de chispa hacia la cámara **1004**, como se muestra. En algunas realizaciones, parte de los lados de la parte cilíndrica **1036** se pueden cubrir con un material eléctricamente aislante y/o flexible (por ejemplo, una envoltura retráctil) tal como, por ejemplo, para sellar la interfaz entre la parte **1036** y el alojamiento **1010**. En esta realización, el alojamiento **1010** también incluye unas ranuras

longitudinales **1038** configuradas para recibir partes **1034** de barra de los electrodos **306**. En la realización mostrada, el alojamiento **1002** también incluye unos tornillos de fijación **1040** colocados para alinearse con las partes cilíndricas **1036** de los electrodos **306** cuando el cabezal **1008** de chispa está dispuesto en el alojamiento **1000**, de manera que los tornillos de fijación **1040** se puedan apretar para presionar las partes cilíndricas **1036** hacia dentro para ajustar la distancia de chispa entre las partes cilíndricas de los electrodos **306**. En algunas realizaciones, el cabezal **1008** de chispa está permanentemente adherido al alojamiento **1002**; sin embargo, en otras realizaciones, es posible que el cabezal **1008** de chispa se pueda retirar del alojamiento **1002** como, por ejemplo, para permitir el reemplazo de electrodos **306** individualmente o como parte de un cabezal **1008** de chispa nuevo o de reemplazo.

La memoria descriptiva y los ejemplos anteriores proporcionan una descripción de la estructura y el uso de realizaciones ilustrativas. Si bien ciertas realizaciones se han descrito anteriormente con cierto grado de particularidad, o con referencia a una o más realizaciones individuales, los expertos en la técnica podrían realizar numerosas modificaciones a las realizaciones descritas sin abandonar el ámbito de esta invención. Como tales, las diversas realizaciones ilustrativas de los presentes dispositivos no pretenden limitarse a las formas particulares descritas. Más bien, incluyen todas las modificaciones y alternativas dentro del alcance de las reivindicaciones, y las realizaciones distintas a la mostrada pueden incluir algunas de, o todas, las características de la realización ilustrada. Por ejemplo, los componentes pueden combinarse como una estructura unitaria. Además, cuando sea apropiado, se pueden combinar aspectos de cualquiera de los ejemplos descritos con aspectos de cualquiera de los otros ejemplos descritos para formar ejemplos adicionales con propiedades comparables o diferentes y que aborden los mismos o diferentes problemas. Similarmente, las ventajas y los beneficios descritos anteriormente pueden referirse a una realización o pueden referirse a varias realizaciones.

Las reivindicaciones no pretenden incluir, y no deben interpretarse como que incluyan, limitaciones de medios más (o etapas más) funciones, a menos que una limitación de este tipo se mencione explícitamente en una reivindicación dada usando la(s) expresión(es) "medios para" o "etapa para", respectivamente.

#### Referencias

Se proporcionan las siguientes referencias, en la medida en que proporcionen detalles de procedimiento ilustrativos u otros detalles suplementarios a los establecidos en el presente documento.

[1] Raymond L. Boxman, Philip J. Martin, David Sanders (1995). Handbook of Vacuum Arc Science and Technology: Fundamentals and Applications, Park Ridge, Nueva Jersey: Noyes Publications, páginas 316-319

[2] V. Ya. Ushakov y col. (2007). Impulse Breakdown of Liquids, Nueva York, NY: Springer

[3] Schmitz C y col. Treatment of chronic plantar fasciopathy with extracorporeal shock waves (review). Journal of Orthopaedic Surgery and Research, 2013, 8:31

[4] Patente de los Estados Unidos núm. 8.672.721 titulada "High power discharge fuel igniter" de L. Camilli

[5] Patente de los Estados Unidos núm. 5.245.988 titulada "Preparing a circuit for the production of shockwaves" de W. Einars y col.

[6] Patente de los Estados Unidos núm. 4.005.314 titulada "Short pulse generator" de M. Zinn

[7] Patente alemana núm. DE 3150430 C1 titulada "Circuit for generating an underwater discharge" de G. Heine y col.

[8] Patente de los Estados Unidos núm. 3.604.641 titulada "Apparatus for hydraulic crushing" de B.R. Donoghue y col.

## REIVINDICACIONES

1. Un aparato de matriz de condensadores para su uso en la generación de ondas de choque terapéuticas, que comprende:  
una o más placas (400, 500) de circuito, teniendo cada placa de circuito de las una o más placas de circuito un primer lado y un segundo lado; y  
una pluralidad de condensadores (310) acoplada a las una o más placas de circuito;  
donde una primera parte de los condensadores está dispuesta en un primer patrón definido por una primera pluralidad de conjuntos de condensadores, una segunda parte de la pluralidad de condensadores está dispuesta en un segundo patrón definido por una segunda pluralidad de conjuntos de condensadores, comprendiendo cada conjunto de condensadores de la primera y la segunda pluralidad de conjuntos de condensadores dos o más condensadores conectados en serie;  
donde los conjuntos de condensadores de la primera pluralidad de conjuntos de condensadores que definen el primer patrón están conectados en paralelo, y los conjuntos de condensadores de la segunda pluralidad de conjuntos de condensadores que definen el segundo patrón están conectados en paralelo; y  
donde las una o más placas (400, 500) de circuito están configuradas para acoplarse a un electrodo de manera que el electrodo esté en comunicación eléctrica con los condensadores (310);  
caracterizado porque  
al menos una de las una o más placas (400, 500) de circuito está interpuesta entre uno de los conjuntos de condensadores de la primera parte de los condensadores y uno de los conjuntos de condensadores de la segunda parte de los condensadores.
2. El aparato de la reivindicación 1, donde las una o más placas de circuito comprenden una pluralidad de placas de circuito apilables.
3. El aparato de la reivindicación 2, donde la pluralidad de placas de circuito apilables comprende una primera placa de circuito apilable y una segunda placa de circuito apilable acoplada a la primera placa de circuito apilable.
4. El aparato de la reivindicación 3, donde la primera parte de los condensadores está acoplada a la primera placa de circuito apilable y la segunda parte de los condensadores está acoplada a la segunda placa de circuito apilable.
5. El aparato de la reivindicación 3, donde la primera parte de los condensadores está dispuesta en el primer lado de la primera placa de circuito apilable y la segunda parte de la pluralidad de condensadores está dispuesta en el segundo lado de la primera placa de circuito apilable, y el segundo lado de la primera placa de circuito apilable es opuesto al primer lado de la primera placa de circuito apilable.
6. El aparato de la reivindicación 4 o la reivindicación 5, donde:  
la pluralidad de conjuntos de condensadores definidos por la primera parte de la pluralidad de condensadores está dispuesta en un patrón circular; y  
la pluralidad de conjuntos de condensadores definidos por la segunda parte de la pluralidad de condensadores está dispuesta en un patrón circular.
7. El aparato de cualquiera de las reivindicaciones 3 - 6, donde la primera placa de circuito apilable comprende además, un borde exterior y un centro, la segunda placa de circuito apilable comprende además, un borde exterior y un centro; y la primera parte de la pluralidad de condensadores está configurada para provocar que una corriente fluya desde el borde exterior de la primera placa de circuito apilable hacia el centro de la primera placa de circuito apilable, y la segunda parte de la pluralidad de condensadores está configurada para provocar que una corriente fluya desde el borde exterior de la segunda placa de circuito apilable hacia el centro de la segunda placa de circuito apilable.
8. El aparato de cualquiera de las reivindicaciones 3 - 6, donde la primera placa de circuito apilable está acoplada eléctricamente a la segunda placa de circuito apilable mediante unos conectores dispuestos a lo largo de los bordes exteriores de las placas de circuito apilables.
9. El aparato de cualquiera de las reivindicaciones 2 - 8, donde:

- la pluralidad de placas de circuito apilables tiene cada una un grosor de entre 0,5 mm (0,02 pulgadas) y 5,1 mm (0,2 pulgadas); y
- 5 la pluralidad de condensadores tiene cada uno una longitud de entre 2 mm y 4 mm, y una anchura de entre 1 mm y 3 mm.
10. El aparato de cualquiera de las reivindicaciones 3 - 8, donde la primera parte de los condensadores no entra en contacto con una de la primera o la segunda placa de circuito apilable.
- 10 11. El aparato de cualquiera de las reivindicaciones 1 - 10, donde la pluralidad de condensadores está dispuesta en un circuito que tiene una inductancia global de entre 2 nH y 200 nH, y donde el electrodo está fijado en al menos dos grados de libertad con respecto a las una o más placas de circuito.
- 15 12. El aparato de cualquiera de las reivindicaciones 1 - 11, donde la pluralidad de condensadores comprende entre 2 y 20 conjuntos de condensadores, estando los conjuntos de condensadores conectados en paralelo.
13. El aparato de cualquiera de las reivindicaciones 1 - 12, donde cada conjunto de condensadores comprende:
- 20 10 o más condensadores en serie; o
- 10 o más condensadores conectados en paralelo.
14. El aparato de cualquiera de las reivindicaciones 1 - 13, donde cada condensador tiene una capacitancia no superior a 100 nanofaradios.
- 25 15. El aparato de cualquiera de las reivindicaciones 1 - 14, donde la pluralidad de condensadores comprende al menos 100 condensadores.



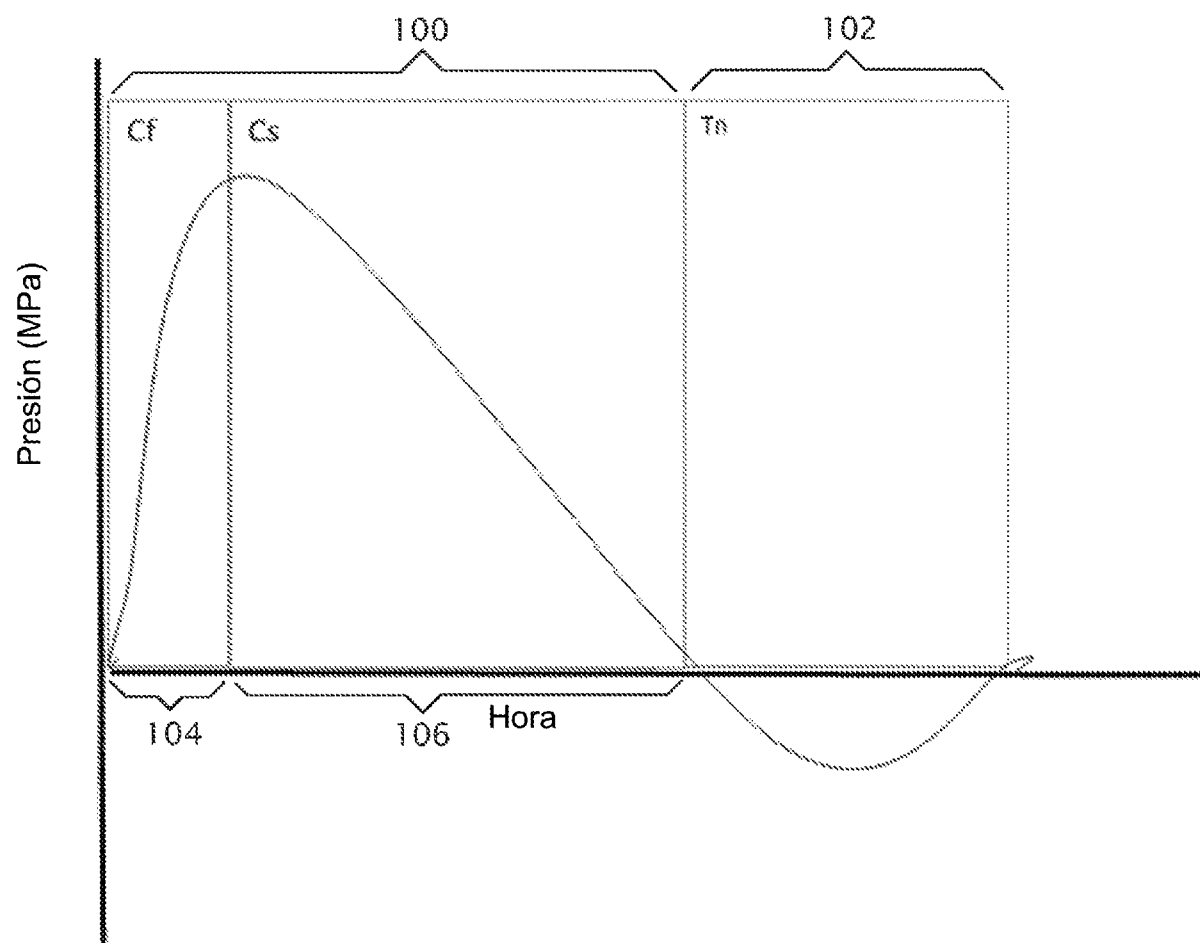
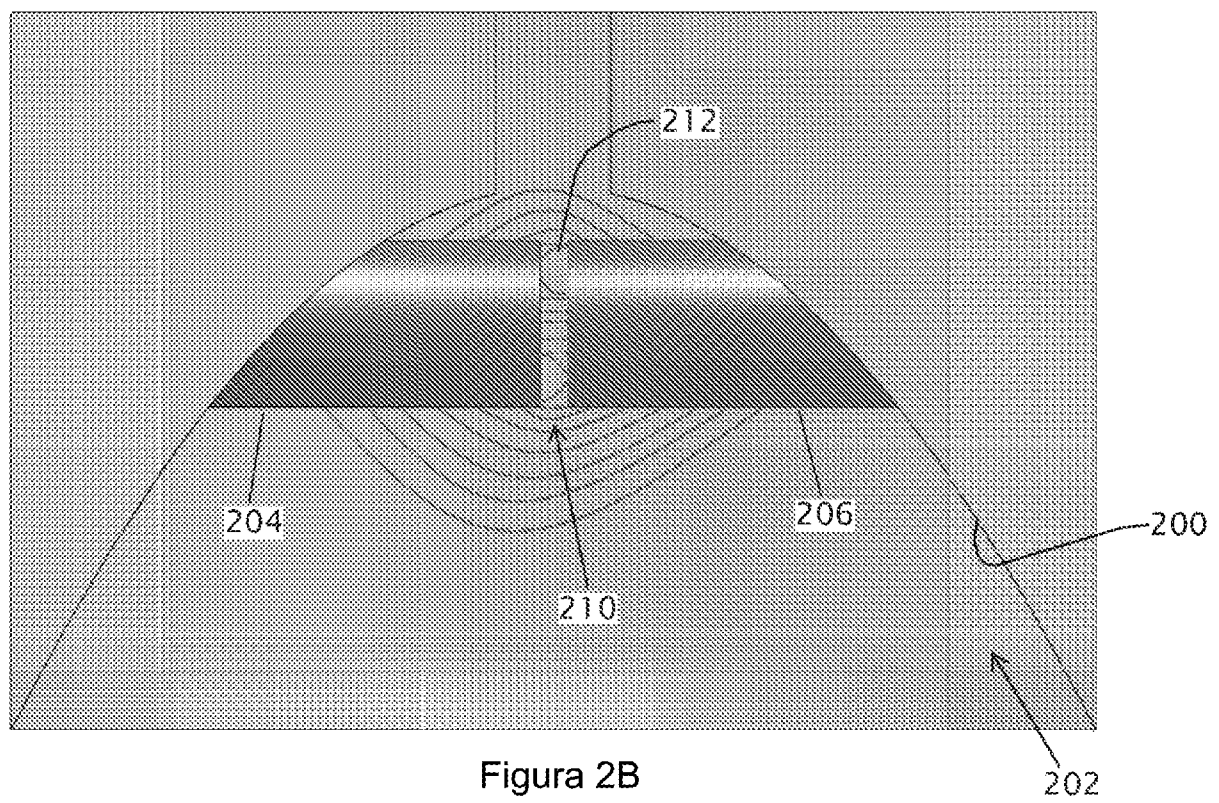
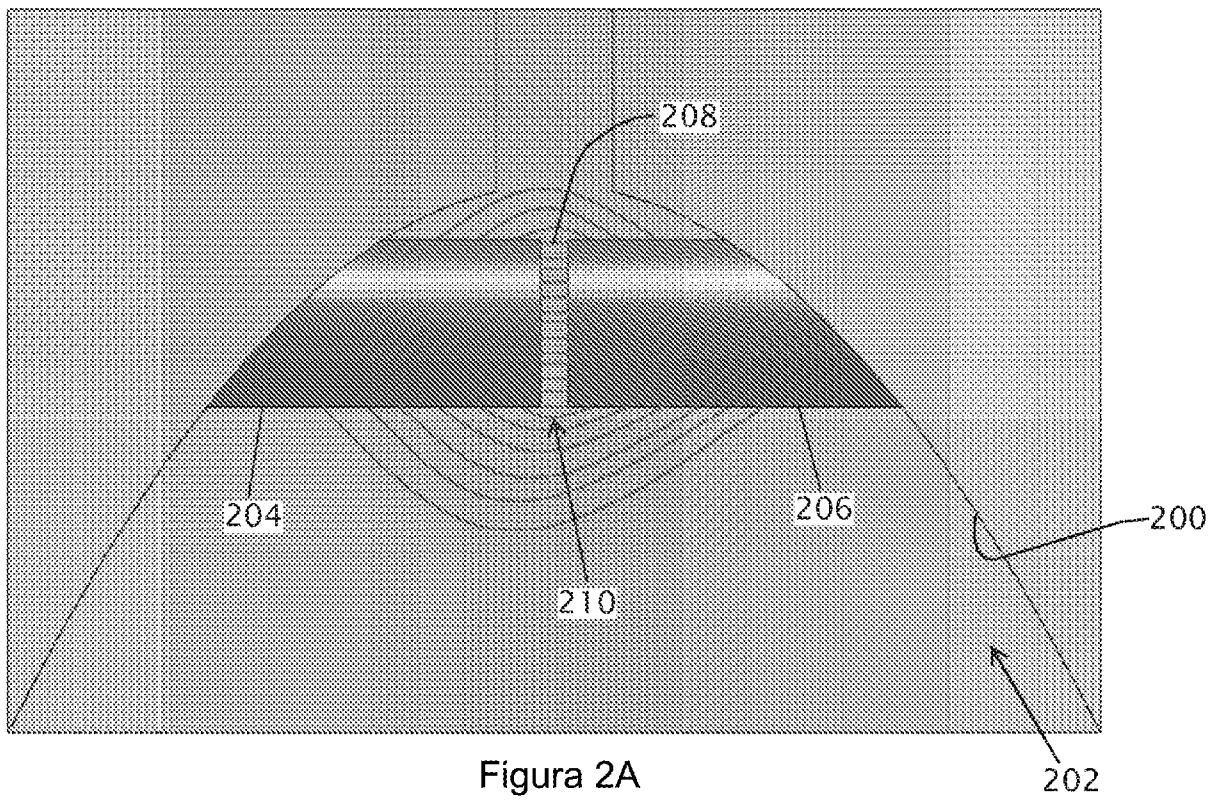
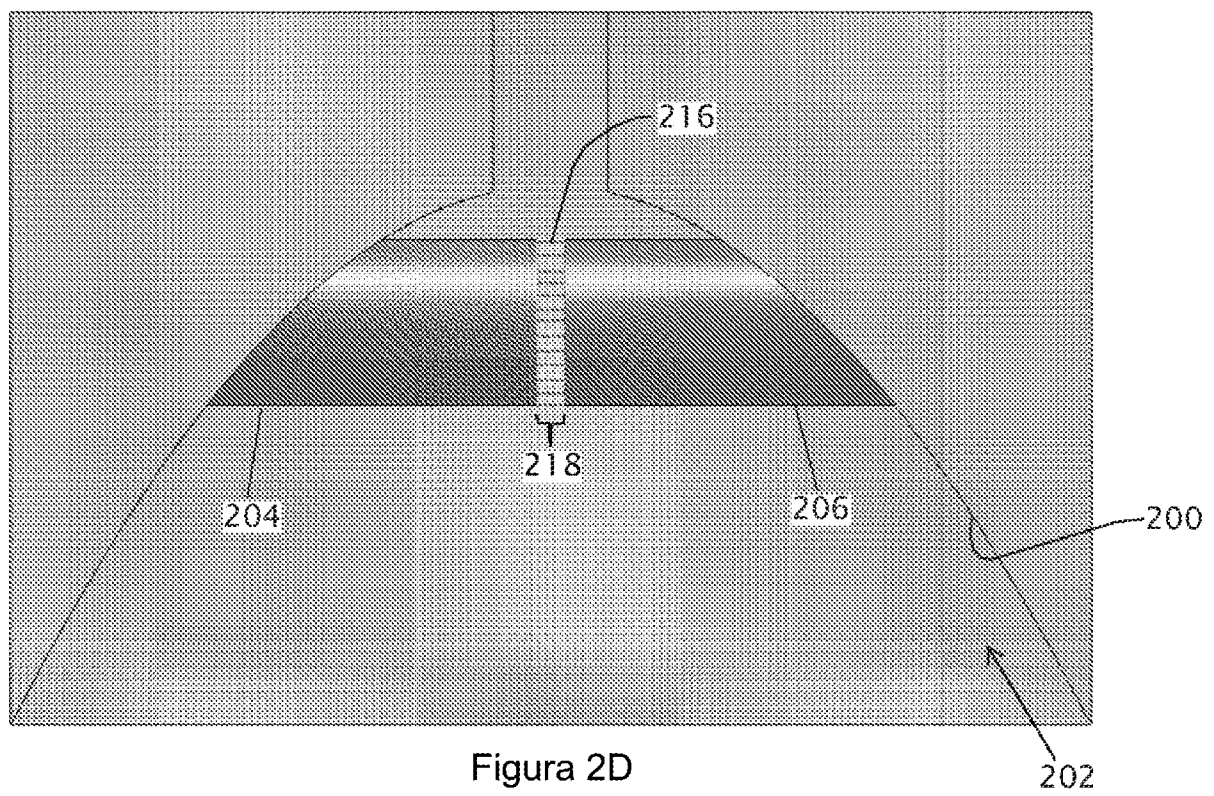
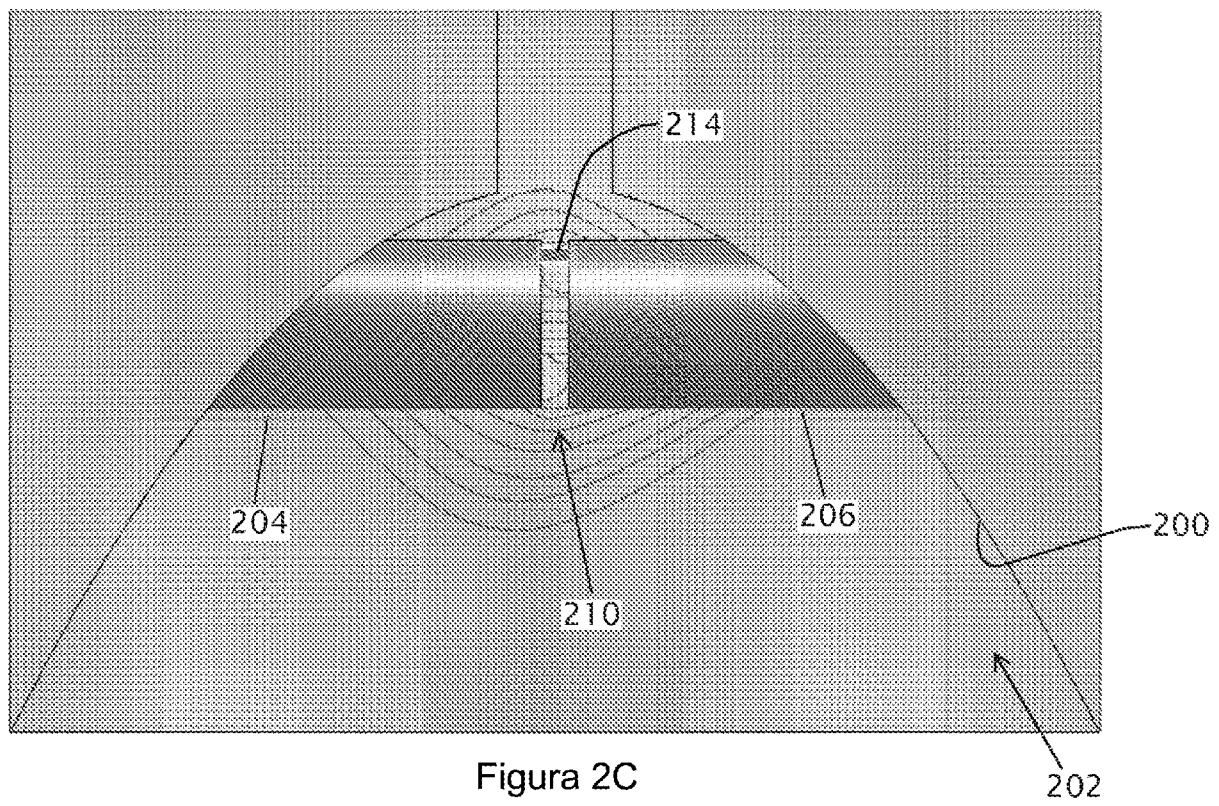


Figura 1





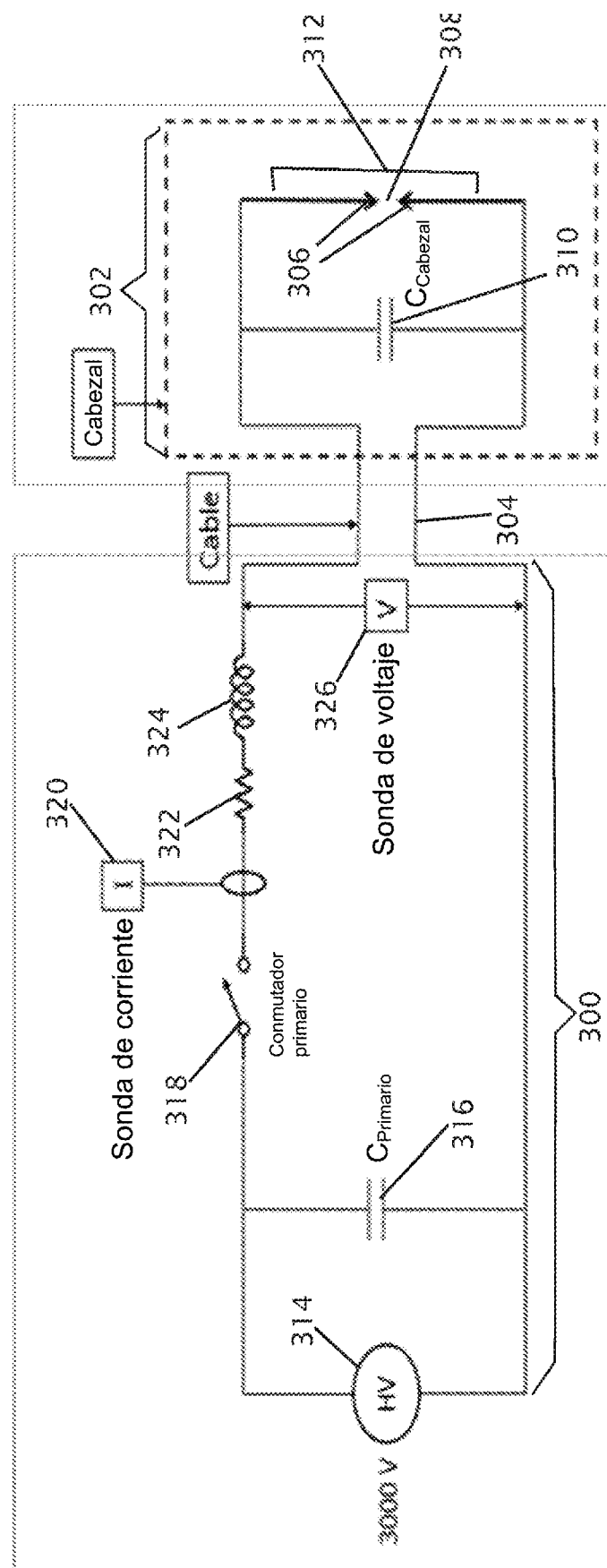


Figura 3

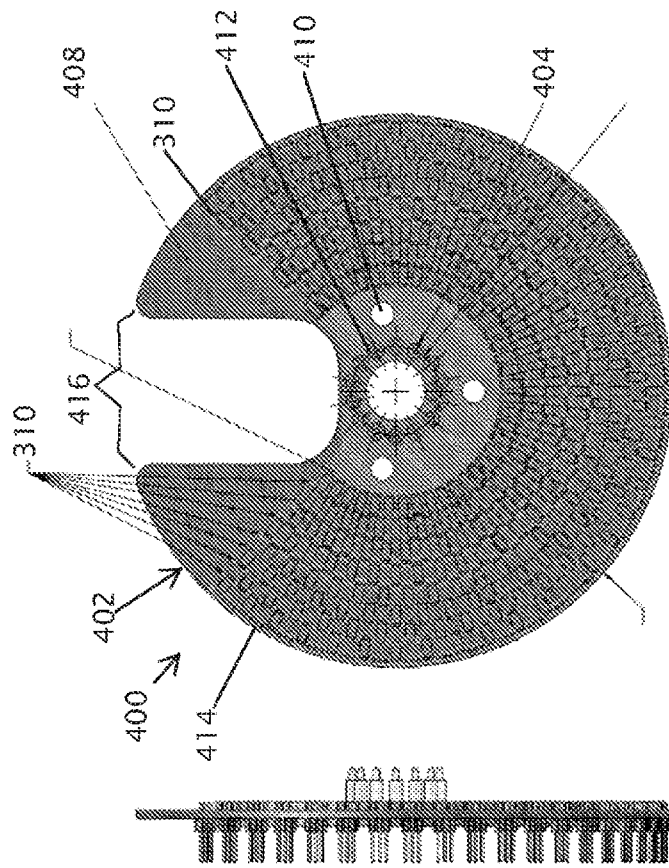


Figura 4D

Figura 4C

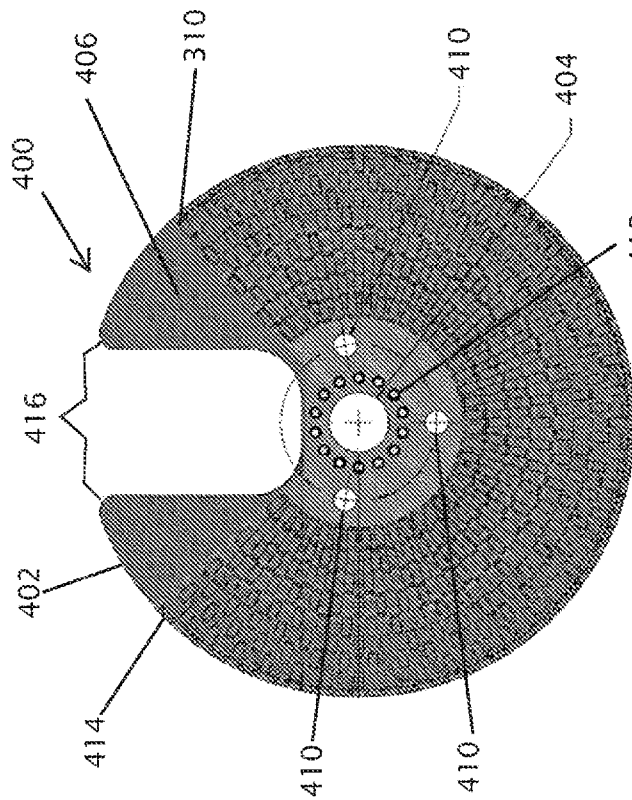


Figura 4A

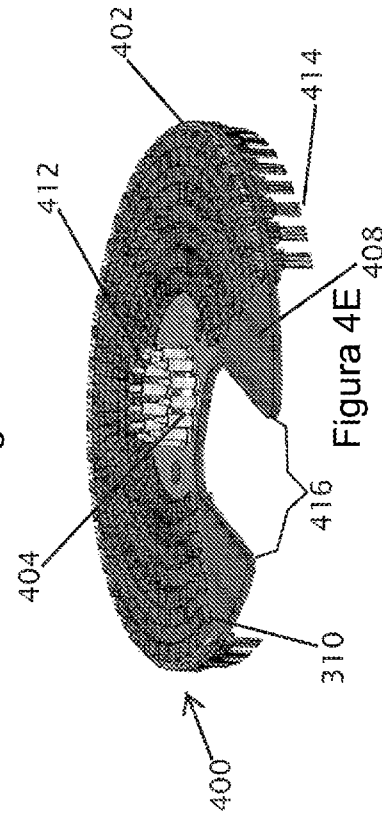


Figura 4E

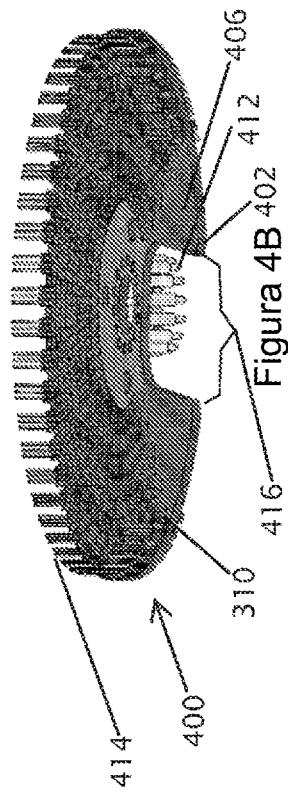
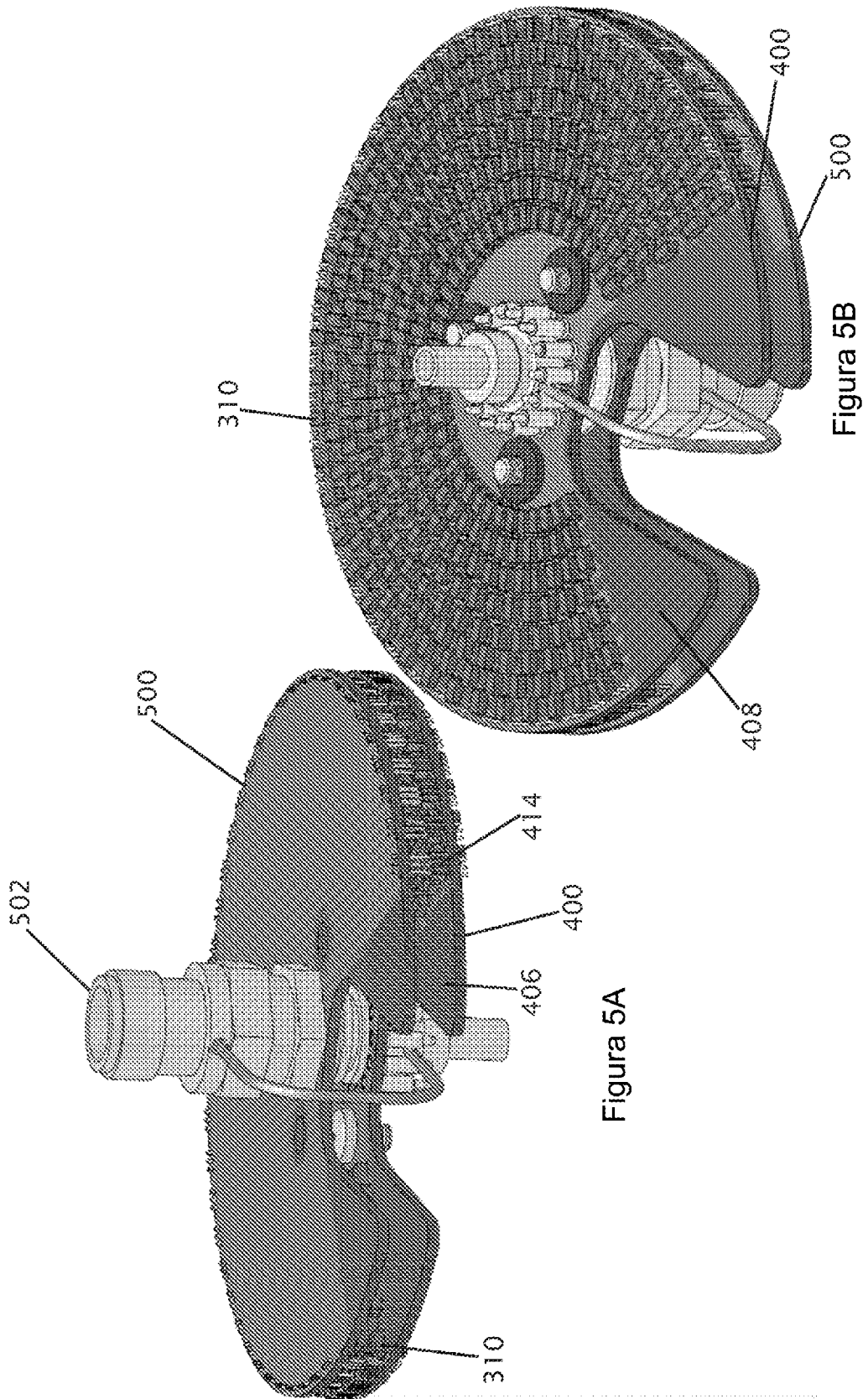


Figura 4B



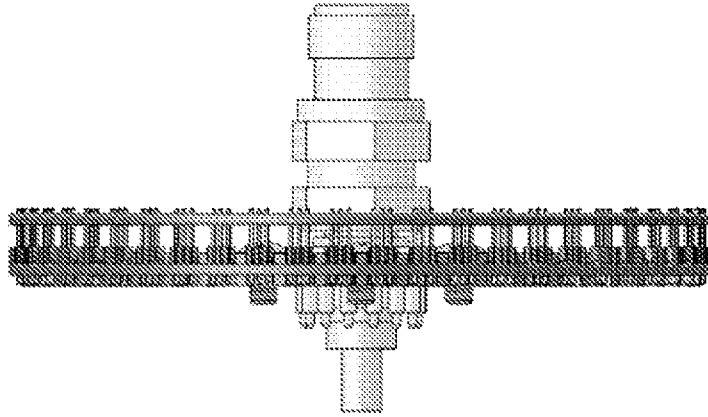


Figura 5E

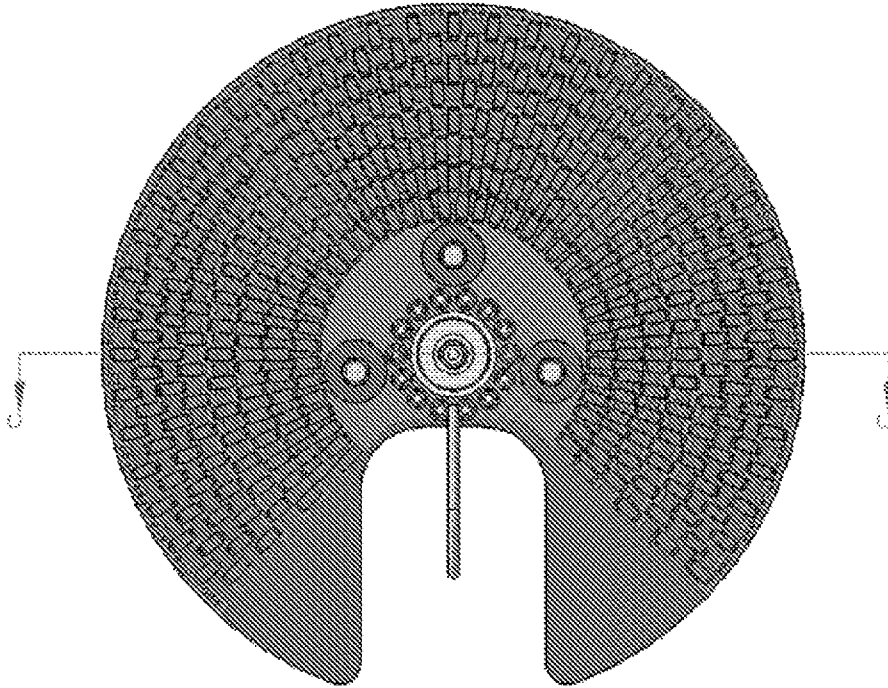


Figura 5D

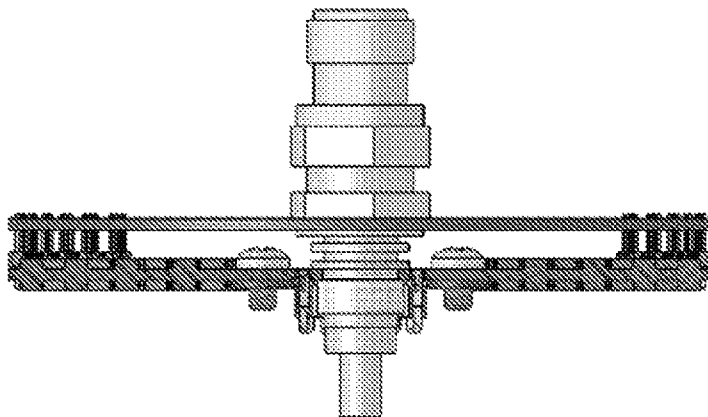


Figura 5C



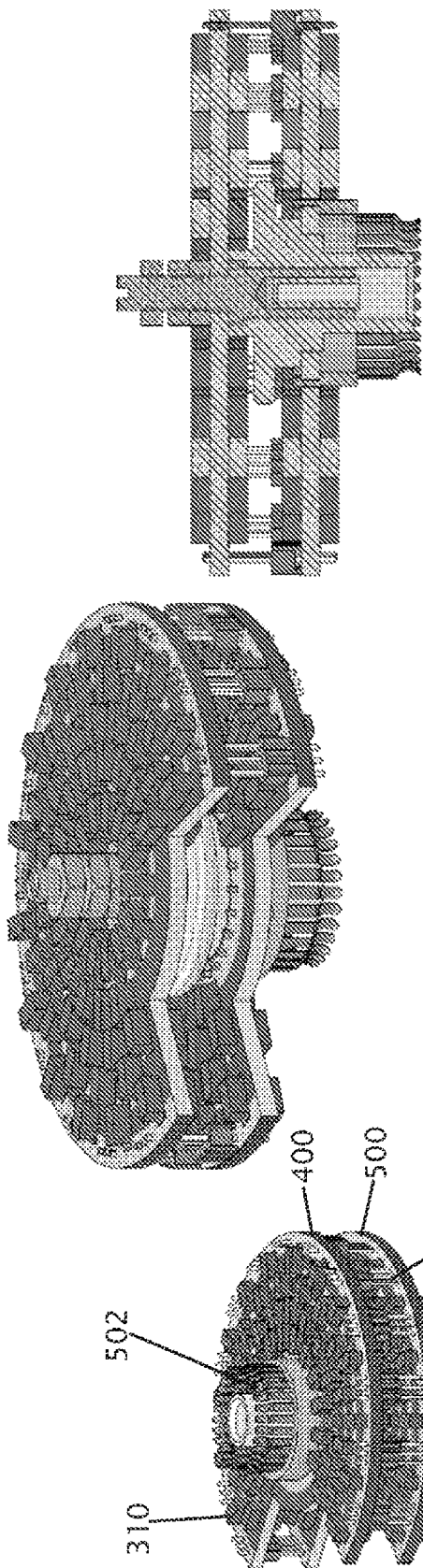


Figura 6A

Figura 6B

Figura 6C

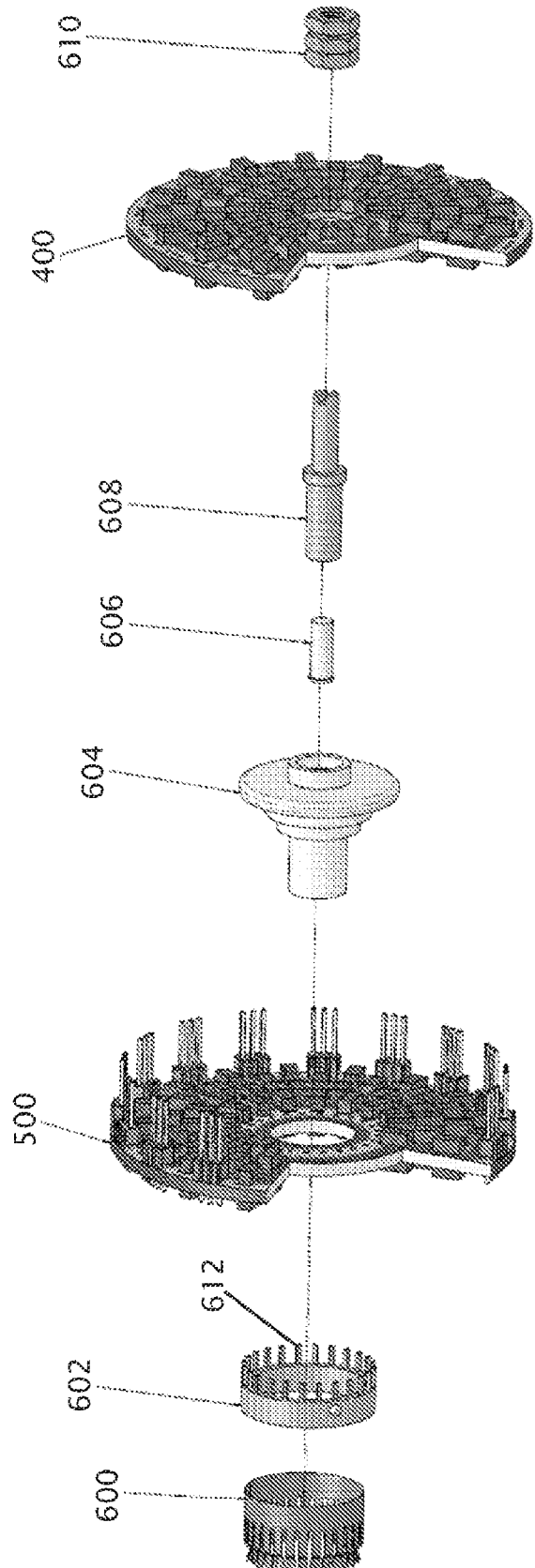


Figura 6D



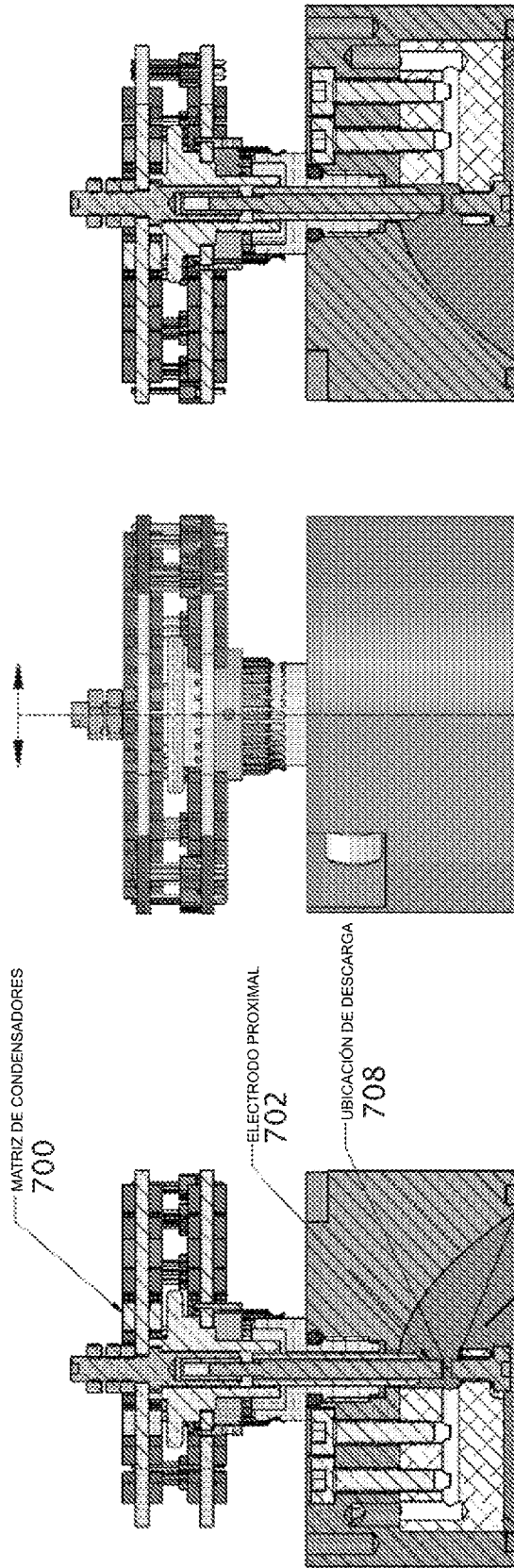


Figura 7C

Figura 7B

Figura 7A

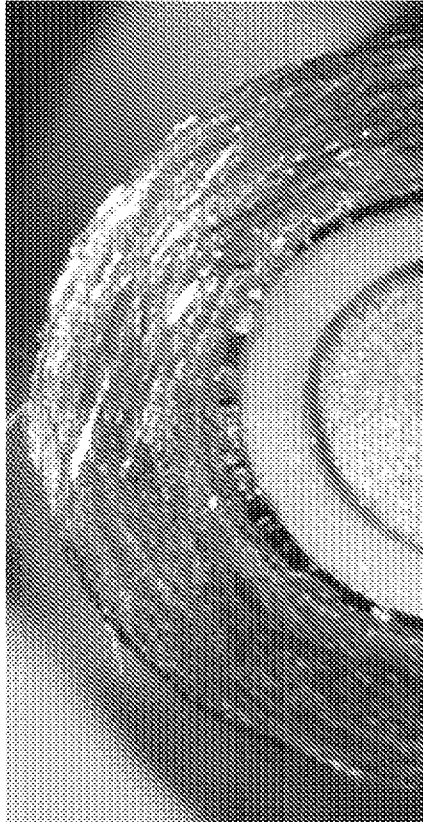


Figura 8B



Figura 8A

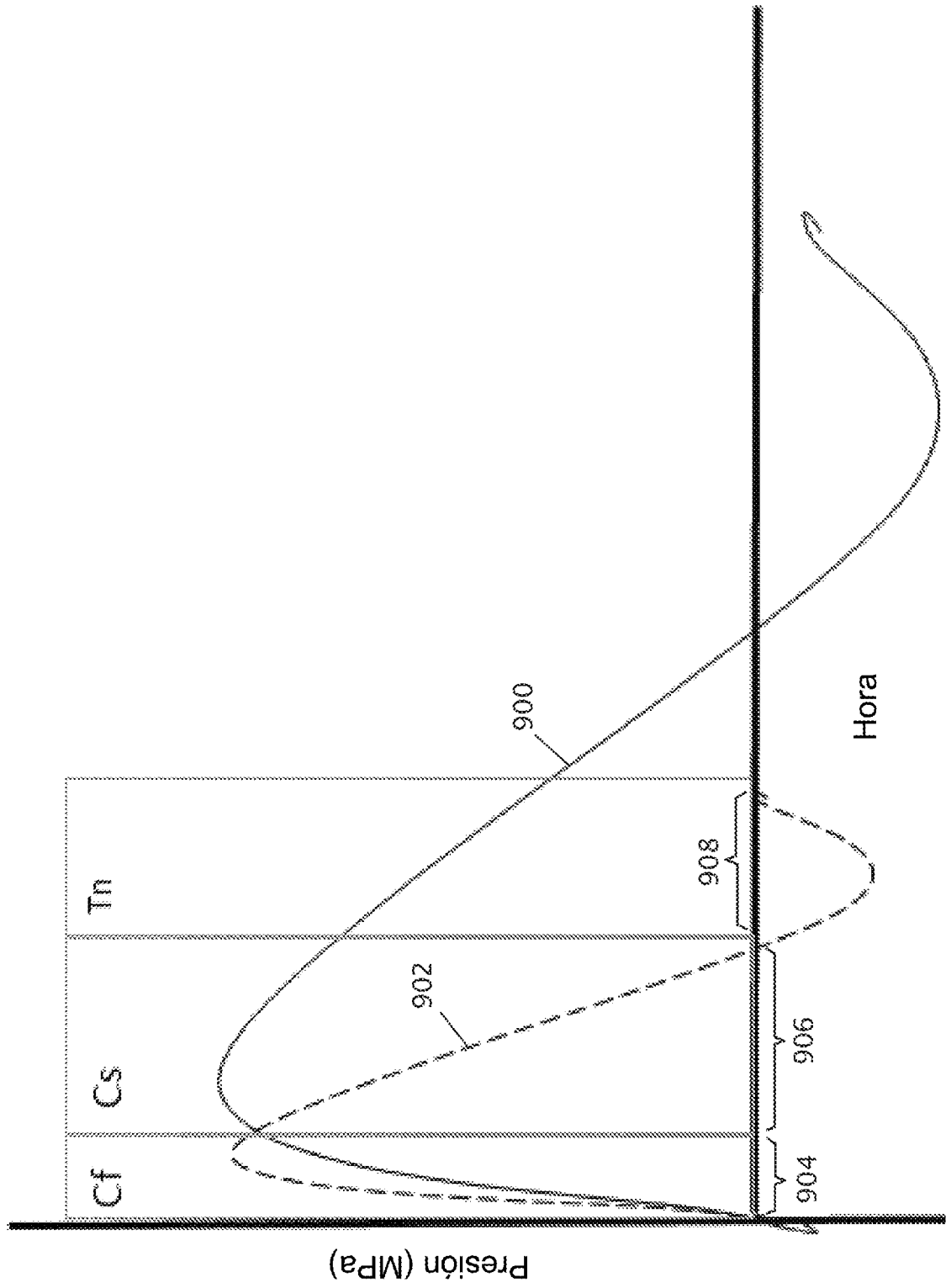


Figura 9

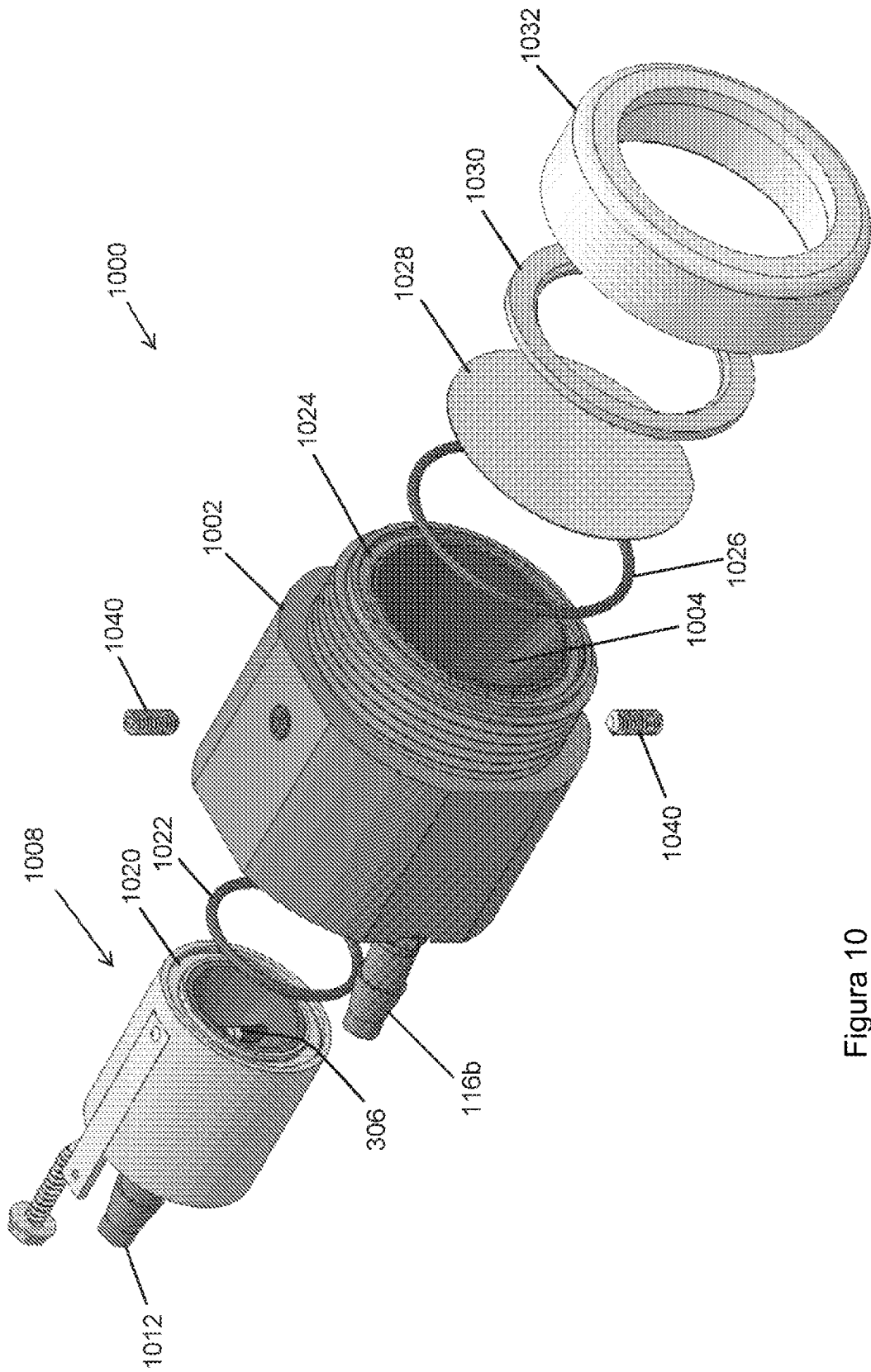


Figura 10

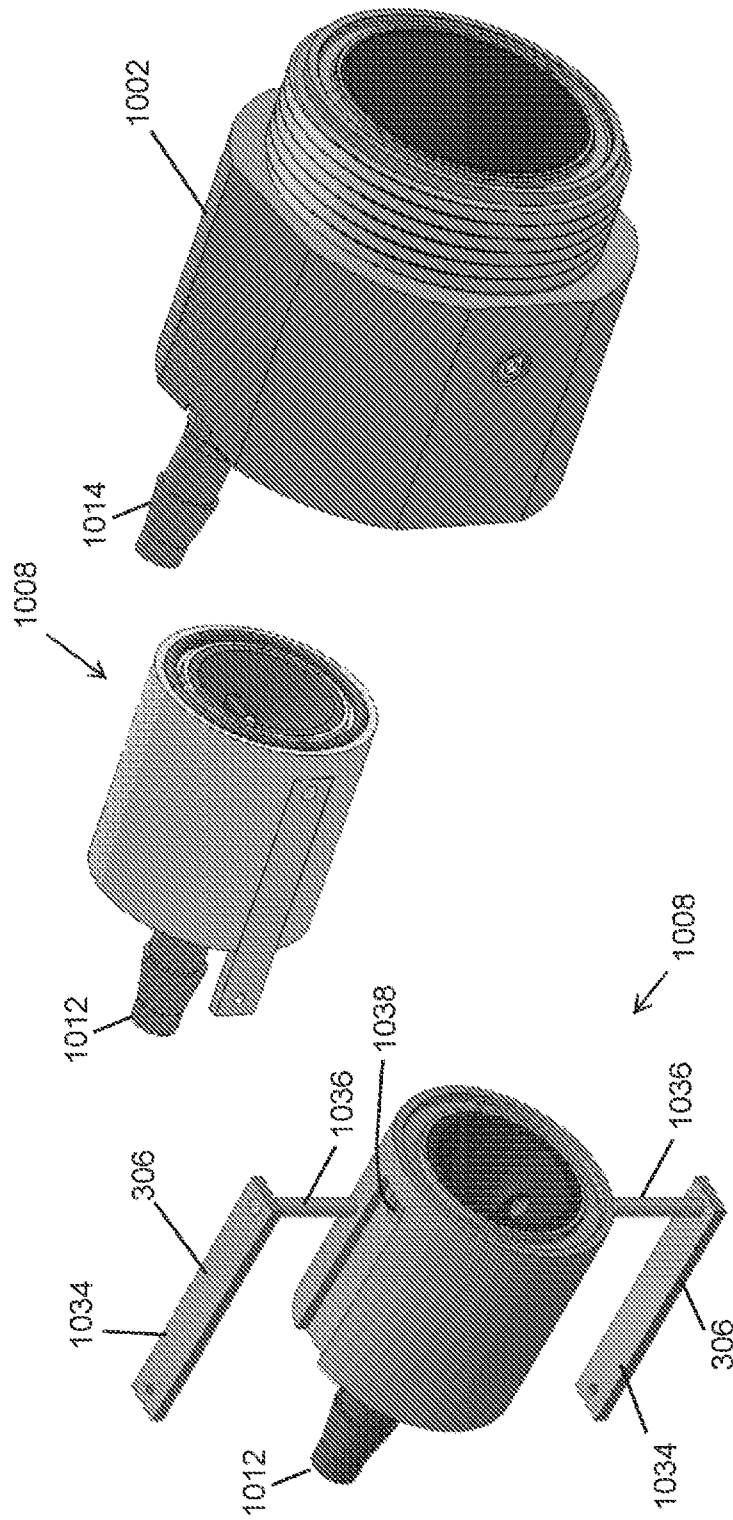


Figure 11B

Figure 11A

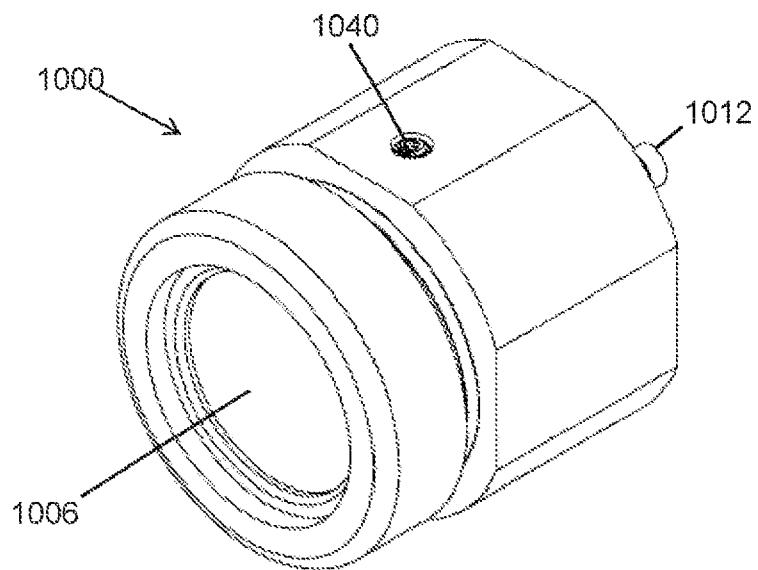


Figura 12A

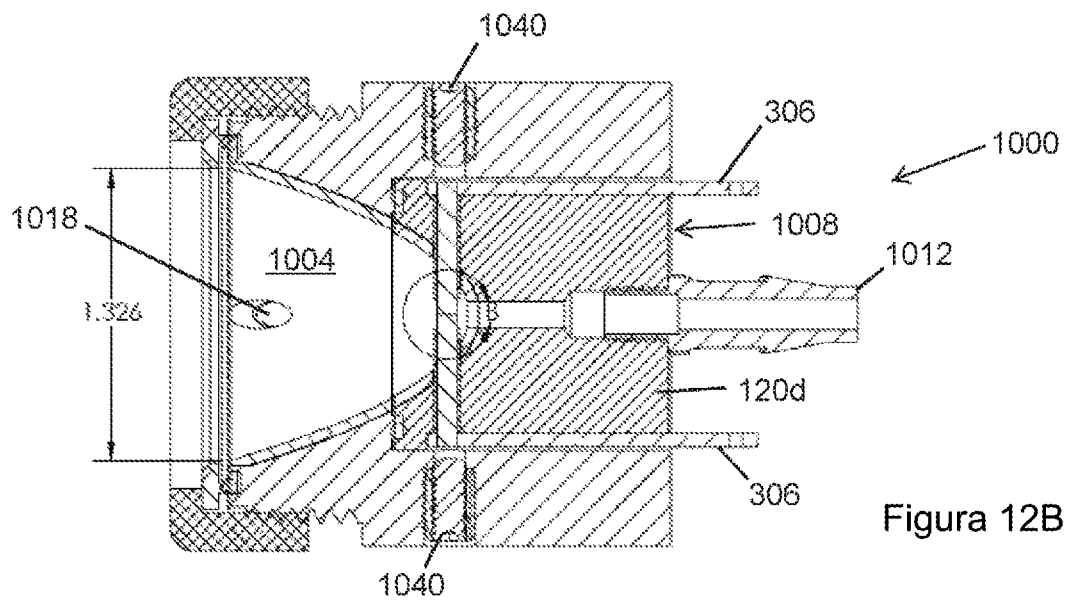


Figura 12B

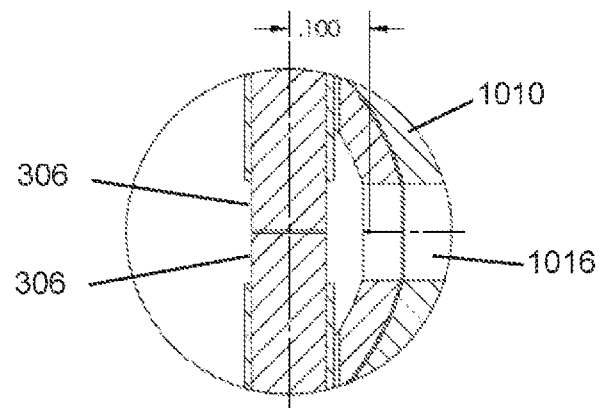


Figura 12C