(19) OFICINA ESPAÑOLA DE PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

(11) Número de publicación: **2 356 146**

(51) Int. Cl.:
H01L 41/08 (2006.01)
H01L 41/26 (2006.01)
H02N 1/00 (2006.01)

(12) TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA T3

(96) Número de solicitud europea: **04716955 .2**
(96) Fecha de presentación : **03.03.2004**
(97) Número de publicación de la solicitud: **1602135**
(97) Fecha de publicación de la solicitud: **07.12.2005**

(54) Título: **Polímeros electroactivos enrollados.**

(30) Prioridad: **03.03.2003 US 451742 P**

(45) Fecha de publicación de la mención BOPI:
05.04.2011

(45) Fecha de la publicación del folleto de la patente:
05.04.2011

(73) Titular/es: **SRI INTERNATIONAL**
333 Ravenswood Avenue
Menlo Park, California 94025-3, US

(72) Inventor/es: **Rosenthal, Marcus, A.;**
Pei, Qibing y
Bonwit, Neville, A.

(74) Agente: **Carpintero López, Mario**

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).

Venta de fascículos: Oficina Española de Patentes y Marcas. Pº de la Castellana, 75 – 28071 Madrid

DESCRIPCIÓN

ANTECEDENTES DE LA INVENCIÓN

La presente invención se refiere generalmente a dispositivos poliméricos electroactivos de conversión entre energía eléctrica y energía mecánica. Más particularmente, la presente invención se refiere a dispositivos poliméricos electroactivos enrollados y a los procedimientos para fabricar estos dispositivos.

En muchas aplicaciones, es deseable la conversión entre energía eléctrica y energía mecánica. Aplicaciones ejemplares que requieren la conversión de energía eléctrica a energía mecánica incluye, la robótica, bombas, altavoces, sensores, microfluidica, zapatos, automatización general, unidades de disco y dispositivos protésicos. Estas aplicaciones incluyen uno o más transductores que convierten energía eléctrica en trabajo mecánico – a un nivel macroscópico o microscópico. Las aplicaciones ejemplares que requieren conversión de energía mecánica a energía eléctrica incluyen los sensores y los generadores.

Nuevos polímeros de alto rendimiento capaces de convertir energía eléctrica en energía mecánica, y viceversa, están ahora disponibles para una gran gama de aplicaciones de conversión energética. Una clase de estos polímeros, los elastómeros electroactivos, está consiguiendo mayor atención. Los elastómeros electroactivos pueden exhibir una elevada densidad de energía, gran tensión y alta eficiencia de acoplamiento electromecánica. La prestación de estos polímeros se incrementa notablemente cuando los polímeros son de área pretensada. Por ejemplo un aumento del área de 10 a 25 veces mejora notablemente el rendimiento de muchos elastómeros electroactivos.

Tradicionalmente, se han usado marcos voluminosos y estáticos para aplicar y mantener pretensado una única capa de polímero electroactivo. . Los marcos permiten también el acoplamiento entre el polímero y el entorno externo. Estos marcos ocupan significativamente más espacio y un peso mucho mayor que una única capa de polímero, y puede comprometer la densidad energética y ventajas compactas que proporcionan estos nuevos polímeros.

De este modo, serían deseables técnicas mejoradas de implementación de estos polímeros de alto rendimiento.

El documento US 2003/006669 (PET QIBING y col) divulga la aplicación de un transductor de rollo polimérico electroactivo o sensor de tensión, un resorte a modo de conexión mecánica dispuesto en el rollo, teniendo el polímero un módulo elástico de al menos 100 Mpa.

SUMARIO DE LA INVENCIÓN

La presente invención soluciona las limitaciones de la técnica anterior y proporciona nuevos dispositivos poliméricos electroactivos enrollados. La presente invención incluye también el empleo de estos dispositivos en una amplia gama de aplicaciones y procedimientos para su fabricación. Un dispositivo polimérico electroactivo enrollado realiza la conversión entre energía eléctrica y mecánica; e incluye un polímero electroactivo enrollado y al menos dos electrodos para proporcionar la conversión de energía mecánica/eléctrica. Se puede aplicar pretensión al polímero.

En un aspecto, la presente invención se refiere a un dispositivo para la conversión entre energía eléctrica y mecánica según la reivindicación 1.

En otro aspecto, la presente invención se refiere a un procedimiento para fabricar un dispositivo polimérico electroactivo según la reivindicación 13.

Estas y otras características y ventajas de la presente invención se describirán en la siguiente descripción de la invención y las figuras asociadas.

BREVE DESCRIPCIÓN DE LOS DIBUJOS

Las figuras 1A y 1B ilustran una vista superior de una parte transductora antes y después de la aplicación de una voltaje, respectivamente.

Las figuras 2A-2D ilustran un dispositivo polimérico electroactivo enrollado.

La figura 2E ilustra un dispositivo polimérico electroactivo enrollado de la figura 2A.

La figura 3A ilustra un transductor monolítico que comprende una pluralidad de áreas activas en un único polímero.

La figura 3B ilustra un transductor monolítico que comprende una pluralidad de áreas activas en un único polímero antes de enrollarse.

La figura 3C ilustra un transductor enrollado que produce una salida bidimensional.

La figura 3D ilustra el transductor de la figura 3C con accionamiento para un juego de áreas activas radialmente alineadas

Las figuras 3E-G ilustran vistas ejemplares en sección transversal vertical de un dispositivo polimérico electroactivo anidado.

Las figuras 3H-J ilustran vistas ejemplares en sección transversal vertical de un dispositivo polimérico electroactivo anidado.

La figuras 3K ilustra un dispositivo polimérico electroactivo enrollado que permite que un diseñador varie la deflexión respecto del perfil de fuerza del dispositivo.

Las figuras 3L-3Z ilustran dispositivo poliméricos electroactivos enrollados con suficiente energía según la presente invención destinados a proporcionar movimientos angulares controlados con precisión.

La figura 4 ilustra un esquema eléctrico de un sistema de amortiguación/rigidez variable bucle abierto.

La figura 5A es un diagrama de bloques de una o más áreas activas conectadas a electrónica de acondicionamiento de energía.

La figura 5B es un esquema de circuito de un dispositivo que emplea un transductor polimérico electroactivo enrollado para una realización de la presente invención.

Las figuras 6A-6D describen la fabricación de un dispositivo polimérico electroactivo enrollado según una realización de la presente invención.

La figura 7 es un esquema de un sensor que emplea un transductor polimérico electroactivo enrollado según una realización de la presente invención.

Las figuras 8A-8C ilustran la fabricación y la implementación de un dispositivo polimérico electroactivo multicapa que usan técnicas de enrollado.

Las figuras 8D y 8E ilustran vistas laterales respectivas de la aplicación de una varilla de empuje de la figura 8C respectivamente antes y después del accionamiento.

DESCRIPCIÓN DETALLADA DE LAS REALIZACIONES PREFERIDAS.

La presente invención se describe en detalle con referencia a unas pocas realizaciones preferidas ilustradas en los dibujos anexos. En la siguiente descripción, se exponen numerosos detalles específicos con el fin de proporcionar una comprensión rigurosa de la presente invención. Será evidente, sin embargo, para un experto en la técnica que la presente invención se puede poner en práctica sin algunos o todos estos detalles específicos. En otros casos, no se han descrito estructuras y/o etapas del proceso bien conocidas en detalle con el fin de no complicar innecesariamente la presente invención.

1.-POLÍMEROS ELECTROACTIVOS

Antes de describir las estructuras la fabricación y las aplicaciones de polímeros electroactivos enrollados de la presente invención, se aclararán en primer lugar los principios básicos de la construcción y operación de polímeros electroactivos. La transformación entre energía eléctrica y mecánica en los dispositivos de la presente invención se basa en la conversión de energía de una o más áreas activas de un polímero electroactivo. Los polímeros electroactivos son capaces de conversión entre energía mecánica y energía eléctrica. En algunos casos, un polímero electroactivo puede cambias propiedades eléctricas (por ejemplo, la capacitancia y la resistencia) cambiando el voltaje mecánica.

Para ayudar a ilustrar el rendimiento de un polímero electroactivo en la conversión entre energía eléctrica y energía mecánica, la figura 1A ilustra una vista superior en perspectiva de una parte transductora 10 según una realización de la presente invención. La parte transductora 10 comprende una parte de un polímero electroactivo 12 para conversión entre energía eléctrica y energía mecánica. En una realización , un polímero electroactivo se refiere a un polímero que actúa como un dieléctrico aislante entre dos electrodos y puede desviarse en una aplicación de una diferencia de voltaje entre dos electrodos (un ‘elastómero dieléctrico’). Los electrodos superior e inferior 14 y 16 están fijados al

polímero electroactivo 12 sobre sus superficies superior e inferior, respectivamente, para proporcionar una diferencia de voltaje a través del polímero 12, o para recibir energía eléctrica del polímero 12. El polímero 12 puede desviarse con un cambio en el campo eléctrico proporcionado por los electrodos superior e inferior 14 y 16. El desvío de la parte transductora 10 en respuesta a un cambio en el campo eléctrico proporcionado por los electrodos 14 y 16 se denomina “accionamiento”. El accionamiento implica típicamente la conversión de energía eléctrica en energía mecánica. Ya que el polímero 12 cambia de tamaño, el desvío se puede usar para producir trabajo mecánico.

La figura 1B ilustra una vista superior en perspectiva de la parte transductora 10 que incluye desvío. En general, el desvío se refiere a cualquier desplazamiento, expansión, contracción, torsión, tensión lineal o de área, o cualquier otra deformación de una parte del polímero 12. Para el accionamiento, un cambio en el campo eléctrico que corresponde a la diferencia de voltaje aplicada a o por los electrodos 14 y 16 produce presión mecánica dentro del polímero 12. En este caso, las cargas eléctricas desiguales producidas por los electrodos 14 y 16 se atraen entre sí y proporcionan una fuerza de compresión entre los electrodos 14 y 16 y una fuerza de expansión sobre el polímero 12 en direcciones planas 18 y 20, haciendo que el polímero 12 se comprima entre los electrodos 14 y 16 y se estiran en las direcciones planas 18 y 20.

Los electrodos 14 y 16 son elásticos y cambian de forma con el polímero 12. La configuración del polímero 12 y los electrodos 14 y 16 proporcionan para aumentar el polímero 12 una respuesta con desvío. Más específicamente, como la parte transductora 10 se desvía, la compresión del polímero 12 lleva las cargas opuestas de los electrodos 14 y 16 más cerca y el estiramiento del polímero 12 separa las cargas similares en cada electrodo. En una realización, uno de los electrodos 14 y 16 es masa. Para el accionamiento, la parte transductora 10 siguen generalmente desviándose hasta que las fuerzas mecánicas equilibren las fuerzas electrostáticas que accionan el desvío. Las fuerzas mecánicas incluyen fuerzas de restauración elástica del material del polímero 12, la elasticidad de los electrodos 14 y 16, y cualquier resistencia externa proporcionada por un dispositivo y/o una carga acoplada a la parte transductora 10, etc. El desvío de la parte transductora 10 como resultado de un voltaje aplicado puede depender también de un número de otros factores tales como la constante dieléctrica del polímero 12 y la dimensión del polímero 12.

Los polímeros electroactivos según la presente invención son capaces de desvío en cualquier dirección. Después de la aplicación de una voltaje entre los electrodos 14 y 16, el polímero electroactivo 12 aumenta en tamaño tanto en ambas direcciones planas 18 y 20. En algunos casos, el polímero electroactivo 12 es incompresible, por ejemplo, tiene un volumen sustancialmente constante bajo tensión. En este caso, el polímero 12 reduce su espesor como consecuencia de la expansión en las direcciones 18 y 20. Se ha de entender que la presente invención no se limita a polímeros incompresibles y al desvío del polímero 12 pude no conformarse a tal relación simple.

La aplicación de una diferencia de voltaje relativamente grande entre los electrodos 14 y 16 sobre la parte transductora 10 mostrada en la figura 1A hará que la parte transductora 10 cambien a una forma de área mayor y más fina como se muestra en la figura 1B. De este modo, la parte transductora 10 convierte energía eléctrica en energía mecánica. La parte transductora 10 se puede usar también para convertir energía mecánica en energía eléctrica.

Para accionamiento, la parte transductora 10 sigue generalmente desviándose hasta que las fuerzas mecánicas equilibran las fuerzas electrostáticas que accionan el desvío. Las fuerzas mecánicas incluyen fuerzas de restauración elástica del material del polímero 12, la elasticidad de los electrodos de los electrodos 14 y 16, y cualquier resistencia exterior proporcionada por un dispositivo y/o una carga acoplada a la parte transductora 10, etc. El desvío de la parte transductora 10 como consecuencia de un voltaje aplicado puede depender también de un número de otros factores tales como la constante dieléctrica del polímero 12 y el tamaño del polímero 12.

En una realización, el polímero electroactivo 12 está pretensado. La pretensión de un polímero se puede describir, en una o más direcciones, ya que el cambio de dimensión en una dirección después de la pretensión respecto de la dimensión en esta dirección antes de la pretensión. La pretensión puede comprender la deformación elástica del polímero 12 y formarse, por ejemplo, estirando el polímero en tensión fijando uno o más de los bordes mientras se estiran. Alternativamente, como se describirá más en detalle en lo sucesivo, un mecanismo tal como un resorte puede estar acoplado a diferentes partes de un polímero electroactivo y proporcionar una fuerza que proporciona tensión a una parte del polímero. Para muchos polímeros, la pretensión mejora la conversión entre energía eléctrica y energía mecánica. La respuesta mecánica mejorada permite un mayor trabajo mecánico para un polímero electroactivo, por ejemplo mayores desvíos y presiones de accionamiento. En una realización, la pretensión mejora la resistencia dieléctrica del polímero. En otra realización, la pretensión es elástica. Después del accionamiento, un polímero elásticamente pretensado podría, en principio, desfijarse y volver a su estado

original.

En una realización, la pretensión se aplica de manera uniforme sobre una parte del polímero 12 para producir un polímero pretensado isotrópico. A título de ejemplo, un polímero acrílico elastomérico se puede estirar entre un 200 y un 400% en ambas direcciones planas. En otra dirección la pretensión se aplica de manera desigual en diferentes direcciones para una parte de polímero 12 para producir un polímero pretensado anisotrópico. En este caso, el polímero 12 puede desviarse en mayor medida en una dirección que en otra cuando se acciona. Aunque sin desear quedar ligado a teoría alguna, se cree que la pretensión de un polímero en una dirección puede aumentar la rigidez del polímero en la dirección de pretensión. Correspondientemente, el polímero es relativamente más rígido en la dirección de alta pretensión y más elástico en la dirección de baja pretensión, y durante el accionamiento, se produce más desvío en la dirección de pretensión baja. En una realización, el desvío en dirección 18 de la parte transductora 10 se puede mejorar utilizando una gran pretensión en la dirección perpendicular 20. Por ejemplo, un polímero acrílico elastomérico usado como la parte transductora 10 se puede estirar en un 10% en la dirección 18 y en un 500% en la dirección perpendicular 20. La cantidad de pretensión para un polímero se puede basar en el material polimérico y el rendimiento deseado del polímero en una aplicación. La pretensión apropiada para su uso con la presente invención se describe, además, en la solicitud de patente de lis Estados Unidos en tramitación nº 09/619.848.

Generalmente, después de haber pretensado el polímero, se puede fijar a uno o más objetos o mecanismos. Para un objeto rígido, el objeto es de preferencia apropiadamente rígido para mantener el nivel de pretensión deseado en el polímero. Un resorte u otro mecanismo apropiado que proporciona una fuerza para forzar el polímero puede añadir cualquier pretensión previamente establecida en el polímero antes de la fijación al resorte o mecanismos, o puede ser responsable de toda la pretensión en el polímero. El polímero se puede fijar a uno o más objetos o mecanismos según cualquier procedimiento convencional conocido en la técnica tal como un adhesivo químico, una capa o material adhesivo, fijación mecánica, etc.

Los transductores y los polímeros pretensados de la presente invención no se limitan a ninguna geometría enrollada particular o tipo de desvío. Por ejemplo, el polímero y los electrodos se pueden formar en cualquier geometría o forma incluyendo tubos y rollos multicapa, polímeros enrollados fijados entre múltiples estructuras rígidas, polímeros enrollados fijados a través de un marco de cualquier geometría – incluyendo geometrías curvas o complejas, a través de un marco que tiene una o más juntas, etc. El desvío de un transductor según la presente invención incluye compresión y expansión lineal en una o más direcciones, flexión, deflexión axial cuando el polímero se enrolla, el desvío fuera de un agujero proporcionado sobre un cilíndrico exterior alrededor del polímero, etc. El desvío de un transductor puede verse afectado por la manera en que el polímero está limitado por un marco o estructuras rígidas fijadas al polímero.

Los materiales apropiados para su uso como un polímero electroactivo con la presente invención puede incluir cualquier polímero o goma sustancialmente aislante (o combinación de los mismos) que deforma en respuesta a una fuerza electrostática o cuya deformación da como resultado un cambio de campo eléctrico. Un material apropiado es NuSil CF19-2186 proporcionado por NuSil Technology of Carpenteria, CA. Otros materiales ejemplares apropiados para su uso como polímero pretensado incluyen elastómeros de silicona, elastómeros acrílicos tales como VHB 4910 producido por 3M Corporation of St. Paul, MN, poliuretanos, elastómeros termoplásticos, copolímeros que comprenden PVDF, adhesivos sensibles a la presión, fluoroeslastómeros, polímeros que comprenden silicona y restos acrílicos y similares. Los polímeros que comprenden silicona y restos acrílicos, mezclas poliméricas que comprenden un elastómero de silicona y un elastómero acrílico, por ejemplo. Las combinaciones de algunos de estos materiales se pueden usar también como el polímero electroactivo en transductores de la presente invención.

Los materiales usados como polímero electroactivo se puede seleccionar basándose en una o más propiedades materiales tal como una resistencia elevada de avería eléctrica, un módulo bajo de elasticidad (para deformaciones grandes o pequeñas), una constante dieléctrica elevada, etc. En una realización, el polímero se selecciona de manera que tiene un módulo elástico a lo sumo de aproximadamente 100 MPa. En otra realización, el polímero se selecciona de manera que tiene una presión de accionamiento máxima de entre aproximadamente 0,05 MPa y aproximadamente 10 MPa, y preferiblemente entre aproximadamente de 0,3 MPa y aproximadamente 3 MPa. En otra realización, el polímero se selecciona de manera que tiene una constante dieléctrica de entre aproximadamente 2 y aproximadamente 20, y preferiblemente de entre aproximadamente 2,5 y aproximadamente 12.

Una capa de polímero electroactivo en transductores de la presente invención puede tener una amplia gama de espesores. En una realización, el espesor de polímero puede variar entre aproximadamente 1 micrómetro y 2 milímetros. El espesor de polímero se puede reducir estirando la

película en una o ambas direcciones planas. En muchos casos, los polímeros electroactivos de la presente invención se pueden fabricar e implementar como películas finas. Espesores apropiados para estas películas finas pueden ser inferiores a 50 micrómetros.

Puesto que los polímeros electroactivos de la presente invención se pueden desviar a altas tensiones, los electrodos fijados a los polímeros deberían también desviarse sin comprometer el rendimiento mecánico o eléctrico. Generalmente, los electrodos apropiados para su uso con la presente invención pueden ser de cualquier forma y material siempre que puedan suministrar un voltaje apropiado a, o recibir un voltaje apropiado de, un polímero electroactivo. El voltaje puede bien ser constante o variar a lo largo del tiempo. En una realización, los electrodos se adhieren a una superficie del polímero. Los electrodos que se adhieren al polímero son preferiblemente elásticos y se conforman a la forma cambiante del polímero. Correspondientemente, la presente invención puede incluir electrodos elásticos que se conforman a la forma de un polímero electroactivo al cual están fijados. Los electrodos se pueden aplicar solamente a una parte de un polímero electroactivo y definen un área activa según su geometría. Se describirán varios ejemplos de electrodos que solamente cubren una parte de un polímero electroactivo más en detalle en lo sucesivo.

Varios tipos de electrodos apropiados para su uso con la presente invención se describen en la solicitud de patente de los Estados Unidos en tramitación de propiedad conjunta nº 09/619.848. Los electrodos descritos en la presente memoria y apropiados para su uso con la presente invención incluyen electrodos estructurados que comprenden trazas de metal y capas de distribución de carga, electrodos texturizados que comprenden varias fuera de las dimensiones planas, grasas conductoras tales como grasas de carbono o grasas de plata, suspensiones coloidales materiales conductores de relación de aspecto elevada tales como fibrillas de carbono y nanotubos de carbono, y mezclas de materiales ionícamente conductores.

Los materiales usados para los electrodos de la presente invención pueden variar. Los materiales apropiados usados en un electrodo pueden incluir grafito, negro de carbono, suspensiones coloidales, metales finos que incluyen plata y oro, polímeros y geles cargados de carbono y cargados de plata, y polímeros iónicamente o electrónicamente conductores. En una realización específica, un electrodo apropiado para su uso con la presente invención comprrende un 80 % de grasa de carbono y un 20% de negro de carbono en un aglutinante de goma de silicona tal como Stockwell RTV60-CON producida por Stockwell Rubber Co. Inc. de Filadelfia, PA. La grasa de carbono es del tipo tal como NyoGel 756G proporcionado por Nye Lubricant Inc. de Fairhaven, MA. La grasa conductora también se puede mezclar con un elastómero, tal como elastómero de silicio RTV 118 producido por General Electric de Waterford, NY, para proporciona grasa conductora de tipo gel.

Se ha de entender que algunos materiales de electrodo pueden funcionar bien con polímeros particulares y pueden no funcionar tan bien con otros. A título de ejemplo, las fibrillas de carbono funcionan bien con polímeros de elastómero acrílico mientras que no funcionan tan bien con polímeros de silicona. Para la mayoría de los transductores, las propiedades deseables para el electrodo elástico pueden incluir una o más de las siguientes: módulo bajo de elasticidad, resistividad uniforme, estabilidad química y medioambiental, compatibilidad química con el polímero electroactivo, buena adherencia al polímero electroactivo,, y la capacidad de formar superficies lisas. En algunos casos, un transductor de la presente invención puede implementar dos tipos de electrodos, por ejemplo, un tipo diferente de electrodo para cada área activa o tipos diferentes de electrodos en lados opuestos de un polímero.

2. DISPOSITIVOS POLIMÉRICOS ELECTROACTIVOS ENROLLADOS

Las figuras 2A-2D muestran un dispositivo polimérico electroactivo enrollado 20. Conocido del documento US 2003/06669, por ejemplo, la figura 2A ilustra una vista lateral del dispositivo 20. La figura 2B ilustra una vista axial del dispositivo 20 del extremo superior. La figura 2C ilustra una vista axial del dispositivo 20 tomada a través de la sección transversal A-A. La figura 2D ilustra componentes del dispositivo 20 antes del enrollamiento. El dispositivo 20 comprende un polímero 22 electroactivo enrollado, un resorte 24, piezas de extremo 27 y 28, y varios componentes de fabricación usados para mantener el dispositivo 20 unido.

Como se ilustra en la figura 2C, el polímero electroactivo 22 está enrollado. En una realización un polímero electroactivo enrollado se refiere a un polímero electroactivo con, o sin electrodos, envuelto alrededor y envuelto sobre si mismo (por ejemplo como un póster) o envuelto alrededor de otro objeto (por ejemplo el resorte 24). El polímero se puede enrollar repetidamente y al menos comprende una parte de capa exterior del polímero que recubre al menos una parte de capa interior del polímero. En una realización, un polímero electroactivo enrollado se refiere a un polímero electroactivo enrollado en espiral alrededor de un objeto o centro. Tal como se usa el término en la presente memoria, enrollado es independiente del modo en que el polímero consigue su configuración enrollada.

Como se ilustra mediante las figuras 2C y 2D, el polímero electroactivo 22 se enrolla alrededor del exterior del resorte 24. El resorte 24 proporciona una fuerza que causa tensión al menos a una parte del polímero 22. El extremo superior 24a del resorte 24 se fija a la pieza de extremo 27 rígida. Asimismo, el extremo inferior 24b del resorte 24 se fija a la pieza de extremo 28 rígida. El borde superior 22a del polímero 22 (Figuras 2D) se enrolla alrededor de la pieza de extremo 27 y se fija a la misma usando un adhesivo apropiado. El borde inferior 22b de polímero 22 se enrolla alrededor de la pieza de extremo 28 y se fija al mismo usando un adhesivo. De este modo, el extremo superior 24a del resorte 24 se acopla operativamente al borde superior 22a del polímero 22 porque el desvío del extremo superior 24a corresponde al desvío del borde superior 22a del polímero 22. Asimismo, el borde inferior 24b de resorte 24 se acopla operativamente al borde inferior 22b del polímero 22 y el extremo inferior 24b del desvío corresponde al borde inferior 22b del desvío del polímero 22. El polímero 22 y el resorte 24 son capaces de desvío entre sus respectivas partes inferior y superior.

Como se ha mencionado anteriormente, muchos polímeros electroactivos son mejores cuando se pretensan. Por ejemplo, algunos polímeros exhiben una mayor resistencia de campo eléctrico de avería, tensión eléctricamente accionada, y densidad de energía cuando se pretensan. El resorte 24 del dispositivo 20 proporciona fuerzas que dan como resultado tanto una tensión circunferencial como una tensión axial sobre el polímero 22.

El resorte 24 es un resorte de compresión que proporciona una fuerza exterior en direcciones axiales opuestas (figura 2A) que estira axialmente el polímero 22 y tensa el polímero 22 en una dirección axial. De este modo, el resorte 24 mantiene el polímero 22 en tensión en dirección axial 35. En una realización, el polímero 22 tiene una pretensión axial en la dirección 35 desde aproximadamente el 50% a aproximadamente el 300%. Como se describirá más en detalle en lo sucesivo para su fabricación, el dispositivo 20 se puede fabricar enrollando una película de polímero electroactivo pretensado alrededor de un resorte 24 mientras el resorte está comprimido. Una vez liberado, el resorte 24 mantiene el polímero 22 en tensión de tracción para conseguir una pretensión axial.

El resorte 24 mantiene también una pretensión circunferencial sobre el polímero 22. La pretensión se puede establecer en el polímero 22 longitudinalmente en la dirección 33 (figura 2D) antes de que el polímero se enrolle alrededor del resorte 24. Se describirán técnicas para establecer la pretensión en esta dirección durante la fabricación en mayor detalle en lo sucesivo. La fijación o afianzamiento del polímero después del enrollamiento junto con las dimensiones exteriores sustancialmente constantes para el resorte 24, mantiene la pretensión circunferencial alrededor del resorte 24. En una realización, el polímero 22 tiene una pretensión circunferencial de aproximadamente el 100% a aproximadamente el 500%. En muchos casos, el resorte 24 proporciona fuerzas que dan como resultado una pretensión anisotrópica sobre el polímero 22.

Las piezas de extremo 27 y 28 se fijan en lados opuestos del polímero 22 electroactivo enrollado y el resorte 24. La figura 2E ilustra una vista lateral de la pieza de extremo 27. La pieza de extremo 27 es una estructura circular que comprende un reborde exterior 27a, una parte de interfaz 27b, y un orificio interior 27c. La parte de interfaz 27b tiene preferiblemente el mismo diámetro exterior que el resorte 24. Los bordes de la parte de interfaz 27b también pueden ser redondeados para presentar daño de polímero. El orificio interior 27c es circular y pasa a través del centro de la pieza de extremo 27, desde el extremo superior al extremo inferior exterior que incluye el reborde exterior 27a. En una realización específica, la pieza de extremo 27 comprende aluminio, magnesio u otro metal de máquina. El orificio interior 27c se define mediante un orificio mecanizado o fabricado de manera similar dentro de la pieza de extremo 27. En una realización específica, la pieza de extremo 27 comprende caperuzas de extremo de 1,3 cm con un orificio interior de 1 cm 27c.

En una realización, el polímero 22 no se extiende en toda su extensión hasta el reborde exterior 27a y se deja un hueco 29 entre el borde de parte exterior del polímero 22 y la superficie interior del reborde exterior 27a. Como se describirá más en detalle en lo sucesivo, se puede añadir un adhesivo o un pegamento al dispositivo polimérico electroactivo enrollado para mantener su configuración enrolada. El hueco 29 proporciona un espacio dedicado sobre la pieza de extremo 27 para un adhesivo o pegamento reforzando el diámetro exterior del dispositivo enrollado y fijándose a todas las capas de polímero del rollo a la pieza de extremo 27. En una realización, el hueco 29 se encuentra entre aproximadamente 0 mm y aproximadamente 5 mm.

Las partes de polímero electroactivo 22 y el resorte 24 entre las piezas de extremo 27 y 28 se pueden considerar activas para estos fines funcionales. De este modo, las piezas de extremo 27 y 28 definen una región activa 32 del dispositivo 20 (figura 2A) Las piezas 27 y 28 proporcionan una estructura común para su fijación con el resorte 24 y con el polímero 22. Además, cada pieza de extremo 27 y 28 permite el acoplamiento externo mecánico y amovible al dispositivo 20. Por ejemplo, el dispositivo 20 se puede emplear en una aplicación robótica donde la pieza de extremo 27 se fija a una biela corriente

arriba en un robot y la pieza de extremo 28 se fija a una biela corriente abajo en el robot. El accionamiento del polímero 22 electroactivo desplaza entonces la biela corriente abajo respecto de la biela corriente arriba determinada por el grado de libertad entre los dos bielas (por ejemplo, la rotación de la biela 2 alrededor de una charnela sobre la biela 1).

En una realización específica, el orificio interior 27c comprende una rosca interna capaz de interfaz roscada con un miembro roscado, tal como un tornillo o perno roscado . La rosca interna permite la fijación mecánica separable a un extremo del dispositivo 20. Por ejemplo, un tornillo se puede roscar en el interior de la rosca interna dentro de la pieza de extremo 27 para una fijación externa a un elemento robótico. Para la fijación mecánica separable interna al dispositivo 20, una turca o perno se ha de roscar dentro de la pieza de extremo 27 y 28 y pasar a través del núcleo axial del resorte 24, fijando de este modo las dos piezas de extremo 27 y 28 entre sí, Esto permite que el dispositivo 20 se mantenga en cualquier estado de desvío, tal como un estado totalmente comprimido útil durante el enrollado. Esto también puede ser útil durante el almacenamiento del dispositivo 20 de manera que el polímero 22 no está bajo tensión en situación de almacenamiento.

En una realización, un miembro rígido o guía lineal 30 se dispone dentro del núcleo de resorte del resorte 24. Puesto que el polímero 22 en el resorte 24 es sustancialmente elástico entre las piezas de extremo 27 y 28, el dispositivo 20 permite tanto el desvío axial a lo largo de la dirección 35 como la flexión del polímero 22 y el resorte 24 alejándose de su eje lineal (el eje que pasa a través del centro del resorte 24). En algunas realizaciones, solamente se desea el desvío axial. La guía lineal 30 evita la flexión del dispositivo 20 entre las piezas de extremo 27 y 28 alrededor del eje lineal. Preferiblemente, la guía lineal 30, no interfiere con el desvío axial del dispositivo 20. Por ejemplo, la guía lineal 30 preferentemente no introduce resistencia al rozamiento entre ella misma y cualquier parte del resorte 24 con la guía lineal 30, o cualquier otra restricción que evita el movimiento fuera de la dirección axial 35, el dispositivo 20, puede actuar como un accionador lineal o generador con salida estrictamente en la dirección 35. La guía lineal 30 puede comprender cualquier material apropiadamente rígido tal como lana, plástico, metal. etc.

El polímero 22 se envuelve repetidamente alrededor del resorte 22. Para una única construcción de capa polimérica electroactiva, un polímero electroactivo enrollado de la presente invención puede comprender entre aproximadamente 2 y 200 capas. En este caso, una capa se refiere al número de películas u hojas poliméricas que se encuentran en una sección transversal radial de un polímero enrollado. En algunos casos un polímero enrollado comprende entre aproximadamente 5 y aproximadamente 100 capas. En una realización específica, un polímero electroactivo enrollado comprende entre aproximadamente 15 y aproximadamente 50 capas.

En otra realización, un polímero electroactivo enrollado emplea una estructura multicapa. La estructura multicapa comprende múltiples capas poliméricas dispuestas unas sobre otras antes del enrollado o bobinado. Por ejemplo, una segunda capa polimérica electroactiva, sin electrodos impresos sobre la misma, se puede disponer sobre un polímero electroactivo que tiene electrodos impresos sobre el mismo, se puede disponer sobre un polímero electroactivo que tiene electrodos impresos sobre ambos lados. El electrodo inmediatamente entre los dos polímeros da servicio a ambas superficies en contacto inmediato. Después de enrollar, el electrodo sobre el lado inferior del polímero con electrodos entra entonces en contacto con el lado superior del polímero sin electrodos. De este modo, el segundo polímero electroactivo sin electrodos impresos sobre el mismo usa los dos electrodos sobre el primer polímero con electrodos.

Otras construcciones multicapa son posibles. Por ejemplo, una construcción multicapa puede comprender cualquier número par de capas poliméricas en la cual las capas poliméricas de número impar llevan electrodos y las capas poliméricas de número par no los llevan. La superficie superior del polímero superior sin electrodos se basa entonces en el electrodo sobre la parte inferior de la pila después del enrollado. Las construcciones multicapa que tienen 2, 4, 6, 8, etc. capas son posibles con esta técnica. En algunos casos, el número de capas usado en una construcción multicapa puede estar limitado por las dimensiones del rollo y el espesor de las capas poliméricas. a medida que el radio del rollo se reduce, el número de capas permisibles también se reduce típicamente. Sin tener en cuenta el número de capas usadas, el transductor enrollado es configura de tal manera que un electrodo de polaridad dada no toca un electrodo de polaridad opuesta. En una realización, múltiples capas llevan individualmente electrodos y se salta una de cada dos capas poliméricas antes del enrollado de manera que los electrodos en contacto entre sí después del enrollado son de un voltaje o polaridad similar.

La pila polimérica multicapa puede comprender también más de un tipo de polímero. Por ejemplo, se puede usar una o más capas de un segundo polímero para modificar la elasticidad o la rigidez de la capas poliméricas electroactivas enrolladas. Este polímero puede ser o no activo en carga/descarga durante el accionamiento. Cuando se emplea una capa polimérica no activa, el número

de capas poliméricas puede ser impar. El segundo polímero puede también ser otro tipo de polímero electroactivo que varía el rendimiento del producto enrollado.

En una realización la capa más exterior de un polímero electroactivo enrollado no comprende un electrodo dispuesto sobre la misma. Esto se puede realizar para proporcionar una capa de protección mecánico, o para aislar eléctricamente electrodos sobre la siguiente capa interior.

El dispositivo 20 proporciona una estructura compacta de dispositivo polimérico electroactivo y mejora el rendimiento global del dispositivo polimérico electroactivo respecto de los dispositivos convencionales poliméricos electroactivos. Por ejemplo, la estructura multicapa del dispositivo 20 modula la constante global de resorte del dispositivo respecto de cada una de las capas poliméricas individuales. Además, la mayor rigidez del dispositivo conseguida por el resorte 24 aumenta la rigidez del dispositivo 20 y permite una respuesta más rápida en accionamiento, si se desea.

En una realización específica, el resorte 24 es un resorte de compresión tal como el número de catálogo 11422 proporcionado por Century Spring of Los Angeles, CA. Este resorte se caracteriza por una fuerza de resorte de 159.4N/m, y unas dimensiones de 11,12 cm de longitud libre 2,97 cm de longitud sólida, 0,92 cm de diámetro exterior y 0,76 cm de diámetro interior. En este caso, el dispositivo polimérico electroactivo enrollado 20 tiene una altura 36 de aproximadamente 5 a aproximadamente 7 cm, un diámetro 37 de aproximadamente 0,8 a aproximadamente 1,2 cm, y una región activa entre las piezas de extremo de aproximadamente 4 a 5 cm. El polímero se caracteriza por una pretensión circunferencial de aproximadamente el 300% a aproximadamente 500% y una pretensión axial (incluyendo contribuciones de fuerza por resorte 24) de aproximadamente el 150% al 250%.

El dispositivo 20 tiene muchos usos funcionales. Como se describirá más en detalle en lo sucesivo, los polímeros electroactivos se puede usar para su accionamiento, generación, detección, rigidez variable y amortiguación, o una combinación de los mismos. De este modo el dispositivo 20 se puede usar en aplicación robótica para el accionamiento y la producción de energía mecánica. Alternativamente, el dispositivo enrollado 20 puede contribuir al control de rigidez y amortiguación de una biela robótica. De este modo una de las dos piezas de extremo 27 o 28 se puede acoplar a una biela mecánica potencialmente móvil para recibir energía mecánica de la biela y amortiguar el movimiento. En este caso, el polímero 22 convierte esta energía mecánica en energía eléctrica según las técnicas descritas en lo sucesivo.

Aunque el dispositivo de 20 se ilustra con un único resorte 24 dispuesto en el interior del polímero enrollado, se entiende que las estructuras adicionales tales como otro resorte en el exterior del polímero se puede producir también para producir fuerzas de tensión y pretensión. Estas estructuras externas se pueden fijar al dispositivo 20 usando las piezas de extremo 27 y 28 por ejemplo.

La presente divulgación comprende también mecanismos, distintos de un resorte, usados en un dispositivo polimérico electroactivo enrollado para aplicar una fuerza que produce tensión a un polímero enrollado. Tal como se usa el término en la presente memoria, un mecanismo usado para proporcionar tensión sobre un polímero electroactivo enrollado se refiere a un sistema o una disposición de elementos que son capaces de proporcionar una fuerza a diferentes partes de un polímero electroactivo enrollado. En muchos casos, el mecanismo es flexible (por ejemplo, un resorte) o tiene partes móviles (por ejemplo, un cilindro neumático). El mecanismo puede comprende, también partes rígidas (véase el marco de la figura 8B). La tensión se puede conseguir también usando mecanismos tales como accionadores hidráulicos, accionadores neumáticos, y sistemas magnéticos (por ejemplo, la figura 3k), por ejemplo. Alternativamente, se pueden disponer materiales compresibles y espumas en el interior del rollo para proporcionar las fuerzas de tensión y permitir el desvío.

Generalmente, el mecanismo proporciona una fuerza sobre el polímero. En una realización, la fuerza cambia las características de fuerza respecto desvío del dispositivo, para de este modo proporcionar una respuesta de fuerza negativa, como se describe más adelante. En otra realización la fuerza ejerce tensión sobre el polímero. Esto implica que el polímero se desvía en respuesta a la fuerza, respecto de su estado de desvío sin los efectos del mecanismo. Esta tensión puede incluir pretensión como se describe anteriormente. En una realización, el mecanismo mantiene o añade a cualquier pretensión previamente establecida en el polímero, tal pretensión proporcionada por una fijación durante el enrollado como se describe en lo sucesivo. En otra realización, no se aplica previamente pretensión al polímero y el mecanismo establece pretensión en el polímero.

En una realización, el mecanismo es otro elastómero similar o diferente del polímero electroactivo. Por ejemplo, este segundo elastómero se puede disponer como un núcleo de goma casi sólido que está axialmente comprimido antes del enrollamiento (para proporcionar una pretensión de tracción axial sobre el polímero electroactivo.). El núcleo elastomérico puede tener un orificio fino para

una varilla rígida para facilitar el proceso de enrollamiento. Si se lubrica, la varilla rígida puede sacarse del rollo después de la fabricación. Se puede también realizar un rollo elastomérico sólido enrollado con fuerza con polímero electroactivo usando una técnica similar.

El mecanismo y sus elementos constitutivos están típicamente acoplados operativamente al polímero de manera a conseguir la tensión. Esto puede incluir acoplamiento fijo o amovible, una fijación permanente, etc. En el caso del resorte anterior, el acoplamiento operativo incluye el uso de un adhesivo, tal como cola, que fija los extremos opuestos del resorte a los extremos opuestos del polímero. Se usa también un adhesivo para fijar el polímero enrollado al marco en la figura 8B. El acoplamiento puede ser directo o indirecto, por ejemplo el imán 252 de la figura 3k se fija a la pieza de extremo 242, que está fijada al polímero enrollado. El experto en la técnica es consciente de las numerosas técnicas para acoplar o fijar dos estructuras mecánicas juntas, y estas técnicas no se tratan exhaustivamente por razones de brevedad.

Los polímeros electroactivos enrollados tienen numerosas ventajas. En primer lugar, estos diseños proporcionan un dispositivo multicapa sin tener que enmarcar individualmente cada capa y apilar numerosos marcos (véase la figura 8B). Además, el paquete cilíndrico proporcionado por estos dispositivos es ventajosos para algunas aplicaciones donde el empaquetado largo y cilíndrico es ventajoso respecto del empaquetado plano asociado a dispositivos poliméricos electroactivos planos. Además, usando un mayor número de capas poliméricas e un rollo se mejora la fiabilidad del dispositivo y se reduce la sensibilidad a las imperfecciones y las grietas locales en cualquier capa polimérica individual.

3.- DISEÑOS ALTERNATIVOS DE DISPOSITIVOS POLIMÉRICOS ELECTROACTIVOS ENROLLADOS

3.1.- MÚLTIPLES ÁREAS ACTIVAS

En Algunos casos, los electrodos cubren una parte limitada de un polímero electroactivo respecto del área total del polímero. Esto se puede realizar para evitar una avería eléctrica alrededor del borde de un polímero, para permitir que partes del polímero faciliten una construcción enrollada (por ejemplo, una capa barrera polimérica exterior), para proporcionar multifuncionalidad, o para conseguir desvíos a medida para una o más partes del polímero. Tal como se usa el término en la presente memoria, un área activa se define como un polímero electroactivo y uno o más electrodos que proporcionan o reciben energía eléctrica a o desde la parte. El área activa se puede usar para cualquiera de las funciones descritas en lo sucesivo. Para su accionamiento, el área activa incluye una parte de polímero que tiene suficiente fuerza electrostática para permitir el desvío de la parte. Para la generación o detección, el área activa incluye una parte de polímero que tiene suficiente desvío para permitir un cambio en la energía electrostática. Un polímero de la presente invención puede tener múltiples áreas activas.

Según la presente divulgación, el término “monolítico” usado en la presente memoria se refiere a polímeros electroactivos y transductores que comprenden una pluralidad de áreas activas sobre un único polímero. La figura 3A ilustra un transductor monolítico 150 que comprende una pluralidad de áreas activas sobre un único polímero 151. El transductor monolítico 150 realiza la conversión entre energía eléctrica y energía mecánica. El transductor monolítico 150 comprende un polímero electroactivo 151 que tiene dos áreas activas 152a y 152b. el polímero 151 se puede mantener en posición usando, por ejemplo, un marco rígido (no mostrado) fijado a los bordes del polímero. Acoplado a las áreas activas 152a y 152b se encuentran los cables 153 que permiten la comunicación eléctrica con la electrónica de comunicación 155.

El área activa 152a tiene electrodos superior e inferior 154a y 154b que se fijan al polímero 151 sobre sus superficies superior e inferior 151c y 151d, respectivamente. Los electrodos 154a y 154b proporcionan o reciben energía eléctrica a través de una parte 151a del polímero 151. La parte 151a se puede desviar con un cambio en el campo eléctrico proporcionado por los electrodos 154a y 154b. Para su accionamiento, la parte 151a comprende el polímero 151 entre los electrodos 154a y 154b y cualesquiera otras partes del polímero 151 que tienen suficiente fuerza electrostática para permitir el desvío durante la aplicación de voltajes usando los electrodos 154a y 154b. Cuando se usa el área activa 152a como generador para convertir de energía eléctrica a energía mecánica, el desvío de la parte 151a causa un cambio de campo eléctrico en la parte 151a que es recibido como un cambio de diferencia de voltaje por los electrodos 154a y 154b.

El área activa 152b tiene los electrodos superior e inferior 156a y 156b fijados al polímero 151 sobre sus superficies superior e inferior 151c y 151d, respectivamente. Los electrodos 156a y 156b proporcionan o reciben energía eléctrica a través de una parte 151 b del polímero 151. La parte 151b se puede desviar con un cambio en el campo eléctrico proporcionado por los electrodos 156a y 156b. Para

su accionamiento, la parte 151b comprende el polímero 151 entre los electrodos 156a y 156b y cualesquiera otras partes del polímero 151 que tienen suficiente tensión inducida por la fuerza electrostática para permitir el desvío durante la aplicación de voltajes usando los electrodos 156a y 156b. Cuando se usa el área activa 152b como generador para convertir de energía eléctrica a energía mecánica, el desvío de la parte 151b causa un cambio de campo eléctrico en la parte 151b que es recibido como un cambio de diferencia de voltaje por los electrodos 156a y 156b.

Las áreas activas para un polímero electroactivo se puede imprimir y configurar fácilmente usando técnicas convencionales de fabricación de electrodos de polímero electroactivo. Múltiples polímeros de área activa y transductores son descritos, además, en el documento 09/779.203 ahora patente de los Estados Unidos nº 6.664.718. Dada la capacidad de imprimir y controlar independientemente múltiples áreas activas se permite emplear transductores enrollados de la presente invención en muchas aplicaciones nuevas; también empleadas en aplicaciones existentes de maneras novedosas.

La figura 3B ilustra un transductor monolítico 170 que comprende una pluralidad de áreas activas sobre un único polímero 172, antes del enrollado. El transductor 170 comprende electrodos individuales 174 sobre la cara 177 opuesta del polímero. La cara opuesta del polímero 172 (no mostrada) puede incluir electrodos individuales que corresponden en el emplazamiento a los electrodos 174, o puede comprende un electrodo común que se extiende por el área y da servicio a múltiples o todos los electrodos 174 y simplifica la comunicación eléctrica. Las áreas activas 176 comprenden entonces partes del polímero 172 entre cada electrodo individual 174 y el electrodo sobre el lado opuesto del polímero 172, como se determina por el modo operativo del área activa. Para su accionamiento, por ejemplo, el área activa 176a para el electrodo 174a incluye una parte del polímero 172 que tiene suficiente fuerza electrostática para permitir el desvío de la parte, como se ha descrito anteriormente.

Las áreas 176 sobre el transductor 170 se pueden configurar para una o más funciones. En una realización, todas las áreas activas 176 están todas configuradas para su accionamiento. En otra realización apropiada para su uso con aplicaciones robóticas, una o dos áreas activas 176 están configuradas para detección mientras el resto de las áreas activas 176 están configuradas para accionamiento. De esta manera, un dispositivo polimérico electroactivo enrollado que usa el transductor 170 puede tanto detectar como actuar. Cualesquiera de las áreas activas destinadas a detectar pueden incluir cada una cableado dedicado para electrónica de detección, como se describe más adelante.

Como se muestra, los electrodos 174a-174d incluyen cada uno un cable 175a-d fijado al mismo y permite el control individual para cada área activa 176a-d. Los electrodos 174e-i están todos en comunicación eléctrica con el electrodo común 177 y el cable 179 que proporciona comunicación eléctrica común con las áreas activas 176e-i. El electrodo común 177 simplifica la comunicación eléctrica con múltiples áreas activas de un polímero electroactivo enrollado que se emplean para operar de una manera similar. En una realización, el electrodo común 177 comprende una hoja de aluminio dispuesta sobre el polímero 172 antes del enrollado. En una realización, el electrodo común 177 es un electrodo impreso de material similar ahusado para los electrodos 174a-i, por ejemplo grasa de carbono.

Por ejemplo, se puede emplear un conjunto de áreas activas para uno o más accionamientos, generación, detección, cambio de rigidez y/o amortiguación, o una combinación de los mismos. El control eléctrico apropiado también permite usar una sola área activa para más de una función. Por ejemplo, el área activa 174a se puede usar para el accionamiento y el control de rigidez variable de un brazo robótico en una aplicación robótica. La misma área activa se puede usar también para generación para producir energía eléctrica basada en el movimiento del brazo robótico. La electrónica apropiada para cada una de estas funciones se describe más en detalle en lo sucesivo. El área activa 174b también se puede usar flexiblemente para accionamiento, generación, detección, cambio de rigidez, o una combinación de los mismos. La energía separada por un área activa se puede proporcionar para otra área activa., si se desea por una aplicación. De este modo, los polímeros enrollados y transductores de la presente divulgación pueden incluir áreas activas usadas como accionadores para la conversión de energía eléctrica en energía mecánica, generador para la conversión de energía mecánica en energía eléctrica, sensor que detecta un parámetro, o un dispositivo de rigidez variable y/o amortiguación que se usa para controlar la rigidez y/o la amortiguación, o una combinación de los mismos.

En una realización, múltiples áreas activas empleadas para accionamiento están cableadas en grupos para proporcionar control eléctrico graduado de salida fuerza y/o de desvío de un dispositivo polimérico electroactivo enrollado. Por ejemplo, un transductor polimérico electroactivo enrollado puede tener 50 áreas activas en las cuales 20 áreas activas están acopladas a un electrodo común, 10 áreas activas a un segundo electro común, otras 10 áreas activas a un tercer electrodo común, 5 áreas activas a un cuarto electrodo común en las cinco restantes cableadas individualmente. La gestión apropiada por ordenador y el control de encendido-apagado para cada electrodo común permite entonces el control

graduado de la fuerza y el desvío para el transductor enrollado usando solamente conmutación binaria de encendido-apagado. La analogía biológica de este sistema son las unidades motrices encontradas en muchos sistemas de control muscular de mamíferos. Evidentemente, cualquier número de áreas activas y electrodos comunes se puede implementar de esta manera para proporcionar una salida mecánica apropiada o un sistema de control graduado.

3.2-. GRADO MÚLTIPLE DE LIBERTAD PARA DISPOSITIVOS ENROLLADOS

En otra realización, múltiples áreas activas sobre un polímero electroactivo están dispuestas de tal manera que los subconjuntos de las áreas activas se alinean radialmente después del enrollado. Por ejemplo, la múltiples áreas activas se pueden disponer de manera que, después del enrollado, las áreas activas están dispuestas cada 90 grados en el rollo. Estos electrodos radialmente alineados se pueden accionar entonces por unidad para permitir un grado múltiple de libertad de movimiento para un dispositivo polimérico electroactivo enrollado.

La figura 3C ilustra un transductor enrollado 180 capaz de salida bidimensional. El transductor 180 comprende un polímero electroactivo 182 enrollado para proporcionar diez capas. Cada capa comprende cuatro áreas activas radialmente alineadas. El centro de cada área activa está dispuesto formando un incremento de 90º respecto de su vecino. La figura 3C muestra la capa más exterior del polímero 182 y las áreas activas 184, 186 y 188 radialmente activas, que están dispuestas de manera que sus centros marcan incrementos de 90º los unos respecto de los otros. Una cuarta área activa radialmente alineada (no mostrada) sobre el lado posterior del polímero 182 tiene un centro situado aproximadamente a 180º del área activa 186 radialmente alineada.

El área 184 activa radialmente alineada puede incluir comunicación eléctrica común con áreas activas sobre capas poliméricas interiores que tienen la misma alineación radial. Asimismo, las otras tres áreas 182, 186 activa exteriores radialmente alineadas, y el área activa posterior no mostrada, pueden incluir comunicación eléctrica común con sus contrapartes de capa interior. En una realización, el transductor 180 comprende cuatro conductores que proporcionan accionamiento común para cada una de las cuatro conjuntos de áreas activas radialmente alineadas.

La figura 3D ilustra el transductor 180 con el área 188 activa radialmente alineada, y su correspondientes áreas activa de capa interior radialmente alineadas, accionadas. El accionamiento del área activa 188, y sus correspondientes áreas activas de capa interior, da como resultado una expansión axial del transductor 188 sobre el lado opuesto del polímero 182. El resultado es la flexión lateral del transductor 180, aproximadamente 180 grados desde el punto central del área activa 188. El efecto puede también medirse por el desvío de una parte superior 189 del transductor 180, que traza un arco radial desde la posición de reposo mostrada en la figura 3C a esta posición mostrada en la figura 3D. Variando la cantidad de energía eléctrica proporcionada al área activa 188, y las correspondientes áreas activa de capa interior, controla el desvío de la parte superior 189 a lo largo de este arco. De este modo, la parte superior 189 del transductor 180 puede tener un desvío como se muestra en la figura 3D, o superior, o un desvío mínimamente separado de la posición mostrada en la figura 3C. Se puede conseguir una flexión similar en otra dirección accionando cualquiera de los otros conjuntos de áreas activas radialmente alineadas.

Combinando el accionamiento de los conjuntos de áreas activas radialmente alineadas produce un espacio bidimensional para el desvío de una parte superior 189. Por ejemplo, los conjuntos 186 y 184 de áreas activas radialmente alineadas se pueden accionar simultáneamente para producir un desvío para la parte superior n un ángulo de 45 grados correspondiente al sistema de coordenadas mostrado en la figura 3C. Reduciendo la cantidad de energía eléctrica proporcionada al conjunto 186 de área activas radialmente alineadas e incrementado la cantidad de energía eléctrica proporcionada al conjunto 184 de área activas radialmente alineadas se desplaza la parte superior 189 más cerca de la marca de cero grado. El control eléctrico apropiado permite entonces que la parte superior 189 trace un trayectoria para cualquier ángulo de 0 a 360 grados, o seguir trayectorias variables en este espacio bidimensional.

El transductor 180 es también capaz de desvío tridimensional. El accionamiento simultáneo de las áreas activas sobre los cuatro lados del transductor 180 desplazarán la parte superior 189 hacia arriba. Dicho de otro modo, el transductor 180 es también un accionador capaz de desvío axial basado en el accionamiento simultáneo de áreas activas sobre todos los lados del transductor 180. Acoplando este accionamiento lineal con el accionamiento diferencial de las áreas activas radialmente alineadas y su desvío bidimensional resultante reciente descrito, da como resultado un espacio de desvío tridimensional para la parte superior del transductor 180. De este modo, el control eléctrico apropiado permite que la parte superior 189 se desplace tanto hacia arriba como hacia abajo así como que trace trayectorias bidimensionales a lo largo de este eje lineal.

Aunque se muestra eL transductor 180 por motivos de simplicidad con cuatro conjuntos de áreas activas radialmente alineadas dispuestos en incrementos de 90 grados, se entiende que los transductores capaces de desplazamiento bi- y tridimensional pueden comprender diseños más complejos o alternativos. Por ejemplo, ocho conjuntos de áreas activas radialmente alineadas dispuestos en incrementos de 45 grados. Alternativamente tres conjuntos de áreas activas radialmente alineadas dispuestos en incrementos de 120 grados pueden ser apropiados para desplazamiento bidimensional y tridimensional.

Además, aunque se muestra el transductor 180 con solamente un conjunto de áreas activas axiales, la estructura de la figura 3c es modular. Dicho de otro modo, los cuatro conjuntos de áreas activas radialmente alineadas dispuestos en incrementos de 90 grados se pueden producir múltiples veces en una dirección axial. Por ejemplo, el conjunto de áreas activas radialmente alineadas que permite el desplazamiento bidimensional y tridimensional se puede repetir diez veces para proporcionar un manipulador robótico de tipo serpiente con diez bielas independientemente controlables.

3.3.- DISPOSITIVOS POLIMÉRICOS ELECTROACTIVOS ENROLLADOS ANIDADOS

Algunas aplicaciones desean una mayor carrera desde un dispositivo polimérico electroactivo enrollado. En una realización, se usa una configuración anidad para incrementar la carrera de un dispositivo polimérico electroactivo. En una configuración anidada, uno o más rollos poliméricos electroactivos se sitúan en la parte central hueca de otro rollo polimérico electroactivo.

Las figuras 3E-G ilustran vistas ejemplares en sección transversal de un dispositivo 200 polimérico electroactivo anidado, tomando a través del punto medio vertical del rollo cilíndrico. El dispositivo anidado 200 comprende tres rollos 202, 204 y 206 poliméricos electroactivos. Cada rolo polimérico 202, 204 y 206 incluye una única área activa que proporciona desvío uniforme para cada rollo. Los electrodos para cada rollo polimérico 202, 204 y 206 se pueden acoplar eléctricamente para accionar (o producir energía eléctrica) al unísono, o se pueden cablear por separado para el control y rendimiento independientes. La parte inferior del rollo 202 polimérico electroactivo está conectada a la parte superior del siguiente rollo polimérico electroactivo exterior, a saber el rollo 204, que usa un conector 205. El conector 205 transfiere fuerzas y desvío desde un rollo polimérico a otro. El conector 205 no restringe preferiblemente el movimiento entre los rollos y puede comprender un material aislante de baja fricción, tal como el Teflón. Asimismo, la parte inferior del rollo 204 polimérico electroactivo está conectada a la parte superior del rollo 206 polimérica electroactiva más exterior. La parte superior del rollo 202 polimérico se conecta a un eje de salida 208 que discurre a través del centro del dispositivo 200. Aunque el dispositivo anidado 200 se muestra con tres rollos poliméricos electroactivos concéntricos, se entiende que un dispositivo anidado puede comprender otro número de rollo electroactivos.

El eje de salida 208 puede proporcionar salida mecánica para el dispositivo 200 (o interfaz mecánica a objetos externos). Se puede disponer cojinetes en un alojamientos inferior 212 y permitir un movimiento lineal sustancialmente sin fricción del eje 208 axialmente a través del centro del dispositivo 200. El alojamiento 212 se fija también a la parte inferior 206 e incluye cojinetes que permite el desplazamiento del eje 208 a través del alojamiento 212.

El desvío del eje 208 comprende un desvío acumulativo de cada rollo polimérico electroactivo incluido en el dispositivo anidado 200. Más específicamente, los desvíos individuales de rollo polimérico 202, 204 y 206 se sumarán para proporcionar la salida de movimiento lineal total del eje 208. La figura 3E ilustra el dispositivo 200 polimérico electroactivo anidado con desvío cero. En este caso, cada rollo polimérico 202, 204 y 206 está en una posición no activada (de descanso) y el dispositivo 200 está completamente contraído. La figura 3F ilustra el dispositivo 200 polimérico electroactivo anidado con una 20% de tensión para cada rollo polimérico 202, 204 y 206. De este modo, el eje 208 comprende un 60% de tensión global respecto de la longitud individual de cada rollo. Asimismo, la figura 3G ilustra el dispositivo 200 electroactivo anidado con el 50% de tensión para cada rollo polimérico 202, 204 y 206. En este caso, el eje 208 comprende una tensión global del 150% respeto de la longitud individual de cada rollo. Anidando múltiples rollos polímeros electroactivos unos dentro de otros, las tensiones de los rollos individuales se suman y proporcionan una mayor carrera de red de lo que lo harían usando un único rollo. Los dispositivos enrollados poliméricos electroactivos anidados son entonces útiles para aplicaciones que requieren grandes tensiones y paquetes compactos.

En otra realización, el eje 208 puede ser un eje en el interior de un tubo, que permite que el rollo se expanda y contraiga axialmente sin doblarse en otra dirección. Aunque sería ventajoso en algunas situaciones tener 208 fijado a la parte superior del 202 y discurrir a través de los cojinetes, el eje 208 también podría ser dos piezas separadas: 1) un eje conectado a 212 y que sobresale axialmente aproximadamente cuatro quintas partes del recorrido hacia la parte superior de 206, y 2) un tubo conectado a la parte superior de 206 y que sobresale axialmente aproximadamente cuatro quintas partes

del recorrido hacia 212, envolviendo parcialmente el eje conectado a 212.

Las figuras 3H-J ilustran vistas ejemplares en sección transversal vertical de un dispositivo 220 polimérico electroactivo anidado. El dispositivo anidado 220 comprende tres rollos 222, 224 y 226 poliméricos electroactivos. Cada rollo 222, 224 y 226 polimérico incluye una única área activa que proporciona desvío uniforme para cada rollo.

En esta configuración, los rollos poliméricos electroactivos adyacentes están conectados en su extremo no conectado común. Más específicamente, la parte inferior del rollo 222 polimérico electroactivo está conectada a la parte inferior del siguiente rollo polimérico electroactivo exterior, a saber el rollo 224. Asimismo, la parte superior del rollo 224 polimérico electroactivo está conectado a la parte superior del rollo 226 polimérico electroactivo más exterior. La parte superior del rollo 222 polimérico está conectada a un eje de salida 228 que discurre a través del centro del dispositivo 220. De manera similar a lo descrito respecto del eje 208, el eje 222 puede ser un eje en el interior de un tubo, que permite que el rollo se expanda y se contraiga axialmente sin doblarse en otra dirección.

La figura 3H muestra la posición no accionada (reposo) del dispositivo 220. La figura 3I muestra una posición contraída del dispositivo 220 por el accionamiento del rollo polimérico 224. La figura 3J muestra una posición extendida del dispositivo 220 por el accionamiento de los rollos poliméricos 222 y 226. En la posición no accionada (reposo) de la figura 3H, la posición del eje 208 estará en algún lugar entre la posición contraída de la figura 3I y la posición extendida de la figura 3J, dependiendo de las longitudes axiales de cada rollo individual.

Este diseño anidado se puede repetir con un mayor número de capas para proporcionar un mayor desvío. El accionamiento de cada rollo –empezando por el primer rollo enrollado- hace que el eje 228 se contraiga. El accionamiento de cada rollo –empezando por el rollo más exterior- hace que el eje 228 se expanda. Una ventaja del diseño de dispositivo anidado 220 es que la carga se puede derivar de un rollo polimérico a otro, conservando de este modo el uso de energía global. Merece la pena subrayar que cada dispositivo 200 o 220 se puede usar como un generador o sensor de alta tensión que recibe energía mecánica por el eje 208 o 228, como se describirá más adelante en mayor detalle.

3.4.- DISEÑOS DE CONSTANTE DE RESORTE NEGATIVO

Un mecanismo de la presente divulgación puede variar la fuerza que proporciona con desvío del transductor o dispositivo. Para dispositivos poliméricos electroactivos enrollados que emplean un resorte, a medida que el dispositivo se extiende axialmente, la fuerza de salida del dispositivo se reduce típicamente como consecuencia del resorte. En muchas aplicaciones, es deseable implementar la entrada mecánica, tal como una accionador lineal, cuya fuerza de salida es constante respecto del intervalo de desvío – o se incrementa con extensión- según las necesidades de la aplicación. Tal entrada mecánica de constante de resorte negativa o constante se puede conseguir usando diversos mecanismos. De hecho, muchos mecanismos de este tipo se pueden fijar a un accionador enrollado exteriormente o dentro del hueco interior. Además, también es posible hacer que la propia estructura del resorte funcione como un resorte de constante negativo o constante. Por ejemplo, el resorte se podría realizar apilando diversas arandelas Belleville sobre una varilla rígida con un reborde en una para limitar la arandela Belleville más próximal. Las arandelas Belleville son discos circulares con un agujero central que son ligeramente cónicos. Cuando se comprimen con suficiente fuerza pueden pasar a través del punto en el cual son completamente plana y se convierten en cónicas en la dirección opuesta desde la configuración original. Este reborde se fija a un extremo del rollo. En el otro extremo de la pila se encuentra una arandela plana que está fijada al otro extremo del rollo que limita y permite que el material polimérico enrollado comprima las arandelas Belleville que pasan por el punto en el cual se convierten en inestables y ejerza una fuerza para invertir la orientación del cono. Se podrían usar muchos otros mecanismos de constante de resorte negativo que no requieran arandelas Belleville. Estos mecanismos solamente necesitan colocarse entre cada arandela en una pila de arandelas planas de manera que toda la pila se comporte como un resorte de constante negativa. En todos estos ejemplos, los bordes de las arandelas proporcionan soporte a la película polimérica estirada. Otra entrada mecánica de constante de resorte constante o negativa y su uso para mejorar la salida de los accionadores elastoméricos dieléctricos se describen también en la patente 09/779.373 que se incorpora en la presente memoria para todos los fines.

La figura 3K ilustra un dispositivo polimérico electroactivo enrollado 240 que permite que un diseñador varíe el desvío respecto del perfil de fuerza del dispositivo. el dispositivo 240 comprende piezas de extremo 242 y 244, el polímero electroactivo enrollado 246, el resorte 248, la varilla 250, el imán 252, el núcleo ferromagnético 254, y un aparato magnético 256.

Las piezas de extremo 242 y 244, el polímero electroactivo enrollado 246, y el resorte 248 son

similares en estructura y funciones a las descritas anteriormente respeto de la figura 2A. La varilla 250 está acoplada a las piezas de extremo 244 y se desliza dentro de la pieza de extremo 244. En una realización, la varilla 250 es una varilla sólida que se extiende en longitud desde la pieza de extremo inferior 242 a la pieza de extremo superior 244, y se atornilla en la pieza de extremo 244 usando roscas de acoplamiento en la varilla 250 y la pieza de extremo 244. En una realización, toda la varilla 250 está realizada en 2 piezas: 1) una varilla con diferentes diámetros a lo largo de la longitud de la varilla (según la realización mostrada en la figura 3K, tendría cuatro diámetros diferentes) y (atornillada en la pieza de extremo 244) un afilado núcleo ferromagnético ahusado con un agujero cilíndrico del mismo diámetro que la parte superior de la varilla 250. De este modo, la varilla 250 se fija a la pieza de extremo 244, y se desliza respecto de la pieza de extremo 242 y el aparato magnético 256 a medida que el polímero se expande y se contrae. El núcleo ferromagnético 254 se dispone sobre la varilla 250 en algún lugar entre las piezas de extremo 242 y 244. El núcleo ferromagnético 254 es un material metálico (por ejemplo acero) o similar que proporciona atracción magnética y fuerzas entre si mismo y un campo magnético. Conectado rígidamente a la pieza 242 de extremo superior se encuentra un aparato 246 magnético, que soporta y alinea un imán 252 en forma de anillo. El imán 252 está dispuesto por lo tanto de manera concéntrica a la varilla 250 y el núcleo ferromagnético 254. El imán 252 produce un campo magnético que atrae el núcleo 254.

El imán 252 tiene un ahusamiento sobre su borde interior 253; y el núcleo 254 tiene un ahusamiento correspondiente sobre su borde exterior 255. Cambiando el desvío del polímero 246 y el movimiento de la varilla 250, el imán 252 es atraído más cerca del núcleo 254 – ejerciendo de este modo una fuerza sobre la corredera 250 que se incrementa a medida que el imán 252 se acera al núcleo 254. En una realización, el imán 252 está radialmente magnetizado.

De este modo, a medida que la varilla 250 se extiende, la fuerza de salida de la corredera 250 debida al resorte 248 se hace más débil, pero la fuerza de salida de la varilla 250 debida al conjunto magnético interno se hace más fuerte. El resorte 248 y el conjunto magnético interno se puede diseñar o configurar para alcanzar una relación de fuerza deseada con el desvío. Por ejemplo, el resorte 248 y el conjunto magnético interno se puede diseñar y configurar de manera que la fuerza de red de la varilla 250 se incrementa con desvío del polímero 246.

Puesto que la fuerza de atracción magnética entre el imán 252 y el núcleo 254 se reduce en el cuadrado del desvío de la varilla 250, diseñar e implementar una correspondencia 1:1 entre el desvío de deslizamiento lineal y la atracción magnética daría como resultado un intervalo operativo estrecho. Sin embargo, con el diseño de imán ahusado del dispositivo 240, a medida que la varilla 250 encuentra grandes desvío, la fuerza de atracción magnética cambia solo ligeramente, dando por lo tanto como resultado un mayor intervalo operativo de desvío.

En otra realización, el imán 252 tiene un borde interior vertical (un cilindro con un orificio recto a través del mismo) y el núcleo 254 tiene un perfil exterior cilíndrico de acoplamiento. En este caso, hay una fuerza desde el imán 252 que tira del núcleo 254 completamente en el interior del imán 252. A medida que el imán 252 se acerca del núcleo 254, atrae de manera similar el núcleo 254 dentro del cilindro magnético, dando como resultado de este modo una fuerza de red sobre la varilla 250. Esta segunda configuración permite una fabricación más sencilla.

En una realización, el dispositivo 240, también comprende un tope duro 258 fijado a la pieza de extremo 242. El tope duro 258 coloca un límite físico a la proximidad a la cual se puede situar el imán 252 respecto del núcleo 254, y evita el contacto entre el imán 252 y el núcleo 254. Alternativamente, una capa barrera se puede disponer entre el imán 252 y el núcleo 254, tal como una capa de plástico, cartón, espuma, etc. para evitar el contacto del metal con el imán.

3.5.- DISEÑOS DE ACCIONADORES PARA UN CONTROL ANGULAR PRECISO

Se han descrito ejemplos anteriores de diseños de accionadores enrollados con el potencial tanto para 1) movimiento de doblado y alargamiento (por ejemplo, la figura 3D) que alargan los movimientos con salida lineal (por ejemplo, véase las figuras 3E-3K) Las figuras 3L-3Z ilustran dispositivos poliméricos electroactivos enrollados energéticamente eficientes según la invención diseñada para proporcionar movimiento angulares, salida angular y control de rigidez angular, controlados con precisión. Estos diseños, proporcionado solamente para los fines ilustrados, pueden comprender uno o más miembros de soporte acoplados a un accionado polimérico enrollado y conexiones mecánicas que permiten transferencias de fuerza entre diferentes partes del accionador polimérico enrollado. Los aparato y procedimiento descrito respecto de las figuras 3L-3Z no se limitan necesariamente a los diseños de accionadores poliméricos enrollados descritos en estas figuras y se puede aplicar a otros diseños de accionadores poliméricos enrollados o diseñaos de polímeros de accionadores poliméricos electroactivos no enrollados. Por ejemplo, la figura 3V ilustra un número de

procedimiento para fijar un accionador polimérico enrollado a una caperuza de extremo, tal como por empotramiento. Estos procedimientos de fijación se pueden aplicar a otros diseños de accionadores poliméricos electroactivos no enrollado y enrollados.

La figura 3L ilustra una realización de un accionador 800 polimérico electroactivo enrollado con una salida angular. La figura 3L muestra una sección transversal del dispositivo 800 y la figura 3M muestra una vista superior. En un extremo, un rollo polimérico 801, que puede incluir una pluralidad de áreas activas, se fija a una base cilíndrica 802. Por el centro del rollo polimérico 801, un miembro de soporte 803 con una sección transversal circular se acopla al centro de la base con un ángulo fijo de 90 grados. En otras realizaciones, el miembro de soporte 803 se puede situar descentrado respecto de la base y se puede fijar con ángulos diferentes del ángulo de 90 grados. Además, el ángulo entre el miembro de soporte 803 y la base 802 no tienen necesariamente que ser fijos. Por ejemplo, una vinculación entre el miembro de soporte 803 y la base 802, tal vinculación que proporciona un punto de pivote, puede permitir que varíe el ángulo entre ellos.

La sección transversal del miembro de soporte 803 puede ser de cualquier forma, tal como redonda o cuadrada. La forma de sección transversal del miembro de soporte puede ser constante a lo largo de su longitud o puede variar a lo largo de su longitud (véase la figura 3U). El miembro de soporte puede ser sólido o hueco, tal como una varilla sólida o un tubo hueco.

En una realización, el miembro de soporte 803 puede comprender una pluralidad de tubos anidados extensibles, tales como tubos telescópicos. De este modo, el miembro de soporte se puede alargar o acortar fijando los tubos anidados a una longitud particular. Por ejemplo, los tubos anidados se pueden sujetar por enclavamiento a una longitud particular. Cambiando la longitud de los tubos anidados, se puede aumentar o reducir una tensión inicial sobre el rollo polimérico.

En la fabricación, el polímero se puede enrollar alrededor de, y fijarse a continuación, a los tubos telescópicos. Inicialmente, los tubos pueden encontrarse a su longitud mínima. A continuación, los tubos se pueden estirar hasta la longitud final y fijarse en posición para proporcionar una fuerza de tracción sobre el rollo polimérico.

El miembro de soporte 803 se fija a una caperuza de extremo 806 con la fibra 805 y un orificio cilíndrico 804. El miembro de soporte 803 y la caperuza de extremo 806 están conformados para permitir insertar una patilla 808 a través del orificio cilíndrico 804 para proporcionar un acoplamiento entre los miembros de soporte 803 también incluye un orificio cilíndrico 804. El miembro de soporte 803 y la caperuza de extremo 806 y para permitir girar la caperuza de extremo 806 alrededor de la patilla 808.

El rollo polimérico 801 se fija a la caperuza de extremo 806. En una realización, el rollo polimérico 801 se estira de manera a ejercer una fuerza que tira de la caperuza de extremo 806 hacia la base. El estiramiento es una tensión inicial (o pretensión) sobre el rollo polimérico. La tensión inicial o pretensión lo es en referencia al dispositivo accionador enrollado 800 en una posición no accionada. En esta realización, en la posición no accionada, la parte superior de la caperuza de extremo 806 es paralela a la base 802. En otras realizaciones, en la posición no accionada, la parte superior de la caperuza 806 y la base 802 pueden no ser paralelas la una respecto de la otra. Por ejemplo, se puede usar un resorte sintonizable por fuerza para ajustar un ángulo inicial entre la caperuza de extremo 806 y la base en la posición no accionada. En otra realización, el punto de pivote se puede situar fuera del control del eje a través del centro del miembro de soporte 803. La colocación del punto de pivote descentrado da como resultado un ángulo inicial no horizontal para equilibrar los momentos alrededor del punto de pivote generado por el rollo polimérico 801, que está en tensión.

En la figura 3L, la sección transversal del rollo polimérico 801 muestra dos áreas activas 801a y 801b opuestas entre sí que se pueden accionar. Como se ha descrito anteriormente en las figuras 3A-3D, el rollo polimérico 801 puede ser monolítico comprendiendo una pluralidad de áreas activas. En funcionamiento, se puede aplicar un voltaje al área activa 801b. Cuando se aplica un voltaje al área 801b, el polímero en esta área se alarga y la caperuza de extremo 806 gira alrededor de la patilla 808 formando un ángulo 807. La capacidad de los diseños de polímero para producir grandes tensiones permite que la caperuza de extremo 806 sea girada a lo largo de un gran intervalo de ángulos. Por ejemplo, la parte superior de la caperuza de extremo se puede girar desde una posición horizontal respecto de la base 802 hasta una posición casi perpendicular respecto de la base en una de las dos direcciones.

Un dispositivo lógico y una electrónica acondicionadora (no mostrada) en comunicación con el rollo polimérico 801 y acoplados al dispositivo 800 se pueden usar para posicionar la caperuza de extremo 806 formando varios ángulos 807 controlando el voltaje suministrado a las áreas activas del rollo polimérico 801. Además, cuando la caperuza de extremo 806 es girada desde un primer ángulo a un

segundo ángulo, el dispositivo lógico y la electrónica acondicionadora se pueden usar para controlar un nivel de rotación de la caperuza de extremo 806. La dispositivo lógico puede incluir una memoria para almacenar una tabla que relaciona una posición angular con parámetros operativos para el rollo polimérico 801, tal como voltajes y tensiones para las áreas activas. El dispositivo lógico puede usar la tabla para posicionar la caperuza de extremo 806. El dispositivo lógico se puede utilizar para variar la posición de la caperuza de extremo 806 como una función de tiempo.

El dispositivo 800 puede incluir uno o más sensores para medir parámetros operativos del dispositivo. Una posición de la caperuza de extremo, una velocidad angular de la caperuza de extremo, una aceleración de la caperuza de extremo, voltajes sobre una parte del rollo polimérico 801 y tensiones sobre una o más partes del rollo polimérico 801 son ejemplos de parámetros operativos que se pueden medir directamente o deducir a partir de mediciones de sensor. En algunas realizaciones, las mediciones se pueden usar en un bucle de control de realimentación para el dispositivo. En otras realizaciones, el dispositivo 800 se puede diseñar como parte de un sensor y las mediciones se pueden usar para generar una salida detectada proporcionada por el dispositivo. Además, los detalles de los dispositivos lógicos, la electrónica acondicionadora, los sensores y el uso de polímero enrollados para fines de detección se describen respecto de las figuras 4, 5A, 5B y 7.

Cuando se acciona el área activa 801b y se gira la caperuza de extremo formando un ángulo 807, una parte del rollo polimérico 801 se alarga y una parte del rollo polimérico 801 se acorta. Puesto que el rollo polimérico 801 está en tensión, la parte que se acorta proporciona un momento de giro alrededor del punto de pivote que ayuda a girar la caperuza de extremo formando un ángulo 807. El momento de rotación generada por las partes no accionadas del polímero, tal como 801a, reduce la energía necesaria para girar la caperuza de extremo 806. En una realización, durante el funcionamiento del dispositivo 807, se puede definir el ángulo 807 como una diferencia entre una posición angular inicial y una segunda posición angular.

La salida angular controlada, tal como, se ha descrito en el párrafo anterior, se puede usar en muchas aplicaciones. Por ejemplo, el dispositivo 800 se puede usar como parte de un servomecanismo que controla el accionamiento de un espejo de vista lateral de un automóvil. En otro ejemplo, el dispositivo 800 se puede usar como parte de un robot biomimético,

La caperuza de extremo 806 proporciona una conexión mecánica entre las partes del polímero. En este caso, la caperuza de extremo 806 actúa como una palanca mediante el punto de pivote 804. En la presente invención, se pueden usar muchos tipos diferentes y combinaciones de conexiones mecánicas para permitir que las fuerzas y los momentos se comuniquen a partir de una primera parte del rollo polimérico 801 con una segunda parte del rollo polimérico 801. Algunos ejemplos de conexiones mecánicas se describen respecto de las figuras 3P-3U.

La forma de la caperuza de extremo 806 donde se fija el polímero enrollado puede variar de la forma redonda en la figura 3M. Por ejemplo, la parte superior de la caperuza de extremo 806 y la base 802 donde el rollo polimérico 801 se fija puede ser ovular. La forma ovular se puede usar para extender una longitud de un brazo de momento respecto del punto de pivote 804. En otro ejemplo, la parte superior de la caperuza de extremo 806 y la base 802 pueden ser diferentes formas, tales como ovular y circular o círculos de radios diferentes.

Cuando una forma con un centro, tal como un círculo o un oval, se usa para la parte de la caperuza de extremo 806 donde se fija el rollo polimérico, el centro de la forma no tiene necesariamente que alinearse con el centro del miembro de soporte 803. Cuando el centro de la forma de la caperuza de extremo 806 se coloca descentrado respecto del eje central del miembro de soporte 803, los momentos alrededor del punto de pivote pueden variar. Además, la presente invención no se limita a formas ovular o circular, que se proporcionan solamente con fines ilustrativos.

El material del miembro de soporte 803 se puede seleccionar para soportar la carga ejercida por el rollo polimérico 801 estirado así como cualesquiera cargas usadas durante el funcionamiento del dispositivo 800. El metal, plástico, cerámica y material compuesto son ejemplos de materiales apropiados. Durante el funcionamiento del dispositivo 800, el miembro de soporte 803 se puede diseñar para ser rígido en algunas condiciones y flexible en otras. Por ejemplo, si el dispositivo se expone a una carga impulsiva repentina, el miembro de soporte 803 se puede diseñar para doblarse para absorber la carga en lugar de romperse de una manera análoga a un hueso humano. El material de la caperuza de extremo 806 o cualquiera de las conexiones mecánicas de la presente invención puede ser igual o diferente a los miembros de soporte. El metal, plástico, cerámica y material compuesto son ejemplos de materiales apropiados.

Como se muestra en las figuras 3N y 3O, la parte superior de la caperuza de extremo 806 se

puede conformar o incluir apéndices. Por ejemplo, la figura 3N muestra una caperuza hexagonal montada sobre la parte superior de la caperuza de extremo redonda en la figura 3M. En otro ejemplo, la figura 3O muestra un apéndice cuadrado sobre la parte superior de la caperuza de extremo 806. En una realización, la caperuza de extremo conformada o el apéndice se puede usar para acoplar el dispositivo 800 con otro dispositivo 800 u otros componentes. En otro ejemplo, un elemento pasivo o apéndice se puede añadir sobre la parte superior de la caperuza de extremo 806 para extender el intervalo de movimiento del dispositivo 800. Igualmente, se puede fijar una conexión adicional externa al extremo del rollo para incrementar el ángulo de flexión conseguido usando apalancamiento mecánico.

Por la caperuza 806 u otros componentes apropiados del dispositivo 800, se puede producir una fuerza o un momento. Además, el dispositivo 800 puede recibir una fuerza o un momento que es generado fuera del dispositivo por la caperuza de extremo 806 u otro componente apropiado. Por ejemplo, el dispositivo, el dispositivo 800 podría ser un componente en una palanca de mando y podría recibir fuerzas o momentos de una persona que usa la palanca de mando.

Cuando el dispositivo recibe una fuerza exterior o un momento exterior, el dispositivo 800 puede generar una fuerza o momento en respuesta. Por ejemplo, en respuesta a la recepción de una fuerza exterior se puede accionar una o más áreas activas del polímero 801 para “rigidizar” el dispositivo para hacer que sea más difícil desplazar o reducir un nivel de movimiento del dispositivo. En otro ejemplo, el dispositivo 800 puede vibrar o desplazarse de alguna otra manera en respuesta a la fuerza. Estos tipos de respuestas se pueden usar como parte de un dispositivo de realimentación de fuerza, tal como parte de un dispositivo de entrada usado en una consola de juego.

En otro ejemplo, el dispositivo 800 se podría usar como sensor que mide un cambio en un parámetro debido a una entrada de una fuerza exterior o momento exterior al dispositivo. Por ejemplo, en la aplicación de palanca de mando, el dispositivo se puede disponer para medir tensiones en diferentes partes del polímero 801 resultantes de la recepción de una fuerza de entrada. Las tensiones medidas, que pueden ser producidas por el dispositivo 800, se pueden usar para determinar una posición relativa del dispositivo 800. En otro ejemplo, el dispositivo 800b se puede disponer para determinar cambios en su configuración para determinar una magnitud de una fuerza recibida como entrada al dispositivo. Otros parámetros que se pueden medir usando el dispositivo 800 como parte de un sensor incluyen pero no se limitan a una posición lineal, una posición angular, una velocidad lineal, una velocidad angular, una aceleración lineal, una aceleración angular y las combinaciones de las mismas.

Volviendo a las figuras 3L, la caperuza de extremo 806 se usa como una única conexión mecánica para proporcionar una comunicación de fuerzas y momentos entre diferentes partes del rollo polimérico 801. La caperuza de extremo 806 se conecta al miembro de soporte usando un mecanismo de enclavamiento que permite la rotación en una dirección. La presente invención no se limita a la única conexión mecánica, un mecanismo de conexión de patillas o la rotación en una dirección. En las figuras 3P-3U, se describen las realizaciones de dispositivos con a) múltiples conexiones mecánicas de tipos variables, b) múltiples grados de libertad, c) diferentes tipos de esquemas de conexión mecánica.

En las figuras 3P y 3Q, se describen una sección transversal de un dispositivo 810 con una pluralidad de conexiones mecánicas 806, 812a, 812b y 812c, para transferir fuerzas y momentos entre diferentes partes del rollo polimérico 801. Las conexiones mecánicas 806, 812a, 812b y 812c están cada una acoplada al miembro de soporte 803. Las conexiones mecánicas están igualmente acopladas al rollo polimérico 801. En una realización, una parte de cada conexión mecánica se puede fijar al rollo polimérico usando un adhesivo. El esquema de fijación puede variar de una conexión a otra. Por ejemplo, el rollo polimérico 801 se puede fijar a la caperuza de extremo 806 y enclavar a las conexiones mecánicas 812a-c. Se describen más tarde algunos ejemplos de esquemas de fijación respecto de la figura 3V.

El dispositivo 810 puede funcionar de una manera similar al dispositivo 800 descrito respecto de la figura 3L. Cuando se aplica un voltaje a una parte activa 801b del rollo polimérico 801, la parte activa 801b puede alargar y girar la caperuza de extremo 806 formando el ángulo 807. Las conexiones mecánicas adicionales 812a-c, contribuyen a momentos de rotación que pueden permitir que el dispositivo 810 actúe más eficientemente. Además, durante el funcionamiento del dispositivo, las conexiones mecánicas, 812a-c pueden proporcionar estabilidad en la forma al rollo polimérico 801. Por ejemplo, las conexiones mecánicas pueden evitar que el rollo polimérico 801 quede estrangulado entre la caperuza de extremo 806 y la base 802.

Se pueden usar muchas formas, esquemas de conexión y disposición de conexiones mecánicas diferentes con la presente invención. Diferentes formas de conexiones mecánicas se describen respecto de la figura 3Q, diferentes disposiciones se describen respecto de las figuras 3R y 3S y diferentes esquemas de conexión se describen respecto de la figura 3T. Con fines ilustrativos en la figura 3Q, se

muestran algunos ejemplos de formas de conexiones mecánicas como una vista superior de conexión mecánica 812a.

La forma 814a es un disco circular con una barra para conectarse al miembro de soporte 803. La forma 814b es un disco circular con partes exteriores del disco retirado y una barra para conectar al miembro de soporte 803. La retirada de la parte exterior del disco elimina el contacto y de este modo la conexión con las partes del polímero 801 en comparación con la 814a. La forma 814c es una versión más ovular y compacta de la forma 814b.

La forma 814d es la forma 814c con un apéndice cuadrado en un lado. El movimiento de la conexión mecánica 812a genera un momento de rotación 817 alrededor el eje 816. El apéndice cuadrado sobre 814d se puede usar para transferir energía desde el momento de rotación 817 a otra parte del dispositivo 810. Por ejemplo, en una realización, el apéndice cuadrado se puede acoplar a un resorte de torsión que está bobinado o no bobinado cuando el rollo polimérico 801 es accionado. En una realización, el resorte de torsión se puede usar para generar una fuerza de recuperación que ayuda a devolver una parte accionada del rollo polimérico 801 a su posición no accionada.

Como se ha descrito respecto de la caperuza de extremo 806 en la figura 3L, la forma de las conexiones mecánicas pueden ser no simétricas alrededor del eje 816. Además, las formas de las conexiones mecánicas 812a-c difieren una de otra, la forma de la caperuza de extremo 806 y la forma de la base 802. Además, la forma de la conexión mecánica puede no ser plana. Por ejemplo, en la figura 3P en la posición no accionada del dispositivo 810, una primera parte de la conexión mecánica 812a puede ser paralela a la caperuza de extremo 806 y una segunda parte de la conexión mecánica 812a puede formar un ángulo respecto de la caperuza de extremo 806.

En realizaciones de la presente invención, una alineación de los acoplamiento de las conexiones mecánicas respecto del miembro de soporte 803 y un tipo de acoplamiento puede variar de una conexión a otra. Por ejemplo, en una realización, la caperuza de extremo 806 se puede acoplar al miembro de soporte 803 usando una rótula (no mostrada). Las conexiones mecánicas 812a pueden usar la forma 814b (véase la figura 3Q) para conectarse al miembro de soporte 803, la conexión mecánica 812b puede usar la forma 814b girada 90 grados (véase la figura 3R) para conectarse al miembro de soporte 803 y la conexión mecánica 812c puede usar la misma forma y alineación que la conexión 812a (véase la figura 3R) para conectarse al miembro de soporte 803.

En este ejemplo, el dispositivo 810 puede usar dos pares de regiones activas sobre el rollo polimérico 801 alineadas perpendicularmente entre sí. La cuatro regiones activas sobre el rollo polimérico 801 se pueden accionar para posicionar la caperuza de extremo 806 con una orientación designada por dos ángulos 818 y 819 como se muestra en la figura 3S. Las conexiones mecánicas 812a/812c respecto de 812b generan momentos de rotación que actúan alrededor de los ejes que son perpendiculares entre sí. Estos momentos de rotación se pueden usar para reducir la energía requerida para accionar la caperuza de extremo 806 formando los ángulos 818 y 819 como se muestran en la figura 3S.

Como se ha descrito anteriormente respecto de las figuras 3P-3S, las conexiones mecánicas de la presente invención no se limitan a sistemas de enclavamiento. En la figura 3T, se muestra un número de realizaciones de esquemas de conexiones mecánicas para fines ilustrativos solamente ya que la presente invención no se limita a estas realizaciones. Se ha descrito anteriormente un esquema de conexión de patillas 811a. Un esquema de conexiones ranuradas 811b comprende una ranura 822 en la traviesa 820 circular. Una conexión mecánica 821 con un diámetro interior circular inferior al diámetro exterior del miembro de soporte permite el movimiento en múltiples direcciones sobre la ranura 822. El tamaño y la forma de la ranura 22 puede limitar el rango de movimiento de la conexión mecánica. Por ejemplo, la ranura no puede extenderse alrededor de toda la circunferencia del miembro de soporte 803.

Un esquema de conexión esférica 811c comprende una parte de forma esférica 824 del miembro de soporte 823. La conexión mecánica 825 se puede girar en múltiples dimensiones alrededor de la parte esférica 824. En una realización, el miembro de soporte 823 puede incluir una parte de forma cilíndrica en lugar de esférica para limitar el intervalo de desplazamiento de la conexión mecánica 825. Un esquema de conexión de protuberancias emparejadas 811d comprende dos protuberancias 827 alrededor de un miembro de soporte 826. Las dos protuberancias confinan una conexión mecánica dentro de las dos protuberancias a un intervalo particular de desplazamiento.

La presente invención no se limita a una pluralidad de conexiones mecánicas separadas. En realizaciones particulares, las conexiones mecánicas se pueden unir entre sí de alguna manera. Por ejemplo, en una realización de la presente invención, se usa un resorte 830 como conexión mecánica. Puesto que las bobinas del resorte están todas unidas juntas, la comunicación de fuerzas entre diferentes partes de la conexión mecánica es posible. Además, las bobinas se pueden usar para

transferir fuerzas y momentos desde diferentes partes del rollo polimérico a lo largo de su longitud cuando las áreas activas 801a y 801b del rollo polimérico están accionadas. Además, el resorte puede proporcionar asimismo estabilidad en la forma al rollo a lo largo de su longitud.

En otra realización de la presente invención, un material sólido tal como una camisa de espuma se puede colocar alrededor del miembro de soporte 803. La camisa de espuma se puede emplear como una conexión mecánica para transferir fuerzas y momentos desde una primera parte del rollo polimérico a una segunda parte del rollo polimérico. Además, la camisa de espuma se puede usar para proporcionar estabilidad en la forma para el rollo polimérico.

Las conexiones mecánicas, tales como el resorte 803 no han de situarse a lo largo de toda la longitud del miembro de soporte 803. En una realización de la presente invención en la figura 3U, un resorte 380, usado como conexión mecánica, expande solamente una parte de la longitud del miembro de soporte 803. Para proporcionar estabilidad adicional en la forma para el rollo polimérico, el miembro de soporte comprende un reborde 831, un reborde de algún tipo de material (por ejemplo espuma, plástico, metal) situado por debajo del resorte 830.

En la presente invención, el rollo polimérico 910 se puede fijar a las conexiones mecánicas usando una diversidad de procedimientos. Algunos de estos ejemplos se describen respecto de la figura 3V. En la figura 3V, el rollo polimérico 801 se fija a una caperuza de extremo usando un adhesivo, una patilla y una grapa. Las caperuzas de extremo se pueden conformar para tener nervaduras y/o labios para una fuerza de mantenimiento adicional. La grapa pasa por encima de la caperuza de extremo como una cápsula de botella. Una combinación de esquemas de fijación se puede usar para fijar el rollo polimérico a la conexión mecánica. Por ejemplo, el rollo polimérico se puede fijar y pegar a la conexión mecánica. Además, los esquemas de fijación pueden variar de una conexión mecánica a otra. En el mismo dispositivo. Por ejemplo, el rollo polimérico 801 se puede enclavar y pegar a una primera conexión mecánica y solamente pegar a una segunda conexión mecánica en el mismo dispositivo. En general, se pueden usar muchos tipos de elementos de fijación con la presente invención y la invención no se limita a los ejemplos proporcionados anteriormente. Además, estos procedimientos de fijación se aplican a todas las realizaciones de rollos de la presente invención y no solamente los ejemplos descritos respecto de la sección 3.5.

En una realización, se pueden usar patillas para afianzar el polímero a un miembro de soporte o conexión mecánica y, además, se puede usar como parte de un esquema de conexión eléctrica. De este modo, las patillas se pueden fabricar a partir de un material eléctricamente conductor (En otras realizaciones de la presente invención, las patillas se pueden aislar). Cuando se insertan a través del polímero electroactivo, las patillas pueden conectar eléctricamente las áreas activas sobre capas múltiples de los polímeros electroactivos envueltos. Además, las patillas pueden conectar dos o más áreas activas sobre diferentes partes del rollo polimérico. Por ejemplo, una patilla se puede extender a través de un lado del rollo, a través del centro del rollo y en el exterior del otro lado y conectar eléctricamente áreas activas laterales sobre el lado opuesto de los rollos.

En las figuras 3L y 3P, se proporciona un desplazamiento angular en el extremo del dispositivo 800 y el dispositivo 810 a través de la caperuza de extremo 806. La presente invención no está tan limitada. Los dispositivos de la presente invención pueden comprender una estructura de soporte dentro del rollo polimérico con una o más articulaciones donde es posible la rotación angular. La una o más articulaciones donde es posible la rotación angular se pueden situar en cualquier posición a lo largo de la longitud del rollo polimérico.

La figura 3W muestra una sección transversal central de un dispositivo 870. El dispositivo 870 incluye un rollo polimérico electroactivo con al menos dos áreas activas 801a y 801b. Dentro del centro del rollo polimérico se encuentran dos miembros de soporte, 840 y 841. Los miembros de soporte se acoplan por articulación de enclavamiento 842. La articulación de enclavamiento 842 está destinada a permitir que los dos miembros de soporte, 840 y 841, giren el uno respecto del otro. En el dispositivo 870, el rollo polimérico se puede estirar y fijar a las caperuzas de extremo de cada uno de los miembros de soporte 840 y 841. El estiramiento proporciona una tensión inicial (pretensión) sobre el rollo polimérico.

En una realización, la articulación de enclavamiento 842 se puede detener para limitar la cantidad de rotación. Por ejemplo, la articulación 842 se puede detener para permitir que el miembro de soporte se alinee verticalmente y que el miembro de soporte 840 gire solamente a la derecha desde la posición verticalmente alineada. La articulación 842 se puede detener para permitir una variedad de intervalos angulares y no limitarse a detenerse con los miembros de soporte en posición verticalmente alineada.

Cuando el área activa 801b es accionada, el polímero en el área activa se alarga y los miembros

de soporte 840 y 841 giran el uno respecto del otro de manera que el ángulo 843 entre los miembros de soporte es inferior a 180 grados. Puesto que el rollo polimérico está en tensión, la parte no accionada del polímero 801b se puede generar un momento de rotación que ayuda a girar el dispositivo 870 durante el accionamiento del área activa 801a. Este diseño puede ayudar a minimizar la energía necesaria para hacer funcionar el dispositivo 870. Cuando el área activa 801a no está accionada, el polímero en área activa 801a se acorta y se devuelve el dispositivo 870 a una posición alineada aproximadamente en vertical.

Muchas de las realizaciones de la presente invención tienen aplicaciones relacionadas con la robótica. Cuando se diseñan accionadores para la robótica, un diseñador a menudo se inspira en la naturaleza. Por ejemplo, los humanos y otros animales usan pares de músculos antagonistas. Cuando un músculo del par antagonista se alarga, el otro músculo del par se acorta. En las figuras 3L, 3P, 3Q, cuando los dispositivos, 800, 810 y 870, están en funcionamiento, una primera parte del rollo polimérico electroactivo se alarga y una segunda parte del rollo polimérico, enlazado a la primera parte por una conexión mecánica, se acorta. De este modo, se puede decir que la configuración y el funcionamiento de estos dispositivos imitan un par de músculos antagonistas que se encuentran en los seres humanos y otros animales.

Aparte de los pares de músculos antagonistas, en las interfaces de articulación (por ejemplo en la rodillo), el sistema muscular-esquelético humano emplea fijaciones para grandes y pequeños músculos. Las fijaciones se pueden conectar a pares de músculos antagonistas. Estas fijaciones se pueden solapar y producir diferentes fuerzas y momentos que ayudan al movimiento, el equilibrio y la estabilidad. En las figuras 3-Z, se describe un número de realizaciones de la presente invención que puede decirse que imitan este aspecto de la fisiología humana/animal. Igualmente, los animales usan sus pares de músculos antagonistas para variar la rigidez de las articulaciones cambiando la longitud estática de los músculos que se extienden sobre la articulación.. La rigidez de articulación variable puede ayudar a la energética de locomoción en varios tipos de terreno y usar varios modos de andar.

La figura 3X es vista desde el lado de un dispositivo accionador 871, que incluye un rollo polimérico 801 electroactivo. El dispositivo 871 empieza con la configuración del dispositivo 870. Como se describe respecto de la figura 3W, el rollo polimérico 801 se fija a las caperuzas de extremo de los miembros de soporte 840 y 841, que se conectan por la articulación de enclavamiento 842. A continuación, el rollo polimérico 801 se fija al miembro de soporte 841 en el punto de fijación 845. Por ejemplo, el polímero se puede enclavar al miembro de soporte 841 en el punto de fijación 845.

Se realizan dos cortes en el rollo polimérico a lo largo de líneas de corte 846. Los cortes se pueden extender desde una superficie exterior del rollo polimérico 801 hasta una superficie interior del rollo polimérico cortan a través del rollo 801 desde la superficie exterior hasta el interior de la parte central hueca. Los cortes pueden tener el efecto de evitar que las fuerzas y momentos generados en una parte del rollo polimérico rico, es decir, se propaguen a otra parte del rollo polimérico.

Los cortes a lo largo de la las líneas 846 también se pueden realizar sobre la parte opuesta del rollo polimérico 801 (no mostrada) para dividir el rollo polimérico 801 en cuatro “fibras musculares”. Tres de las fibras musculares 848a, 848b, 848c se muestran en la figura. Cada uno de las fibras musculares puede incluir una o más áreas activas que se pueden accionar. Las fibras musculares se pueden controlar y pueden mover independientemente uno de otro. Las líneas de corte permite que cada cordón se deslice por el otro.

Una longitud de cada fibra muscular se puede definir como la distancia entre sus puntos de fijación. Con esta definición, una longitud no accionada de fibras musculares 848a y 848c es la distancia entre sus puntos de fijación y los miembros de extremo 840 y 841 cuando los miembros 840 y 841 están alineados verticalmente. Cuando los miembros 840 y 841 está verticalmente alineado, una longitud no accionada de la fibra muscular 848b es más corta que las fibras musculares 848a y 848c porque su punto de fijación se sitúa en el centro del miembro 841 en lugar de en su punto de extremo.

Cuando está accionado el músculo 848a se permite que se alargue entre sus dos puntos de fijación a la base 840 y 841. Cuando está accionado el músculo 848b se permite que se alargue entre sus dos puntos de fijación a la base 840 y el punto de fijación 845. El punto de fijación 845 impide que el músculo 848b se alargue entre el punto de fijación 845 y la base 841 como consecuencia de la acción del músculo 848b.

Se muestran las líneas de corte que se extienden la longitud del rollo con fines únicamente ilustrativos. En otras realizaciones, se pueden realizar líneas de corte que son menor, es decir, que no se extienden la longitud del rollo. Además, se pueden realizar las líneas de corte que se encuentra a lo largo de una parte de la longitud del rollo, alrededor de una parte de la circunferencia o el rollo. En general, las

líneas de corte se pueden realizar a lo largo de cualquier curva bidimensional sobre la superficie exterior del rollo. Además, la línea de corte se puede extender a través de todas las capas del rollo polimérico o a través solamente una parte de las capas del rollo polimérico.

En otra realización (véase la figura 3Z), el rollo polimérico se puede cortar en primer lugar y después afianzarse al punto de fijación en lugar a fijarlo y después cortarlo. Asimismo, los cortes y las fibras musculares resultantes no han de disponerse simétricamente alrededor de la circunferencia del rollo polimérico.

En funcionamiento, el dispositivo 871 se puede accionar de una manera similar al dispositivo 870. La fibra muscular 848a se puede accionar de manera que se alargue. El alargamiento de la fibra muscular 848a y la tensión inicial realizada sobre las fibras musculares 848b y 848c da como resultado momentos que hacen girar el miembro 840. Como se ha descrito anteriormente, se puede decir que imita el funcionamiento de un par de músculos antagonistas en un cuerpo humano.

Después del accionamiento de la fibra muscular 848a, la fibra muscular 848b se puede accionar para coincidir más precisamente con un ángulo deseado entre los miembros de soporte 840 y 841. Por ejemplo, la fibra muscular 848a se puede accionar de manera que el ángulo entre los miembros de soporte sea inferior al deseado. Entonces, la fibra muscular 848b se puede accionar para aumentar el ángulo y para coincidir más precisamente con el ángulo deseado. En general, los cambios en el ángulo producido por la fibra muscular 848a pueden ser superiores a los cambios en el ángulo generado por la fibra muscular 848b.

Como se ha descrito anteriormente, se puede decir que se imita el funcionamiento conjunto de los grandes y pequeños músculos en el cuerpo humano donde los músculos grandes controlan los movimientos gruesos y los músculos pequeños controlan los movimientos finos. Se puede usar una fibra muscular mayor para generar la misma cantidad de movimiento que una fibra muscular menor. Sin embargo, una ventaja del uso de una fibra muscular menor es que puede requerir menos energía y puede proporcionar más precisión que el uso de una fibra muscular mayor.

En la figuras 3Y, se muestra otro ejemplo de un dispositivo de rollo polimérico 872 que usa “fibras musculares”.En la figura, los miembros de soporte 850 y 851 están conectados por una rótula 852. Con la rótula 852, se pueden definir la posición del miembro 850 respecto del miembro 851 mediante dos ángulos.

Se puede generar, estirar y fijar un rollo 801 polimérico electroactivo a los extremos de los miembros de soporte 850 y 851 como se ha descrito para los dispositivos 870 y 971. A continuación, se pueden realizar una serie de cortes en el rollo polimérico 801 y añadir puntos de fijación para crear fibras musculares de longitudes variables. El rollo polimérico se puede inicialmente imprimir de manera que las áreas activas de una longitud deseada se encuentren entre los puntos de fijación.

En la figura 3Y, se realizan cuatro líneas de corte 854 en el rollo polimérico y se usan 5 puntos de fijación al miembro de soporte. Las líneas de corte y los puntos de fijación se usan para crear dos fibras musculares largos 855, dos fibras musculares cortos 853 y una fibra muscular medio 856. En funcionamiento las fibras musculares largos,, medio y cortos se pueden accionar independientemente para genera movimientos gruesos, medio y finos de los miembros de soporte 850 y 851 alrededor de la rótula 852. Estos movimientos se pueden controlar mediante un dispositivo lógico conectado al dispositivo 872.

En una realización de la presente invención, las tensiones iniciales de cada fibra muscular se puede ajustar los unos respecto de los otros. Como se ha descrito respecto de la figura 3Y, un rollo polimérico electroactivo 801 se puede estirar y fijar a los puntos de extremo 850 y 851 y se puede realizar una serie de cortes en el rollo polimérico para generar una serie de fibras musculares. A continuación, las fibras musculares se fijan a los miembros de soporte 850 y 851 para generar fibras musculares de diferentes longitudes y con diferentes momentos alrededor de la rótula. Para fijar las fibras musculares a los miembros de soporte, se puede identificar un punto de fijación sobre la fibra muscular. La ubicación del punto de fijación sobre la fibra muscular puede no estar alineada con el punto de fijación sobre el miembro de soporte. De este modo, la fibra muscular se puede estirar o comprimir para aumentar o reducir la tensión inicial sobre la fibra muscular.

El procedimiento para ajustar la tensión inicial sobre una fibra muscular se describe, además, respecto de la figura 3Z. El dispositivo 873 incluye miembros de soporte 850 (no mostrado) y 851 fijados por una rótula 852. El miembro de soporte incluye dos puntos de fijación, 861a y 861b. El dispositivo 873 se muestra en una posición estirada inicial después de la fijación del rollo polimérico 801 a los extremos de dos miembros de soporte 850 y 851 (véase la figura 3Y) y los cortes iniciales se han realizado para crear las fibras musculares.

La fibra muscular 860 incluye el punto de fijación de cordón 862 donde el área activa de la fibra muscular se encuentra por encima del punto de fijación. Después del estiramiento inicial del rollo polimérico, el punto de fijación de cordón 862 se alinea con el punto de fijación de soporte 861b. De este modo, la tensión sobre la fibra muscular 860 se puede fijar con el valor que sigue al estirado inicial conectando el punto de fijación de cordón 862 al punto de fijación 861b. Además, la tensión sobre la fibra muscular 860 se puede reducir de su valor posterior al estiramiento inicial conectando el punto de fijación de cordón 862 al punto de fijación 861b. En algunas realizaciones la pretensión se puede reducir a cero o se puede colocar una tensión compresiva sobre la fibra muscular.

En otra realización, en el dispositivo 874, se puede usar una ranura 863 para proporcionar una gama de puntos de fijación de la fibra muscular 860 al miembro de soporte 851. En esta realización, el cordón muscular 860 de tensión inicial se puede aumentar o reducir dependiendo de en que ubicación en la ranura se fija el punto de fijación de soporte 861a. En otra realización de la presente invención, la ubicación del punto de fijación de soporte 861a puede variarse durante la operación del dispositivo 874. De este modo, la longitud de la fibra muscular 860 y por lo tanto su tensión en una posición particular se puede variar para incrementar la eficiencia del dispositivo o cariar la rigidez del dispositivo 874. En una realización, otro accionador polimérico electroactivo se puede usar para ajustar la posición del punto de fijación 861a.

Aunque no se muestra, en otras realizaciones, los dispositivos 871, 872 y 873 pueden incluir una pluralidad de conexiones mecánicas como se ha descrito anteriormente. Estas conexiones mecánicas pueden servir como puntos de fijación para las fibras musculares mostrados en el dispositivo 871, 872 y 873. Asimismo, las conexiones mecánicas se pueden usar para conectar de alguna manera dos fibras musculares más juntos.

Además, una pluralidad de accionadores de rollo polimérico se pueden acoplar juntos en un sistema masivamente paralelo. Por ejemplo, se pueden acoplar juntos una serie de accionadores de rollo polimérico con salida angular para producir un accionador capaz de generar un desplazamiento similar al de la serpiente. En otro ejemplo, los accionadores se pueden situar en paralelo para permitir un movimiento similar al de la estrella de mar.

Asimismo, estas configuraciones de control angular se pueden usar para el control de la rigidez. Por ejemplo, si en la figura 3L se accionan 801a y 801 simultáneamente entonces se incrementará la elasticidad en esa dirección en comparación con el estado no accionado. Este control de rigidez angular se puede aplicar también a las conexiones mostradas en la figura 3T para proporcionar control de rigidez angular a lo largo de múltiples ejes.

4.-MULTIFUNCIONALIDAD

Los polímeros electroactivos tienen muchos usos funcionales. Además del accionamiento, las áreas activas de la presente invención se pueden usar para generación y producción de energía eléctrica, detección, control de rigidez, o control de amortiguación.

Las figuras 1A y 1B se pueden usar para mostrar una manera en la cual la parte transductora 10 convierte energía mecánica en energía eléctrica. Por ejemplo, si la parte transductora 10 se estira mecánicamente por fuerzas externas hasta una forma más fina de mayor área tal como se muestra en la figura 1B, y una diferencia de voltaje relativamente pequeño (inferior a la necesaria para accionar la película respecto de la configuración en la figura 1B) se aplica entre los electrodos 14 y 16, la parte transductora 10 contraerá su área entre los electrodos respecto de una forma tal como en la figura 1A cuando se eliminan las fuerzas externas. El estiramiento del transductor se refiere al desvío del transductor desde su posición de reposo original –que da típicamente como resultado una mayor área de red entre los electrodos, por ejemplo, en el plano definido por las direcciones 18 y 20 entre los electrodos. La posición de reposo se refiere a la posición de la parte transductora 10 que no tiene entra externa eléctrica o mecánica y puede comprender cualquier pretensión en el polímero. Una vez que la parte transductora 10 se estira, se proporciona la diferencia de voltaje relativamente pequeña de manera que las fuerzas electrostáticas resultantes del estiramiento. Por lo tanto, la parte transductora 10 se contrae, y se hace más gruesa y tiene un menor área plana en el plano definido por las direcciones 18 y 20 (ortogonal al espesor entre los electrodos). Cuando el polímero 12 se hace más grueso, separa los electrodos 14 y 16 y sus correspondientes cargas desiguales, elevando de este modo la energía eléctrica y el voltaje de la carga. Además, cuando los electrodos 14 y 16 se contraen hasta un área menor, las cargas iguales dentro de cada electrodo se comprimen, elevando también la energía eléctrica y el voltaje de la carga. De este modo, con cargas diferentes sobre los electrodos 14 y 16, la contracción de una forma tal como se muestra en la figura 1B a una tal como se muestra en forma 1A. eleva la energía eléctrica de la carga. Es decir, el desvío mecánico se están convirtiendo en energía eléctrica y la parte transductora 10 está actuando como una ‘generador’.

Cuando se aplica una diferencia de voltaje relativamente pequeña entre los electrodos 14 y 16, el desvío de la parte transductora 10 tendera a cambiar la diferencia de voltaje entre los electrodos o conducirá la carga a o desde los electrodos, o ambas cosas, dependiendo del estado eléctrico impuesto sobre los electrodos 14 y 16. Como el polímero 12 cambia de tamaño, se pueden detectar, disipar y/o usar las propiedades eléctricas cambiantes y el voltaje. Por ejemplo, el cambio en la diferencia de voltaje entre los electrodos se puede usar para conducir corriente a o desde uno de los electrodos que se disipa a través de una resistencia.

Algo de la carga y energía o toda la carga y energía se puede eliminar cuando la parte transductora 10 está totalmente contraída en el plano definido por las direcciones 18 y 20. Alternativamente, algo de la carga y energía o toda la carga y energía se puede retirar durante la contracción. Si la presión del campo eléctrico en el polímero aumenta y alcanza el equilibrio con la fuerza de recuperación elástica mecánica y la carga externa durante la contracción, la contracción se detendrá antes de la total contracción, y no se convertirá más energía mecánica elástica en energía eléctrica. Al retirar algo de la carga y la energía eléctrica almacenada se reduce la presión del campo eléctrico, permitiendo de este modo que siga la contracción. El comportamiento eléctrico exacto de la parte transductora 10 cuando está en funcionamiento en modo generador depende de cualquier carga eléctrica y mecánica así como de las propiedades intrínsecas del polímero 12 y los electrodos 14 y 16.

En algunos caso, la parte transductora 10 se puede describir eléctricamente como un condensador variable. La capacitancia se reduce para el cambio de forma que va del mostrado en la figura 1B al mostrado en la figura 1A. Típicamente, la diferencia de voltaje entre los electrodos 14 y 16 se elevará por contracción. Esto es normalmente el caso, por ejemplo, si no se añade o resta una carga adicional de los electrodos 14 y 16 durante le procedimiento de contracción. El aumento en energía eléctrica, U, se puede ilustrar mediante la fórmula $U = 0{,}5Q^2/C$, donde Q es la cantidad de carga positiva sobre el electrodo positivo y C es la capacitancia variable que se refiere a las propiedades dieléctricas intrínsecas del polímero 12 y su geometría. Si Q es fijo y C se reduce, entonces la energía eléctrica U aumenta. El aumento en energía eléctrica y voltaje se puede recuperar o usar en un dispositivo o circuito electrónico apropiado en comunicación eléctrica con los electrodos 14 y 16. Además, la parte transductora 10 se puede acoplar mecánicamente a una entrada mecánica que desvía el polímero y proporcionar energía mecánica.

Para que un transductor tenga un espesor sustancialmente constante, un mecanismo para diferenciar el rendimiento del transductor, o una parte del transductor asociada a una única área activa, que es un accionador o un generador se encuentra en el cambio en el área de red ortogonal al espesor asociado al desvío del polímero. Para estos transductores o áreas activas, cuando el desvío hace que el área de red del transductor/área activa se reduzca y hay carga sobre los electrodos, el transductor/área activa se está haciendo la conversión de energía mecánica a energía eléctrica y actuando como un generador. Por el contrario, cuando el desvío hace que el área de red del transductor/área activa aumente y la carga está sobre los electrodos, el transductor/área activa están haciendo la conversión de energía eléctrica a energía mecánica y actuando como un accionador. El cambio en el área en ambos casos corresponde a un cambio opuesto en el espesor de película, es decir, el espesor se contrae cuando el área plana se expande, y el espesor se expande cuando el área plana se contrae. Tanto el cambio en el área como el cambio en el espesor determinan la cantidad de energía que se convierte entre la energía eléctrica y mecánica. Puesto que los efectos debidos a un cambio en el área y el cambio correspondiente en espesor son complementarios, solamente se mencionará el cambio en área en la presente memoria por razones de brevedad. Además, aunque se explicará principalmente el desvío sobre un polímero electroactivo como un incremento de red en el área del polímero cuando se está usando el polímero en un accionador para producir energía mecánica, se entiende que en algunos casos (es decir, dependiendo de la carga), el área de red puede reducirse para producir trabajo mecánico. De este modo, los dispositivos de la presente invención pueden incluir tanto el modo accionador como el modo generador, dependiendo de la manera en que está dispuesto y aplicado el polímero.

Los polímeros electroactivos se pueden configurar también como un sensor. Generalmente, los sensores de polímero electroactivo detectan un “parámetro” y/o cambios en el parámetro. El parámetro es normalmente una propiedad física de un objeto tal como su temperatura, densidad, tensión, deformación, velocidad, situación, contacto, aceleración, vibración, volumen, presión, masa, opacidad, concentración, estado químico, conductividad, magnetización, constante dieléctrica, tamaño, etc. En algunos casos, el parámetro detectado se asocia a un “evento” físico. El evento físico detectado puede ser haber alcanzado un valor o estado particular de una propiedad física o química.

Un sensor de polímero electroactivo se configura de tal manera que una parte del polímero electroactivo se desvía en respuesta al cambio en un parámetro detectado. El estado de energía eléctrica y el estado de desvío del polímero están relacionados. El cambio en energía eléctrica o un cambio en la impedancia eléctrica de un área activa resultante del desvío se puede detectar entonces mediante

electrónica de detección en comunicación eléctrica con los electrodos de área activa. Este cambio puede comprender un cambio de capacitancia del polímero, un cambio de resistencia del polímero, y/o un cambio de resistencia de los electrodos, o una combinación de los mismos. Los circuitos electrónicos en comunicación eléctrica con los electrodos detectan el cambio de propiedad eléctrica. Si se mide por ejemplo, un cambio en capacitancia o resistencia del transductor, se aplica energía eléctrica a los electrodos incluidos en el transductor y se observa un cambio en los parámetros eléctricos.

En una realización, se introduce el desvío en un sensor de área activa de alguna manera mediante uno o más mecanismos de acoplamiento. En una realización, la propiedad o parámetro cambiante medido por el sensor corresponde a una propiedad cambiante del polímero electroactivo, por ejemplo, cambios en el desplazamiento o el tamaño en el polímero y no se usa mecanismo de acoplamiento. La electrónica de detección en comunicación eléctrica con los electrodos detecta la salida de cambios mediante el área activa. En algunos casos, un dispositivo lógico en comunicación eléctrica con la electrónica de detección del sensor cuantifica el cambio eléctrico para proporcionar un dígito u otra medición del parámetro cambiante detectado. Por ejemplo, el dispositivo lógico puede ser un ordenador o microprocesador de un solo chip que procesa información producida por la electrónica de detección. Los sensores de polímero electroactivo se describen, además, en el documento 10/007.705.

Un área activa se puede configurar de tal manera que la detección se realiza simultáneamente al accionamiento del área activa. Para un transductor monolítico, un área activa puede ser responsable del accionamiento y otra de la detección. Alternativamente, la misma área activa de un polímero puede ser responsable del accionamiento y de la detección. En este caso, se puede superponer una señal CA (detección) de baja amplitud y alta frecuencia sobre la señal de mando (accionamiento). Por ejemplo, una señal de detección de 1000 Hz se puede superpone sobre una señal de accionamiento de 10 Hz. La señal de mando dependerá de la aplicación, de los lejos que se desplaza el accionador, pero las señales de mando en el intervalo de menos de 0,1 Hz a aproximadamente 1 millón de Hz son apropiadas para muchas aplicaciones. En una realización, la señal de detección es al menos aproximadamente 10 veces más rápida que el desplazamiento medido. La electrónica de detección puede entonces medir y detectar la respuesta de alta frecuencia del polímero para permitir que el rendimiento del sensor no interfiera con el accionamiento del polímero. Asimismo, si se detectan y miden cambios de impedancia mientras se usa el transductor polimérico electroactivo como generador, se puede superponer una pequeña señal CA de alta frecuencia sobre la señal de voltaje de generación de menor frecuencia. Las técnicas de filtrado pueden entonces separar las señales de medición y de energía.

Las áreas activas de la presente divulgación también se pueden configurar para proporcionar funciones de amortiguación y rigidez variables. En una realización, se usan técnica de bucle abierto para controlar la rigidez y/o amortiguación de un dispositivo que emplea un transductor polimérico electroactivo.; proporcionando de este modo diseños sencillos que ofrecen un rendimiento de rigidez y/o amortiguación deseado sin realimentación del sensor. Por ejemplo, la electrónica de control en comunicación eléctrica con los electrodos del transductor pueden suministrar una carga sustancialmente constante a los electrodos. Alternativamente, la electrónica de control puede suministrar un voltaje sustancialmente constante a los electrodos. Los sistemas que emplean un transductor polimérico electroactivo ofrecen muchas técnicas para proporcionar control de rigidez y/o amortiguación. Un circuito ejemplar que proporciona control de rigidez y/o amortiguación se proporciona en lo sucesivo.

Aunque no se describe en detalle, es importante subrayar que las áreas activas y los transductores en todas las figuras y explicaciones para la presente divulgación pueden realizar la conversión entre energía eléctrica y energía mecánica de manera bidireccional (con electrónica apropiada). De este modo, cualquiera de los polímeros enrollados, áreas activa, configuraciones poliméricas, transductores y dispositivos descrito en la presente memoria puede ser un transductor para conversión de energía mecánica en energía eléctrica (generación, rigidez o amortiguación variable, o detección) y para convertir energía eléctrica en energía mecánica (accionamiento, rigidez o amortiguación variable, o detección). Típicamente, un área activa de generador o sensor de la presente divulgación comprende un polímero dispuesto de una manera que causa un cambio en el campo eléctrico en respuesta al desvío de una parte del polímero. El cambio en el cambio eléctrico, junto con los cambios en la dimensión del polímero en la dirección del campo, produce un cambio en el voltaje, y por lo tanto un cambio en la energía eléctrica.

A menudo el transductor se emplea sin un dispositivo que comprende otros elementos estructurales y/o funcionales. Por ejemplo, la energía mecánica externa se puede introducir en el transductor de alguna manera mediante uno o más mecanismo mecanismos de acoplamiento mecánico de transmisión. Por ejemplo el mecanismo de transmisión se puede diseñar o configurar para recibir energía mecánica generada biológicamente y para transferir una parte de la energía mecánica biológicamente generada a una parte del polímero donde la parte trasferida de la emergía mecánica biológicamente transferida da como resultado un desvío en el transductor. La energía mecánica

biológicamente generada puede producir una fuerza inercial o una fuerza directa donde una parte de la fuerza inercial o una parte de la fuerza directa es recibida por el mecanismo de transmisión. En una realización, la fuerza directa puede proceder de una pisada.

5.- ELECTRÓNICA DE ACONDICIONAMIENTO

Los dispositivos de la presente divulgación se pueden basar también en la electrónica acondicionadora que proporciona o recibe energía eléctrica procedente de electrodos de un área activa para una o más de las funciones poliméricas electroactivas anteriormente mencionadas. Las electrónica acondicionadora en comunicación eléctrica con una o más áreas activas puede incluir funciones tales como control de rigidez, disipación de energía, generación de energía eléctrica, accionamiento de polímero, detección de polímero, lógica de control, etc.

Para el accionamiento, los controladores electrónicos se pueden conectar a los electros. El voltaje proporcionado a los electrodos de un área activa dependerá de las especificidades de una aplicación. En una realización, un área activa de la presente invención es accionada eléctricamente modulando un voltaje aplicado sobre un voltaje de polarización CC. La modulación sobre un voltaje de polarización proporciona una sensibilidad y linealidad mejorada del transductor a la tensión aplicada. Por ejemplo, un transductor usado en una aplicación audio se puede accionar mediante una señal de 200 a 100 voltios de pico a pico sobre la parte superior de un voltaje de polarización que varía entre aproximadamente 750 y 2000 voltios CC.

Las tensiones de accionamiento apropiadas para polímeros electroactivos, o partes de los mismos, pueden varias basadas en las propiedades materiales del polímero electroactivo, tales como la constante dieléctrica, así como las dimensiones del polímero, tales como el espesor de la película polimérica. Por ejemplo, campos eléctricos de accionamiento usados para accionar el polímero 12 en la figura 2A puede variar en magnitud de aproximadamente 0 V/m a aproximadamente 440 MV/m. Los campo eléctrico de accionamiento en este intervalo pueden producir una presión en el intervalo de aproximadamente 0 Pa a aproximadamente 10 MPa. Con el fin de que el transductor produzca mayores fuerzas, el espesor de la capa polimérica se puede incrementar. Los voltajes de accionamiento de un polímero partícula se pueden reducir incrementando la constante dieléctrica, reduciendo el espesor polimérico, y reduciendo el módulo de elasticidad, por ejemplo.

La figura 4 ilustra un esquema eléctrico de un sistema de rigidez/amortiguación variables de bucle abierto. El sistema 130 comprende un transductor 132 de polímero electroactivo, una fuente de voltaje 134, y una electrónica de control que comprende un circuito de rigidez/amortiguación variables 136 y un control de bucle abierto 138, y un condenador compensador 140.

La fuente de voltaje 134 proporciona el voltaje usado en el sistema 130. En este caso, la fuente de voltaje 134 establece el voltaje mínimo para el transductor 132. Ajustando este voltaje mínimo, junto con el control de bucle abierto 138, se ajusta el rigidez proporcionada por el transductor 132. La fuente de voltaje 134 suministra también carga al sistema 130. La fuente de voltaje 134 puede incluir una fuente de voltaje comercialmente disponible, tal como una batería de bajo voltaje que suministra una voltaje que varía entre aproximadamente 1 y 15 voltios, y un circuito elevador que eleva el voltaje de la batería. En este caso, la reducción de voltaje realizada por el circuito reductor en comunicación eléctrica con los electrodos del transductor 132 se puede usar para ajustar un voltaje eléctrico de salida procedente del transductor 132. Alternativamente, la fuente de voltaje 134 puede incluir un circuito elevador variable que puede producir una salida variable de alto voltaje procedente de la batería. Como se describirá en lo sucesivo más en detalle, la fuente de voltaje 134 se puede usar para aplicar un campo eléctrico de umbral descrito en lo sucesivo para utilizar el polímero en un régimen particular de rigidez.

El sistema deseado 130 de rigidez o amortiguación es controlado por un circuito 136 de rigidez/amortiguación variable que establece y cambia un estado eléctrico proporcionado por electrónica de control en el sistema 130 para proporcionar la rigidez/amortiguación deseada aplicada por el transductor 132. En este caso, el circuito 36 de rigidez/amortiguación introduce un voltaje deseado a la fuente de voltaje 134 y/o introduce un parámetro al control de bucle abierto 138. Alternativamente, si se usa el circuito elevador para elevar la fuente de voltaje 134, el circuito 136 puede introducir una señal al circuito elevador para permitir el control de voltaje.

Como el transductor 132 se desvía, su voltaje cambiante hace que la carga se desplace entre el transductor 132 y el condensador compensador 140. De este modo, la expansión y contracción exteriormente inducida del transductor 132, por ejemplo desde una interfaz mecánica de vibración, hace que la carga fluya hacia atrás y hacia delante entre el transductor 132 y el condensador compensador 140 a través del control 138 de bucle abierto. La proporción y cantidad de carga desplazada a o desde el transductor 132 depende de las propiedades del condensador compensador 140, el voltaje aplicado al

transductor 132, cualesquiera componentes eléctricos adicionales en el circuito eléctrico (tal como una resistencia usada como control de bucle abierto 138 para proporcionar la funcionalidad de amortiguación a medida que la corriente pasa a su través), la configuración mecánica del transductor 132, y las fuerzas aplicadas a o por el transductor 132. En una realización, el condensador compensador 140 tiene un voltaje sustancialmente igual al del transductor 132 para un desplazamiento nulo del transductor 132, el voltaje del sistema 130 se establece mediante la fuente de voltaje 134, y el control de bucle abierto 138 es un hilo; dando como resultado un flujo de carga sustancialmente libre entre el transductor 132 y el condensador compensador 140 para el desvío del transductor 132.

El control 138 de bucle abierto proporciona una respuesta dinámica pasiva (sin energía externa suministrada) para la rigidez aplicada por el transductor 132. A saber, la rigidez proporcionada por el transductor 132 se puede establecer mediante los componentes eléctricos incluidos en el sistema 130, tal como la electrónica de control y la fuente de voltaje 134, o por una señal procedente del circuito de control 136 que actúa sobre uno de los componentes eléctricos. En cualquiera de las dos maneras, la respuesta del transductor 132 es pasiva a los desvíos mecánicos externos impuestos sobre el mismo. En una realización el control de bucle abierto es una resistencia. Se puede también establecer la resistencia de la resistencia para proporcionar una constante de tiempo RC respecto de un tiempo de interés, por ejemplo, un periodo de oscilación en el sistema mecánico en que se implementa el transductor. En una realización, la resistencia tiene una alta resistencia de manera que la constante de tiempo RC del control de bucle abierto 138 y el transductor 132 conectado en serie es larga en comparación con una frecuencia de interés. En esta caso, el transductor 132 tiene una carga sustancialmente constante durante el tiempo de interés. Una resistencia que produce una constante de tiempo RC para la resistencia y el transductor en el intervalo de aproximadamente 5 a aproximadamente 30 veces el periodo de una frecuencia de interés puede ser apropiada para algunas aplicaciones. Para las aplicaciones que incluyen desplazamiento cíclico, incrementar la constante de tiempo RC mucho más que los periodos mecánicos de interés permite que la cantidad de carga sobre los electrodos del transductor 132 permanezca sustancialmente constante durante un ciclo. En los casos donde se usa el transductor para amortiguar, una resistencia que produce una constante de tiempo RC para la resistencia y el transductor en el intervalo de aproximadamente 0,1 a aproximadamente 4 veces el periodo de una frecuencia de interés puede ser apropiada. Como lo puede apreciar el experto en la técnica, las resistencias usadas para la resistencia pueden variar basadas en la aplicación, particularmente respecto de la frecuencia de interés y el tamaño (y por lo tanto la capacitancia C) del transductor 132.

En una realización de un estado eléctrico apropiado usado para controlar la rigidez y/o la amortiguación usando técnicas de bucle abierto, la electrónica de control a plica una carga sustancialmente constante a los electrodos del transductor 132, aparte de cualquier imperfección eléctrica o detalles de circuito que afectan mínimamente el flujo de corriente. La carga sustancialmente constante da como resultado una mayor rigidez para el polímero que resiste el desvío del transductor 132. Una configuración eléctrica apropiada para conseguir una carga sustancialmente constante es una que tiene una constante de tiempo RC elevada, como se ha descrito. Cuando el valor de la constante de tiempo RC del control 138 de bucle abierto y el transductor 132 es largo en comparación con la frecuencia de interés, la carga sobre los electrodos del transductor 132 es sustancialmente constante. Otra descripción de control de rigidez/amortiguación se describe en la solicitud de patente de titularidad compartida 10/053.511 que se describe en la presente memoria para todos los fines.

Para la generación, , la energía mecánica se puede aplicar al polímero o área activa de una manera que permite que los cambios de energía eléctrica sean eliminados de los electrodos en contacto con el polímero. Son posibles muchos procedimientos para aplicar energía mecánica y eliminar un cambio de energía eléctrica del área activa. Los dispositivos enrollados se pueden diseñar para utilizar uno o más de estos procedimientos para recibir un cambio de energía eléctrica. Para la generación y detección, la generación y utilización de energía eléctrica pueden requerir electrónica acondicionadora de algún tipo. Por ejemplo, al menos, es necesaria una cantidad de circuito para eliminar la energía eléctrica del área activa. Además, en otro ejemplo, el circuito para variar los grados de complejidad se puede usar para aumentar el eficacia o la cantidad de generación eléctrica en un área activa particular o convertir un voltaje de salida en un valor más útil.

La figura 5A es un diagrama de bloques de una o más áreas activa 600 sobre un transductor enrollado que se conectan a electrónica 610 acondicionadora de energía. Las potenciales funciones que se pueden realizar por la electrónica 610 acondicionadora de energía incluye pero no se limita a 1) elevación de voltaje realizada por el circuito elevador 602, que se puede usar cuando se aplica un voltaje a las áreas activas 600, 2) control de carga realizado por el circuito 604 de control de carga que se puede usar para añadir o eliminar carga de las áreas activas 600 en algunos momentos, 3) reducción de tensión realizadas por el circuido reductor 608 que se puede usar para ajustar un voltaje de salida eléctrica a un transductor. Todas estas funciones pueden no ser necesarias en la electrónica 610 de acondicionamiento. Por ejemplo, algunos dispositivo transductores pueden no usar el circuito elevador

602, otros dispositivos transductores pueden no usar el circuito reductor 608, o algunos dispositivos transductores pueden no usar el circuito elevador y el circuito reductor. Asimismo, se pueden integrar algunas funciones de circuito. Por ejemplo, un circuito integrado puede llevar a cabo las funciones tanto del circuito elevador 602 como el circuito de control de carga 608.

La figura 5B es un esquema de circuito de un dispositivo enrollado 603 que emplea un transductor 600 para una realización de la presente invención. tal como se ha descrito anteriormente, los transductores de la presente invención se pueden comportar eléctricamente como condensadores variables. Para entender el funcionamiento del transductor enrollado 603, se pueden comparar los parámetros operativos del transductor enrollado 603 en dos tiempos, t_1 y t_2. Sin desear adherir ninguna teoría particular, se desarrolla un número de relaciones teóricas sin tener en cuenta el rendimiento eléctrico del generador 603. Estas relaciones no significan de modo alguno que limitan la manera en que los dispositivos descritos funcionan y son proporcionados con fines ilustrativos solamente.

En un primer tiempo, t_1, el transductor 600 enrollado puede poseer una capacitancia, C_1, y el voltaje a través del transductor 600 puede ser el voltaje 601, V_B. el voltaje 601, V_B, puede ser proporcionado por el circuito elevador 602. En un segundo tiempo t_2, mas tarde que el tiempo t_1, el transductor 600 enrollado puede poseer una capacitancia C_2 que es inferior a la capacitancia C_1. Generalmente hablando, la mayor capacitancia C_1 se produce cuando el transductor polimérico 600 se estira en el área, y la menor capacitancia C_2 se produce cuando el transductor polimérico 600 se contrae o relaja en el área. Sin desear quedar ligado a teoría alguna, se puede estimar el cambio en capacitancia de una película polimérica con electrodos por fórmulas bien conocidas que relacionan la capacitancia con el área de la película, el espesor y la constante dieléctrica.

La reducción en la capacitancia del transductor enrollado 600 entre t_1 y t_2 aumenta el voltaje a través del transductor enrollado 600. El mayor voltaje se puede usar para conducir la corriente a través del diodo 616. el diodo 615 se puede usar para evitar que la carga fluya hacia atrás dentro del circuito elevador en ese momento. Los dos diodos, 615 y 616, funcionan como el circuito de control de carga 604 para el transductor enrollado 600 que es parte de la electrónica acondicionadora de energía 610 (véase la figura 5A). Se pueden desarrollar circuitos complejo de control de carga máxima dependientes de la configuración del generador 603 y el uno o más transductores 600 y no se limitan al diseño en la figura 5B.

Un transductor enrollado se puede usar también como sensor polimérico electroactivo para medir un cambio en un parámetro de un objeto que se está detectando. Típicamente, el cambio de parámetro induce el desvío en el transductor, que se convierte en una salida de cambio eléctrico por los electrodos fijados al transductor. Son posibles muchos procedimientos para aplicar energía mecánica o eléctrica para desviar el polímero. Típicamente, la detección de energía eléctrica procedente de un transductor usa electrónica de algún tipo. Por ejemplo, una mínima cantidad de circuito es necesaria para detectar un cambio en el estado eléctrico a través de los electrodos.

La figura 7 es un esquema de un sensor 350 que emplea un transductor enrollado 351 según una realización de la presente invención. Como se muestra en la figura 7, el sensor 350 comprende el transductor enrollado 351 y varias electrónicas 355 en comunicación eléctrica con los electrodos incluidos en el transductor 351. La electrónica 355 diseñada o configurada para añadir, eliminar, y/o detectar energía eléctrica procedente del transductor enrollado 351. Aunque muchos de los elementos de electrónica 355 se describen como unidades discretas, se entiende que algunas de las funciones de circuito se pueden integrar. Por ejemplo, un circuito integrado puede realizar las funciones tanto del dispositivo lógico 365 como el circuito de control de carga 357.

En una realización, el transductor enrollado 351 se prepara para detectar aplicando inicialmente un voltaje entre sus electrodo. En este caso, un voltaje V_1 es proporcionado por el voltaje 352. Generalmente, V_1 es inferior al voltaje necesario para accionar el transductor enrollado 351. En algunas realizaciones, una batería de bajo voltaje puede suministrar el voltaje, V_1, en el intervalo de aproximadamente 1 a 15 voltios. En algunas realizaciones particulares, la elección del voltaje, V_1 puede depender de una serie de factores tales como la constante dieléctrica del polímero, el ruido ambiental y la interferencia electromagnética, la compatibilidad con circuitos electrónicos que puede usar o procesar la información del sensor, etc. La carga inicial se coloca sobre el transductor enrollado 351 usando el subcircuito 357 de control de electrónica. El subcircuito 357 de control de electrónica puede incluir típicamente un dispositivo lógico tal como un ordenador o microcontrolador de un solo chip para realizar funciones de control de carga y/o voltaje sobre el transductor enrollado 351. El subcircuito 357 de control de electrónica es entonces responsable de alterar el voltaje proporcionado por el voltaje 352 para aplicar inicialmente el voltaje relativamente bajo sobre el transductor enrollado 351.

Las electrónicas de detección 360 están en comunicación eléctrica con los electrodos del

transductor enrollado 351 y detectan el cambio en energía eléctrica o características del transductor enrollado 351. Además de la detección, las electrónicas de detección 360 pueden incluir circuitos configurados para detectar, medir procesar, propagar, y/o registrar el cambio en energía eléctrica o características del transductor enrollado 351. Los transductores poliméricos electroactivos de la presente invención se pueden comportar eléctricamente de varias maneras en respuesta al desvío del transductor polimérico electroactivo. Correspondientemente, se pueden implementar numerosos circuitos y sistemas eléctricos sencillos de medición dentro de las electrónicas de detección 360 para detectar un cambio en la energía eléctrica del transductor enrollado 351. Por ejemplo, el transductor 351 funciona en modo capacitancia, entonces se puede usar un puente sencillo de capacitancia para detectar cambios en la capacitancia del transductor 351 enrollado. En otra realización se dispone una resistencia elevada en serie con el transductor enrollado 351 y la caída de voltaje a través de la resistencia de alta resistencia se mide a medida que el transductor enrollado 351 se desvía. Más específicamente, los cambios en el voltaje del transductor enrollado 351 inducidos por el desvío del polímero electroactivo se usan para conducir la corriente a través de la resistencia de alta resistencia. La polaridad del cambio de voltaje a través de la resistencia determina entonces la dirección del flujo de corriente y si el polímero se están expandiendo o contrayendo. Las técnicas de detección de resistencia se pueden usar también para medir cambios de resistencia del polímero incluido o cambios de resistencia de los electrodos. Algunos ejemplos de estas técnicas se describen en la solicitud de patente de titularidad compartida 10/007.705

6.- FABRICACIÓN

Una ventaja de los polímeros electroactivos enrollados de la presente invención es la fabricación simplificada para obtener dispositivos poliméricos electroactivos multicapa. Las figuras 6A-6D describen la fabricación de un dispositivo polimérico electroactivo enrollado según una realización de la presente invención. Aunque no se describe en detalle, se entiende que las técnicas de fabricación descritas en lo sucesivo se pueden implementar manualmente, de maneta automatizada o puede comprende una combinación de técnicas manuales y automatizadas.

La fabricación según una realización de la presente invención emplea un marco o dispositivo para facilitar el enrollamiento de un polímero electroactivo. La figura 6B ilustra un dispositivo de enrollamiento 650 útil para facilitar el enrollamiento de uno o más polímeros electroactivos. El dispositivo 650 incluye la longitud 652 y el ancho 654 dimensionados según la longitud circunferencial no enrollada deseada y la altura enrollada, respectivamente, de un polímero electroactivo a enrollar. Los polímeros electroactivos menores se pueden constituir usando el dispositivo 650 usando una parte del dispositivo. Por ejemplo un polímero electroactivo enrollado puede tener una longitud circunferencial no enrollada inferior a la altura 652. En muchos casos, el polímero electroactivo a enrollar es inicialmente inferior a las dimensiones de enrollamiento del dispositivo 650 y se usa pretensión para aumentar el tamaño del polímero (véase la figura 6C).

El dispositivo de enrolamiento 650 fija un polímero electroactivo durante el enrollamiento, lo cual en este contexto se refiere a uno o más de: a) dimensionar un polímero electroactivo para su posterior enrollamiento, establecer y mantener un nivel de pretensión deseado que incluye mantener el polímero electroactivo y vencer cualesquiera fuerzas de recuperación elástica en el polímero resultante del estiramiento de pretensión, y c) recepción funcional del mecanismo o procedimiento de enrollamiento. El dispositivo de enrolamiento 650 puede incluir cualesquiera características o estructuras que proporcionan o facilitan una de estas funciones. Por ejemplo, para minimizar las burbujas y otros defectos entre las capas poliméricas durante el enrollamiento, la superficie 656 es preferiblemente sustancialmente lisa sin defectos de superficie que puedan introducir abolladuras u otras inconsistencias en la superficie del polímero durante el enrollamiento.

Para algunos polímeros electroactivos acrílicos, tales como dicho elastómero acrílico VHB 4910 anteriormente mencionado por ejemplo, el acrílico tiene una adhesión elevada y se puede adherir a la superficie 656, complicando de este modo el procedimiento de enrollado. La superficie 656 permite que el polímero se enrolle sin complicaciones. En una realización para soluciones las complicaciones del adhesivo, la superficie 656 comprende un revestimiento de Teflón. En otra realización en la que el dispositivo 650 se realiza a partir de un material acrílico rígido o cuando el polímero electroactivo no tiene propiedades adhesivas, se puede aplicar una cinta u otra capa de control adhesiva a la superficie 656 para conseguir una adhesividad deseada entre el polímero y la superficie de enrollamiento del dispositivo. La capa de control adhesiva facilita el pelado de un polímero adhesivo durante el enrollamiento. En una realización específica, se usa una cinta transparente, tal como la Crystal clear Tape de la marca Scotch proporcionada por 3M Company de St Paul, Mn, como capa de control adhesiva.

Cuando se aplica pretensión al polímero antes del enrollamiento, la superficie de recepción 656 proporciona preferiblemente suficiente adhesión de manera que la pretensión se mantiene mediante

adhesión entre el polímero y la superficie 656. Sin embargo, como se ha mencionado anteriormente, la superficie 656 no es tan adhesiva como para impedir el pelado del polímero durante el procedimiento de enrollado. Esto crea un área de adhesión para la interfaz entre la superficie 656 y el polímero que depende de las propiedades de adhesión entre el polímero electroactivo y la superficie de enrollamiento 656. De este modo, la selección de una superficie de enrollamiento 656 o una capa de control adhesiva adicional se puede usar para controlar la interfaz entre la superficie 656 y el polímero.

La fabricación según la presente invención se puede basar también en uno o más dispositivos o elementos de fabricación adicionales. A menudo, la pretensión se aplica a un polímero electroactivo. Esto implica estirar material polimérico, tal como una película fina, desde un área inicialmente menor que las dimensiones de enrollamiento a un área cercana a las dimensiones de enrollamiento. La figura 6c ilustra un dispositivo de estiramiento 660 útil para estirar un polímero electroactivo y mantener la pretensión según una realización de la presente invención. El dispositivo de estiramiento 660 incluye un marco rígido sustancialmente plano 662 que define una abertura u orificio central 664. Un polímero 668 se estira en ambas direcciones 667 y 669 y se adhiere al marco 662 perimetralmente alrededor del orificio 664. La adhesión entre el polímero 668 y el marco 662 dependerá del material polimérico activo y el material del marco 662. Por ejemplo, el polímero 668 puede ser un polímero acrílico con propiedades adhesivas y el marco 662 puede ser una placa acrílica rígida que proporciona una adhesión considerable a un polímero electroactivo acrílico con propiedades adhesivas. En otros casos, mecanismos de afianzamiento y adhesivos tales como grapas amovibles y cintas de doble cara se puede aplicar perimetralmente, o en partes, alrededor del orificio 664 para mantener el polímero pretenso 668 en el marco 660 en un estado deseado de pretensión.

La figura 6A ilustra un diagrama de flujo 640 para fabricar un dispositivo polimérico electroactivo que comprende un polímero electroactivo enrollado según una realización de la presente invención. Los procedimientos según la presente invención pueden incluir diversas etapas adicionales no descritas o ilustradas en la presente memoria con el fin de no ensombrecer la presente invención.

El diagrama de flujo 640 empieza recibiendo un polímero electroactivo (641). el polímero puede ser un producto comercialmente disponible tal como una película elastomérica acrílica comercialmente disponible. Alternativamente, el polímero puede ser una película producida por: fundición, inmersión, recubrimiento por rotación o pulverización. El recubrimiento por rotación implica aplicar una mezcla polimérica sobre un sustrato rígido y girar hasta un espesor deseado. La mezcla polimérica puede incluir el polímero, un agente endurecedor y un dispersante o disolvente volátil. La cantidad de dispersante, la volatilidad del dispersante y la velocidad de rotación se pueden modificar para producir un polímero deseado. A título de ejemplo, se puede recubrir por rotación películas de poliuretano en una solución de poliuretano y tetrahidrofurano (THF) o ciclohexanona. En el caso de sustratos de silicio, el polímero se puede recubrir por rotación sobre un plástico aluminizado o un carburo de silicio. el aluminio y el carburo de silicio forman una capa sacrificial que se retira posteriormente mediante una solución de ataque. Las películas en el intervalo de un milímetro de grosos se pueden producir de esta manera por recubrimiento por rotación. El recubrimiento por rotación de las películas producidas, tales como de silicona, se puede realizar sobre un sustrato liso de plástico no pegajoso, tal como polimetil metacrilato o teflón. La película polimérica se puede entonces liberar mediante pelado mecánico o con la ayuda de alcohol u otro agente de liberación.

En una realización, se aplica pretensión al polímero, antes del enrollamiento, estirando el polímero en una o más direcciones (642). Como se ha descrito anteriormente, la pretensión puede ser anisotrópica o isotrópica. En una realización, se puede aplica pretensión estirando el polímero desde aproximadamente el 300% a aproximadamente el 500% en la dirección 669 y del 50% a aproximadamente el 200% en la dirección 667 como se muestra en la figura 6C. En una realización específica, se aplica pretensión estirando el polímero el 400% en la dirección 669 y el 100% en la dirección 667. Mantener la pretensión incluye fijar temporalmente el polímero de alguna manera. Esto puede incluir el uso de un dispositivo de estiramiento, tal como el dispositivo 660.

Los electrodos se imprimen entonces sobre superficies opuestas del polímero electroactivo (643). Las técnicas específicas usadas para imprimir los electrodos dependerán del tipo de electrodos. Para los electrodos de grasa de carbono, la grasa de carbono se puede cepillar manualmente sobre el polímero dentro de un cepillo. Se puede colocar un modelo o plantilla sobre el polímero para ayudar a definir un área de electrodo durante el proceso de cepillado. Los electrodos de fibrillas de carbono se pueden también pulverizar sobre el polímero dentro de una región definida por un modelo. En este caso, puede ser apropiada una dispersión al 0,1% de fibrillas de tipo BN en acetato de etilo. El tiempo se puede proporcionar también para que los electrodos pulverizados se sequen. Entre aproximadamente una hora y ocho horas puede ser lo apropiado en algunos casos, dependiendo de la composición y la cantidad de electrodo aplicados. En una realización, un modelo define una región de área de electrodo de aproximadamente 30 cm a aproximadamente 35 cm por aproximadamente 2 cm a aproximadamente 5

cm. La figura 6E ilustra un electrodo 673 sustancialmente rectangular impreso sobre el lado de revestimiento de un polímero electroactivo mantenido por el marco de estiramiento 660 según una realización de la presente invención.

Tanto los extremos de inicio como de terminación del polímero 668 incluyen una parte 671 y 667, respectivamente, que no incluyen material de electrodos. La parte 677 no lleva electrodos para proporcionar una capa más exterior para el dispositivo enrollado acabado que no incluye electrodos y actúa como una capa barrera para protección mecánica y aislamiento eléctrico.

Los conductores se pueden disponer también en comunicación eléctrica con los electrodos. Cuando se usan electrodos de contacto sobre ambos lados del polímero 668, se fija un conductor a cada electrodo de contacto sobre ambos lados del polímero 668. En una realización específica, el conductor comprende uno o más hilos de cobre u oro colocados entre una hoja de aluminio y una cinta de doble cara. Como se muestra en la figura 6E, la hoja de aluminio 672 se dispone a lo largo del borde superior 679 del electrodo 673 sobre la cara de revestimiento del polímero 668. La hoja de aluminio 672 mejora la comunicación de carga (distribución o recogida de carga) entre el electrodo 673 y el conductor 675. La hoja de aluminio 672 está próxima al extremo cilíndrico superior o inferior del dispositivo enrollado. Un conductor y una hoja de aluminio se disponen también sobre el lado opuesto del polímero 668. Para un polímero electroactivo acrílico con propiedades adhesivas, la hoja de aluminio puede incluir una parte que solapa el borde superior del electrodo y sobre el polímero adhesivo fuera del electrodo. Esta segunda parte se adhiere entonces al polímero adhesivo por las propiedades adhesivas del polímero. El conductor 675 se dispone sobre la hoja de aluminio 672 y se afianza a la hoja de aluminio 672 usando la cinta de doble cara colocada sobre la parte superior del tanto del conductor 672 como de la hoja de aluminio 672. En una realización, el conductor 675 es un hilo. La cinta de doble cara se afianza al hilo 675 en posición, y evita también que cualquier borde afilado sobre el conductor 675 dañe las capas poliméricas adyacentes después del enrollamiento. La hoja de aluminio estándar y la cinta de doble cara tal como la cinta de doble cara 3M pueden ser apropiadas para su uso como la hoja de aluminio 672 y la cinta de doble cara 675, respectivamente

En una realización, se usa una construcción enrollada multicapa (644). En este caso, se dispone una segunda capa de polímero electroactivo 680 sobre la parte superior del polímero electroactivo 668 (véase la figura 6F). Como se ha mencionado anteriormente, las capas en la pila multicapa no necesitan ser del mismo material. Se pueden incluir otros tipos de polímero (polímero electroactivo o polímero no electroactivo) en la pila, por ejemplo, para variar el espesor de la pila.

Para algunos polímeros electroactivos acrílicos, las propiedades adhesivas del polímero acrílico mantienen las capas juntas. En una realización, los electrodos no están imprimidos para el segundo polímero 680. Después del enrollamiento, el electrodo 673 sobre la superficie superior del polímero 668 actúa como un electrodo tanto para el lado superior del polímero 668 como el lado inferior del polímero 680. Después del enrollamiento, el electrodo 681 sobre el lado inferior del polímero 668 entra en contacto con el lado superior del polímero 680 y actúa como un electrodo para el lado superior del polímero 680. De este modo, después del enrollamiento, el polímero 680 incluye electrodos que entran en contacto con ambas superficies planas. Otra capa polimérica con electrodos se puede disponer sobre la parte superior del polímero 680, junto con otra capa polimérica que no tiene electrodos. Las cuatro se pueden enrollar entonces. Esta construcción de un número par de capas en la cual un polímero lleva electrodos y el otro no se repite para producir 6 o 8 rollos de capas (o más), deseados.

Enrollar una hoja plana introduce un gradiente de tensión a través del espesor del polímero – la tensión es superior (en la dirección de tracción) hacia la superficie exterior del polímero. Si un rollo polimérico se envuelve de manera apretada, o se incorporan capas espesas o numerosas del polímero dentro del rollo, entonces la diferencia de tensión puede tomar las dimensiones y el rendimiento de las capas interiores diferentes de las capas exteriores. De este modo, una pila multicapa que se compone de capas individuales tendrá diferentes cantidades de pretensión en la dirección horizontal, que corresponde a la dirección circunferencial cuando está enrollada. Típicamente, las capas exteriores en la pila multicapa tendrán una mayor pretensión que las capas interiores. La pretensión diferencial entre capas puede dar como resultado un rendimiento diferencial entre capas.

Para conseguir una pretensión y un rendimiento más consistente a través de todo el rollo, se pueden aplicar diferentes niveles de pretensión a la pila multicapa antes del enrollamiento. Los diferentes niveles de pretensión compensan el gradiente de tensión impuesto sobre las capas exteriores de una pila multicapa impuesta por enrollamiento. Las figuras 6G y 6H ilustran una tensión diferente en una pila multicapa 690 que comprende cuatro capas 691. En la figura 6G – antes del enrollamiento, el sombreado más claro se refiere a una mayor pretensión. En la figura 6H, después del enrollamiento, el sombreado sustancialmente constante se refiere a una pretensión sustancialmente constante entre las capas enrolladas 691.

En la figura 6G, cada capa 691a-d se dispone sobre la pila multicapa 690 con una cantidad diferente de pretensión, dependiendo de su posición dentro de la pila. El gradiente de tensión entre capas 691 en la figura 6G cancela efectivamente el gradiente de tensión introducido curvando las capas poliméricas cuando se enrollan. Esta situación se ilustra mediante el segmento curvado 694 ilustrado en la figura 6H. Puesto que cada capa 691 en la pila multicapa se pretensa típicamente por separado estirándola sobre un marco antes de aplicarla a la pila, la pretensión de cada capa se puede ser que sea diferente estirándola más o menos en una o más direcciones cuando se pone sobre el marco.

Puede ser posible introducir un gradiente de tensión remojando una pila multicapa en un líquido que se absorbe en la pila. El líquido entra en contacto solamente con un lado de la pila y se absorbe lentamente por el polímero en el líquido. La cantidad de absorción en cualquier punto temporal, y en consecuencia la cantidad de tensión depende de la distancia del baño de líquido. un ejemplo de un par de polímero complementario y de líquido es el acrílico 3M VHM descrito anteriormente y polioléter. En este caso, el líquido relaja el polímero, reduciendo de este modo efectivamente la pretensión en ambas direcciones ortogonales. El efecto del líquido se puede controlar también en alguna medida por capas barrera y/o control de temperatura. Por ejemplo, el líquido puede ser absorbido a temperatura relativamente elevadas para acelerar la absorción. Cuando la pila multicapa se devuelve a temperatura ambiente, la absorción se fijará relativamente mediante la temperatura más fresca, por ejemplo, se realizará una difusión un poco posterior del líquido. En otra realización se pueden usar capas barrera para evitar o inhibir la difusión para conseguir diferentes niveles de pretensión en las capas 691. Por ejemplo, con una única lámina de dos capas, una barrera polimérica se puede disponer entre las dos capas poliméricas electroactivas y usar para que el líquido sea absorbido solamente en una capa polimérica electroactiva. El polímero barrera se puede incorporar como parte natural de un electrodo.

Volviendo al diagrama de flujo 640, el polímero se enrolla típicamente alrededor de algún tipo de estructura (645). En el caso de un resorte compresivo, el polímero se enrolla alrededor del resorte mientras está comprimido. En una realización, la compresión del resorte durante el enrollamiento se consigue mediante un perno que pasa a través del centro del resorte y se rosca dentro de las roscas internas de las piezas de extremo en ambos lados del resorte. Cuando se termina el diagrama de fabricación y de flujo 640, se retira el perno y el resorte y el polímero se desvían hacia una posición de equilibrio determinada por las rigideces del resorte y el polímero. Alternativamente, el perno y la compresión se pueden mantener después de la fabricación, y antes de su uso, por ejemplo, durante el almacenamiento para minimizar cualquier fluencia en el polímero. En una realización, el diagrama de flujo 640 incluye tratar la superficie del resorte con agente de liberación PTFE para reducir la fricción entre el resorte y la película polimérica a enrollar sobre el resorte.

La capa o capas poliméricas se enrollan (646) entonces. En una realización, esto incluye colocar el polímero, o la pila polimérica, sobre un dispositivo de enrollamiento de manera que el dispositivo 650 mostrado en la figura 6B. La figura 6D ilustra el dispositivo de estiramiento 660 de la figura 6D dispuesto sobre el dispositivo de enrollamiento 650 de la figura 6B. Como se muestra, la abertura interior del orificio 664 es mayor que la periferia exterior del dispositivo 650. Durante el enrollamiento, se puede añadir un adhesivo o pegamento a las piezas de extremo – o alguna otra estructura implicada en el enrollamiento – para ayudar a afianzar las capas poliméricas entre si, y ayudar a afianzar las capas poliméricas a un objeto rígido implicado en la construcción final.

Antes del enrollamiento, el polímero o la capa polimérica se corta según las dimensiones exteriores del dispositivo 650. En una realización en la cual se usa pretensión y el polímero es estirado desde su estado de reposo, cortar el polímero puede inducir defectos en los bordes recién formados correspondientes a los cortes. Acoplados con fuerzas de estiramiento asociadas a pretensión, estos defectos se pueden propagar a través del polímero estirado. Para minimizar la formación y propagación de defectos de bordes, se puede disponer una capa de soporte de borde sobre uno o ambos lados del polímero 680 a lo largo de los bordes a cortar. La capa de soporte de borde se fija a la periferia exterior del polímero y proporciona soporte mecánico en estas regiones. La capa de soporte de borde puede comprender una capa de cinta transparente (tal como cinta cristal clear de 3M), kaptón o poliimida, de aproximadamente 2 mm a aproximadamente 5 mm de ancho, por ejemplo.

Para un polímero electroactivo acrílico con propiedades adhesivas, el material polimérico fuera de los electrodos imprimidos se puede adherir a la superficie del dispositivo de enrollamiento 650 y ayudar a mantener la pretensión en el polímero establecida por el dispositivo de estiramiento 660. Cuando el polímero se encuentra enrollado alrededor de un resorte de compresión, el resorte comprimido se coloca en uno de los dos extremos del polímero sobre el dispositivo de enrollamiento 650 y enrollada a lo largo de la longitud del polímero.

El polímero se afianza entonces en su configuración enrollada (647). una pieza de cinta de doble cara se puede fijar también a las partes del polímero inicial o finalmente enrolladas, o ambas. En

cualquier caso, la cinta de doble cara contribuye a mantener el polímero enrollado y evita el desenrollamiento. Se pueden usar también pegamento u otro adhesivo apropiado para afianzar y mantener la configuración enrollada del polímero electroactivo. Si las piezas de extremo se usan en uno de estos dos extremos del polímero electroactivo enrollado, se dispone un adhesivo para que entre en contacto con una parte de extremo del polímero (cuando está enrollado) y la pieza de extremo rígida y mantiene la pieza de extremo en el polímero. Se puede añadir un recubrimiento exterior al polímero electroactivo enrollado. Múltiples capas de un polímero final aislante enrollado o envuelto alrededor del polímero electroactivo pueden proporcionar protección electromecánica para el polímero electroactivo. Por ejemplo, las múltiples capas de VHB 9460 se pueden envolver alrededor del polímero electroactivo. En otra realización, después del enrollamiento, se envuelve apretadamente un anillo rígido, una tira metálica, o una banda de plástico alrededor de la parte de polímero enrollado sobre la pieza de extremo. Se perforan pequeños agujeros (si no se encuentran preestablecidos) a través de la envoltura rígida, la pila polimérica, y al menos una parte de una pieza de extremo. Se aplica adhesivo dentro de un orificio, seguido de un clavo o tornillo (para un calvo no es necesario adhesivo)

Las técnicas de fabricación enrollada de la presente invención se pueden usar también para fabricar dispositivos poliméricos electroactivos multicapa. Las figuras 8A-8C ilustran la fabricación de un dispositivo 920 polimérico electroactivo multicapa usando técnicas de enrollamiento. Las figuras 8B ilustran el dispositivo 920 fabricado, que comprende un marco rígido 922 y una pila de capas poliméricas electroactivas envuelta alrededor del marco 822 múltiples veces. El marco 922 es de perfil plano sustancialmente rectangular e incluye cuatro elementos 923a-d rígidos conectados que definen un orificio 925 dentro de centro plano.

La figura 8A ilustra el polímero 924 sobre un marco de estiramiento 926 antes del enrollamiento. El marco 922 se sitúa en un extremo del marco de estiramiento 926 y se enrolla a lo largo del polímero 924 extremo sobre extremo. En una realización para facilitar el enrollamiento extremo sobre extremo, las esquinas del marco 922 se redondean. Después de terminar el enrollamiento y afianzar la pila polimérica 922 en su configuración enrollada, el dispositivo 920 tiene una pila multicapa tanto sobre el lado inferior como sobre el lado superior del orificio 925. Una de las pilas poliméricas se puede retirar si se desea. Se puede usar un pegamento o adhesivo para afianzar el polímero 924 entre cada capa o afianzar cada capa al marco 922. El marco 922 mantiene la pretensión en el polímero 924 originariamente establecida usando el marco de estiramiento 926. Como se muestra en la figura 8B, la pila polimérica 924 no se extiende sobre toda el área de superficie del orificio 925. Si se tuviese que usar el dispositivo 920 en un modo de diagrama, la pila polimérica 924 y el marco 922 se pueden diseñar de manera que la pila polimérica 924 se extienda sobre toda el área del orificio 925.

El dispositivo 920 se puede usar para accionamiento lineal. La figura 8C ilustra el dispositivo 920 implementado en una aplicación de varilla de empuje (después de retirar la pila multicapa inferior). un alojamiento 930 mantiene el marco 922 y permite el movimiento lineal deslizante de una varilla de empuje 932. La varilla de empuje 932 se fija al polímero 924 sobre sus superficies superior e inferior y el polímero 924 se desvía en perpendicular al orificio 925. Un resorte empuja el lado inferior de la pila polimérica 924 y lo fuerza a mantener en equilibrio una forma curvada, como se muestra. En otra realización, un gel polarizado u otro material polarizado se aplica a la superficie inferior de la pila polimérica 924. El accionamiento polarizado de la pila polimérica 924 hace que la varilla de empuje 932 se desplace a la derecha. El resorte 934 resiste el desvío alejándose del equilibrio mostrado; y cuando los voltajes de accionamiento se retiran del polímero, el resorte 934 tira de la varilla de empuje 932 y la devuelve a la posición de equilibrio. Las figuras 8D y 8E ilustra las vistas laterales en perspectiva de la aplicación de varilla de empuje de la figura 8C antes y después del accionamiento, respectivamente.

7.- APLICACIONES

Los dispositivos poliméricos electroactivos enrollados de la presente invención tienen numerosas aplicaciones. Como la presente invención incluye dispositivos poliméricos electroactivos que se pueden implementar para llevar a cabo el accionamiento, control de rigidez, control de amortiguación, detección generación de energía mecánica y/o energía eléctrica, e implementar con una gran variedad de diseños, la presente invención encuentra uso en una gran gama de aplicaciones. Estas aplicaciones incluyen accionadores lineales y complejos, motores, generadores, sensores, robótica, juguetes, bombas y control de flujo de fluidos. En lo sucesivo se proporcionan diversas aplicaciones ejemplares para algunos de los transductores y dispositivos descritos anteriormente. Las aplicaciones ejemplares descritas en la presente memoria no se destinan a limitar el alcance de la presente invención, Como apreciará el experto en la técnica, los transductores de la presente invención encuentran su uso en incontables aplicaciones que requieren conversión entre energía eléctrica y energía mecánica.

Los dispositivos poliméricos electroactivos enrollados de la presente invención son muy apropiados como generadores lineales estándar; y se pueden aplicar a cualesquiera aplicaciones son

sean útiles los accionadores lineales.

Una aplicación común de dispositivos poliméricos electroactivos enrollado de la presente invención es para los robots. Un extremo de un dispositivo se puede acoplar a una conexión robótica para proporcionar capacidades de control de soporte de peso, fuerza, carrera, detección, elasticidad y desplazamiento. En una realización se usa un polímero electroactivo enrollado junto con una pierna robótica. Convencionalmente, el desplazamiento para robot con pierna robótica se consigue usando una estructura de pierna que soporta el peso del robot que proporciona la funcionalidad de accionamiento y detección de tensión. Se requiere un sistema de control central relativamente sofisticado para coordinar las funciones de accionamiento y detección.

Sin embargo, un dispositivo polimérico electroactivo permite el diseño para combinar el accionamiento, la detección y las propiedades elásticas (dinámica de resorte) y viscoelásticas (funcionalidad de elasticidad/amortiguación) e una estructura de pierna.

Los considerables ahorros en peso y en número de componentes son una ventaja evidente para las aplicaciones robóticas; sin embargo, hay otras. Un accionador o motor electromagnético es pesado y se convierte en energéticamente ineficiente con pequeños tamaños y bajas velocidades. Por el contrario, un polímero electroactivo enrollado es más ligero, permite mayor energía por peso, y mejor impedancia respecto del entorno. Para la funcionalidad de detección, no se requiere un sensor separado con un dispositivo polimérico electroactivo. Para el control de rigidez o amortiguación, no se requiere resorte o amortiguador separado con un dispositivo polimérico electroactivo enrollado multifuncional eléctricamente controlado apropiado. de este modo, el polímero electroactivo enrollado reduce el número de componentes (respecto de una pierna robótica convencional con tecnología convencional) en cada articulación o estructura de pierna, reduciendo en gran medida el peso y la complejidad. En una realización específica, se usan polímeros electroactivos enrollado en un robot que comprende seis piernas. Por ejemplo cada pierna puede tener un grado de libertad y disponerse formando un ángulo posterior. Aquí, el dispositivo polimérico electroactivo enrollado actúa como un accionador lineal que cambia la longitud de la estructura de pierna con desvío polimérico. Cuando el dispositivo polimérico electroactivo enrollado se acciona, una longitud de pierna aumenta y empuja el cuerpo robótico hacia delante. El accionamiento de cada una de las seis piernas puede, a su vez, usarse para el desplazamiento por pierna del robot.

Se pueden usar también accionadores enrollados de dos o tres grados de libertad para proporcionar robots serpientes. En este caso, se pueden disponer múltiples áreas activas a lo largo de la dirección axial así como la dirección circunferencial. Por ejemplo, el robot serpiente puede incluir un polímero electroactivo enrollado con 60 áreas activas radialmente alineadas en una matriz de 15 x 4. El último número (4) se refiere al número de áreas activas dispuestas circunferencialmente (figura 3C) mientras que el número anterior se refiere al número de conjuntos (15) de áreas activas dispuestas circunferencialmente. Evidentemente, otras combinaciones numéricas son posibles.

Los dispositivos con múltiples grados de libertad se pueden usar también en modo de detección para proporcionar una detección con múltiples grados de libertad. En una realización, los dispositivos poliméricos electroactivos enrollados de la presente invención se implementan en un guante de realidad virtual o dispositivo de entrada informática que incluye múltiples áreas activas para detectar la tensión lineal de las partes del guante en el área inmediata de cada transductor. Cada área activa se puede acoplar al guante usando pegamento o integrar dentro del material del guante. Tal dispositivo es útil para aplicaciones de realidad virtual, aplicaciones de microcirugía y aplicaciones de cirugía a distancia por ejemplo.

La presente invención es también muy apropiado para su uso con una pinza robótica. Muchas estrategias de agarre se basan en la precisión del contacto elástico y el posicionamiento. Puesto que un polímero electroactivo es de baja relación en la elasticidad del polímero, las pinzas que emplean accionadores basados en polímero electroactivos con múltiples grados de libertad proporcionan un medio para contacto elástico – además de posicionamiento preciso. Por ejemplo, se puede diseñar una pinza con múltiples grados de libertad que usa dispositivos poliméricos electroactivos enrollados como se describe respecto de la figura 3C. Una pinza puede comprender entonces diversos dedos.

8.-CONCLUSIÓN

Aunque la presente invención se ha descrito en términos de diversas realizaciones preferidas, hay modificaciones, permutaciones y equivalentes que caen dentro del alcance de la invención que se han omitido por razones de brevedad. Por ejemplo, aunque la presente invención se ha descrito en términos de diversos materiales específicos de electrodos, la presente invención no se limita a estos materiales y en algunos casos puede incluir aire como un electrodo. Además, aunque la presente

invención se ha descrito en términos de geometrías enrolladas circulares, la presente invención no se limita a estas geometrías y puede incluir dispositivos enrollados con perfiles y secciones transversales cuadradas, rectangulares u ovales. Por lo tanto se entiende que el alcance de la invención debería determinarse con referencia a las reivindicaciones anexas.

A la vista de un primer aspecto de la presente invención, se proporciona un dispositivo para realizar la conversión entre energía eléctrica y energía mecánica, comprendiendo el dispositivo:

un transductor de rollo polimérico que comprende a) un polímero electroactivo que incluye al menos un área activa y b) al menos dos electrodos en comunicación eléctrica con el área activa en el cual al menos una parte del polímero electroactivo se envuelve sobre si mismo para formar un rollo;

al menos un miembro de soporte acoplado al transductor de rollo polimérico para proporcionar al menos una de i) una fuerza que mantiene en tensión al menos una parte del polímero, ii) una fuerza para controlar la flexión en el transductor de rollo polimérico y iii) combinaciones de las mismas;

al menos una conexión mecánica acoplada al transductor de rollo polimérico para permitir una fuerza o un momento generado en una primera parte del polímero electroactivo para comunicar a una segunda parte del polímero electroactivo.

El dispositivo comprende, además, una caperuza de extremo acoplada al miembro de soporte de manera a permitir el movimiento de la caperuza de extremo en una o más direcciones. En una realización particularmente preferida, la caperuza de extremo se acopla con rotación al miembro de soporte. En una realización particularmente preferida, un accionamiento del área activa del polímero electroactivo proporciona una fuerza para desplazar la caperuza de extremo en la al menos una o más direcciones. En una realización particularmente preferidas, el polímero electroactivo se fija a la caperuza de extremo. Más preferiblemente, el polímero electroactivo se fija a la caperuza de extremo por al menos uno de un adhesivo, una patilla, una caperuza o combinaciones de los mismos.

En una realización particularmente preferida, la caperuza de extremo se puede utilizar para actuar como la conexión mecánica.

Se prefiere particularmente el dispositivo que comprende, además, un sensor para determinar una posición de la caperuza de extremo.

Preferiblemente, el dispositivo comprende, además, un dispositivo lógico para controlar el accionamiento del transductor de rollo polimérico.

Preferiblemente el dispositivo comprende, además, una base acoplada rígidamente al miembro de soporte. Se prefiere particularmente el polímero electroactivo fijado a la base. Particularmente, se prefiere una pluralidad de conexiones mecánicas acopladas con rotación a un miembro de soporte. Más preferiblemente, las conexiones mecánicas y el miembro de soporte se disponen dentro de una parte hueca del rollo. Más preferiblemente, las conexiones mecánicas tienen forma de disco. Más preferiblemente las fuerzas de tracción almacenadas en un número de partes del polímero electroactivo se transfieren por la pluralidad de conexiones mecánicas a otras partes del polímero electroactivo. Más preferiblemente, las fuerzas de tracción transferidas reducen una energía requerida para accionar el área activa del polímero electroactivo.

En una realización preferida, el polímero electroactivo se fija a, al menos, uno del miembro de soporte, la conexión mecánica o combinaciones de los mismos.

En una realización preferida, al menos uno del miembro de soporte, la conexión mecánica o combinaciones de los mismos se disponen de una manera a mantener una forma del rollo.

En una realización preferida, al menos un sensor se acopla al dispositivo. Particularmente se prefiere el sensor dispuesto para medir o determinar una o más de una posición angular, una velocidad angular o una posición angular de más componentes del dispositivo.

En una realización preferida, el rollo se corta en uno o más lugares para limitar una propagación de una fuerza o un momento a partir de una primera parte del rollo a una segunda parte del rollo. Particularmente se prefiere el uno o más cortes para crear una o más fibras musculares. Particularmente, se prefiere las fibras musculares fijados al dispositivo en uno o más puntos a lo largo de su longitud. Más preferiblemente, una primera fibra muscular se estira o comprime antes de su fijación al dispositivo para aumentar o reducir una tensión inicial en una parte de la fibra muscular.

En una realización preferida, el dispositivo incluye una articulación para acoplar un primer componente del dispositivo a un segundo componente del dispositivo y para permitir una rotación relativa entre los dos componentes. Particularmente, se prefiere el que primer componente sea un primer miembro de soporte y que el segundo componente sea un segundo miembro de soporte. Más preferiblemente, el primer componente es el miembro de soporte y el segundo componente es la conexión mecánica.

En una realización preferida, el miembro de soporte comprende un primer componente acoplado con rotación a un segundo componente y el transductor se dispone de una manera a desplazar el primer componente y el segundo componente a posiciones angulares diferentes unas respecto de otras.

En una realización preferida, el polímero electroactivo se fija a uno o más puntos para crear brazos de momento de longitud variable alrededor de un punto de acoplamiento giratorio en el dispositivo en el cual cada brazo de momento es una distancia entre una fuerza generada en el polímero electroactivo y el punto de acoplamiento giratorio.

En una realización preferida, al menos uno del miembro de soporte o la conexión mecánica proporciona pretensión en una dirección circunferencial sobre el polímero electroactivo enrollado.

En una realización preferida, al menos uno del miembro de soporte o la conexión mecánica proporciona pretensión de tracción sobre el polímero.

En una realización preferida, el polímero electroactivo es un elastómero dieléctrico.

En una realización preferida, el miembro de soporte comprende una pluralidad de tubos telescópicos.

En una realización preferida, el polímero electroactivo se fija al miembro de soporte o la conexión mecánica mediante al menos uno de una patilla, un adhesivo, un elemento de fijación, una caperuza o combinaciones de los mismos. Particularmente, el adhesivo, la patilla, el elemento de fijación o la caperuza es preferiblemente eléctricamente conductor y proporciona comunicación eléctrica al área activa.

En una realización preferida, el dispositivo es parte de un robot biométrico.

En una realización preferida, el dispositivo es parte de un sensor. Particularmente, el sensor es preferiblemente para detectar al menos una de una posición angular, una posición lineal, una velocidad angular, una velocidad lineal, una aceleración angular, una aceleración lineal o combinaciones de las mismas. Particularmente, el dispositivo se dispone preferiblemente para generar una fuerza de realimentación, un momento de realimentación o combinaciones de los mismos en respuesta a la fuerza recibida o el momento recibido.

En una realización preferida, el dispositivo está dispuesto para recibir al menos uno de una fuerza, un momento o combinaciones de los mismos, generado fuera del dispositivo por al menos uno del miembro de soporte y la conexión mecánica.

En una realización preferida, el dispositivo es parte de una palanca de mando.

En una realización preferida, el dispositivo es parte de un automóvil.

A la vista de otro aspecto, la presente invención proporciona un procedimiento para fabricar un dispositivo polimérico electroactivo, comprendiendo el procedimiento:

disponer al menos dos electrodos sobre un polímero electroactivo;

enrollar el polímero electroactivo alrededor de una caperuza acoplada con rotación a un soporte, para producir un rollo polimérico electroactivo; y

afianzar el rollo polimérico electroactivo para mantener su configuración enrollada.

Preferiblemente, el polímero electroactivo se fija a, al menos, uno del miembro de soporte, la conexión mecánica, la caperuza de extremo, la base o combinaciones de los mismos. Particularmente, el rollo polimérico se afianza preferiblemente usando al menos uno de un adhesivo, un elemento de fijación, una patilla, una caperuza o combinaciones de los mismos.

Preferiblemente la conexión mecánica sirve para permitir que una fuerza o momento generado en una primera parte del polímero electroactivo sea comunicado a una segunda parte del polímero electroactivo.

Preferiblemente, el rollo polimérico electroactivo se corta e una pluralidad de fibras musculares. Particularmente, las fibras musculares son preferiblemente de longitudes variables. Particularmente, las fibras musculares se afianzan particularmente a tres o más puntos. Particularmente, el procedimiento comprende, además, preferiblemente afianzar puntos de extremo de una primera fibra muscular, estirar o comprimir la primera fibra muscular alrededor de un punto de fijación entre los puntos de extremo para modificar una tensión en una parte de la primera fibra muscular y afianzar el punto de fijación.

Preferiblemente, el polímero electroactivo es un elastómero dieléctrico.

REIVINDICACIONES

1.- Dispositivo (800; 810; 870-874) de conversión entre energía eléctrica y energía mecánica, comprendiendo el dispositivo:

un transductor de rollo polimérico (10) que comprende a) un polímero electroactivo (12, 22) que incluye al menos un área activa (801b) y b) al menos dos electrodos (14, 16) en comunicación eléctrica con el área activa en la cual al menos una parte del polímero electroactivo se envuelve sobre si mismo para formar un rollo (801);

al menos un miembro de soporte (803; 840; 841; 850; 851) acoplado al transductor de rollo polimérico para proporcionar al menos una de i) una fuerza que mantiene en tensión al menos una parte del polímero, ii) una fuerza para controlar la flexión en el transductor de rollo polimérico y iii) combinaciones de las mismas;

al menos una conexión mecánica (804-806; 812, 830) acoplada al transductor de rollo polimérico para permitir una fuerza o un momento generado en una primera parte del polímero electroactivo para comunicar a una segunda parte del polímero electroactivo, y

una caperuza de extremo (806) acoplada giratoriamente al miembro de soporte para permitir el movimiento de la caperuza de extremo en una o más direcciones.

2.- Dispositivo según la reivindicación 1, en el cual un área no activa (801a) del polímero electroactivo (12, 22) proporciona una fuerza para desplazar la caperuza de extremo en una o más direcciones.

3.- Dispositivo según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 2 comprende, además, al menos un sensor (360) acoplado al dispositivo.

4.- Dispositivo según la reivindicación 3, en el cual el sensor (360) sirve para medir una tensión de un componente en el dispositivo

5.- Dispositivo según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4, en el cual el rollo

(801) se corta en uno o más lugares (846; 854) para limitar la propagación de una fuerza o un momento desde una primera parte del rollo a una segunda parte del rollo.

6.- Dispositivo según la reivindicación 5, que comprende, además, una pluralidad de fibras musculares (848) de longitudes variables, creados por uno o más cortes.

7.- Dispositivo según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 6, en el cual dispositivo incluye una articulación (842; 852) para acoplar un primer componente del dispositivo a un segundo componente del dispositivo y para permitir una rotación relativa entre los dos componentes.

8.- Dispositivo según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 7, en el cual al menos la conexión mecánica es un resorte (830).

9.- Dispositivo según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 8, en el cual al menos una parte del elemento de soporte o la conexión mecánica se dispone en una parte central hueca del rollo (801).

10.- Dispositivo según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 9 en el cual al menos uno de entre el miembro de soporte o la conexión mecánica proporciona pretensión anisotrópica sobre el polímero electroactivo.

11.- Dispositivo según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 10 en el cual al menos uno de entre el miembro de soporte o la conexión mecánica proporciona pretensión en una dirección sobre el polímero electroactivo enrollado.

12.- Dispositivo según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 11 en el cual el polímero electroactivo tiene un módulo elástico de cómo máximo 100 MPa.

13.- Procedimiento para fabricar un dispositivo polimérico electroactivo, comprendiendo el procedimiento;

disponer al menos dos electrodos (14, 16) sobre un polímero electroactivo (12, 22);

enrollar el polímero electroactivo (12, 22) alrededor de una caperuza de extremo (806) que se acopla giratoriamente a un miembro de soporte (803; 804; 841; 850; 851), estando el miembro

de soporte acoplado a una base (802), y

afianzar el rollo polimérico electroactivo (801) para mantener su configuración enrollada.

14.- Procedimiento según la reivindicación 13, en el cual una o más partes del polímero electroactivo (12, 22) se fijan en tensión.

15.- Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 13 a 14, en el cual el miembro de soporte (803; 840; 841; 850; 851) proporciona al menos uno de i) una fuerza que mantiene al menos una parte del rollo polimérico electroactivo, ii) una fuerza para controlar la flexión en el rollo polimérico electroactivo y iii) combinaciones de los mismos.

16.- Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 13 a 15 que comprende, además, cortar el rollo polimérico electroactivo (801) en uno o más lugares para limitar la propagación de una fuerza o un momento desde una primera parte del rollo polimérico electroactivo a una segunda parte del rollo polimérico electroactivo (801).

17.- Procedimiento según la reivindicación 16, en el cual el rollo polimérico electroactivo (801) se corta en una pluralidad de fibras musculares (848).

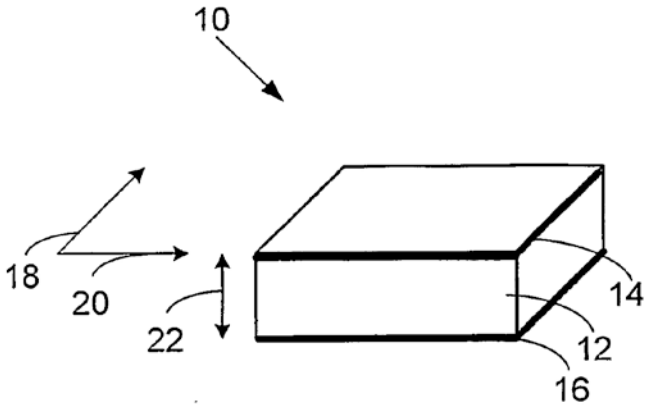

FIG. 1A

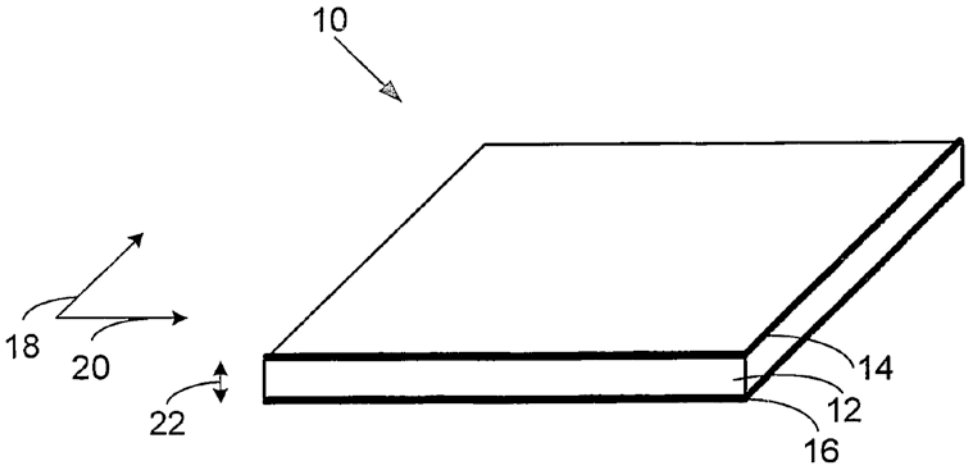

FIG. 1B

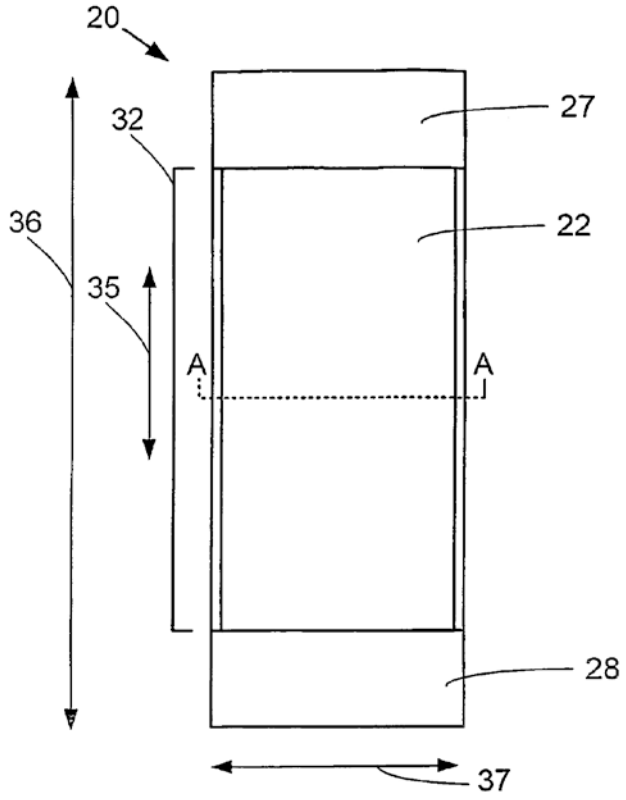

FIG. 2A

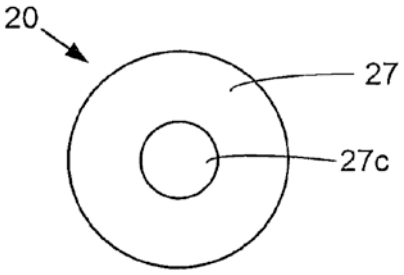

FIG. 2B

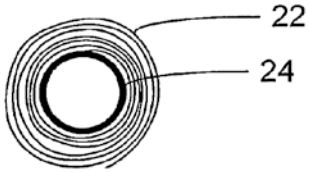

FIG. 2C

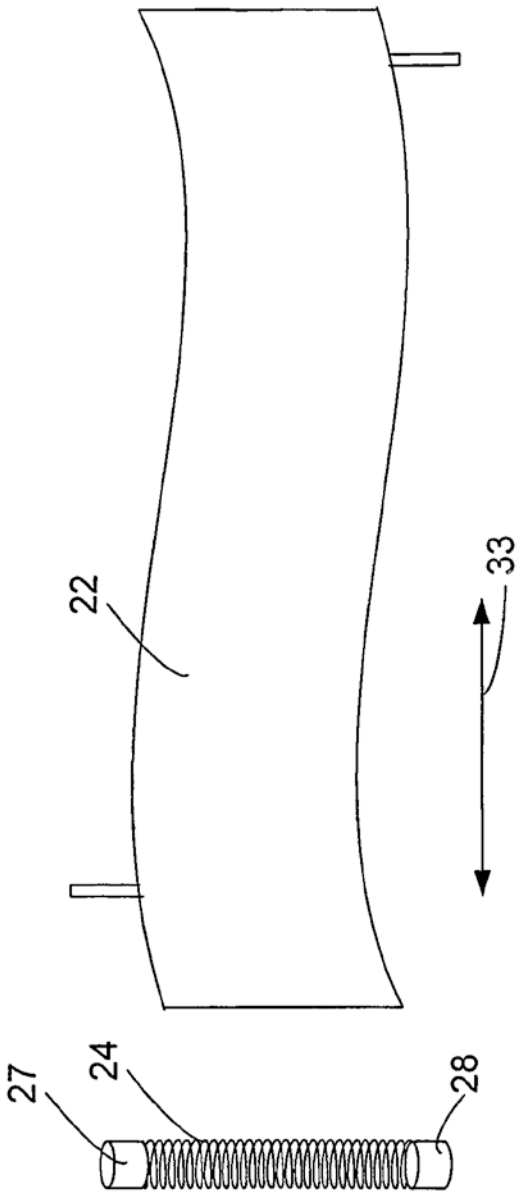

FIG. 2D

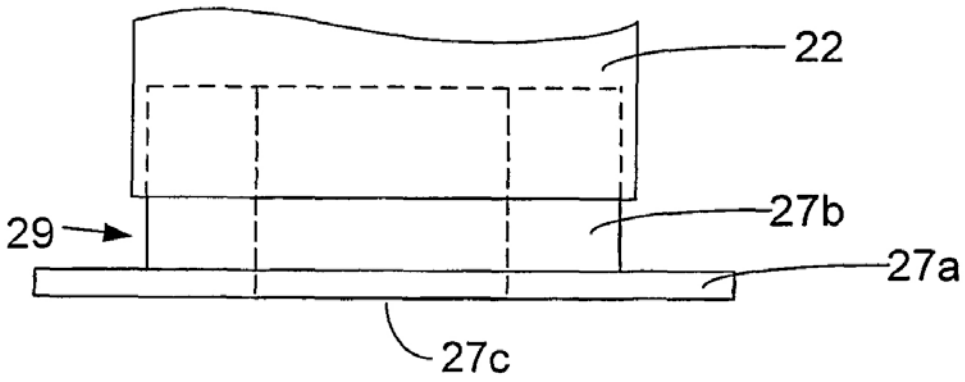

FIG. 2E

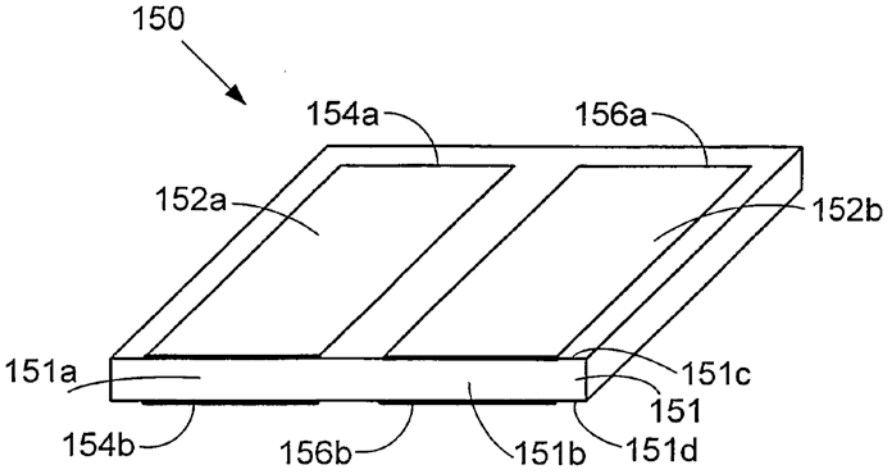

FIG. 3A

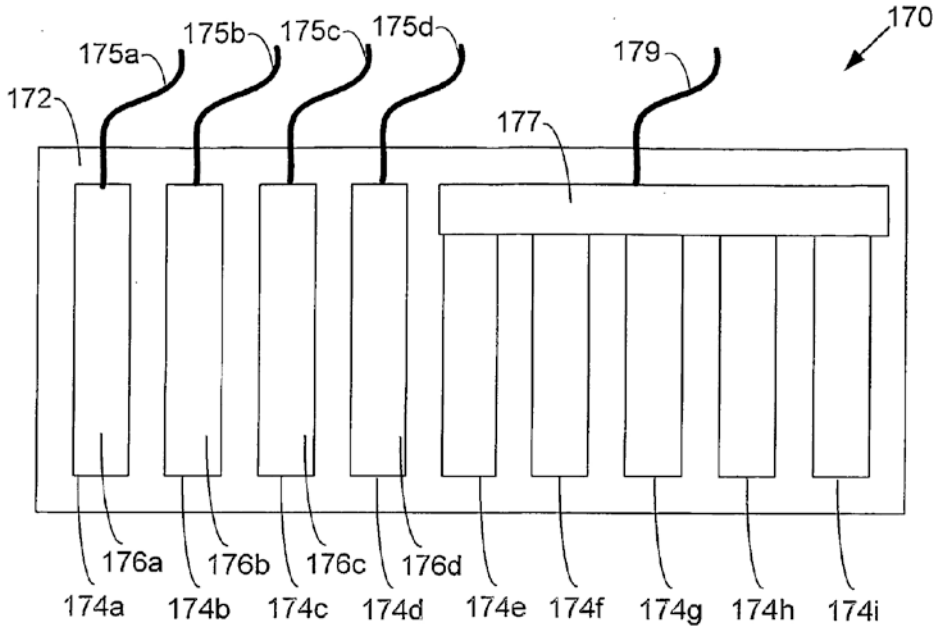

FIG. 3B

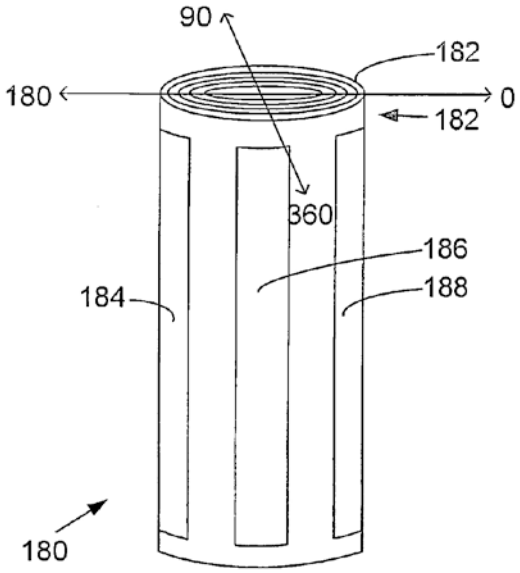

FIG. 3C

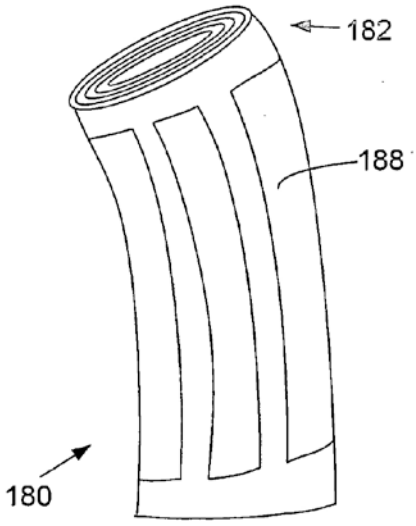

FIG. 3D

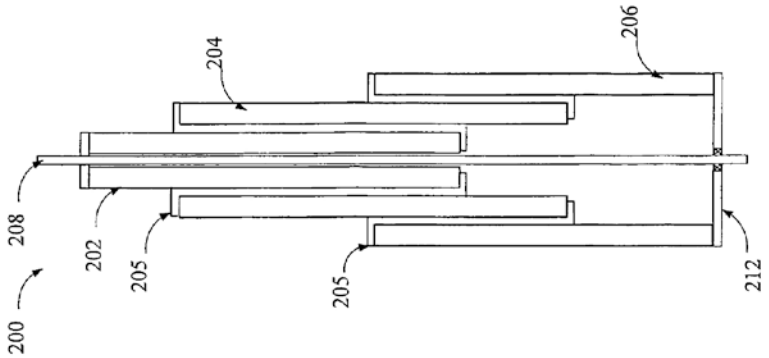

FIG. 3G

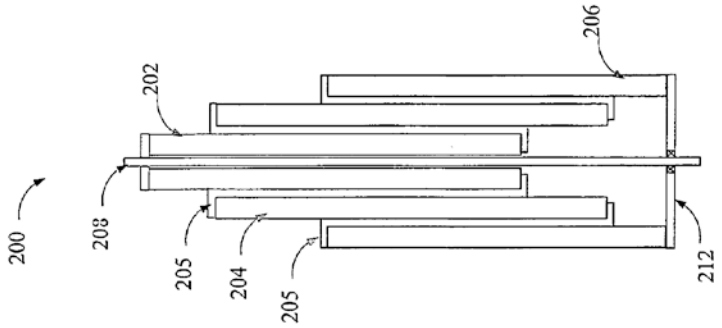

FIG. 3F

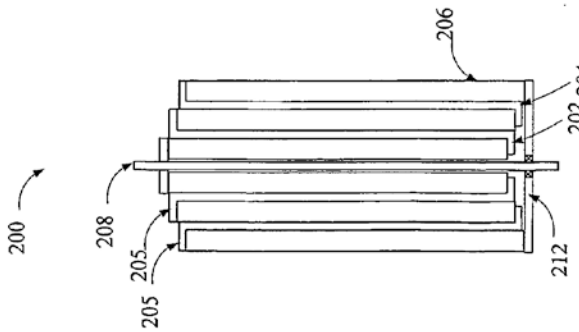

FIG. 3E

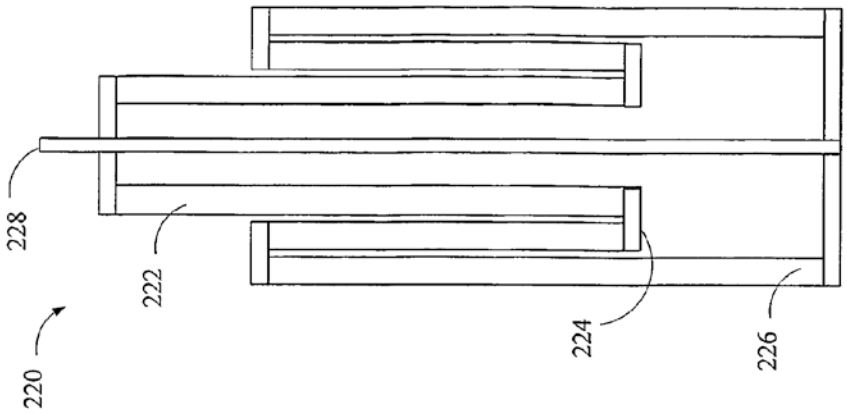

FIG. 3J

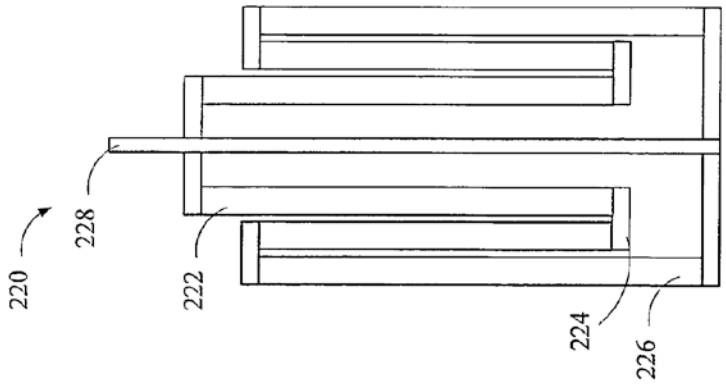

FIG. 3H

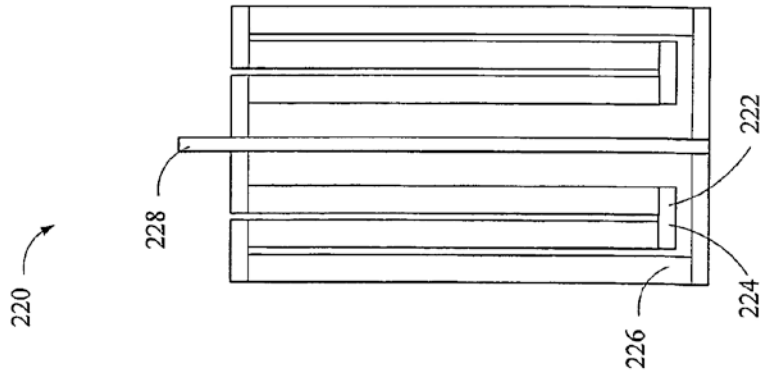

FIG. 3I

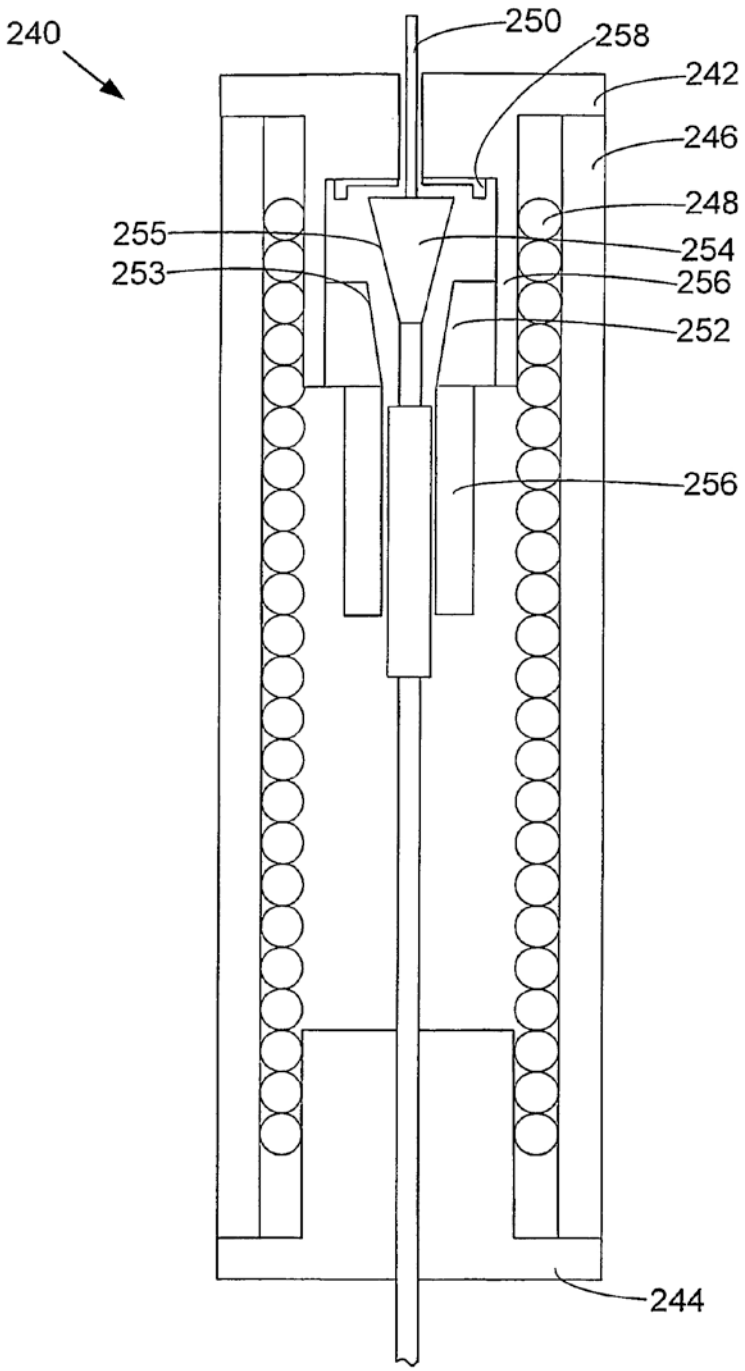

FIG. 3K

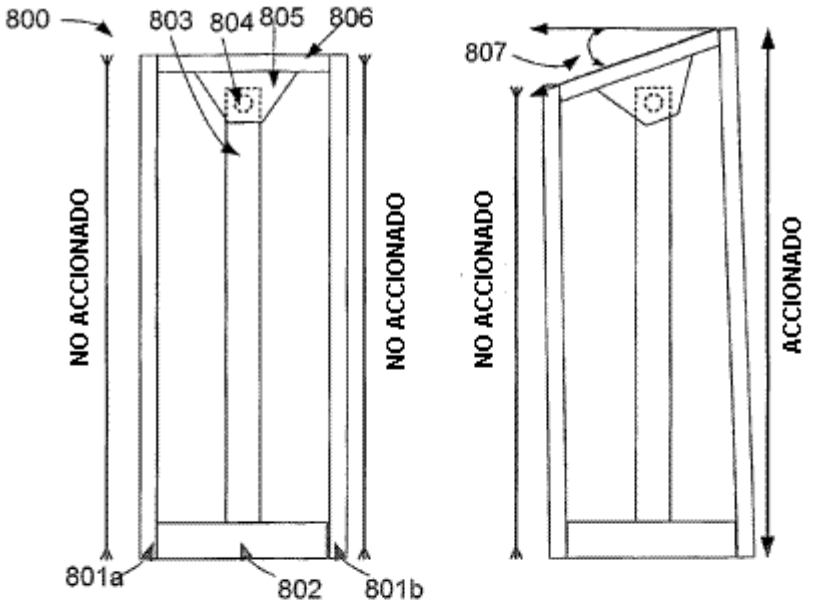

FIG. 3L

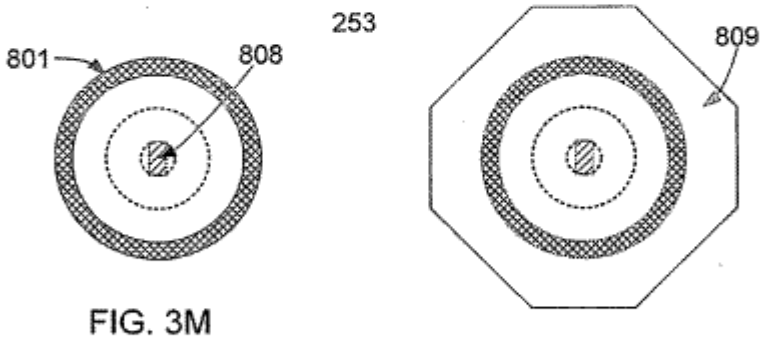

FIG. 3M

FIG. 3N

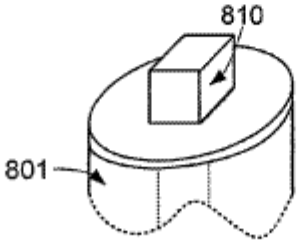

FIG. 3O

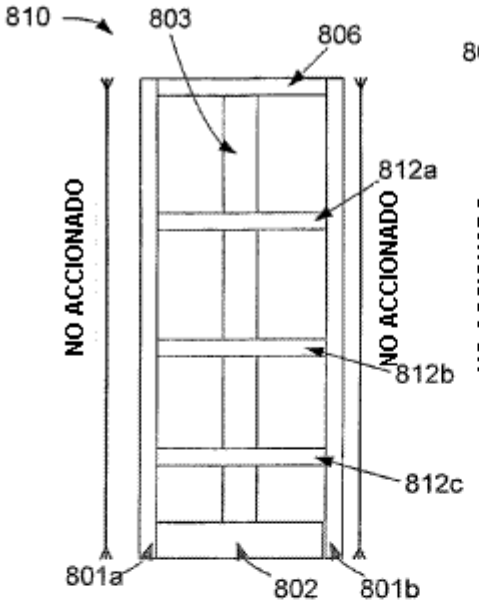

FIG. 3P

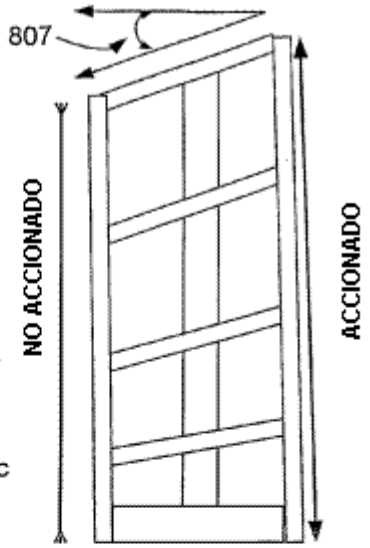

FIG. 3Q

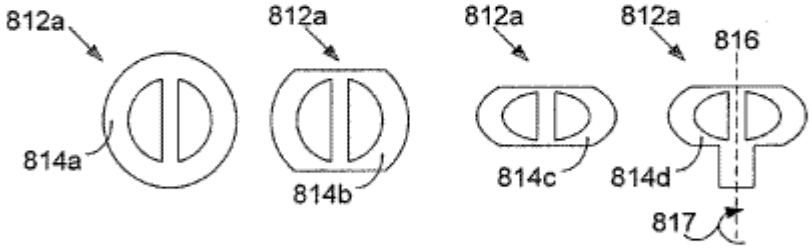

FIG. 3Q

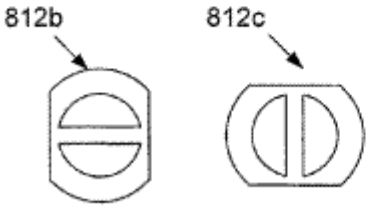

FIG. 3R

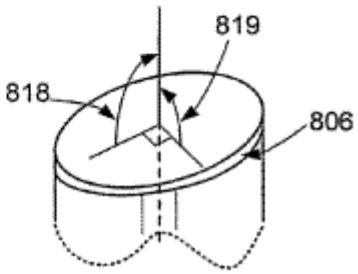

FIG. 3S

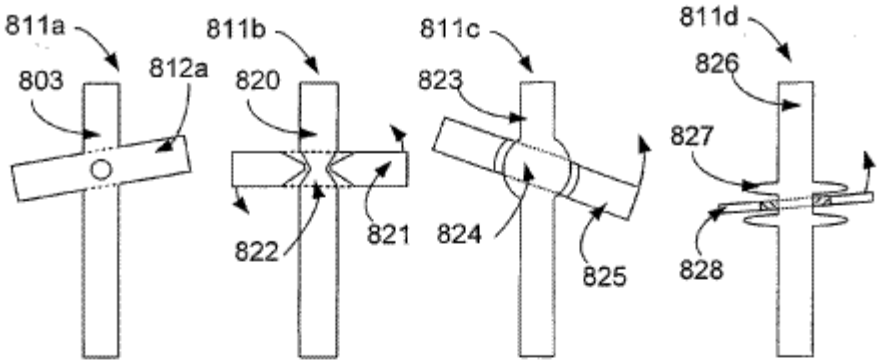

FIG. 3T

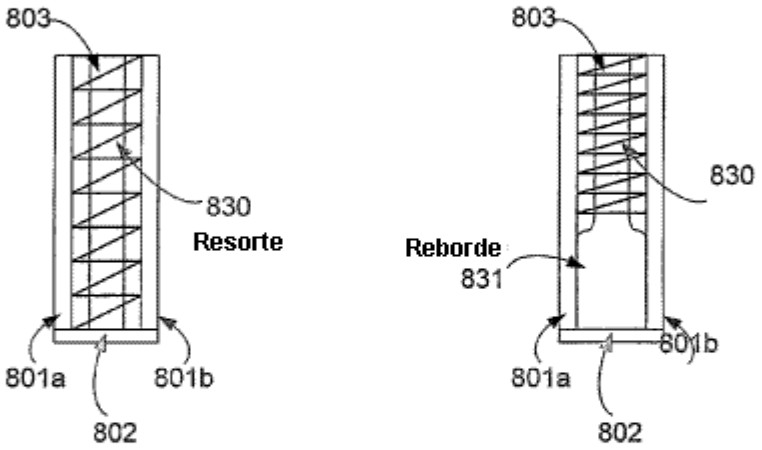

FIG. 3U

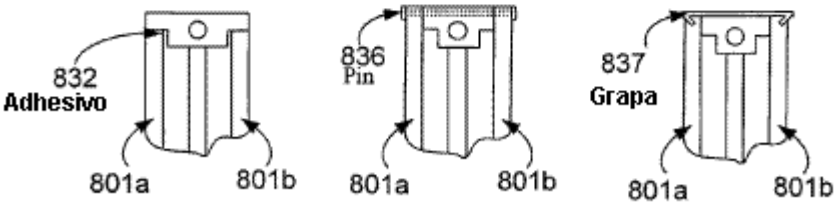

FIG. 3V

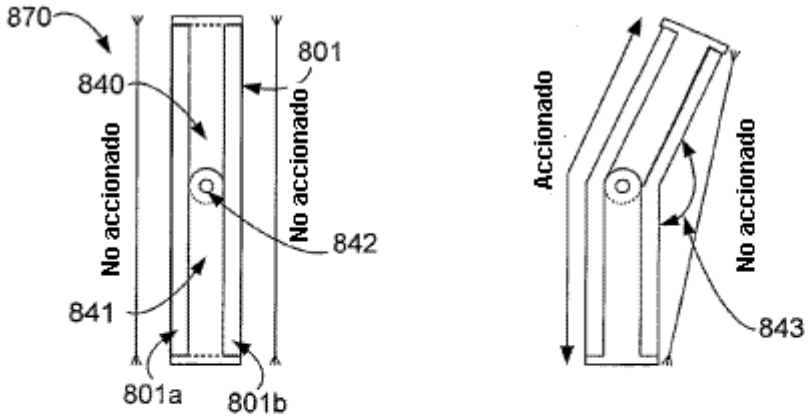
870
840
801
No accionado
No accionado
842
841
801a
801b
Accionado
No accionado
843

FIG. 3W

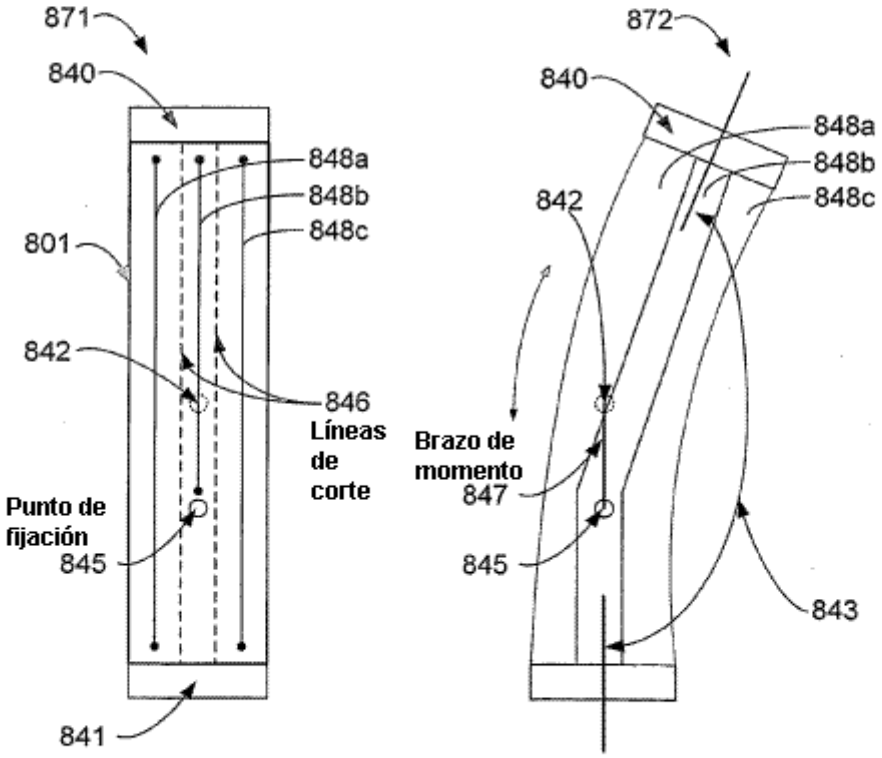
871
840
848a
848b
848c
801
842
846
Líneas de corte
Punto de fijación
845
841
872
840
848a
848b
848c
842
Brazo de momento
847
845
843

FIG. 3X

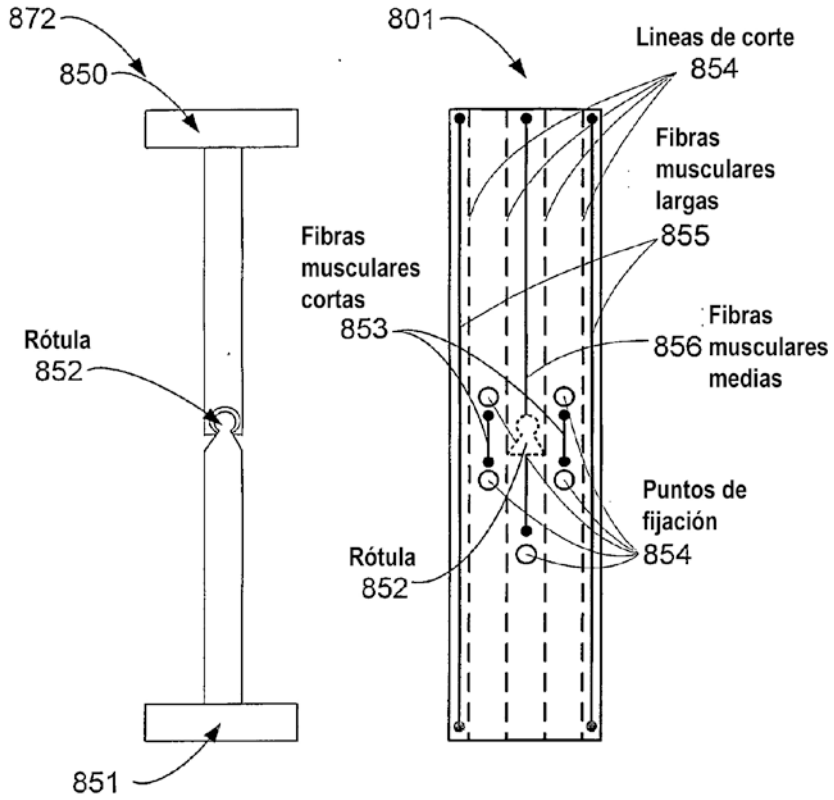
872
850
Rótula
852
851
801
Lineas de corte
854
Fibras musculares largas
855
Fibras musculares cortas
853
Fibras musculares medias
856
Puntos de fijación
854
Rótula
852

FIG. 3Y

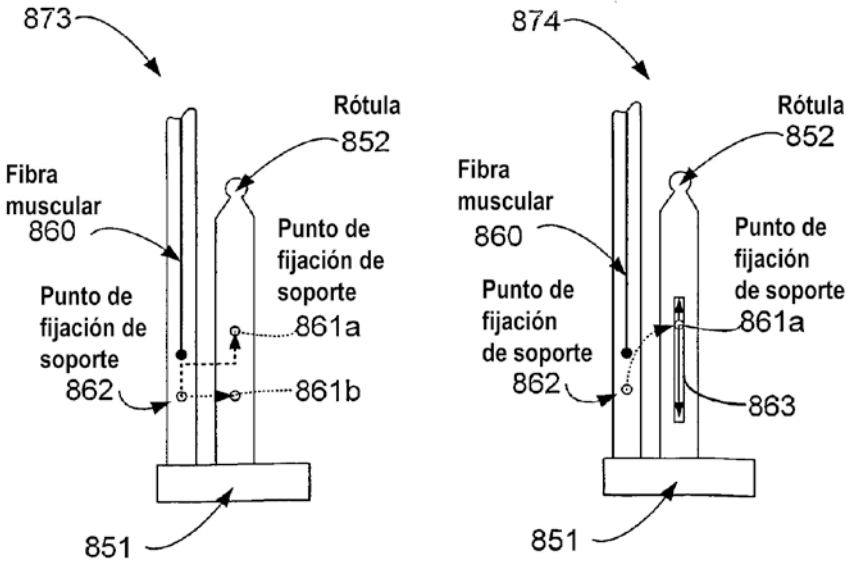
873
Rótula
852
Fibra muscular
860
Punto de fijación de soporte
861a
Punto de fijación de soporte
862
861b
851
874
Rótula
852
Fibra muscular
860
Punto de fijación de soporte
861a
Punto de fijación de soporte
862
863
851

FIG. 3Z

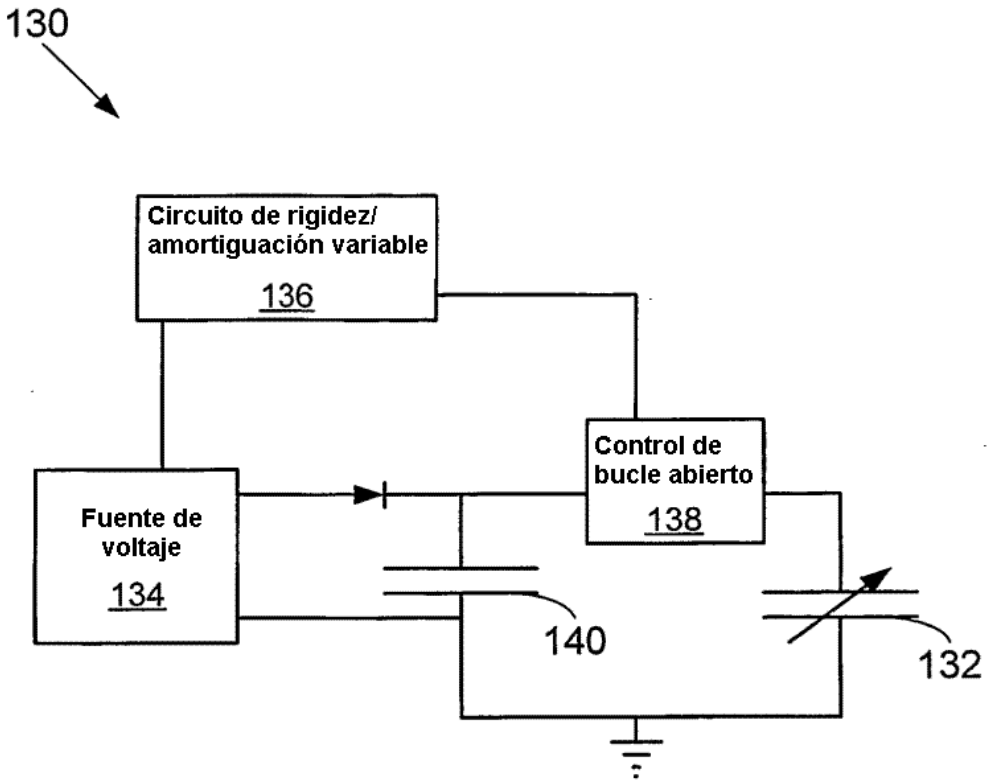
130
Circuito de rigidez/ amortiguación variable
136
Control de bucle abierto
138
Fuente de voltaje
134
140
132

FIG. 4

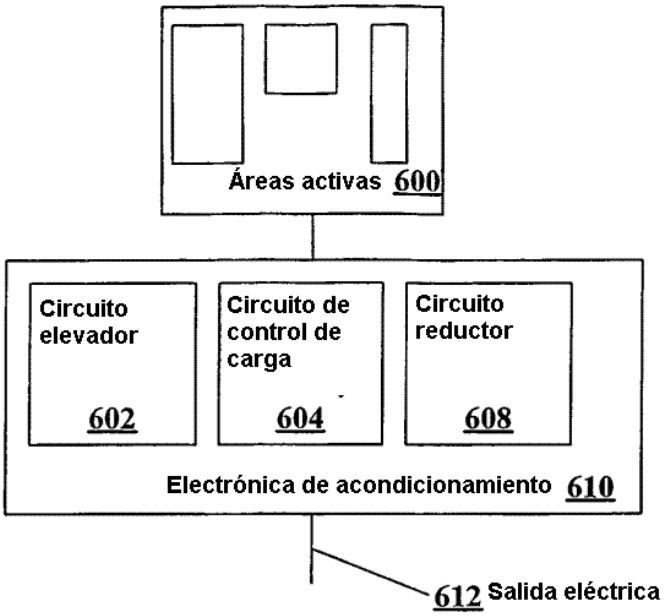
Áreas activas 600
Circuito elevador 602
Circuito de control de carga 604
Circuito reductor 608
Electrónica de acondicionamiento 610
612 Salida eléctrica

FIG. 5A

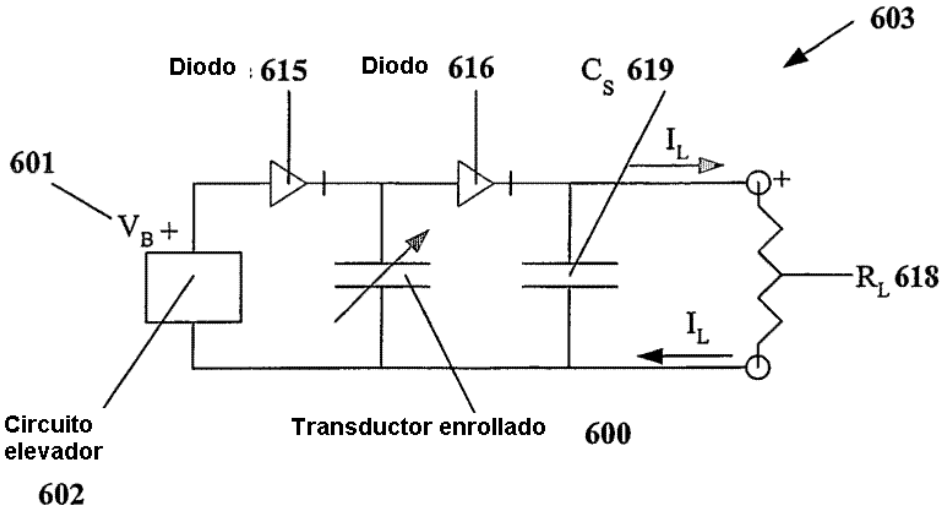
603
Diodo 615
Diodo 616
C_S 619
I_L
601
V_B +
+
R_L 618
I_L
Circuito elevador 602
Transductor enrollado 600

FIG. 5B

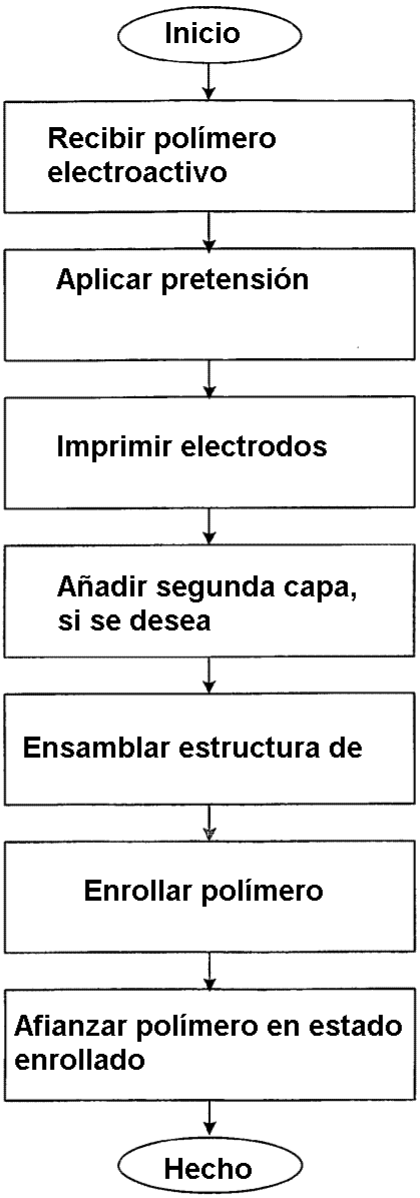
Inicio
Recibir polímero electroactivo
Aplicar pretensión
Imprimir electrodos
Añadir segunda capa, si se desea
Ensamblar estructura de
Enrollar polímero
Afianzar polímero en estado enrollado
Hecho

FIG. 6A

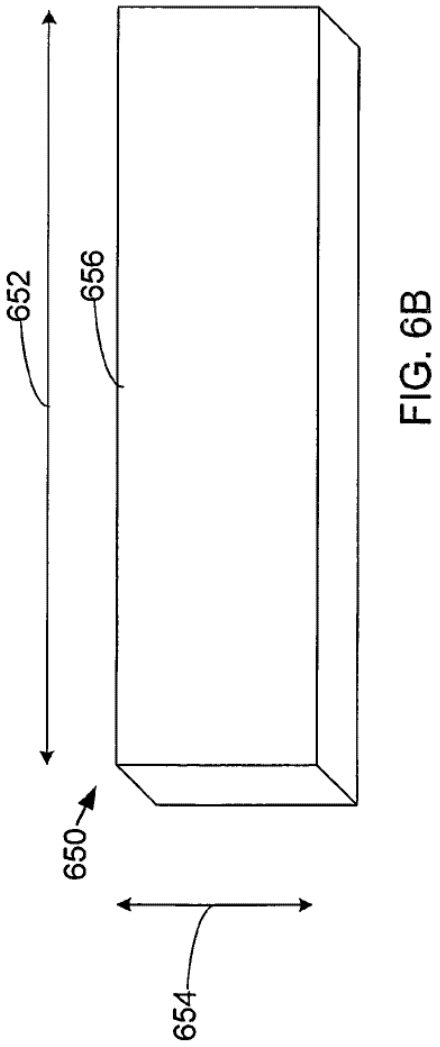

FIG. 6B

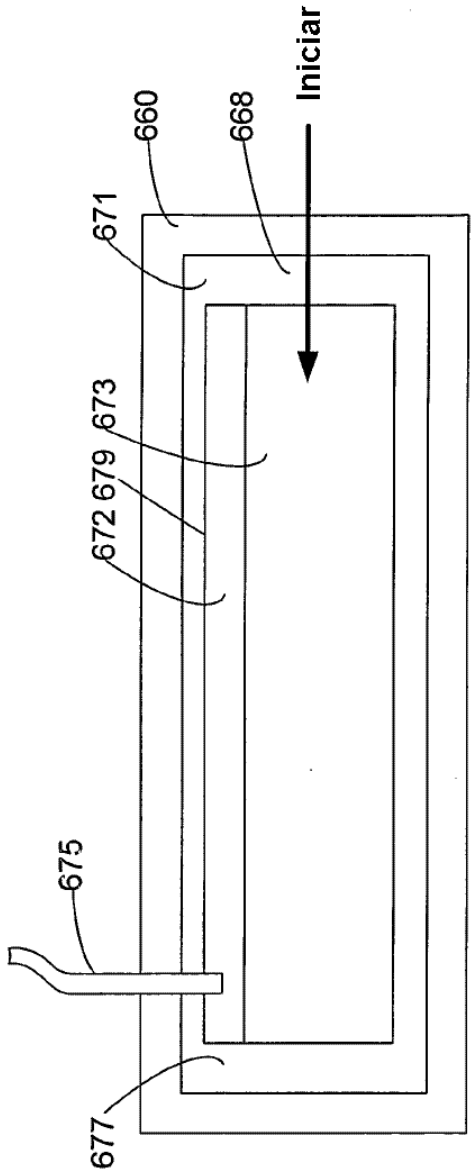

FIG. 6E

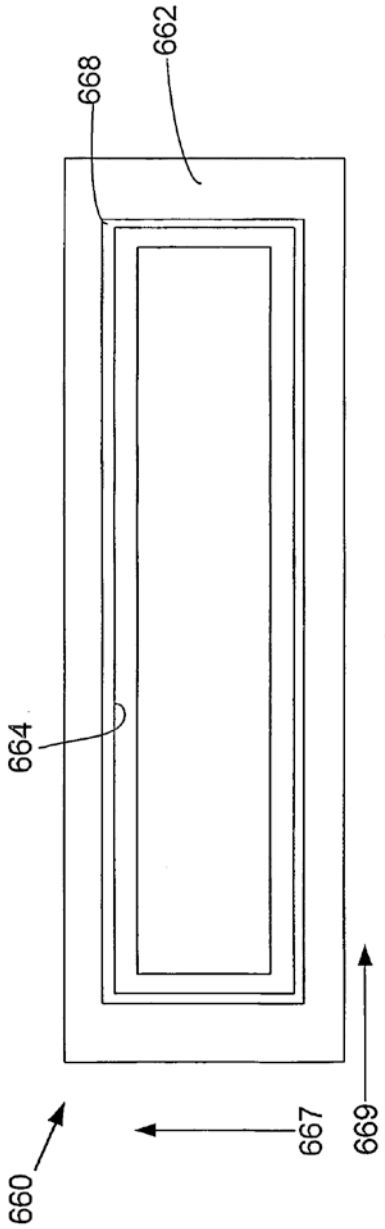

FIG. 6C

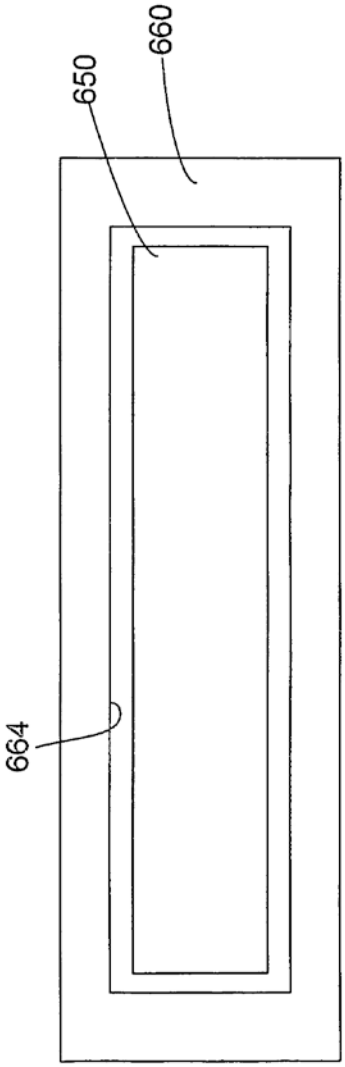

FIG. 6D

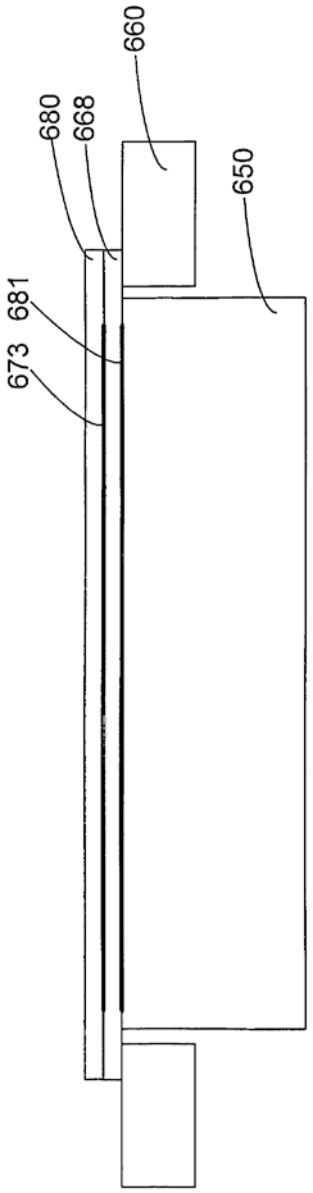

FIG. 6F

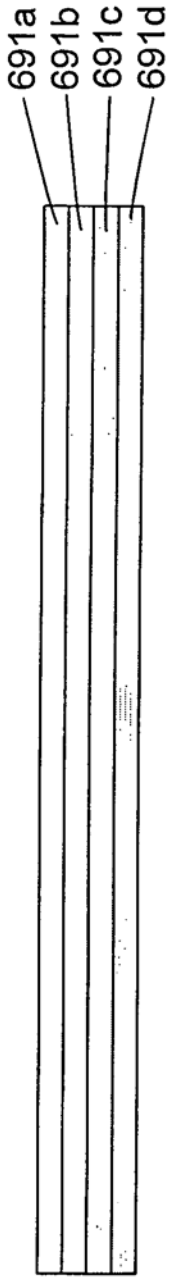

FIG. 6G

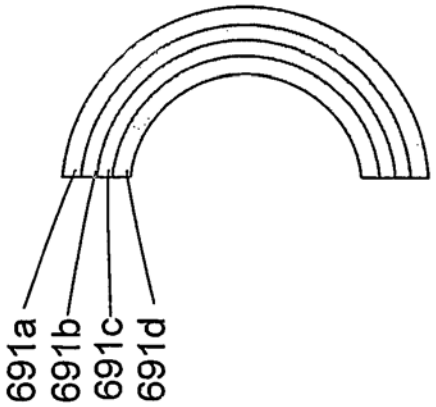

FIG. 6H

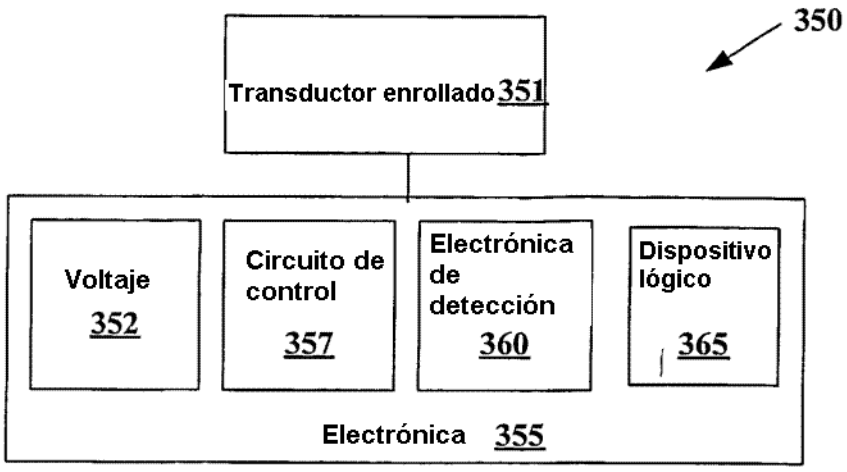
350
Transductor enrollado 351
Voltaje
352
Circuito de control
357
Electrónica de detección
360
Dispositivo lógico
365
Electrónica 355

FIG. 7

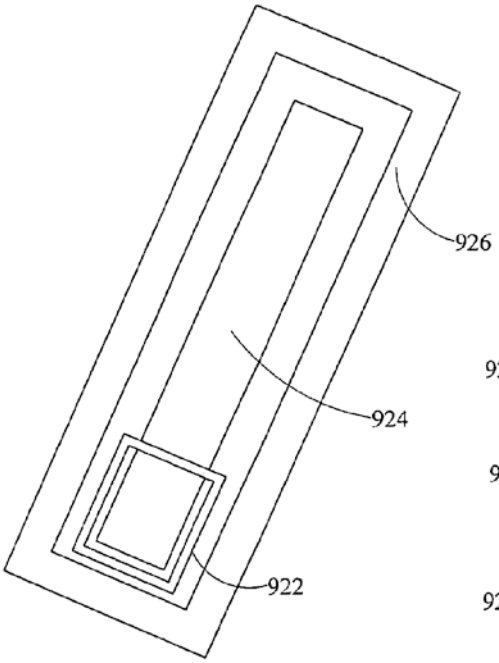

FIG. 8A

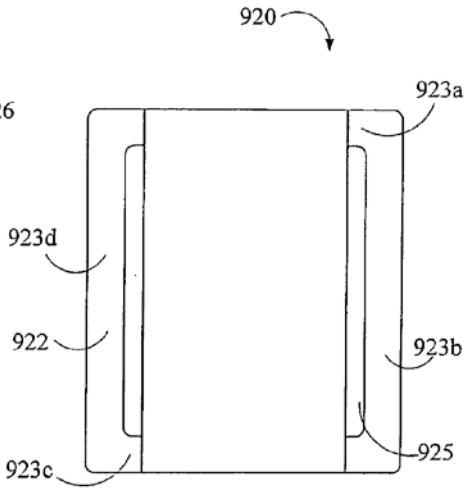

FIG. 8B

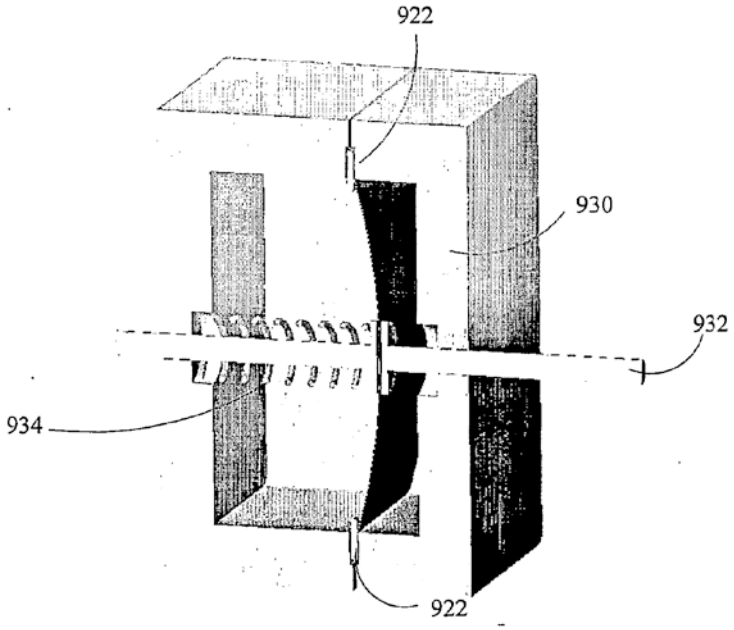

FIG. 8C

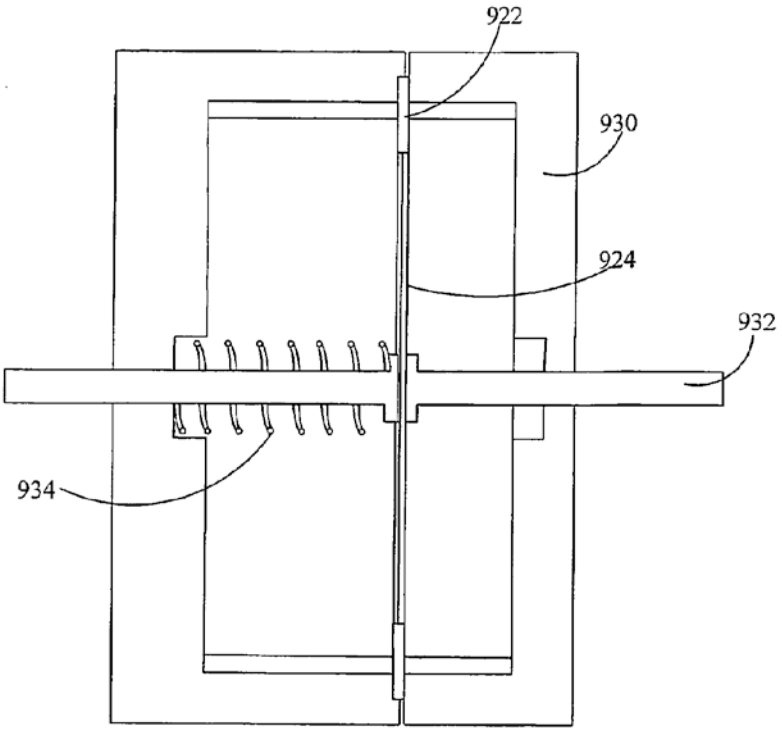

FIG. 8D

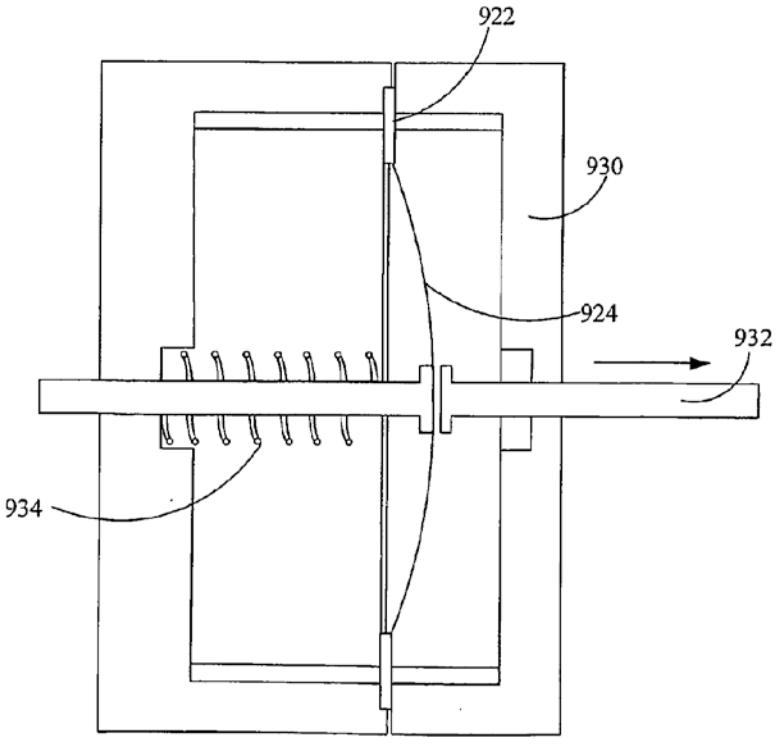

FIG. 8E